



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS
DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA



BIODISPONIBILIDAD PROTEÍCA EN TORTILLA
ADICIONADA CON *Pleurotus dryinus*

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO DE QUÍMICA FARMACOBIOLOGA

PRESENTA

p.Q.F.B. PERLA MARÍA REYES HUERTA

DIRECTORAS DE TESIS

Dra. BERENICE YAHUACA JUAREZ

M.C. IVONE HUERTA AGUILAR

MORELIA MICHOACÁN MARZO 2019

El presente trabajo de investigación fue desarrollado en el Laboratorio de Biotecnología “M.C. Victor manuel Rodriguez Alcocer” de la facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, bajo la asesoria de la Dra. Berenice Yahuaca Juarez y la co-asesoría de la M.C. Ivone Huerta Aguilar.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT.....	2
I.INTRODUCCIÓN.....	3
II . ESTADO DEL ARTE.....	4
• 2.1Maíz	4
2.1.1 Clasificación botánica	4
2.1.2 Descripción botánica del maíz	5
2.1.3 Características fisicoquímicas del grano	7
2.1.4 Contenido nutricional del maíz	8
2.1.5 Variedades del maíz	12
• 2.2 TORTILLA.....	14
2.2.1 Proceso de nixtamalización.....	14
2.2.2 Efecto del proceso de nixtamalización sobre las características fisicoquímicas del grano de maíz .	15
2.2.3 Valor biológico y calidad proteica en el maíz nixtamalizado.	16
2.2.4 Alternativas de suplementación para incrementar el valor nutricional y funcional de la tortilla.....	16
• 2.3 SETAS	17
2.3.1 Producción de hongo – seta	18
2.3.2 Descripción y características de <i>Pleurotus dryinus</i>	21
III. JUSTIFICACIÓN	22
IV. HIPÓTESIS.....	23
V. OBJETIVOS.....	23
• 5.1. Objetivo general	23
• 5.1.2 Objetivos específicos	23
VI. MATERIALES Y MÉTODOS.....	24
• 6.1 Material de estudio.....	24
• 6.2.Caracterización del material de estudio:	24
• 6.3 Estandarización del proceso de nixtamalización y obtención de harina de maíz nixtamalizada (HMN)	25
• 6.4 Formulación de HMN adicionada con <i>Pleurotus dryinus</i> pulverizada (HS) para la formación de tortilla.	27
6.4.1 Formación de tortilla a partir de las formulaciones descritas en el apartado 6.4.....	28
• 6.5 Caracterización de masa, HMN y tortilla.	28
6.5.1 Análisis de masa reconstituida de HMN y HS	28

6.5.2 Determinación de las características de calidad de HMN y HS	29
6.5.3 Evaluación de las características de calidad de las tortillas de HMN y HS.	30
• 6.6 Análisis sensorial de las tortillas formuladas con HMN y HS	31
• 6.7 Análisis químico proximal del maíz, HMN, HS y formulaciones de tortilla ...	32
• 6.8 Solubilidad de proteínas	33
• 6.9 Diseño del ensayo biológico para determinar la funcionalidad de las formulaciones de tortilla de HMN – HS.....	34
VII.RESULTADOS Y DISCUSIÓN	36
• 7.1 Caracterización del maíz como materia prima	36
7.1.1 Dureza del grano de maíz Sinaloa	36
7.1.2 Determinación del peso hectolítrico en el maíz Sinaloa.....	37
7.1.3 Determinación del tamaño del grano de maíz Sinaloa	37
• 7.2 Caracterización de la masa de maíz deshidratada y la seta nixtamalizada....	37
7.2.1 Consistencia y adhesión	38
• 7.3 CALIDAD DE LA HARINAS DE MAIZ NIXTAMALIZADO Y ADICIONADAS CON <i>Pleurotus dryinus</i>.....	38
7.3.1 Índice de absorción de agua y aceite	38
• 7.4 Caracterización de las Tortillas de maíz y tortillas formuladas con maíz y seta (corte, grado de inflado y color de la tortilla)	39
• 7.5 Análisis sensorial	40
7.5.1 Sabor	40
7.5.2 Olor	41
7.5.4 Color	43
• 7.6 Análisis químico proximal	43
7.6.1 Análisis químico proximal de <i>Pleurotus dryinus</i> y maíz Sinaloa	43
7.6.2 Análisis químico proximal de las diferentes formulaciones de tortilla	44
• 7.7 Conteniendo proteico en las diferentes formulaciones de tortilla HMN y HMN- HS.....	45
• 7.8 Funcionalidad de las formulaciones de tortilla de HMN-HS. Ensayo biológico.	46
7.8.1 Monitoreo del consumo de alimento de as ratas durante el ensayo biológico.....	46
7.8.2 Determinación de peso de Ratas experimentaes durante el periodo de cosuo de tortilla HMN y HMN-HS.....	47
7.8.3 Excreción de nitrógeno en heces	48
7.8.4 Bioquímicas	49

VIII. CONCLUSIONES.....	50
IX. BIBLIOGRAFÍA	51

RESUMEN

En América Latina un gran porcentaje de maíz (*Zea mays*) se destina para el consumo humano, constituyendo el 40 % de los alimentos del mundo, aporta el 25 % de las calorías que se consumen en los países en desarrollo. El maíz es rico en carbohidratos, proteínas, fibra, grasas, betacarotenos y vitaminas B1, B3, y B9, que en conjunto lo convierte en un alimento que aporta energía, favorece la digestión y tiene propiedades antioxidantes. Uno de los subproductos del maíz de mayor consumo es la tortilla; esta aporta 38.8 % de proteína, 45.2 % de calorías y 49.1 % de calcio de la dieta diaria de una persona, la tortilla se produce por medio de la nixtamalización, proceso que consiste en la cocción del maíz en una solución alcalina con posterior reposo en la solución de cocción, este proceso provoca una serie de transformaciones químicas, entre ellas, el hinchamiento del almidón y la desnaturalización de algunas proteínas, aumentando el valor nutricional del maíz, ya que modifica el balance de aminoácidos presentes, sin embargo, la tortilla sigue careciendo de una proteína de alta calidad, por lo cual se ha buscado mejorarla en este sentido mediante la adición de otros productos como las setas. Las setas son un alimento alto en proteína (35 % de proteína en base seca), siendo mayor que el contenido en el maíz. Este proyecto propone formulaciones de tortilla de harina de maíz nixtamalizado (HMN) con harina de seta *Pleurotus dryinus* para compensar la proteína faltante en la harina de maíz. Se utilizó como material de estudio maíz Sinaloa y seta *Pleurotus dryinus*, el maíz se nixtamalizó en una solución alcalina 1:2 de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ a 95°C por 40 min, posteriormente fue molido y la masa obtenida se deshidrató para obtener harina (HMN), la seta se deshidrató y se pulverizó (HS). Se diseñaron las siguientes formulaciones de HMN-HS para la elaboración de tortilla: 1.5 % HS- 98.5 % HMN, 2.5 % HS-97.5 % HMN, 3.5 % HS- 96.5 % HMN. A las tortillas se les evaluó la biodisponibilidad proteica en modelos biológicos, así como la aceptación sensorial de las formulaciones. El maíz, seta y las diferentes formulaciones HMN-HS fueron caracterizados mediante un análisis químico proximal así como pruebas fisicoquímicas de los materiales. Los resultados indican que los granos de maíz Sinaloa tiene una dureza de 4.76 N, peso hectolítrico de 91 g/ hecto y un color amarillo, el maíz contiene 9.10 g % de proteína y la seta *Pleurotus dryinus* 10.72 g %, las masas formadas con las formulaciones tienen buena consistencia, las tortillas en el análisis sensorial la formulación HMN-HS 2.5 %, tiene mejor aceptación. Para el ensayo biológico el grupo de ratas alimentado con la formulación HMN-HS 3.5 % mantuvo su peso durante el ensayo, y las pruebas en la química sanguínea muestran que están sanas. La excreción de nitrógeno en las heces, indica que las ratas alimentadas con HMN-HS excretaron menos que las ratas alimentadas con HMN. Los resultados indican que la adición de harina de seta a la harina de maíz nixtamalizada, mejora la composición nutricional de la tortilla.

Palabras clave: Maíz, *Pleurotus dryinus*, nixtamalización, tortilla, proteínas

ABSTRACT

In Latin America a large percentage of corn (*Zea mays*) is destined for human consumption, constituting 40% of the world's food, contributing 25% of the calories consumed in developing countries. Corn is rich in carbohydrates, proteins, fiber, fats, beta-carotene and vitamins B1, B3, and B9, which together make it a food that provides energy, promotes digestion and has antioxidant properties. One of the by-products of the most consumed corn is the tortilla; This contributes 38.8% of protein, 45.2% of calories and 49.1% of calcium of a person's daily diet, the tortilla is produced by means of nixtamalization, a process that consists of cooking the corn in an alkaline solution with subsequent resting in the cooking solution, this process causes a series of chemical transformations, among them, the starch swelling and the denaturation of some proteins, increasing the nutritional value of corn, since it modifies the balance of amino acids present, however, the tortilla continues Lacking a high quality protein, which has sought to improve it in this regard by adding other products such as mushrooms. Mushrooms are a high protein food (35% protein in dry base), being higher than the content in corn. This project proposes formulations of nixtamalized corn flour tortilla (HMN) with mushroom flour *Pleurotus dryinus* to compensate for the missing protein in corn flour. Sinaloa maize and mushroom *Pleurotus dryinus* were used as study material, the maize was nixtamalized in a 1: 2 alkaline solution of $\text{Ca}(\text{OH})_2$ at 95 ° C for 40 min, subsequently ground and the dehydrated mass obtained to obtain flour (HMN), the mushroom was dehydrated and pulverized (HS). The following formulations of HMN-HS for the preparation of tortilla were designed: 1.5% HS- 98.5% HMN, 2.5% HS-97.5% HMN, 3.5% HS- 96.5% HMN. Tortillas were evaluated for protein bioavailability in biological models, as well as sensory acceptance of the formulations. The corn, mushroom and the different HMN-HS formulations were characterized by a proximal chemical analysis as well as physical-chemical tests of the materials. The results indicate that Sinaloa corn grains have a hardness of 4.76 N, hectolitre weight of 91 g / ha and a yellow color, corn contains 9.10 g% of protein and mushroom *Pleurotus dryinus* 10.72 g%, the masses formed with the formulations have good consistency, the tortillas in the sensory analysis the formulation HMN-HS 2.5%, has better acceptance. For the biological test the group of rats fed with the HMN-HS 3.5% formulation maintained its weight during the test, and the tests in the blood chemistry show that they are healthy. Excretion of nitrogen in the feces indicates that the rats fed with HMN-HS excreted less than the rats fed with HMN. The results indicate that the addition of mushroom flour to nixtamalized corn flour improves the nutritional composition of the tortilla.

Keywords: Corn, *Pleurotus dryinus*, nixtamalization, tortilla, proteins

I.INTRODUCCIÓN

La tortilla de maíz es uno de los símbolos más antiguos de la cultura culinaria de México, sin importar la clase social a la que se pertenezca, el 94 % de los mexicanos la consumen a diario, en un promedio de 75 a 80 kg al año (Luna, 2016) acompañado por los platillos típicos de su gastronomía. Su origen es tan antiguo como la historia del maíz. (Alimentos, México produce, 2016)

La tortilla es uno de los subproductos del maíz; se elabora al someter al maíz a cocimiento térmico alcalino (nixtamalización), lavado y molienda para obtener masa y posteriormente formar los discos (tortillas) y cocerlas en comal a 270°C. La nixtamalización provoca transformaciones en el maíz, las cuales mejoran la digestibilidad y el balance de aminoácidos, sin embargo no lo convierte en un alimento de alto valor nutricional ya que carece de algunos aminoácidos esenciales como lisina y triptófano, por lo que se requiere complementar con otros alimentos como soja, nopal, setas, entre otros. (Paredes López, 2009)

Los hongos o setas comestibles han sido recolectados y consumidos como alimento, como producto recreativo, o en rituales; los registros arqueológicos revelan especies comestibles en Chile hace 13 mil años. Los hongos son un grupo bien definido de organismos grandes y visibles (macromicetos), conocidos como setas, tienen sombrero y tallo. Poseen un alto valor nutricional ya que aportan una cantidad considerable de proteína y fibra, además de ser bajos en grasas, también les agregan sabor característico a los alimentos. (Boa, Los hongos silvestres comestibles, 2005)

Los hongos son considerados un alimento funcional ya que se ha demostrado que su consumo impacta positivamente a una o más funciones del organismo, el uso de hongos en la dieta humana ha prevalecido debido a su sabor y textura característica. (Estrada & Bautista, 2016). Las proteínas son el constituyente principal de todas las células y son importantes en el crecimiento, se distinguen químicamente de los carbohidratos y los lípidos por contener Nitrógeno en su estructura, son polímeros de aminoácidos unidos por un enlace peptídico; algunas proteínas tienen función estructural y otras son enzimas u hormonas. (Azcona, 2013) Por ello es importante el consumo de alimentos que satisfagan el requerimiento proteico, el cual para un adulto es de 1.3 g/kg/día. Por lo anteriormente mencionado el uso de setas se convierte en una alternativa viable para incrementar el contenido de proteínas en la tortilla.

II . ESTADO DEL ARTE

El estado del Arte involucra el desarrollo de la información el que se sustenta el presente trabajo de investigación, destacando desde la importancia del uso del maíz y su transformación a subproductos como la tortilla, dejando claro el valor nutricional de la misma, así como la carencia nutricional de la misma, en este sentido, lo que conlleva al uso de setas, en las que se hace énfasis en su relevancia para ser integradas en la tortilla y con ello aumentar el aporte proteico de un alimento tan importante en la cultura mexicana como “la tortilla”.

2.1 Maíz

El maíz (*Zea mays*) de origen mexicano, proviene del *Teocintle**, es de ciclo biológico anual y crecimiento determinado. Su cultivo y la elaboración de subproductos están ligados al surgimiento y desarrollo de las culturas mesoamericanas pre-colombinas. Debido a su adaptabilidad se expandió con facilidad alrededor del mundo después de que españoles y otros europeos lo exportaron en los siglos XV y XVI. (Salvador, 2001)

Siendo el principal cultivo en México, el maíz participa con el 18% del valor de producción del sector agrícola (88 mil mdp en 2012 y 78 mil en 2013) y concentra el 33% de la superficie sembrada en el territorio nacional (7.5 millones de hectáreas) (Secretaria de hacienda y crédito público, SHCP 2014), posicionandose en el 8vo lugar en producción mundial con 22.971 toneladas anuales (Departamento de agricultura de Estados Unidos USDA, 2014). El maíz representa gran importancia a nivel industrial, económico, político y social. (Maiz, 2016)

En los países industrializados, el maíz se utiliza principalmente como forraje, materia prima para la producción de alimentos procesados y, recientemente, para la producción de etanol. Por el contrario, en algunos países de América Latina y, cada vez más en países africanos, un gran porcentaje del maíz que se produce o importa se destina al consumo humano. (Hernández, 2009)

2.1.1 Clasificación botánica

El género *Zea* pertenece a la familia *Poaceae* que comprende más de 600 géneros, sólo dos son del Nuevo Mundo: *Tripsacum* y *Zea* (Bonavia, 2008)

El género *Tripsacum* relacionado con *Zea*, posee 20 especies distribuidas desde la región noreste de Estados Unidos de Norteamérica, hasta Paraguay.

