



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

CAMPUS CELAYA-SALVATIERRA

DIVISIÓN DE CIENCIAS DE LA SALUD E INGENIERÍAS

LICENCIATURA EN INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

TESIS

“ELABORACIÓN DE UNA PASTA SECA PARA SOPAS FORMULADA
CON HARINA DE NOPAL (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*)”

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERO AGROINDUSTRIAL

PRESENTA:

MARÍA SELENE ESCAMILLA AYALA

DIRECTORA:

DRA. LORENA VARGAS RODRÍGUEZ

Salvatierra, Gto, Marzo de 2021

Agradecimientos

A Dios por permitirme llegar hasta aquí.

A mis padres J. Jesús Escamilla Hurtado y Leticia Ayala Lemus, por su amor, apoyo, esfuerzo y dedicación que han tenido hacia mí durante toda mi vida para poder salir adelante y cumplir mis metas.

A mi esposo Oscar Santos Chávez por apoyarme en todo momento, por siempre estar a mi lado alentándome a luchar por mis sueños y por su amor incondicional.

A mi hermano Jesús Escamilla Ayala por el ejemplo y la inspiración a siempre aprender cosas nuevas.

A mi directora de tesis y profesora, Lorena Vargas Rodríguez por su apoyo, confianza, dedicación y amable disposición.

Al ing. Carlos Rico por darme facilidad de obtener la materia prima identificada y regulada.

Al ing. Jesús Hurtado por la aportación del valor nutrimental en el producto, así como al Laboratorio Nacional de Caracterización de Propiedades Físicoquímicas y Estructura Molecular de la UG.

Al Dr. Héctor Hernández y al departamento de ing. Química, campus Guanajuato de la Universidad de Guanajuato. Por la información relacionada con la fibra dietaria.

A todos los profesores y personal del programa de Ingeniería Agroindustrial que contribuyeron en esta etapa de mi formación.

A todos los compañeros de estudio por compartir sus conocimientos, consejos y sobretodo amistad.

A todas las personas que de una u otra manera se vieron involucradas en la realización de este trabajo.

MUCHAS GRACIAS A TODOS

Resumen

Actualmente, la tendencia de propuestas de alternativas de harinas derivadas de vegetales para elaboración de productos alimenticios, comprenden un mercado en constante crecimiento, que busca satisfacer atributos que hoy demandan los individuos respecto a la calidad y estilo de vida. Así, surgen productos libres de gluten, hipocalóricos, con alto contenido de fibra, etc. En esta tendencia, se prefieren alimentos de origen natural, orgánicos y de rápida preparación, entre otras cualidades. El presente trabajo se realizó con la finalidad de obtener y caracterizar químicamente la harina de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*), para evaluar el desarrollo de un producto alimenticio “pasta tipo moño”. La harina utilizada para todas las determinaciones fue obtenida por secado solar de los nopalitos cosechados. Se realizó un análisis de composición química proximal de acuerdo con las metodologías de la AOAC para humedad, cenizas y grasas; además de otros métodos convencionales para carbohidratos, calcio y fibra dietaria. Así mismo, se determinó el contenido de gluten, mucílago, pectinas y determinación de viscosidad (mediante un viscosímetro Brookfield) fueron evaluados por metodologías que implicaron solubilidad, extracción sólido-líquido, digestión ácida y fuerza rotatoria respectivamente. Se realizó capacidad de retención de agua (CRA), capacidad de absorción de moléculas orgánicas (CAMO), así como la determinación de pruebas que refieren su calidad en producto terminado como pH, °Brix y color. Los resultados muestran un rendimiento para la obtención de harina de nopal de $8.83 \% \pm 0.1474$ (p/p), con una humedad del $7.84 \% \pm 0.1267$ en materia seca (MS) y 17.01% en base húmeda (BH) de contenido de cenizas. El contenido de grasas fue menor al 1% , la fibra dietaria alcanzó valores altos para celulosa (aprox. $45 \% \pm 1.66$) y otro contenido equivalente para hemicelulosa-lignina ($35.89 \% \pm 1.63 - 9.71 \% \pm 0.17$). La harina no presentó contenido en gluten; solo contenido de mucílago (0.061%). El contenido de carbohidratos fue de 68.05% en BS y las pectinas obtuvieron un valor de $14.03 \% \pm 0.006$. En cuanto a la caracterización funcional la CRA fue de 13.08 ml/g harina considerada aceptable ya que una baja retención de agua afecta la calidad final de la pasta en cuanto a textura. Por último, y derivado de los resultados se concluye que la harina obtenida de nopal *Opuntia ficus indica* var. *blanco* es aceptable para el desarrollo de una pasta alimenticia tipo moño satisfaciendo las exigencias de las nuevas tendencias en salud: como libre de gluten, hipocalóricos y con alto contenido en fibras.