El género *Zea* contiene cinco especies en México y Centroamérica: *Zea diploperennis* Iltis, *Zea perennis*; *Zea luxurians*; *Zea mays* Linnaeus y la descrita recientemente *Zea nicaraguensis*. La especie domesticada conocida es *Zea mays* L., su pariente silvestre más cercano es el teocintle de las subespecies *parviglumis* y *mexicana* (CONABIO, 2009). A continuación se presenta la clasificación botánica del maíz

Reino: Plantae

Traqueobionta (plantas vasculares)

Superdivisión: *Spermatophyta* (plantas con semillas)

División: *Magnoliophyta* (plantas con flor)

Clase: *Liliopsida* (monocotiledóneas)

Subclase: *Commelinidae*

Orden: *Cyperales*.

2.1.2 Descripción botánica del maíz

A continuación se presenta la descripción botánica del maíz (**Figura 1**). (Rzedowski & Rzedowski, 2001) (McVaugh, 1983)

El maíz es una planta de crecimiento anual, mide de 1 – 2 metros de alto, con un tallo de 1 – 2 cm de ancho. Sus hojas miden 30 – 65 cm de largo por 2.5 – 3.5 de ancho. Tiene una inflorescencia masculina de 15 – 25 cm de largo y ancho, tiene varias espigas que miden de 5 – 8 cm de largo, cada una envuelta por una sola bráctea. También posee inflorescencia femenina presentándose en varias vainas de 5 – 8 cm de longitud por 1 – 1.5 de ancho, con pedúnculos de hasta 1.5 cm de largo. Las espiguillas o flores, están dispuestas en dos hileras con 5 – 12 granos, midiendo 7.5 - 10.5 mm de longitud por 2 – 3.8 mm de ancho. Como fruto y semilla (grano), posee una carióspside cubierta por una gluma endurecida con forma triangular, que mide de 5.5–9.5 mm de largo por 3

– 7 mm de ancho, tienen una superficie lustrosa, lisa y de color uniforme (Espinosa & Sarukhán, 1997). Las plántulas son un coleóptilo oblongo lanceolado de 12 - 23 mm de largo; primera hoja con vaina de 10 - 45 mm de largo, sin pelos, lígula laminar de 0.5 mm de alto con ápice denticulado, lámina oblanceolada a lanceolada de 12 - 60 mm de largo y 7 - 12 mm de ancho, son pelos; segunda hoja similar a la primera, de 25 hasta 128 mm de largo y 5 a 11 mm de ancho, ápice acuminado (Espinosa & Sarukhán, 1997).



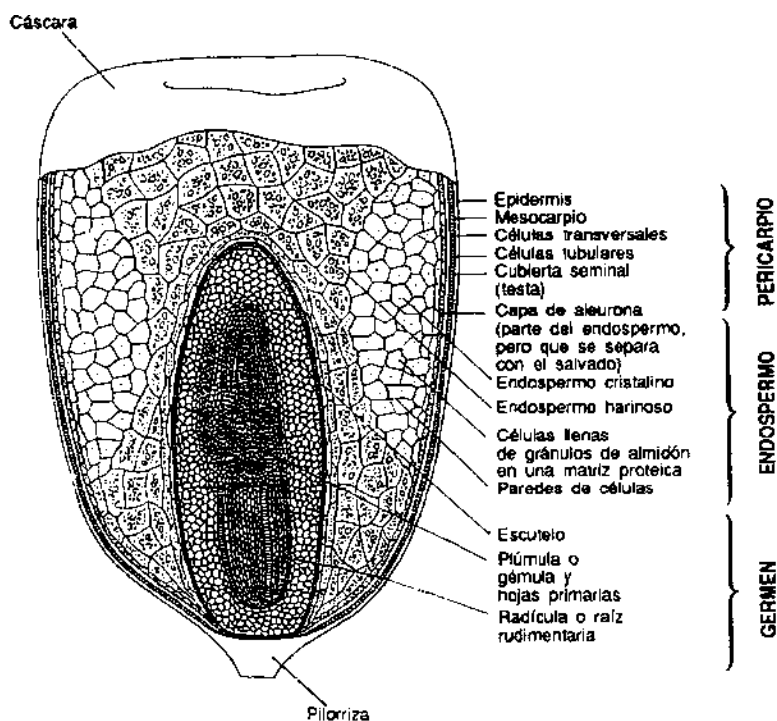
Figura 1 Planta característica de maíz

(CULTIVOS DE GRANO APV-350 Taxonomía y Botánica de los Cultivos de Grano II. Taxonomía, Botánica y Fisiología de los Cultivos de Grano 001. Cesar Augusto Vellardes).

2.1.3 Características fisicoquímicas del grano

El fruto del grano de maíz (**figura 2**) es denominado cariósipide y consta de 3 partes anatómicas: (FAO, 2016)

- Pericarpio: Es la envoltura real del grano, contiene la mayor parte de la fracción fibrosa.
- Endospermo: Es la parte más abundante y voluminosa del grano, está constituida por gránulos de almidón adheridos a una matriz proteica, envuelve al embrión y le proporciona todo los nutrimentos necesarios para su desarrollo.
- Germen: Envuelve al escutelum y al embrión, contiene aceites y proteína. Se localiza en el centro de la semilla y a partir de este se puede desarrollar una nueva planta.



(Facilitado por el Wheat Flour Institute, Chicago, Illinois, 1964)

Figura 2 Partes anatómicas estructurales del grano de maíz

<http://www.fao.org/docrep/t0395s/T0395S00.GIF>

2.1.4 Contenido nutricional del maíz

Como alimento el grano de maíz se ha utilizado entero, como forraje o bien se puede elaborar con técnicas de molienda o cocción para producir un amplio número de productos intermedios (FAO, 2016)

El maíz constituye el 40 % de los alimentos del mundo, aportando el 25 % de las calorías que se consumen en los países en desarrollo. Esta planta es rica en carbohidratos, proteínas, fibra, grasas, betacarotenos y vitaminas B1, B3, y B9, que en conjunto lo convierte en un alimento que aporta energía, favorece la digestión y tiene propiedades antioxidantes. (Martínez, 2010)

En la **tabla 1** se presentan los principales nutrientes que constituyen cada una de las fracciones que conforman el grano de maíz (FAO, 2016).

Tabla 1 Distribución de nutrientes en las diferentes fracciones del grano de maíz

FRACCIÓN DEL GRANO DE MAÍZ	NUTRIENTES PRINCIPALES
Pericarpio	Fibra dietética, minerales y proteínas
Endospermo	Vitaminas, minerales, aceite, proteína y azúcares
Germen	Aceite, vitamina B, proteínas , minerales y azúcares.

Almidón del maíz

El componente químico principal del grano de maíz es el almidón (**Figura 3**), ocupa un 72 – 73 % del peso del grano, el almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina (Cardoza, 2006). Aporta 356 Kcal y 88 g de carbohidratos por cada 100 gr (Alimentos, Fécula de maíz, 2017) es un polímero de reserva energética.

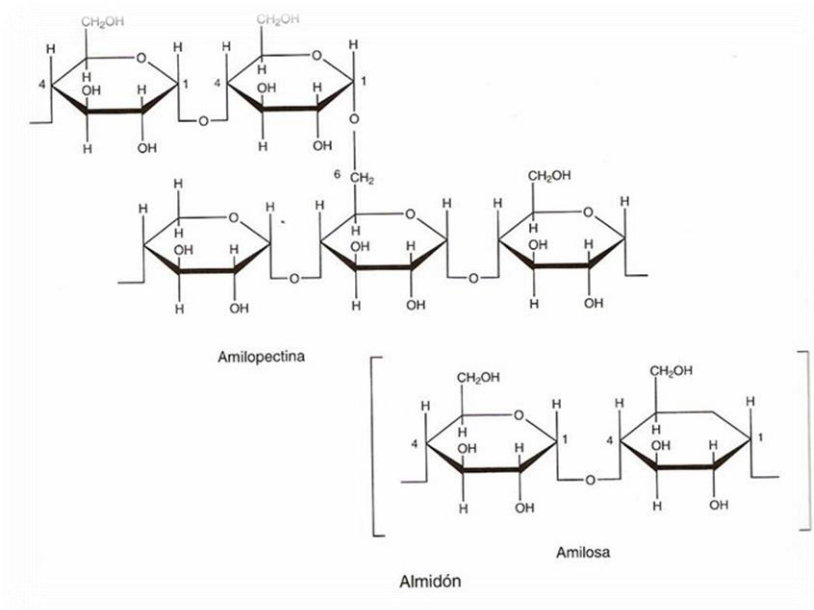


Figura 3 Estructura molecular del almidón (Méndez, La guía, 2012)

Ácidos grasos presentes en el maíz

Se calcula que un 30-35 % de la energía total que necesita un individuo para llevar a cabo su actividad diaria deben aportarla los ácidos grasos (Aires, Capdevilla, & Segundo, 2005). El aceite de maíz está compuesto por 99 % de triglicéridos de los cuales 59 % son ácidos grasos poliinsaturados (linoleico y linolénico), 24 % monoinsaturados y 13 % saturados (Dupont J, 1990) (Tabla 2)

Los dos ácidos grasos esenciales (AGE) se denominan ácido linolénico y ácido linoleico; se ha descrito que lo AGE, tienen efectos benéficos en el organismo, ya que influyen en la producción de hormonas, en el sistema inmune y cardiovascular (regulan los niveles de HDL y el crecimiento correcto de vasos sanguíneos). Mantienen la estructura de la membrana celular, mantienen la piel y otros tejidos jóvenes y flexibles debido a su capacidad lubricante. Entre los ácidos grasos más importantes se incluirían los siguientes: Ácido Linoleico, Ácido Alfa Linolénico, Ácido Gamma Linolénico (AGL/GLA), Ácido Eicosapentaenoico (APE/EPA), y Ácido Docosahexaenoico (ADH/DHA). (Therkeslian, Ácidos grasos esenciales, 2014)

Tabla 2 Contenido de acidos grasos en diversas variedades de maíz (FAO, 2016)

Variedad le maíz	C16:0 Palmitico	C18:0 Estearico	C18:1 Oleico	C18:2 Linoleico	C18:3 Linolénico
MPC Nutricia	15,71	3,12	36,45	43,83	0,42
Azotea	12,89	2,62	35,63	48,85	—
Xetzac	11,75	3,54	40,07	44,65	—
Blanco tropical	15,49	2,40	34,64	47,47	—
Santa Apolonia	11,45	3,12	38,02	47,44	—

Vitaminas y minerales del maíz

En la **tabla 3** se presentan las vitaminas y minerales contenidos en el maíz, es destacable el contenido de Vitaminas B, las cuales convierten al maíz en un alimento que aporta energía, Tambien se destaca el contenido de vitamina A, la cual es un antioxidante, y el contenido de calcio. (SL, 2017)

Tabla 3 Vitaminas y minerales presentes en el maíz (USDA, 2016)

MINERALES	EN 100 g DE MUESTRA
CALCIO CA	4 mg
HIERRO FE	0.42 mg
MAGNESIO MG	18 mg
FOSFORO P	70 mg
POTASIO K	213 mg
SODIO NA	3 mg
ZINC ZN	0.38 mg
COBRE CU	0.036 mg
MANGANESO MN	0.213 mg
SELENIO SE	0.7 µg
FLOUR F	14.6 µg

VITAMINAS	EN 100 g DE MUESTRA
ÁCIDO ASCORBICO (VITAMINA C)	6.4 mg
TIAMINA	0.083 mg
RIBOFLAVINA	0.068 mg
NIACINA	1.739 mg
ÁCIDO PANTOTENICO	0.361 mg
B6	0.168 mg
VITAMINA A	10 µg
VITAMINA E	0.08 µg
VITAMINA K	0.03 µg

Contenido proteico en el grano de maíz

En la **tabla 4** se muestra el contenido de aminoácidos presentes en el maíz. En base seca el maíz contiene entre 6 y 12 % de su peso en proteína zeína, el 75 % de esta proteína está contenida en el endospermo del grano determinando su dureza . La zeína pertenece al grupo de las prolaminas, las cuales solo estan presentes en los cereales, la zeína esta distribuida en el endospermo, gluteína en endospermo y germen, y la globulina en el germen (Shukla & Munir, 2000).

La calidad nutritiva del maíz esta definida por la calidad de sus proteínas, y ésta a su vez la establece el contenido de aminoácidos esenciales, se ha encontrado que tanto la zeína y la gluteína son deficientes en lisina y triptófano, y a su vez tiene un alto contenido en leucina pero bajo en isoleucina (López, Lara, & Pérez, 2009)

Tabla 4 Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y endospermo del maíz (Agricultura, El maíz en la nutrición Humana, 2017)

Aminoacido	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg %	mg/g N	mg %	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1 024	810	1 030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

^a1,26 por ciento de N. ^b2,32 por ciento de N.

El aporte nutricional del maíz lo ha convertido en uno de los alimentos más importantes de la base de la alimentación del mexicano; a partir de él se han elaborado varios productos para su consumo, como harina de maíz y tortilla.

A pesar de que el maíz es un alimento muy rico en nutrientes, ha sido necesario adicionar los subproductos de éste, ya que los procesos de transformación que se le aplican como la molienda para formar harinas, o la nixtamalización para la formación de masas; provocan cambios químicos en el maíz causando una pérdida importante de algunos de éstos nutrientes, como vitaminas, minerales y aminoácidos, haciendo que el maíz ni ninguno de sus subproductos cubran las necesidades nutrimentales del humano.

Al adicionar *Pleurotus dryinus* a la HMN, se compensa la falta de aminoácidos y aumenta el valor biológico de la proteína de la tortilla.

Fracciones proteicas

- **Prolaminas (zeína)**

La prolamina o zeína es la proteína que se encuentra en mayor proporción en el maíz, alrededor del 50 %, son solubles en etanol, están localizadas en el endospermo y su función principal es almacenar nitrógeno para la germinación del embrión. (Nayelli Hernández-Espinosa, 2015)

- **Albúminas y globulinas**

Estas proteínas están presentes en el germen y endospermo, constituyendo el 22 % de la proteína presente, son solubles en agua. (Sánchez F. C., 2007) , actúan como fuente de nitrógeno en el desarrollo del grano. (Xochipa, 2009)

2.1.5 Variedades del maíz

Según la apariencia del grano y el endospermo del grano de maíz, se establece la siguiente clasificación: (Paliwal, 2001)

- **Maíz tortillero**

Este maíz cuenta con almidón muy blando y se caracteriza por contar con granos de distintas texturas y colores (amarillos, rojos, negros, marrones y naranjas), Destaca fundamentalmente por

su inflorescencia femenina llamada mazorca, en donde se encuentran las semillas (granos de maíz) agrupadas a lo largo de un eje (Sonora, 2017)

- **Maíz duro**

Los granos de éste tipo de maíz son redondos y duros al tacto; el endospermo esta constituido principalmente de almidón vitreo y almidón suave en el centro.. Los maíces duros son preferidos para alimento humano y para para elaboración de fécula de maíz.

- **Maíz reventón**

Los granos son pequeños, con pericarpio grueso, de forma redonda u oblongos; el endospermo es duro con una pequeña parte de almidón blando. Es llamado así porque al calentarse el grano a alrededor de 170 °C, revienta y el endospermo sale; los granos tienen baja humedad 14 %. Este tipo de maíz no es un cultivo comercial, se siembra a pequeña escala; es usado como bocadillo (palomitas).

- **Maíz dentado**

El endospermo del maíz dentado tiene mas almidón blando, es utilizado para alimento de animales.

- **Maíz harinoso**

El endospermo de estos maíces está compuesto casi unicamente por almidón muy blando. Se utilizan como alimento humano, preparación de platillos especiales y bebidas. El potencial de rendimiento es menor al de los maices duros.

- **Maíz ceroso**

El endospermo en los maíces duros está constituido por 70 % amilopectina y 30 % amilosa, en los maices cerosos el endospermo esta constituido solo por amilopectina, lo cual le da un aspecto ceroso y opaco. Su uso es industrial, en algunas aprtes de Asia es usado para hacer comidas típicas.

- **Maíz dulce**

Los granos de éstos maíces tienen un alto contenido en azúcar y son de un gusto dulce; esto se debe a que el azúcar no se convierte en almidón, dándole también a los granos una apariencia arrugada, por el bajo contenido en almidón.

- **Maíz baby**

El maíz baby son mazorcas jóvenes que son cosechadas antes de la polinización para ser utilizadas como hortaliza, consumidas frescas o envasadas. Puede ser cultivado a lo largo de todo el año para su consumo fresco.

- **Maíz azul**

La variedad de maíz azul tiene propiedades nutrimentales interesantes, contiene una gran cantidad de pigmentos antioxidantes; su contenido de fibra es más elevado que en el maíz blanco o amarillo (Sánchez A. C., 2011); su contenido de almidón es menor, y su índice glucémico es menor comparado con el maíz amarillo; también tiene 20 % más de proteína que el maíz blanco (Méndez Motealvo, y otros, 2005)

2.2 TORTILLA

El maíz por sus características fisicoquímicas y nutricionales sigue siendo la principal fuente de alimentación de los 18 millones de mexicanos, según información de la Secretaría de Desarrollo Social. Al día se consumen en el país 300 millones de kilogramos de tortilla, tan sólo en la Ciudad de México el consumo por habitante es de nueve tortillas diarias. (Fregoso, 2013)

La tortilla aporta 38.8 % de proteína, 45.2 % de calorías y 49.1 % de calcio de la dieta diaria de una persona. (Amador, 2015)

El proceso por el cual se elaboran las tortillas desde la antigüedad es la nixtamalización.

2.2.1 Proceso de nixtamalización

Uno de los pasos de mayor relevancia para la obtención de la tortilla es el proceso de nixtamalización, del náhuatl *nixtli*, cenizas, y *tamalli*, masa, la nixtamalización se ha transmitido de generación en generación en Mesoamérica, y todavía se utiliza como en tiempos prehispánicos.

Se inicia con la adición de dos partes de una solución de hidróxido de calcio al 1 % - 3 % a una porción de maíz. Esta preparación se lleva a ebullición por 15- 60 minutos, posteriormente se procede al reposo de los granos de maíz por 8- 16 horas en el agua de cocción (nejayote) se retira y el maíz se lava dos o tres veces con agua corriente; así se obtiene el llamado maíz nixtamalizado o nixtamal. El nixtamal es molido en un molino de piedra para producir la masa que se utiliza para formar discos que posteriormente son cocidos en un comal de barro o metal a 270 °C. (Lopez, Lara, & Perez, 2009). Los discos son cocidos 17 seg por un lado, se girán y se cuecen 47 seg, se gira una vez más y se cuece por 84 seg para lograr el inflado (Ortiz & Soto, 2012)

La tortilla elaborada en tortilladora tiene un diámetro de 12 – 15 cm y un grosor de 3.3 – 4 mm, con un peso de 12 – 14 gr (Rangel-Meza, y otros, 2004)

2.2.2 Efecto del proceso de nixtamalización sobre las características fisicoquímicas del grano de maíz

El proceso de nixtamalización ocasiona una serie de cambios a los componentes del grano, los cuales le dan a la masa y a la tortilla sus características. El almidón presenta una estructura de red, que al momento de la cocción alcalina son fundidos (Torre, 1986) y gelatinizados, aumentando su solubilidad (M. H. Gómez, 1990)

Según la mayoría de los investigadores, el proceso de cocción en agua alcalina aumenta ligeramente el contenido de nitrógeno, debido al efecto de concentración. La solubilidad de todas las fracciones proteicas disminuye con la transformación del maíz crudo en tortillas, con un aumento de la fracción insoluble. (Agricultura, FAO, 2013)

El maíz está compuesto principalmente por amilosa y amilopectina, en el interior del grano estos aparecen como granulos de forma cristalina, indigeribles para el sistema digestivo humano; al disolver el hidróxido de calcio $\text{Ca}(\text{OH})_2$ con agua éste reacciona con la pared del grano hidrolizándola, así el contenido del grano queda expuesto a la acción del agua y el $\text{Ca}(\text{OH})_2$. El pH de la solución de cocción hace que el almidón también se gelatinice y vuelve a los lípidos más solubles, la niacina es liberada (vit B3) y las proteínas contenidas en el grano se desnaturalizan, liberándolas. De ahí la importancia de la nixtamalización; una buena calidad de tortilla depende del correcto balance entre la solución alcalina y el maíz y el tiempo en el que están en contacto (Bernal-Uruchurtu, 2016). El maíz carece de los aminoácidos esenciales Lisina y Triptófano

(Suárez, Chavez, & Mariscal, 2013). La nixtamalización convierte la niacina atada en niacina libre, se absorben minerales, reduce las micotoxinas (UNAM, 2015), la utilización del hidróxido de calcio aumenta hasta un 400 % el contenido de calcio (FAO, 2016).

2.2.3 Valor biológico y calidad proteica en el maíz nixtamalizado.

El valor biológico de una proteína se determina midiendo el Nitrógeno absorbido por el organismo menos el nitrógeno excretado en heces, dividido entre el nitrógeno absorbido. (Paredes López, 2009)

La calidad de la proteína del maíz siempre fue conocida por estar limitada por el bajo contenido de aminoácidos esenciales Lisina y Triptófano, por el inbalance entre Leucina e Isoleucina (Bresalli & Godinez, 2010). Y aunque el proceso de nixtamalización aumenta el valor biológico de los aminoácidos presentes, la tortilla sigue siendo deficiente en Lisina y Triptófano.

2.2.4 Alternativas de suplementación para incrementar el valor nutricional y funcional de la tortilla.

La tortilla de maíz ha sido suplementada con pasta de soya, nopal, entre otros; se ha agregado directamente vitaminas, minerales y los aminoácidos esenciales faltantes en ella.

- **Pasta de soya**

La soya integral contiene 40 % de proteína cruda, 21 % de grasa, 34 % de hidratos de carbono y 4.9 % cenizas. Godinez en 2000 realizó un experimento para analizar el crecimiento de cerdos alimentados con varias formulaciones de tortilla, entre ellas tortilla adicionada con 4 % con pasta de soya. Los cerdos fueron machos de 45 días de edad, con un peso promedio inicial de 11.7 kg, ganando 28.66 kg al final de 23 semanas, esto comparado con 14.5 kg de peso ganado al ser alimentados con tortilla normal. La fortificación con pasta de soya es una tecnología sencilla que mejora la calidad nutritiva de la tortilla, al incorporar proteína, fibra cruda, grasa, ácido fólico, tiamina y riboflavina, así se favorece la ganancia de peso, producción de músculo. (Godinez, 2000)

- **Nopal**

El nopal tiene un índice glucémico bajo, es buena fuente de fibra (aporta 3 gr por porción) y tiene efecto prebiótico. Al adicionar masa de maíz nixtamalizado con nopal deshidratado, se forman tortillas con mayor contenido en fibra, cada tortilla aporta entre 18 – 20 kcal, tiene mayor contenido en niacina. La tortilla adquiere un color verdoso, el olor y la consistencia no cambian significativamente (UNAM, 2015)

- **Adición de vitaminas y minerales**

La deficiencia de vitaminas y minerales afecta la salud y la funcionalidad de las personas, por ello la Secretaría de Salud creó un programa para promover la adición de nutrimentos a las harinas de maíz producidas a nivel industrial. El objetivo fue restaurar las vitaminas y minerales que se pierden durante el procesamiento y refinamiento de las harinas, siendo esta una medida relativamente sencilla y barata (0.014 pesos por kg). La mezcla de vitaminas y minerales que se agregó fue 5mg/kg de tiamina, 3mg/kg de riboflavina, 35mg/kg de niacina, 30 mg/kg de hierro, 20 mg/kg de zinc y 0.5 mg/kg de ácido fólico. (Rosado JL, 1999)

- **Adición de aminoácidos**

Canul y col. en el 2012 agregaron los aminoácidos faltantes a la masa de maíz, el proceso de nixtamalización del maíz se realizó de manera tradicional, el tratamiento experimental consistió en agregar a la masa, 2.9 g de lisina y 0.63 g de triptófano por cada kg de maíz, para tratar la desnutrición proteico-calórica en niños en Yucatán, México, mejorando el estado nutricional de los niños, observado en el peso. (Canul, 2012)

Particularmente hablando del contenido de proteínas en la tortilla su valor biológico y biodisponibilidad, es importante considerar además de la adición de aminoácidos esenciales, el uso de materiales alimenticios con alto nivel en proteínas que puedan ser incorporados a la tortilla. En la naturaleza existen diversos materiales en éste sentido, entre ellos destacan las setas cuya producción incluso puede llegar a ser silvestre.

2.3 SETAS

Por la belleza que guardan las setas, muchas se han usado con fin estético y ornamental, acompañadas con flores y ramas en ceremonias paganas, realizadas en México por grupos étnicos como los Náhuatl, Zapotecas, Tzotziles y Tojolabales. (Bonifaz, 2010)

El primer uso directo que se dio a los hongos fue el alimenticio, ya que contienen una buena porción de proteínas, vitaminas y escasos carbohidratos y lípidos. (Bonifaz, 2010)

Los hongos comestibles son un grupo bien diferenciado que incluye especies de macromicetos (hongos superiores) conocidos también como setas (Boa, Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura, 2005).

Algunos de los hongos más estudiados en los últimos años son los del género *Pleurotus*, debido a la facilidad con la que se cultivan y su contenido nutricional.

La composición proximal y mineral de *Pleurotus* muestra que ésta seta es buena fuente de proteína y fibra dietética. El contenido de proteína es de 35 % en base seca, es mucho más alto que los cereales (trigo y maíz) (SAGARPA, Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación, 1995)

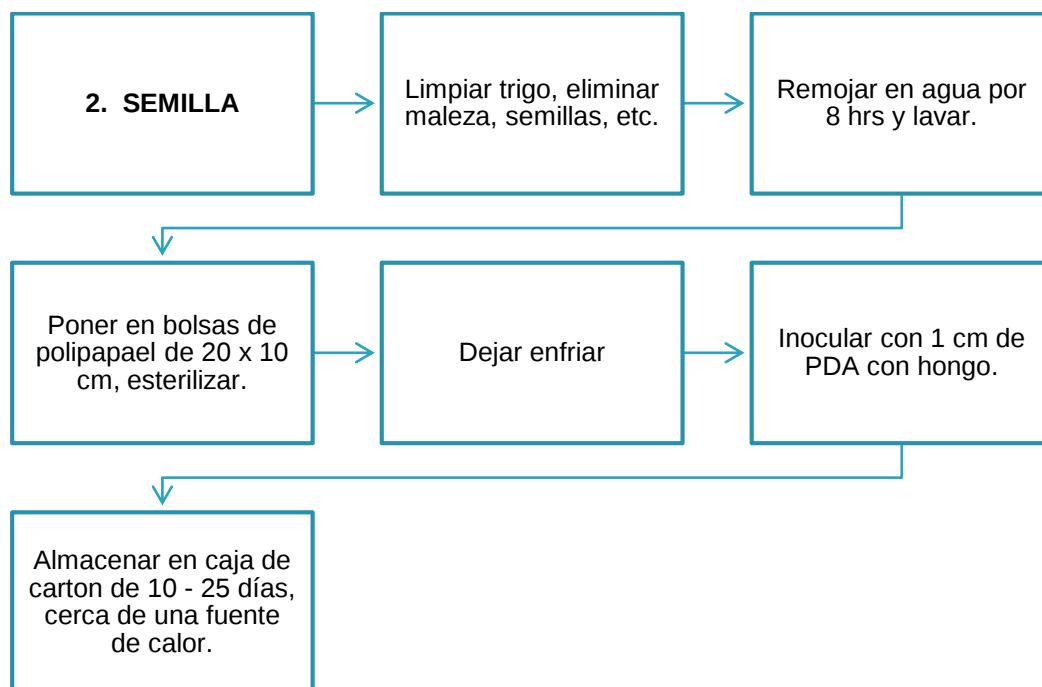
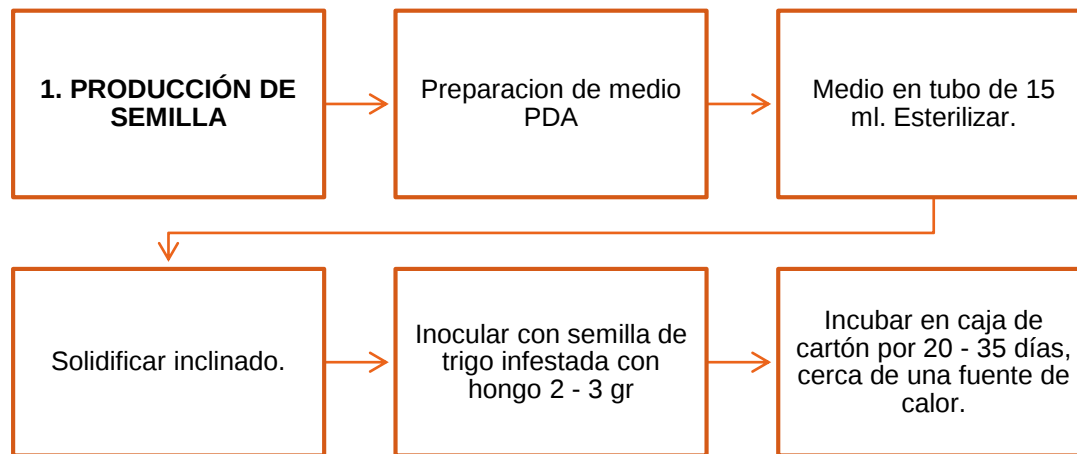
El hongo *Pleurotus dryinus* crece fácilmente en desechos forestales y agroindustriales; tiene un alto contenido en proteína y fibras (Tijera, 2014). Su producción es económica y no requiere de cuidados específicos para su correcto crecimiento (Escobedo)

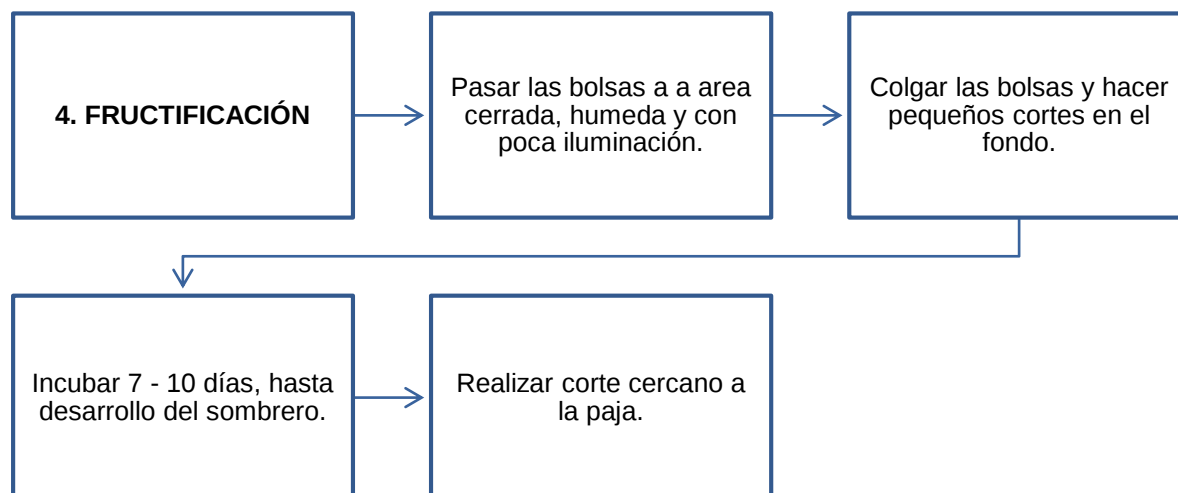
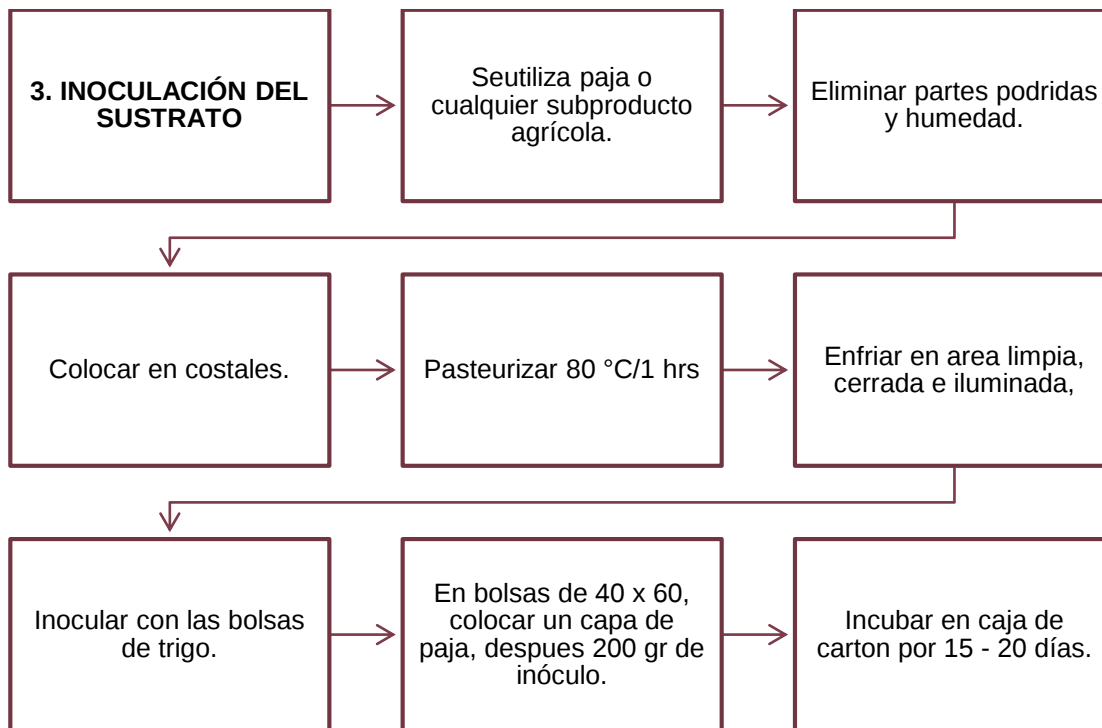
En México el cultivo de hongos comestibles está poco desarrollado, a pesar de que existe el potencial para ello. (SAGARPA, 2002)

2.3.1 Producción de hongo – seta

El cultivo de *Pleurotus*, consta de cuatro partes: (Escobedo)

1. Producción de semilla
2. Producción del hongo
3. Inoculación de sustrato
4. Fructificación





3.3.2 Descripción y características de *Pleurotus dryinus*

La seta *Pleurotus dryinus* (**Figura 4**) crece de manera silvestre sobre madera muerta en verano – otoño, su sombrero convexo y extendido mide de 5 – 18 cm de diámetro; su cutícula es carnosa, gruesa, con un color blanco – gris; tiene restos escamosos color ocre; láminas decurrentes y juntas, color blanco – amarillentas; pie grueso, duro, curvado, del mismo color que las láminas; esporas blancas, alargadas casi cilíndricas; su carne es gruesa y consistente, color blanca – amarillenta de sabor y olor agradables (González, 2015)

Clasificación botánica de *Pleurotus dryinus*

- Subdivisión: Basidiomycotina
- Clase: Homobasidiomycetes
- Subclase: Agaricomycetideae
- Orden: Agaricales
- Familia: Pleurotaceae
- Género: *Pleurotus*
- Especie: *Dryinus*
- Nombre común: Pleurotus de roble
- Comestibilidad: Mediocre
- Hábitat: Saprófitas (Crecen sobre madera muerta)
- Color de sombrero: Blanco amarillento



Figura 4 Imagen de *Pleurotus dryinus*

III. JUSTIFICACIÓN

El maíz, es uno de los cereales más importantes del mundo, suministra elementos nutritivos a los seres humanos, a los animales y es una materia prima básica de la industria. La Producción de maíz en 2017 fue de 27.8 millones de toneladas, mientras que la superficie Sembrada en el mismo año fue de 7.5 millones de hectáreas, gran parte del territorio nacional es propicio para la producción de maíz (Agropecuarios A. d., 2018) Con el maíz se produce harina, tortillas, almidón, aceite, proteínas, bebidas alcohólicas, alimentos para mascotas, edulcorantes alimenticios, y combustible , entre otros (Agropecuarios A. d., 2018). En México el maíz representa la mitad del volumen total de alimentos consumidos cada año, y proporciona a la población cerca de la mitad de las calorías requeridas. (Trigo & Montenegro, 2002)

El maíz en México, que se consume principalmente en forma de tortillas, es considerado como un alimento básico en la dieta diaria de la población en todos los estratos sociales. México es el principal consumidor de tortilla en el mundo, pues se estima que es consumida por el 94% de la población, por lo que el volumen de producción y consumo es cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año. El maíz es una fuente excelente de carbohidratos, pero la calidad de su proteína es relativamente pobre debido a que presenta deficiencias en los aminoácidos esenciales lisina y triptófano. Se han realizado múltiples estudios para fortificar la tortilla sin modificar sus propiedades organolépticas, utilizando para ello diversas fuentes, como harina de soya, garbanzo o pescado, entre otras. (Huerta & Guzmán, 2007)

El consumo de alimentos naturales no sólo de buen sabor, sino también inocuos, nutritivos y con propiedades benéficas para la salud, representa la gran tendencia mundial de la alimentación humana en el siglo XXI. La dieta humana debe ser completa, suficiente, equilibrada y que garantice una completa satisfacción biológica, psicológica y social. (Carrera, Morales, Sobal, Bonilla, & Martínez, 2007).

Los hongos comestibles constituyen un alimento funcional con propiedades nutricionales y medicinales que promueven la salud, Diversas investigaciones científicas han demostrado que los hongos comestibles tienen alto contenido de proteína (aminoácidos esenciales), minerales, vitaminas (complejo B, provitamina D) y fibra cruda (Mayett-Moreno, 2010). Por esto, la adición de harina de la seta *Pleurotus dryinus* a la harina de maíz, nos permite mejorar el valor biológico de la proteína presente en la tortilla.

IV. HIPÓTESIS

La adición de harina de *Pleurotus dryinus* a la harina de maíz nixtamalizado mejora la biodisponibilidad proteica y aumenta el balance de aminoácidos esenciales en la tortilla.

V. OBJETIVOS

5.1. Objetivo general

Evaluar la biodisponibilidad protéica en tortilla de maíz adicionada con *Pleurotus dryinus*.

5.1.2 Objetivos específicos

1. Estandarizar el proceso de nixtamalización para la obtención de tortilla de maíz.
2. Deshidratación de la seta *Pleurotus dryinus* para su incorporación a la tortilla de maíz.
3. Diseñar la formulación para la obtención de tortilla de maíz adicionada con *Pleurotus dryinus*.
4. Determinar la biodisponibilidad proteica de la tortilla formulada con *Pleurotus dryinus*
5. Evaluar la calidad sensorial de la tortilla de maíz adicionada con *Pleurotus dryinus*.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1 Material de estudio

Se trabajó con la seta *Pleurotus dryinus* proporcionada por la empresa IRUNDI® , la cual fue deshidratada y molida hasta la obtención de un pulverizado (**Figura 5**).

Para la elaboración de la tortilla se usó maíz variedad Sinaloa, de endospermo duro con calidad nixtamalera el cual fue adquirido en un mercado local de la ciudad de Morelia Michoacán (**Figura 5**).



Figura 5. a) Seta *Pleurotus dryinus* deshidratada y molida. b) Maíz Sinaloa almacenado en frigorífico.

6.2. Caracterización del material de estudio:

A continuación, se presentan las diferentes metodologías utilizadas para llevar a cabo la caracterización del material de estudio Maíz Sinaloa y Seta *Pleurotus dryinus*

Maíz Sinaloa

Se llevó a cabo la caracterización fisicoquímica del maíz, la cual consistió en determinar:

- **Tamaño del grano.**

Para determinar el tamaño del grano de maíz se tomaron 25 granos al azar, a los que se les midió el largo, el ancho y espesor del centro del grano. Se utilizó un calibrador o vernier Digimatic, Mca.

Mitutoyo Corp., con rango de medida de 0.01-150 mm . Los datos se reportaron como el valor promedio en mm y la desviación estándar de las mediciones.

- **Peso de 1000 granos.**

Se tomarón 1000 granos al azar y se pesaron en una microbalanza Ohaus *Explorer*, con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de ± 0.001 g. Se hicieron tres repeticiones de cada medición, se obtuvo la media y la desviación estándar de los datos.

- **Peso hectolítrico.**

Para la obtención de esta medida se siguió *la técnica 55-10 de la AACCC (1983)*. Se llenó un vaso de precipitados de 50 ml con granos de maíz, pesándose en una microbalanza Ohaus *Explorer*, con una capacidad de 0-210 g, y una precisión de ± 0.001 g. El peso hectolítrico se obtuvo al dividir el peso de los granos entre el volumen del recipiente y relacionándolo a un volumen de 100 litros. Las mediciones se hicieron con 10 repeticiones, se reportó la media y la desviación estándar.

6.3 Estandarización del proceso de nixtamalización y obtención de harina de maíz nixtamalizada (HMN)

El proceso de nixtamalización hasta la obtención de tortilla se realizó mediante una cocción termico alcalina del maíz, llevándose a 94 °C por 40 min en una solución alcalina a una relación 1:2 (maíz/agua) al 1 % de $Ca(OH)_2$. Al término de la cocción del maíz (**Figura 6**) se dejó reposar por 12 horas en dicha solución, posteriormente se procedió a lavar el maíz cocido (nixtamal) con agua corriente, deshechando el nejayote. Una vez eliminando el nejayote, se molió el nixtamal en molino de piedra para la obtención de masa.



Figura 6 Granos de maíz cocidos (nixtamal) en solución alcalina mediante el proceso de nixtamalización

- **Obtención de harina de HMN**

La masa obtenida de la molienda del nixtamal, se deshidrató por exposición solar, por un periodo de 36 hrs (**Figura 7**). Una vez deshidratada, se trituró para reducir el tamaño de partícula a 0.25 mm en una molino eléctrico Pulvex® (Figura 8). La HMN se colocó en bolsas herméticas y se almacenaron hasta su uso.



Figura 7 Proceso de deshidratación de la masa para la obtención de HMN



Figura 8 Reducción del tamaño de partícula a 0.25 nm en molino eléctrico Pulvex®

6.4 Formulación de HMN adicionada con *Pleurotus dryinus* pulverizada (HS) para la formación de tortilla.

Una vez obtenida la HMN y el deshidratado de *Pleurotus dryinus* (HS), se hicieron las formulaciones combinando la HMN con el pulverizado de *Pleurotus dryinus* (HS). Las formulaciones fueron en porcentaje en peso de la siguiente manera: 1.5 % HS- 98.5 % HMN, 2.5 % HS-97.5 % HMN, 3.5 % HS- 96.5 % HMN



Figura 9 Harinas de Maíz nixtamalizado (HMN) y harinas con el pulverizado de *Pleurotus dryinus* (HS).

6.4.1 Formación de tortilla a partir de las formulaciones descritas en el apartado 6.4

Las formulaciones de HS Y HMN se rehidrataron con agua hasta la formación de masa homogénea, de ésta se pesaron porciones de 27 gr, para posteriormente formar discos con una tortilladora de metal, fueron cocidos a 270 °C, 17 seg por el lado 1, se giraron y se cocieron 47 seg por el lado 2, se giraron nuevamente al lado 1 y se cocieron por 84 seg para lograr el inflado (Ortiz & Soto, 2012). Se dejaron enfriar y se almacenaron en bolsas de polipapel completamente cerradas hasta su análisis



Figura 10 Formación y cocción de las tortillas procedentes de las formulaciones de HMN y HS

6.5 Caracterización de masa, HMN y tortilla.

A continuación, se describe la metodología utilizada para la caracterización de la HMN, HS así como sus productos reconstituidos masa y tortilla.

6.5.1 Análisis de masa reconstituida de HMN y HS

- **Adhesión y cohesión**

Para medir la fuerza de adhesión y cohesión de las masas se utilizó la punta de *prueba TA-18* (esfera de acero inoxidable de 1.27 cm de diámetro) en un Texturometro TEXTURE ANALIZER TAX-XT2i (Figura 11), a una velocidad de prueba de 2 mm/s, y una distancia de penetración de 4 mm. Se colocó una muestra de masa de 25 g en un anillo de metal, de 1.2 cm de alto y 5.33 cm de

diámetro, la masa moldeada se colocó sobre una placa de aluminio y se realizó la medición. Se reportó la fuerza máxima registrada en gramos fuerza (gf).



Figura 11 Determinación con texturómetro de adhesión y cohesión en masa reconstituida de HMN y HS

- **Consistencia.**

La consistencia de las masas se determinó subjetivamente. Se tomaron 300 g de harina, se colocaron en un recipiente de acero inoxidable y se mezclaron con suficiente agua hasta que se logró "sentir" una consistencia de masa adecuada para formar las tortillas. Dependiendo de la consistencia de la masa se le asignó una calificación 1 a las masas que presenton buena consistencia, 2 a las de consistencia regular y 3 a las de mala consistencia.

6.5.2 Determinación de las características de calidad de HMN y HS

- **Índice de tamaño de partícula.**

El tamizado se realizó tomando muestras de 150 g de harina agitando durante 15 min en tamiz malla 60(0.25 mm), para realizar la separación de partículas. De cada malla se determinó el peso retenido de harina y con ello se calculó el porcentaje total de muestra, expresándose como el %DTP (porcentaje de tamaño de partícula).

$$\%DTP = \left(\frac{\text{gr retenidos}(n^{\circ} \text{ malla})}{\text{gr total de muestra}} \right) 100$$

Indice de absorción de agua y aceite (IAA)

Se pesó 1 g de muestra de HMN, la cual se suspendió en 3 ml de agua y 3 ml aceite respectivamente, posteriormente se agitó cada 5 min en vortex por 30 min, finalmente se llevó a centrifugación a 2500 rpm por 10 min, se decantó el sobrenadante y se pesó. La absorción de agua y aceite se determinó por diferencia de peso.

$$IAA = \text{peso final} - \text{peso muestra}$$

6.5.3 Evaluación de las características de calidad de las tortillas de HMN y HS.

- **Fuerza de corte.**

Para esta prueba se utilizó la punta de prueba *TA-90* del equipo TA – TX XT2i. Este accesorio es una cuchilla plana de 3 mm de espesor y 6.93 cm de ancho, que se conecta al brazo sensor del texturómetro, que al desplazarse hacia abajo pasa a través de la ranura de una placa de aluminio ocasionando que el material expuesto se corte. Esta prueba se realizó tomando las mitades de las tortillas, y sometiéndolas transversalmente a corte, a una velocidad de 2 mm/s y una profundidad de 15 mm. Se reportó la fuerza máxima al corte registrada en gf.

- **Grado de inflado.**

Para evaluar el grado de inflado se hicieron tres tortillas de cada formulación en las condiciones descritas anteriormente en el apartado **6.4**, y se observó el tamaño de la ampolla que presentó cada tortilla al momento de su elaboración; asignándole una calificación 1 a la tortilla con un inflado completo, 2 inflado intermedio, y 3 sin inflado.

- **Color.**

Para determinar el color en las tortillas formuladas se utilizó un colorímetro Mca. Hunter Lab MiniScan, procediendo de la siguiente forma: el colorímetro se calibró con una placa blanca de porcelana. Las muestras de tortilla fueron cortadas en trozo y colocadas en un contenedor de

cuarzo, para su medición en el equipo. Las lecturas se realizaron por duplicado con respecto a cuatro posiciones localizadas 90° una respecto a la otra. Se midieron los valores de L, a, y b. Con estos valores se obtuvo el valor de ΔE utilizando la fórmula:

$$E = (L)^2(a)^2(b)^{21/2}$$

Donde:

E= Diferencia total del color, entre el color de referencia y el de la muestra

L, a y b = Diferencias absolutas de los valores de L, a y b de la placa de referencia y de los valores correspondientes determinados en la muestra.

6.6 Análisis sensorial de las tortillas formuladas con HMN y HS

Para el análisis sensorial se estableció una escala hedónica, se llevó a cabo un panel de 25 jueces no entrenados; se les proporcionaron muestras de cada una de las formulaciones de la tortilla con HMN y HS (1.5 %, 2.5 % y 3.5 %), cada tortilla se elaboró con un diámetro de 7 cm de, las cuales fueron etiquetadas con códigos al azar y elaboradas en el momento de su análisis. A cada panelista se le entregó una ficha con una escala hedónica, la escala se diseñó de la siguiente manera: 1 - disgusta extremadamente-, 2 -disgusta mucho-, 3 -disgusta moderadamente-, 4 -disgusta levemente-, 5 -no gusta ni disgusta-, 6 -gusta levemente-, 7 -gusta moderadamente-, 8 - gusta mucho y 9 -gusta extremadamente-. Usando la escala hedónica se evaluaron los atributos de color, olor, sabor y textura (**figura 12**).

Ficha N°: ____

INSTRUCCIONES

Frente a usted tiene 4 muestras de tortilla mejorada. Observe y pruebe cada una de ellas, yendo de izquierda a derecha y enjuagándose la boca entre cada una. Indique el grado en que le gusta o disgusta cada atributo de cada muestra, de acuerdo al puntaje/categoría, escribiendo el número correspondiente en la línea del código de la muestra.

Puntaje	Categoría	Puntaje	Categoría
1	Disgusta extremadamente	6	Gusta levemente
2	Disgusta mucho	7	Gusta moderadamente
3	Disgusta moderadamente	8	Gusta mucho
4	Disgusta levemente	9	Gusta extremadamente
5	No gusta ni disgusta		

Figura 12. Hoja de evaluación sensorial de las formulaciones de HMN y HS

6.7 Análisis químico proximal del maíz, HMN, HS y formulaciones de tortilla

El análisis químico proximal se le realizó al maíz, a la harina de seta *Pleurotus dryinus* y las tortilla adicionadas de HMN-HS, llevándose a cabo las siguientes pruebas:

- Determinación de Cenizas. Norma NMX-F-607-NORMEX-2002
- Determinación de Humedad. Norma NMX-F-083-S-1986.
- Determinación de Proteína. Norma NMX-F-608-NORMEX-2002
- Determinación de Grasas. NMX-F-615-NORMEX-2004
- Determinación de Carbohidratos. Método Diferencial.
- Determinación de Fibra Cruda. Norma NMX-F-NORMEX-2003

6.8 Solubilidad de proteínas

A las tortillas HMN-HS se les realizó un análisis de proteínas solubles, por el método Paulis y Wall (Lara, Wong, & Moroyoqui, 2010) y la cuantificación de proteína por el método de Lowry (Lowry, 1951).

- **Método Paulis y Wall**

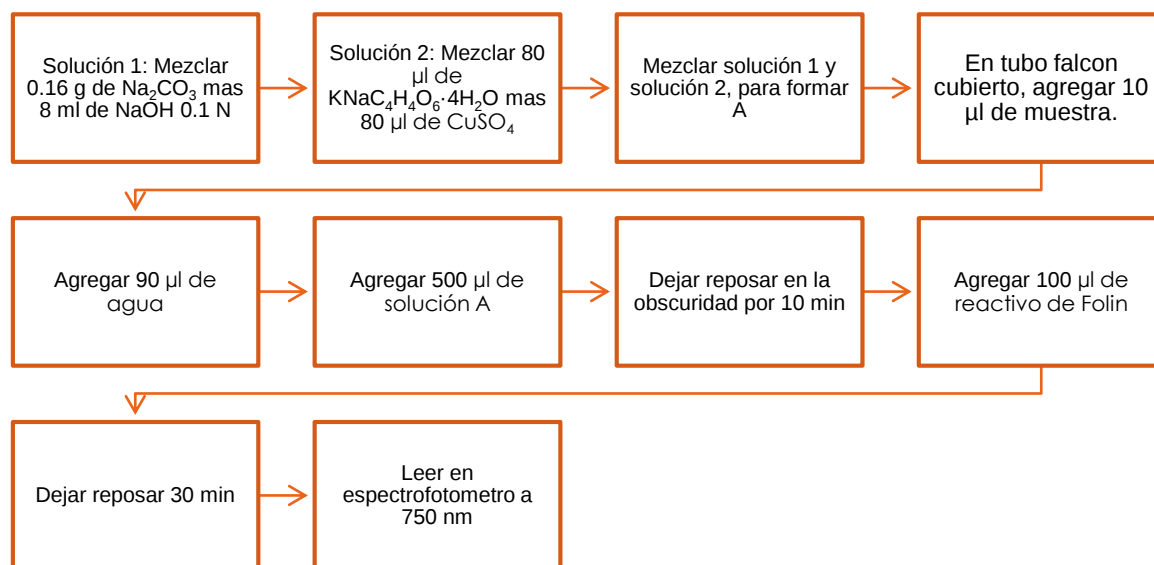
Se colocaron en un tubo falcon(50 ml) 1.5 g de muestra de las tortillas HS-HMN en base seca y 9 ml de NaCl 0.5 M, se agitó por 2 h con un agitador a 4 °C y se centrifugó durante 20 min a 2000 rpm . El sobrenadante se colectó y el precipitado se sometió al mismo tratamiento que la muestra original excepto que el tiempo de agitación fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción I (albúminas y globulinas) la cual se almacenó a 4 °C. Al precipitado obtenido de estas extracciones se le adicionó 9 ml de alcohol terbutílico al 60 %, se agitó por 2 h a temperatura ambiente y se centrifugó por 20 min. El sobrenadante obtenido en esta etapa se guardó en refrigeración. El precipitado fue tratado igual que el anterior, excepto que la agitación duró 1 h. Los sobrenadantes fueron la fracción II (prolaminas) y se almacenaron a 4 °C. El precipitado originado de la extracción anterior se le agregó 9 ml de alcohol terbutílico al 60 % y beta mercaptoetanol al 2 %, las condiciones de agitación y centrifugación fueron las mismas que se mencionaron anteriormente. Los sobrenadantes que se obtuvieron comprenden la fracción III (gluteninas reducidas). Las condiciones de almacenamiento fueron las mismas que las fracciones anteriores. Al precipitado se le adicionó 9 ml de buffer tris-dodecil sulfato de sodio al 2 % y beta mercaptoetanol al 5 % y se colocó en un baño de agua a 50 °C por 2 h. Después se centrifugó a 2000 rpm durante 20 min y el sobrenadante se guardó. El precipitado se trató igual a excepción del tiempo que duró en el baño de agua que fue de 1 h. Los sobrenadantes obtenidos fueron la fracción IV (glutenina) que se almacenó igual que las fracciones anteriores. Posteriormente se cuantificaron las fracciones con el método de Lowry.

- **Método de Lowry para cuantificación de proteína**

El método de Lowry es un método colorimétrico de evaluación cuantitativa de las proteínas. A la muestra se le añadió un Sulfato de cobre CuSO₄ que forma un complejo coloreado azul con las proteínas, siendo la intensidad de la coloración proporcional a la concentración de proteínas, según la ley de Lambert Beer. (Farmacia, 2016)

Los reactivos y el procedimiento usados fueron los siguientes:

- Solución de Sulfato de cobre CuSO_4 1 %
- Carbonato de sodio Na_2CO_3
- Solución de Tartrato de sodio y potasio $\text{KNaC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ 2 %
- Solución de Hidroxido de sodio NaOH 0.1 N
- Reactivo de Folin-Ciocalteau 1:1
- Solución de albúmina 1:1



6.9 Diseño del ensayo biológico para determinar la funcionalidad de las formulaciones de tortilla de HMN – HS

Para el ensayo biológico se trabajó con 12 ratas wistar hembras de 3 semanas de edad (**Figura 13**), seta deshidratada (*Pleurotus dryinus*) y maíz variedad Sinaloa. Las ratas fueron divididas en tres grupos para su análisis, se les monitoreó por un mes con las siguientes dietas: 30 g tortilla maíz – 7 gramos croqueta, 30 g tortilla 3.5 % adicionada – 7 gramos croqueta, 25 g croquetas Rodent Lab Chow 5001®, en la tabla 5 se muestra la composición de las croquetas. Se midió el consumo de alimento diariamente y el peso de las ratas semanalmente, así como el consumo de agua. Al finalizar la semana 4 se tomaron muestras sanguíneas de los tres grupos de ratas para realizar el

análisis bioquímico, por química seca, midiéndose: Glucosa, colesterol total, triglicéridos, creatinina, albúmina, HDL, LVLDL, lípidos totales y nitrógeno ureico. Se recolectaron las heces de las ratas a las cuales se les analizó el contenido de Nitrógeno proteico por el método de Kjeldahl.



Figura 13 Ratas Wistar utilizadas en el ensayo biológico

En la tabla 5 se muestra la composición de las Croquetas Rodent Lab Chow® utilizadas para alimento de las ratas de estudio.

Tabla 5 Composición de las Croquetas Rodent Lab Chow® utilizadas como alimento para las ratas de estudio

HUMEDAD	12 %
PROTEINA	23 %
GRASA	4.5 %
FIBRA	6 %
CENIZAS	8 %

(Purina, 2015)

VII.RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1 Caracterización del maíz como materia prima

La calidad de un producto terminado depende de las características de calidad de la materia prima con que sea elaborado, el maíz para la fabricación de tortillas juega un papel fundamental en este sentido, es importante que el grano sea de calidad nixtamalera y reúna las características necesarias para elaborar tortillas.

7.1.1 Dureza del grano de maíz Sinaloa

En la **Tabla 6** se presenta la resistencia a la penetración ejercida por los granos de maíz Sinaloa utilizados en el presente estudio. La prueba indica que se requieren de 4.76 N de fuerza y 0.284 mm de penetración para llegar a la fractura del grano de maíz. Este resultado sugiere que el maíz Sinaloa es un grano cuya dureza es un grano suave haciéndolo apto para su procesamiento por nixtamalización y posterior elaboración de tortilla. Dichos resultados además coinciden con lo reportado por Jimenes et al en 2012, quienes indican que el maíz criollo presenta una fuerza de fractura de 14.75 N. La dureza del grano está relacionada con la capacidad de absorción de agua, en los granos con endospermo duro, los gránulos de almidón (Juarez J. , Villa, Lázaro, & Trapala, 2012) de tal manera que a partir de su determinación, los maíces pueden clasificarse para un uso determinado. Siendo mejor un grano suave para la elaboración de tortillas ya que da un mayor rendimiento.

Tabla 6 Determinación de dureza en el grano de maíz Sinaloa

Determinación	Resultado
Fuerza de penetración	4.76 N
Distancia de penetración	0.284 mm

7.1.2 Determinación del peso hectolítrico en el maíz Sinaloa

En la **tabla 7** se muestra el peso hectolítrico que presentaron los granos de maíz Sinaloa. La prueba indica que el peso hectolítrico de los granos es de 91.32 gr/hectolitro. El resultado sugiere que los granos de maíz Sinaloa son aptos para la elaboración de tortilla ya que la norma NMX-FF-034/1-SCFI-2002 marca que el peso hectolítrico mínimo para tal efecto es de 74 gr/hl. (SAGARPA, 2002), A mayor porcentaje de peso hectolítrico, menor dureza de grano, y viceversa (Moreno & Modesto, 2010)

Tabla 7 Peso hectolítrico del grano de maíz Sinaloa

Peso Hectolítrico	= 91.32 gr/hectolitro
-------------------	--

7.1.3 Determinación del tamaño del grano de maíz Sinaloa

Los resultados obtenidos en la determinación del tamaño promedio de los granos de maíz Sinaloa se muestran en la tabla 8, las medidas de los granos de maíz fueron: 12.89 mm de largo, por 9.08 mm de ancho y 4.2 mm de espesor; estos valores indican que los granos de maíz Sinaloa son de un tamaño grande en el 2009 Jiménez reportó granos con largos entre 9.26 mm y 11.02 mm de largo que son los que más se usan para la formación de tortilla (Juarez J. , Villa, Lazaro, & Trapala, 2012)

Tabla 8 Tamaño del grano

Medida	Centímetros
Largo	12.89
Ancho	9.08
Espesor	4.2

7.2 Caracterización de la masa de maíz deshidratada y la seta nixtamalizada

Tener las características adecuadas de masa tales como la consistencia y adhesión son importantes para poder formar un producto (tortilla) de buena calidad.

7.2.1 Consistencia y adhesión

De acuerdo a lo reportado por Juárez en 2012 la masa de maíz nixtamalizado se requiere de cierta fuerza de adhesión para que el material pueda ser troquelada, y así poder formar la tortilla; una masa chiclosa y adhesiva carece de la consistencia adecuada para la formar tortillas. En la **Tabla 9** se muestran los resultados de las pruebas de adhesividad y consistencia de la masa de HMN y MNN-HS. La prueba de consistencia de masa se realizó de manera subjetiva, obteniendo que todas las masas tiene una consistencia buena para la formación de tortilla. Los resultados de adhesión de masas muestran que para HMN-HS 1.5 % 27.1 gf, HMN-HS 2.5 % 26.62 gf, HMN-HS 3.5 % 25.05 gf y HMN 28.49 gf, siendo estos valores adecuados para la elaboración de tortilla (Juarez J. , Villa, Lázaro, & Trapala, 2012)

Tabla 9 Consistencia y adhesión de las masas de HMN y HS

DETERMINACIÓN/ CONC.	HMN-HS 1.5 %	HMN-HS 2.5 %	HMN-HS 3.5 %	HMN Patrón
Consistencia	Buena	Buena	Buena	Buena
Adhesión (gf)	27.12	26.62	25.05	28.49

7.3 CALIDAD DE LA HARINAS DE MAIZ NIXTAMALIZADO Y ADICIONADAS CON *Pleurotus dryinus*.

La Norma Oficial Mexicana NOM 247 SSA1 2008 define a la harina de maíz nixtamalizado como el producto deshidratado que se obtiene de la molienda de los granos del maíz nixtamalizado.

7.3.1 Índice de absorción de agua y aceite

En la **Tabla 10** se muestra el índice de absorción de agua y aceite para la HMN y HS. El índice de absorción de agua (IAA) es un indicador de rendimiento de masa fresca; la prueba nos mostró que por cada gramo de HS de harina se absorben 6.6 gr de agua y 3.3 gr de agua por cada gramo de HMN. Ambos índices son parámetros del rendimiento de las harinas para preparar masa fresca. El índice puede variar de 4.20 g a 4.40, los responsables de la absorción del agua son los granulos de almidón; estos índices son indicadores de suavidad y dureza de la tortilla. (A & Ch., 2016)

Tabla 10 Índice de absorción de agua y aceite

Harina	Índice de absorción de agua	Índice de absorción de aceite
Seta	6.60 g (S 0.36)	4.2 g (S 0.72)
Maíz	3.33 g (S 0.16)	3.66 g (S 0.10)

7.4 Caracterización de las Tortillas de maíz y tortillas formuladas con maíz y seta (corte, grado de inflado y color de la tortilla)

El análisis de las características de la tortilla permiten describir su calidad y funcionalidad, para así poder determinar si el producto es óptimo para el consumo humano.

En la **tabla 11** se muestran los resultados de resistencia al corte, grado de inflado y color de las tortillas de HMS-HS y HMN- Los resultados dados por el texturómetro para la resistencia al corte de las tortillas de las diferentes formulaciones arrojaron que HMS-HS 1.5 % tiene una resistencia al corte de 1308.25 gf, MHN-HS 2.5 % de 853.99 gf, HMN-HS 3.5 % de 945.67 gf. La resistencia al corte en una tortilla evalúa el grado de dureza del producto, entre mas suave sea, la calidad es mayor. Antuna reportó en el 2008 valores entre 891 gf y 1523 gf (Grijalva, y otros, 2008), lo cual indica que la tortilla esta dentro de los parámetros aun que es un poco dura. En cuanto al grado de inflado todas las tortillas presentaron un grados de inflado intermedio, lo cual indica que la ampolla formada fue muy pequeña por que la tortilla es un tanto dura. El color de las tortillas osciló entre los 71 °H – 81 °H que en el círculo cromático es un color amarillo, cual varía con lo reportado por Vázquez y col con 93.7 °H y 89.4 °H para tortilla de HMN, el cambio de color se debe a la presencia de la seta en las formulaciones. (Carrillo, Uribe, Montes, Merino, & Guerrero, 2001)

Tabla 11 Corte, grado de inflado y color de la tortilla

DETERMINACIÓN/ CONC.	HMS-HS 1.5 %	HMS-HS 2.5 %	HMS-HS 3.5 %	HMN Patrón
Corte (gf)	1308.25	853.99	945.67	1756.68
Grado de inflado	2	2	2	2
Color	C=244.61	C= 522.57	C=231.26	C=230.77

°H= 71.88

°H= 77.66

°H= 77.74

°H= 81.42

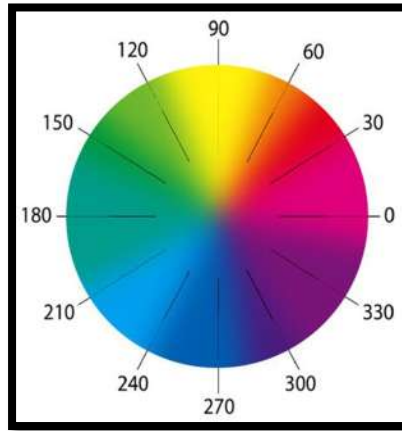
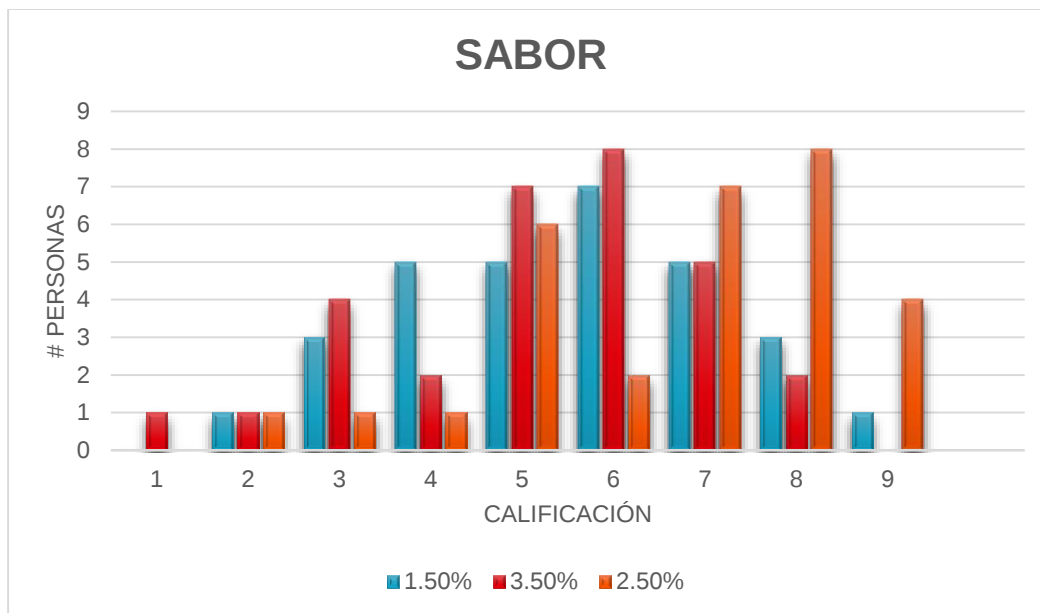


Ilustración 1 Circulo cromático de Hue

7.5 Análisis sensorial

El análisis sensorial es una de las partes fundamentales cuando se crea un nuevo producto, ya que si bien es importante que em producto se funcional y cura necesidades, también es muy importante que sea evaluado por un panel para ver la aceptación de éste.

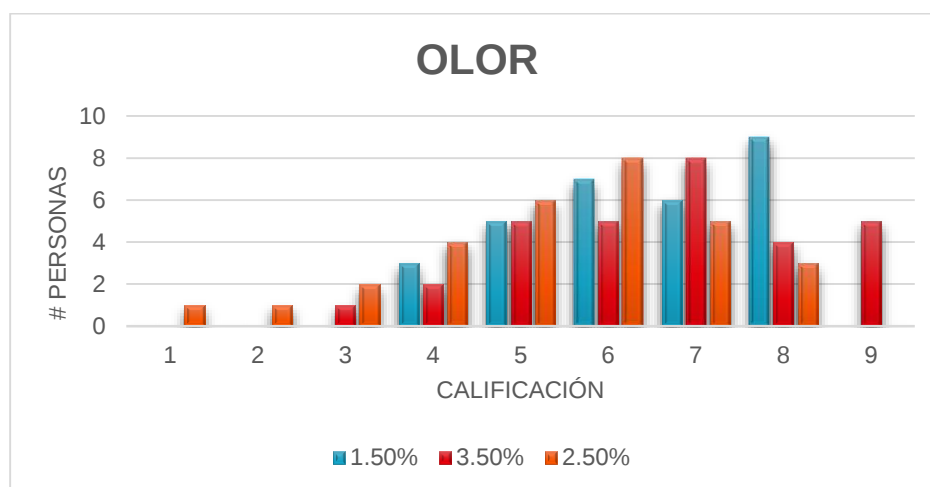
7.5.1 Sabor



Gráfica 1 Aceptación del sabor de las Formulaciones

La formulación HMN-HS 2.5% tiene mayor aceptación ante el panel, obteniendo una puntuación de 8 (gusta mucho) para 8 personas, y 9 (gusta extremadamente) para 4 personas,

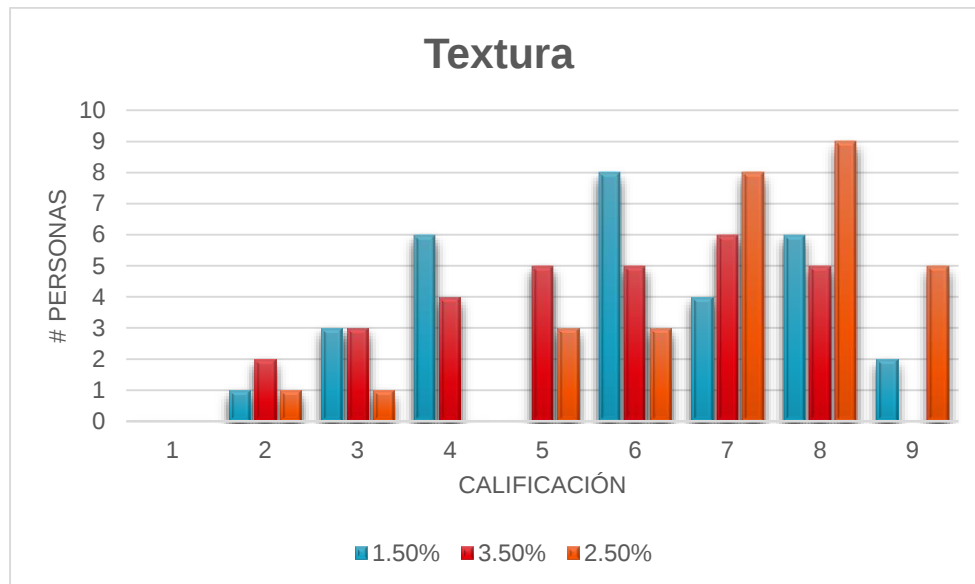
7.5.2 Olor



Gráfica 2 Aceptación del olor de las Formulaciones

La formulación 1.5% tiene mayor aceptación en olor, con una puntuación de 8 (gusta mucho) para 9 personas, seguido de la formulación 3.5% con 5 personas y puntuación de 9 (gusta extremadamente).

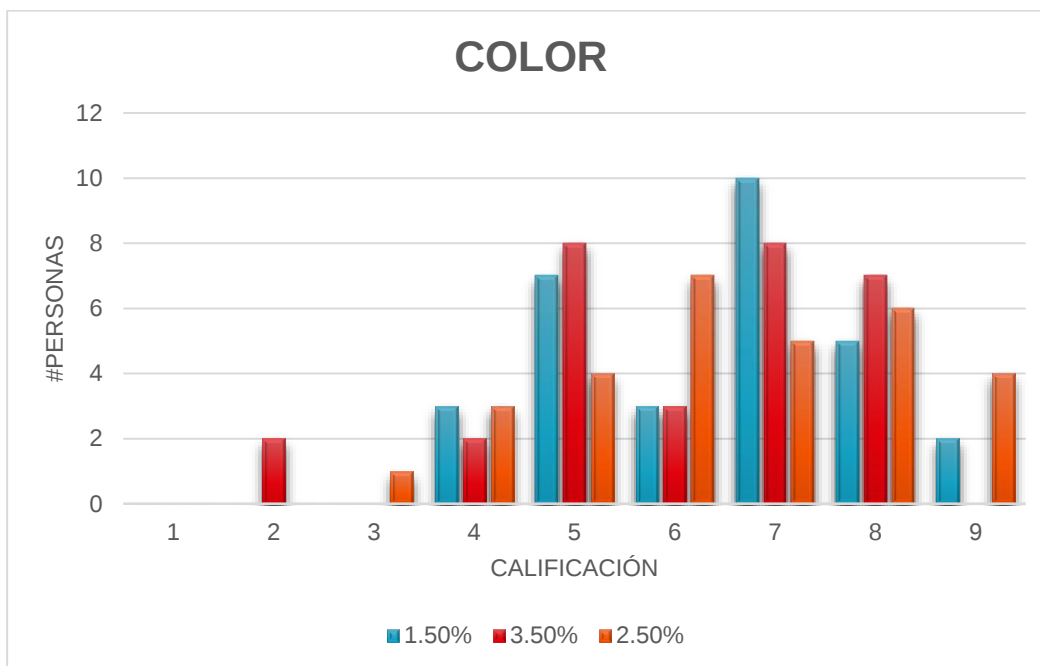
7.5.3 Textura



Gráfica 3 Aceptación de la textura de las formulaciones

La formulación 2.5% tiene mayor aceptación en la textura, obteniendo puntuación de 9 (gusta extremadamente) para 5 personas, y 8 puntos (gusta mucho) para 9 personas.

7.5.4 Color



Gráfica 4 ceptación del color de las formulaciones

La formulación 1.5% obtuvo una puntuación de 7 (gusta moderadamente) para 10 personas, mientras que la formulación 2.5% obtuvo puntuaciones de 8 (gusta mucho) para 6 personas, y 9 puntos para 4 personas.

La formmulacín HMN-HS que obtuvo mayor aceptación por los panelistas fue la HMN-HS 2.5 %, al ser calificada como “gusta mucho” en olor, sabor y textura. Esta prueba nos da la pauta para hacer mejoras en las características físicas de las formulaciones para que tengan mejor aceptación en el público.

7.6 Análisis químico proximal

7.6.1 Análisis químico proximal de *Pleurotus dryinus* y maíz Sinaloa

En la **tabla 12** se muestran los resultados del análisis químico proximal del la seta *Pleurotus dryinus* y el Maíz Sinaloa. Se puede observar una diferencia entre el porcentaje de contenido del proteína entre el maíz y la seta, siendo que la seta contiene 10.72 g % y el maíz 9.10 g % de proteína por cada 100 gr de muestra en base seca; tambien hay diferencia en el contenido de fibra

de la seta y el maíz 9.32g % y 13.54 g % respectivamente; la seta tiene un menor contenido de grasa 1.94 g % con referencia al maíz 4.49 g%. Los resultados concuerdan con reportes que indican que el maíz tiene 9.9 g % de proteína, y 4.4 g % de grasa (Martínez-Manrique & Vera, 2013). En cuanto a la seta, Salas y col, reportaron hasta 24 g % de proteína presente en especies de *Pleurotus* y hasta 2.46 g % de contenido de grasa (Norma Salas De La T. & M., 2004)

Como se observa, la seta *Pleurotus dryinus* tiene aproximadamente 1% mas contenido proteico que el maíz Sinaloa, destacando que la proteína presente en la seta es de mayor calidad.

Tabla 12 Análisis químico proximal de la Seta *P.dryinus* y el Maíz Sinaloa

DETERMINACIÓN/ MUESTRA	<i>Pleurotus dryinus</i> (seta)	Maíz sinaloa
Humedad g%	8.80	9.20
Materia seca g%	91.20	90.80
Extracto etereo (grasa) g%	1.94	4.49
Fibra cruda g%	9.32	13.54
Proteína cruda g%	10.72	9.10
Cenizas (minerales) g%	8.31	1.34
E.L.N. (Carbohidratos) g%	69.71	71.54

7.6.2 Análisis químico proximal de las diferentes formulaciones de tortilla

El análisis químico proximal de las diferentes formulaciones de tortilla HMN-HS y HMN se presentan en la **tabla 13**. El contenido proteico en las formulaciones de tortilla HMN – HS son mayores comparado con la tortilla de HMN, siendo los contenidos de proteína 100 g de muestra en base seca HMN-HS 1.5% de 10.02 g%, HMN-HS 2.5% 9.19 g%, HMN – HS 3.5% 8.71 g% y HMN 8.71 g%. Corroborando el contenido de proteína en HMN reportado por la Procuraduría Federal de Consumidor en 2015 de hasta 7.14 g % (Amador, 2015). Las formulaciones de tortilla HMN-HS presentan mayor humedad debido al índice de absorción de agua que presenta la seta.

Tabla 13 Análisis químico proximal de las Formulaciones de tortilla HMN-HS y MHN

DETERMINACIÓN/ MUESTRA	HMN-HS 1.5 %	HMN-HS 2.5%	HMN-HS 3.5%	HMN patrón
Humedad g%	41.20	37.80	42.80	39.60
Materia seca g%	58.80	62.20	57.20	60.40
Extracto etereo (grasa) g%	1.25	0.50	0.93	0.93
Fibra cruda g%	11.21	10.66	9.08	10.59
Proteína cruda g%	10.02	9.19	9.63	8.71
Cenizas (minerales) g%	2.08	8.31	2.67	2.51
E.L.N. (Carbohidratos) g%	75.55	78.06	77.69	77.26

7.7 Conteniendo proteico en las diferentes formulaciones de tortilla HMN y HMN-HS

Las fracciones proteicas fueron extraídas por solubilidad, un método aplicado por Paulis y Wall (Lara, Wong, & Moroyoqui, 2010), obteniéndose unicamente la Fracción I que corresponde a albúminas y globulinas, y Fracción II que corresponde a las prolaminas.

Fracción I

En la **tabla 14** se muestra el contenido de la Fracción proteica I presente en las diferentes formulaciones de HMN-HS, Se observa que las albuminas y globulinas presentes en la fracción I, se encuentran en mayor cantidad en la tortilla HMN-HS con 2.5 %, conteniendo 1.7 mg/ ml de dicha fracción.

Tabla 14 Fracción I albúminas y globulinas presentes en las Formulaciones

FORMULACIÓN	Contenido proteico mg/ml
1.5%	1.6
2.5%	1.7
3.5%	1.27

Fracción II

En la **tabla 15** se muestra el contenido de la fracción proteica II que corresponde a las prolaminas, presente en las diferentes formulaciones de HMN-HS, se observa que la formulación HMN-HS 3.5% contiene 1.24 mg/ml de dicha fracción.

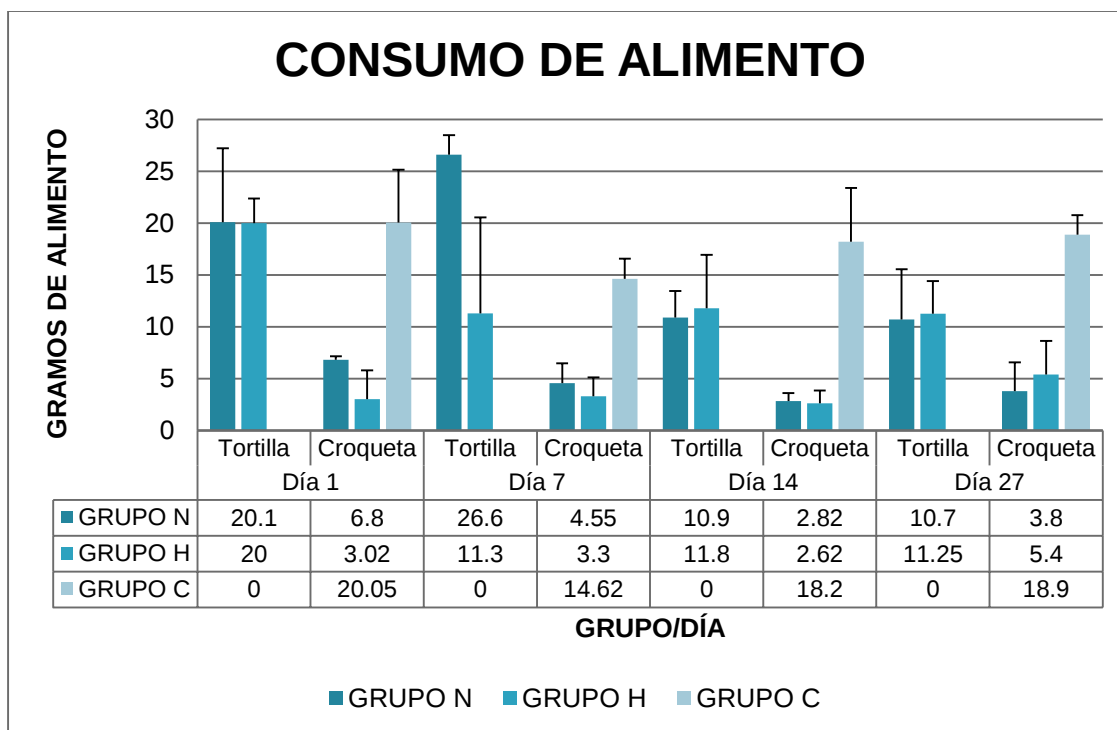
Tabla 15 Fracción II Prolaminas presentes en las Formulaciones

FORMULACIÓN	Contenido proteico mg/ml
1.5%	1.22
2.5%	1.23
3.5%	1.24

7.8 Funcionalidad de las formulaciones de tortilla de HMN-HS. Ensayo biológico.

7.8.1 Monitoreo del consumo de alimento de as ratas durante el ensayo biológico

En la gráfica 5 se muestra el consumo promedio de alimento de los diferentes grupos de ratas. Las ratas fueron divididas en tres grupos para su análisis, se les monitoreó durante un mes con las siguientes dietas: 30 g tortilla maíz HMN – 7 gramos croqueta (grupo N), 30 g tortilla HMN- HS 3.5 % – 7 gramos croqueta (grupo H), 25 g croquetas (grupo C). En los resultados obtenidos puede apreciarse que existe diferencia numérica entre los distintos grupos, en promedio el grupo N consumió aproximadamente 5% más alimento en comparación con en grupo H, ésta diferencia de consumo hace referencia al sabor y textura de las tortillas HMN-HS, que como ya se mostró en en análisis sensorial, tienen buena aceptación pero no excelente.

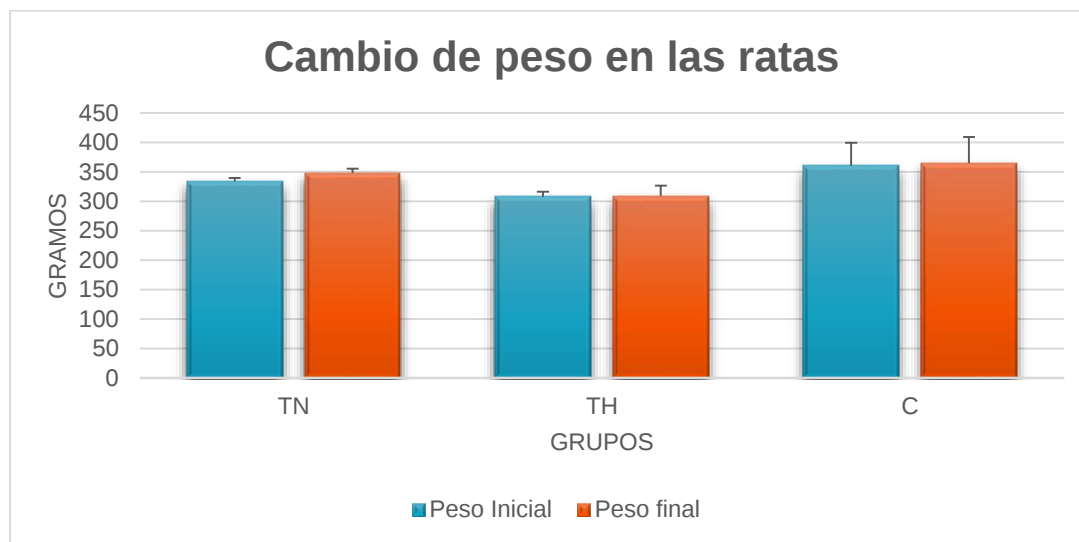


Gráfica 5 Consumo de alimento

7.8.2 Determinación de peso de Ratas experimentales durante el periodo de consumo de tortilla HMN y HMN-HS.

El grupo alimentado con Tortilla Normal (HMN), incrementó su peso un 4% ; el grupo alimentado con Tortilla HMN-HS disminuyó el peso un 2.4%, en tanto que el grupo Control (C) alimentado con croqueta aumentó su peso un 3.3%. El grupo alimentado con TN aumento de peso debido a la grasa contenida en la tortilla. Se observó (aun que no se midió) también que el grupo alimentado con TH se mostraban mas activas. La relación de la eficiencia proteica mide la relación que existe entre la ganancia en peso con respecto a la cantidad de proteína consumida, por tanto, una proteína presentará mejor eficiencia proteínica cuando el sujeto gane peso con la proteína ingerida. (Paredes López, 2009)

Gráfica 6 Cambio de peso en Ratas



7.8.3 Excreción de nitrógeno en heces

Tabla 16 Excreción de Nitrógeno en heces

DIETA	SUJETO	%N
HMN	N1	41.5
	N2	45.4
HMN-HS	H1	38.6
	H2	40.1
Control	C1	34.6
	C2	34.9

El nitrógeno excretado en las heces, es en nitrógeno que se desecha del alimento consumido, es decir, aquel que no es aprovechado. En los resultados mostrados sobre la excreción de nitrógeno en heces fecales **tabla 16**, se observa que el grupo que fue alimentado con tortilla HMN, excretó

41.5 y 45.4 % del nitrógeno, y el grupo alimentado con tortilla mejorada HMN-HS, excretó 38.6 y 40.1 % de nitrógeno; una menor excreción de nitrógeno, nos indica mejor biodisponibilidad de las proteínas presentes en el alimento suministrado a los distintos grupos de las ratas experimentales.

7.8.4 Bioquímicas

	Glucosa mg/dL	Colesterol mg/dL	Trigliceridos mg/dL	Creatinina mg/dL	Albumina g/dL	HDL mg/dL	VLDL mg/dL	Lipidos totales	BUN mg/dL
Control	106.5	119.5	92.25	0.66	3.4	38	18.45	380.95	25
Tortilla Normal	91.5	101	98.25	0.66	3.53	30.5	19.725	358.6	17.75
Tortilla Seta	91	97.75	116.5	0.70	4.1	30.5	23.3	385.65	18.75
Valores normales	54.7 – 189.7	58.5 – 101.6	62.4 – 123.7	0.48 – 0.68	3.18 – 5.22	26	13.2	271.8	17 - 29

Las ratas presentan valores normales, no presentan desnutrición. El grupo alimentado con tortilla adicionada presenta un ligero aumento en el nitrógeno en sangre y un aumento en la creatinina lo cual indica un aumento en la masa muscular, dada por la proteína presente en la tortilla. No hay indicadores de daños renales, obesidad ni diabetes. Lo cual se corrobora con el peso de las ratas. (León, y otros, 2011)

VIII. CONCLUSIONES

- La tortilla con 2.5% de seta muestra mejores características, tiene mayor aceptación en el análisis sensorial, por tanto es la que es más apta para consumo.
- Con respecto al contenido proteico en las formulaciones de tortilla adicionadas con *Pleurotus dryinus* el incremento en la concentración es directamente proporcional al contenido de seta adicionada. Lo anterior indica una mejora en la composición nutricional de la tortilla.
- Las ratas alimentadas con la tortilla adicionada, mostraron mejor absorción (excretaron menos nitrógeno) en la proteína de ésta, a diferencia de las tortillas comunes, por tanto la proteína presente en la tortilla adicionada tiene mayor biodisponibilidad.

IX. BIBLIOGRAFÍA

- A, G. J., & Ch., V. (2016). Masa y harina de maíz nixtamalizado. *Universidad Autónoma Metropolitana, Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 1(2), 78 - 82. Obtenido de Departamento de biotecnología:
<http://www.fcb.uanl.mx/IDCyTA/files/volume1/2/1/15.pdf>
- Acosta, R. (11 de Abril de 2016). *Redalyc*. Obtenido de
<http://www.redalyc.org/pdf/1932/193215047017.pdf>
- Agricultura, D. d. (2013). *FAO*. (D. d. agricultura, Ed.) Obtenido de
<http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s07.htm>
- Agricultura, D. d. (27 de Febrero de 2017). *El maíz en la nutrición Humana*. Obtenido de Depositos de documentos de la FAO: <http://www.fao.org/docrep/T0395S/T0395S04.htm>
- Agropecuarios, A. d. (23 de Agosto de 2018). *Agencia de Servicios a la Comercialización y Desarrollo de Mercados Agropecuarios*. Recuperado el 2019, de Gobierno de México:
<https://www.gob.mx/aserca/es/articulos/maiz-grano-cultivo-representativo-de-mexico?idiom=es>
- Agropecuarios, A. d. (Octubre de 2018). *Centro de información de mercados agroalimentarios*. Recuperado el 2019, de SAGARPA:
https://www.cima.aserca.gob.mx/work/models/cima/pdf/cadena/2018/Reporte_mercado_maiz_021018.pdf
- Aires, D., Capdevilla, N., & Segundo, M. J. (2005). Ácidos grasos esenciales, su influencia en las diferentes etapas de la vida. *Ámbito farmacéutico, divulgación sanitaria.*, 24(4), 97. Obtenido de <http://m.elsevier.es/en-revista-offarm-4-articulo-cidos-grasos-esenciales-13073447?idioma=en&p=revista&pRevista=item&r=offarm-4&piitem=cidos-grasos-esenciales-13073447>
- Alimentos. (20 de Octubre de 2016). *México produce*. Obtenido de La tortilla: una tradición muy nutritiva : <http://www.mexicoproduce.mx/2016/10/la-tortilla-una-tradicion-muy-nutritiva.html>
- Alimentos. (6 de Marzo de 2017). *Los alimentos*. Obtenido de <http://alimentos.org.es/maizena>
- Amador, L. (14 de 04 de 2015). *PREOFECO*. Obtenido de
http://www.profeco.gob.mx/revista/publicaciones/adelantos_05/tortillas_dic05.pdf
- Azcona, Á. C. (24 de Julio de 2013). *Universidad Complutense de Madrid*. Recuperado el 2017, de Facultad de Farmacia, departamento de nutrición.: <https://www.ucm.es/data/cont/docs/458-2013-07-24-cap-5-proteinas.pdf>
- Bernal-Uruchurtu, M. (18 de Abril de 2016). *Academia de ciencias de Morelos*. Recuperado el 2017, de www.acmor.org.mx/descargas/16_abr_18_quimica.pdf
- Boa, E. (2005). *Los hongos silvestres comestibles*. (O. I. Alimentación, Ed.) doi:1020 9719
- Boa, E. (2005). *Organización de las Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/3/a-y5489s.pdf>
- Bonavia, D. (2008). *Maize: Origin, domestication and its role on the development of culture*. New York: Cambridge University Press.
- Bonifaz, A. (2010). *Micología Médica Básica*. Ciudad de México: Mc Graw Hill.

- Bresalli, R., & Godínez, A. J. (2010). Caracterización química y nutricional de nuevas variedades de maíces de alto valor proteico. *Universidad del Valle de Guatemala*.
- Canul, L. G. (2012). Tortilla de Mmaíz fortificada con aminoácidos para la alimentación de niños desnutridos en Yucatán, México. *Nutrición clínica y dietética hospitalaria*, 32, 36 - 42. Obtenido de <http://revista.nutricion.org/PDF/TORTILLA.pdf>
- Cardoza, C. G. (2006). El maíz: el origen, composición química y morfología. *Materiales avanzados* (7), 19.
- Carrera, D. M., Morales, P., Sobal, M., Bonilla, M., & Martínez, W. (2007). México ante la globalización en el siglo XXI: el sistema de producción consumo de los hongos comestibles. En J. Sánchez, D. M. Carrera, G. Mata, & H. L. Lara (Edits.), *El cultivo de setas Pleurotus spp en México* (pág. 331). Puebla, México: ECOSUR-CONACYT.
- Carrillo, M. G., Uribe, G. Á., Montes, A. H., Merino, J. C., & Guerrero, O. A. (Febrero de 2001). Evaluación sensorial de tortillas de maíz recién elaboradas y empacadas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 2(1), 161 - 167. doi:2007-0934
- CONABIO. (Enero de 2009). *Proyecto global de maíces nativos*. Obtenido de Biodiversidad Mexicana: http://www.biodiversidad.gob.mx/genes/pdf/proyecto/Anexo8_ResultadosProyectos/FX004/EL_ORIGEN_Y_DIVERSIFICACION_DE_MAIZ_ene09.pdf
- conabio. (04 de 04 de 2016). *CONABIO*. Obtenido de <http://www.conabio.gob.mx/malezasdemexico/poaceae/zea-mays-mexicana/fichas/ficha.htm#1.%20Nombres>
- Departamento de Agricultura, F. (2016). *Organización de las Naciones Unidad para la Alimentación y la Agricultura*. Obtenido de <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s03.htm>
- Dupont J, W. P. (1990). Food uses and health effects of corn oil. *Journal of the American College of Nutrition*. doi:2258533
- Escobedo, R. (s.f.). *Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación*. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/Producci%C3%B3n%20de%20Hongo%20Seta.pdf>
- Espinosa, F. J., & Sarukhán, J. (1997). *Manual de Malezas del Valle de México. Claves, descripciones e ilustraciones*. Ciudad de México: Fondo de Cultura Económica.
- Estrada, A. C., & Bautista, L. R. (14 de Enero de 2016). Valor económico, nutricional y medicinal de los hongos comestibles. *Revista Chilena de Nutrición*, 43(1), 75 - 80. Obtenido de <http://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v43n1/art11.pdf>
- FAO. (11 de abril de 2016). *Deposito de documento de la FAO*. Obtenido de FAO: <http://www.fao.org/docrep/t0395s/t0395s02.htm>
- Farmacia. (2016). *Valoración de proteínas por el método de Lowry*. Recuperado el 2016, de Universidad de Alcalá, España: <http://www3.uah.es/bioquimica/Sancho/farmacia/practicas/Lowry.pdf>
- Fregoso, J. (1 de abril de 2013). *Revista Forbes México*. Obtenido de <http://www.forbes.com.mx/cuanto-pagarias-por-una-tortilla/>

- Godínez, M. G. (2000). *Universidad de Colima*. Obtenido de Directorio digital de tesis de posgrado: http://digeset.ucol.mx/tesis_posgrado/Pdf/Ma.%20Guadalupe%20Acero%20Godínez.pdf
- Gómez MH, W. R. (s.f.).
- Gómez MH, W. R. (s.f.).
- González, J. U. (2015). *Fichas Micológicas*. Obtenido de <http://www.fichasmicologicas.com/?micos=1&alf=P&art=979>
- Grijalva, O. A., Herrera, S. A., Villa, G. A., Gil, A. P., Arias, E. G., Banda, A. E., . . . Enriquez, E. A. (Septiembre de 2008). Calidad Nixtamalera y Tortillera en maíces criollos de México. *Revista de Fitotecnia Mexicana*, 31(3), 23 - 27. doi:0187-7380
- Hernández, J. A. (2009). El origen y la diversidad del maíz en el continente Americano. *GREENPEACE*.
- Huerta, E. C., & Guzmán, Í. V. (Setiembre de 2007). Tortillas de maíz: una tradición muy nutritiva. *La ciencia y el hombre*, XX(3). Recuperado el 2019, de Universidad Veracruzana: <https://www.uv.mx/cienciahombre/revistae/vol20num3/articulos/tradicion/index.html>
- Juarez, J., Villa, A., Lázaro, D. I., & Trapala, A. (Agosto de 2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y Ciencia*, 28(2), 145 - 152. doi:0186-2979
- Juarez, J., Villa, A., Lázaro, D. I., & Trapala, A. (2012). CARACTERISTICA DEL GRANO, MASA Y TORTILLA PRODUCIDA CON DIFERENTES GENOTÍPOS DE MAÍZ DEL TROPICO MEXICANO. *Universidad y Ciencia*, 148-151.
- Lara, F. V., Wong, B. R., & Moroyoqui, F. J. (Septiembre de 2010). Cambios de la solubilidad de las proteínas del maíz durante el proceso de elaboración de la tortilla a diferentes tiempos de cocimiento. *Biotecnia*, 40-48. Obtenido de [http://www.biotecnia.uson.mx/revistas/articulos/7-art%205\[5\].pdf](http://www.biotecnia.uson.mx/revistas/articulos/7-art%205[5].pdf)
- León, A., Blanco, D., Peña, A., Ronda, M., Gonzalez, B., Arteaga, M. E., . . . Mancebo, A. (2011). Valores hematológicos y bioquímicos de las ratas Sprague Dawley producidas en CENPALAB, CENP: SPRD. *Revista Electrónica de Veterinaria*, 12(11), 1 - 10. doi:1695-7504
- Lopez, A. P., Lara, F. G., & Perez, A. B. (Marzo de 2009). La Nixtamalización. *Revistas UNAM*, 63-64. Obtenido de <http://www.ejournal.unam.mx/cns/no92/CNS092000009.pdf>
- López, O. P., Lara, F. G., & Pérez, L. A. (2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencias* 92, 60 - 70.
- Lowry. (1951). *Universidad de Alcalá*. Obtenido de <http://www3.uah.es>
- Luna, J. (30 de Mayo de 2016). Bajó 40% el consumo de tortilla en los últimos 30 años. *El sol de México*(18265), pág. 8 A. Obtenido de <http://hemeroteca.oem.com.mx/elsoldemexico/20160530/index.html>
- M. H. Gómez, R. D. (1990). Effects of nixtamalization and grinding conditions on the starch in masa. *STARCH*, 42(12), 475–482. doi:10.1002/star.19900421207
- Maíz, P. m. (11 de abril de 2016). *Producción mundial de Maíz*. Obtenido de Proyección octubre 2016: <https://www.produccionmundialmaiz.com/default.asp>
- Martínez, N. (29 de septiembre de 2010). *Expansión en alianza con CNN*. Obtenido de <http://expansion.mx/salud/2010/09/29/el-maiz-pilar-de-la-alimentacion-mundial>

- Martínez-Manrique, E., & Vera, V. J. (5 de Mayo de 2013). *Procesos Tecnológicos de Cereales*. (U. A. México, Editor) Recuperado el 27 de Junio de 2017, de Laboratorio de Bioquímica y Fisiología de Granos:
http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/semillas/index.php?option=com_content&view=article&id=16&Itemid=20
- Mayett-Moreno, Y. (2010). El consumo de hongos comestibles y su relevancia en la seguridad alimentaria de México. En *Hacia un Desarrollo Sostenible del Sistema de Producción-Consumo de los Hongos Comestibles y Medicinales en Latinoamérica: Avances y Perspectivas en el Siglo XXI* (2010 ed., págs. 291 - 329). Puebla, México: Red Latinoamericana de Hongos Comestibles y Medicinales.
- McVaugh, R. (1983). *Flora Novo-Galiciana. A Descriptive Account of the Vascular Plants of Western Mexico. Vol. 14*. Michigan E.U.A.: Ann Arbor The University of Michigan Press. E.U.A.
- Méndez Motealvo, G., Solorza Fera, J., Velázquez del Valle, M., Gómez Motiel, N., Paredes López, O., & Bello Pérez, L. A. (Mayo- Junio de 2005). Composición química y caracterización calorimétrica de híbridos y variedades de maíz cultivadas en México. *Agrociencia*, 39(5), 267 - 264. Obtenido de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=30239303>
- Méndez, Á. (30 de Mayo de 2012). *La guía*. Obtenido de El almidón y su química:
<http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/el-almidon-y-su-quimica>
- Méndez, Á. (30 de Mayo de 2012). *Química, la guía*. Obtenido de
<http://quimica.laguia2000.com/compuestos-quimicos/el-almidon-y-su-quimica>
- Moreno, Y. S., & Modesto, L. A. (2010). Efecto de la dureza del grano de maíz (Zea Maiz L.) sobre el rendimiento y calidad de la tortilla. (U. A. Chapingo, Ed.) *Ingeniería agrícola y biosistemas*, 1(2), 5 - 11. doi:10.5154/r.inagbi.2010.08.009
- Nayelli Hernández-Espinosa, M. R.-R.-J.-B.-B. (2015). Importancia de las proteínas de almacenamiento en cereales (prolaminas). *Vertientes, revista especializada en ciencias de la salud*, 18(1), 3 - 7. Obtenido de Revista especializada en ciencias de la salud:
<http://www.revistas.unam.mx/index.php/vertientes/article/view/51724>
- Norma Salas De La T., D. B., & M., R. A. (2004). Estudio del valor nutricional y propiedades fisicoquímicas y bioquímicas de *Pleurotus ostreatus*. (U. N. Marcos, Ed.) *Revista Perú, Química e Ingeniería Química*, 7(2), 40 - 44. Recuperado el 27 de Junio de 2017, de revistasinvestigacion.unmsm.edu.pe/index.php/quim/article/download/4788/3861
- Ortiz, L. F., & Soto, G. M. (2012). *Académico Universidad de Guanajuato*. doi:978-607-441-191-1
- Paliwal, R. L. (2001). *Depósito de documento de la FAO*. Obtenido de El maíz en lo trópicos:
http://www.fao.org/docrep/003/X7650S/x7650s07.htm#P0_0
- Paredes López, O. y. (Marzo de 2009). La nixtamalización y el valor nutritivo del maíz. *Ciencia UNAM*, 60 - 70. Obtenido de
<http://www.revistaciencias.unam.mx/images/stories/Articles/92%2093/5/La%20nixtamalizaci%20on%20y%20el%20valor%20nutritivo%20del%20maiz.pdf>
- Purina. (2015). *Nutrimientos Purina*. Obtenido de
https://www.nutrimientospurina.com/archivos_aplicaciones/files_fkceditor/file/LabChows/5001.pdf
- Rangel-Meza, E., Orozco, A. M., Vázquez-Carrillo, G., Cuevas-Sánchez, J., Merino-Castillo, J., & Miranda-Colín, S. (2004). NIXTAMALIZACIÓN, ELABORACIÓN Y CALIDAD DE TORTILLA

- DE MAICES DE ECATLAN, PUEBLA, MÉXICO. *Agrociencia*, 57 - 60. Obtenido de <http://www.colpos.mx/agrocien/Bimestral/2004/ene-feb/art-6.pdf>
- Rosado JL, C.-S. R. (1999). Adicion de vitaminas y minerales a harinas de maíz y de trigo en México. *Secretaría de Salud Pública México*, 130 - 137. Obtenido de <http://www.scielo.org/pdf/spm/v41n2/41n2a07.pdf>
- Rzedowski, & Rzedowski. (2001). *Flora fanerogámica del Valle de México*. Pátzcuaro Michoacán, México.: Instituto de Ecología y Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad.
- SAGARPA. (1995). *Secretaria de Agricultura, ganaderia, desarrollo rural, pesca y alimentación*. Obtenido de <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasaapt/ProduccionC3%B3n%20de%20Hongo%20Seta.pdf>
- SAGARPA. (14 de FEBRERO de 2002). Obtenido de http://www.sagarpa.gob.mx/agronegocios/Lists/Instrumentos%20Tcnicos%20Normalizacin%20y%20Marcas%20Colecti/Attachments/97/NMX_MAIZ_BLANCO.pdf
- Salvador, R. J. (2001). Maiz. *Universidad Autonoma de Chapingo*.
- Sánchez, A. C. (2011). Propiedades nutricionales y antioxidantes del maíz azul (*Zea mays* L.). *Temas selectos de ingeniería de alimentos*, 75 - 83.
- Sánchez, F. C. (2007). *Efecto de las prolaminas del grano de maíz (Zea mays L.) sobre la textura de la tortilla*. (A. L. Nutrición, Ed.) Recuperado el 2017, de Scielo: http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222007000300013&lng=es&tlng=es.
- Shukla, R., & Munir, C. (2000). Zein: te industrial protein from corn. *Industrial Crops and products*, 172-172. doi:10.1016/S0926-6690(00)00064-9
- SL, B. O. (2017). *Botanical*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de Propiedades del maíz: <http://www.botanical-online.com/maizpropiedades.htm#>
- Sonora, G. d. (2017). *Granos de Sonora*. Recuperado el 21 de Junio de 2017, de Maíz Tortillero: http://granosa.mx/productos_maiz_tortillero.php
- Suárez, R. F., Chavez, L. A., & Mariscal, A. G. (2013). *Revista de Fitotecnica Mexicana*. Obtenido de <http://www.revistafitotecniamexicana.org/documentos/36-supl-3-A/1a.pdf>
- Therkeslian, N. (2014). *Analiza Caliad*. Recuperado el 15 de Enero de 2019, de <https://docplayer.es/4681038-Acidos-grasos-esenciales.html>
- Therkeslian, N. (s.f.). Ácidos grasos esenciales. (U. d. Aires, Ed.) *Analiza Calidad*, 1. Obtenido de <http://www.analizacalidad.com/docftp/fi150acgrasos.pdf>
- Tijera, M. G. (Enero de 2014). *Universidad Veracruzana*. Obtenido de <http://cdigital.uv.mx/bitstream/123456789/34998/1/gonzalezmargarita.pdf>
- Torre, R. R. (1986). *Cambios fisicoquímicos del almidón durante la nixtamalización del maíz*. México: ENCB-IPN.
- Trigo, Y. M., & Montenegro, J. L. (2002). El maíz en México, biodeversidad y cambios en el consumo. *Análisis Económico*, XVII(36), 281-303.

- UNAM. (19 de Marzo de 2015). *Feria de las ciencias UNAM*. Obtenido de Tortilla de maiz enriquecida con nopal:
http://www.feriadelasciencias.unam.mx/anteriores/feria23/feria190_01_ficuxkallitortilla_de_maiz_enriquecida_con_nopal_c.pdf
- USDA. (Mayo de 2016). *United States Department of Agriculture*. Obtenido de Agricultural Research Service: <https://ndb.nal.usda.gov/ndb/foods/show/2939>
- Xochipa, I. P. (12 de 2009). *Tesis IPN*. Obtenido de Instituto Politécnico Nacional:
<http://tesis.ipn.mx/jspui/bitstream/123456789/8547/1/113.pdf>