Índice de contenido

I. Introducción.....	1
II. Antecedentes.....	2
2.1 Pastas alimenticias.....	2
2.1.1 La pasta: una tradición mexicana.....	3
2.1.2 Valor de producción de pastas.....	4
2.1.3 Producción y consumo de pastas en México y en el mundo.....	4
2.1.4 Aporte nutricional de la pasta a base de trigo.....	5
2.1.4.1 Ingredientes y sus funciones tecnológicas.....	5
2.1.5 Clasificación de las pastas.....	6
2.1.5.1 Tipos de pasta por su forma.....	6
2.1.5.2 Tipos de pasta por su composición.....	7
2.1.5.3 Tipos de pasta por su humedad.....	7
2.1.5.3.1 Pasta fresca.....	7
2.1.5.3.2 Pasta seca.....	8
2.1.6 Pasta enriquecida y fortificada.....	8
2.1.7 Innovaciones en pastas alimenticias.....	8
2.2 Harinas y sus características tecnológicas.....	9
2.2.1 Clasificación y tipos de harina según su origen vegetal.....	11
2.2.2 Harinas refinadas para pastas y problemas de salud.....	13
2.2.3 Pastas con harinas no convencionales.....	14
2.2.4 Preparación agroindustrial de harinas y pastas.....	15
2.2.4.1 Etapas y procesos de la elaboración de pastas secas industriales.....	16
2.2.4.2 Envasado.....	19
2.2.4.3 Embalaje.....	19

2.2.4.4 Almacenamiento	19
2.3 El nopal	20
2.3.1 Origen y Diversidad	21
2.3.2 Valor de la producción del nopal a nivel mundial y en México	23
2.3.3 Consumo de nopal verdura en México	25
2.3.4 Valor nutricional	26
2.3.5 Propiedades funcionales de los nopales	27
2.3.6 El nopal: atributos y beneficios a la salud	27
2.3.7 Tecnologías a base de nopal fresco	29
2.3.7.1 Productos derivados del nopal.....	30
2.3.7.2 Productos alimenticios derivados del nopal fresco	31
2.3.7.3 Productos alimenticios elaborados con harina de nopal	32
2.4 Alimentación y problemas a la salud en México y el mundo	33
III. Planteamiento del problema	36
IV. Justificación	37
V. Objetivo general.....	38
VI. Metodología.....	39
6.1 Planeación de la metodología del trabajo experimental de la tesis	39
6.1.1 Etapas experimentales para la harina de nopal	39
6.2 Materia prima y obtención de harina de nopal.....	40
6.2.1 Caracterización de la composición química proximal	41
6.2.1.1 Determinación de humedad en harina de nopal	41
6.2.1.2 Determinación de cenizas	42
6.2.1.3 Determinación de calcio en harina de nopal	43

6.2.1.4 Determinacion de calcio en cenizas de harina de nopal con fotómetro multiparamétrico	44
6.2.1.5 Extracción de grasas	45
6.2.1.6 Carbohidratos totales	45
6.2.1.7 Fibra dietaria.....	47
6.2.2 Otros componentes de la harina de nopal.....	49
6.2.2.1 Mucílago	49
6.2.2.2 Determinación de pectinas	50
6.2.2.3 Determinación de gluten	51
6.2.3 Caracterización funcional.....	52
6.2.3.1 Capacidad de retención de agua (CRA).....	52
6.2.3.2 Capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO)	53
6.2.3.3 Capacidad de hinchamiento (CH).....	54
6.2.3.4 Capacidad de intercambio catiónico (CIC).....	55
6.2.4 Potencial de hidrogeno (pH) en harina de nopal.....	56
6.2.5 Viscosidad de la harina de nopal	56
6.2.6 Grados Brix (°Bx)	57
6.3 Producto terminado “pasta seca”	58
6.3.1 Formulación de la pasta de harina de nopal	58
6.3.2 Calidad en la pasta	60
6.3.2.1 Análisis de humedad en pasta tipo moño.....	60
6.3.2.2 Determinación de pH en producto terminado seco.....	61
6.3.2.3 Cocción de producto terminado.....	61
6.3.2.4 Determinación de pH en producto terminado cocido	61
6.3.2.5 Determinación de color.....	62

6.3.2.6 Porcentaje de hinchamiento en pasta.....	63
VII. Resultados y discusión.....	63
7.1 Rendimiento de la harina de nopal	63
7.2 Caracterización de la composición química proximal de la harina de nopal.....	64
7.2.1 Contenido de humedad en nopalito fresco y harina de nopal.....	64
7.2.2 Contenido de cenizas.....	65
7.2.3 Contenido de calcio en harina de nopal.....	65
7.2.4 Contenido de grasas	66
7.2.5 Carbohidratos totales.....	66
7.2.6 Contenido de fibra dietaria	67
7.3 Otros componentes de la harina de nopal	71
7.3.1 Contenido de mucílago en nopalito fresco	71
7.3.2 Contenido de pectinas	72
7.3.3 Contenido de gluten	73
7.3.4 Viscosidad en la harina de nopal	74
7.4 Caracterización funcional de la harina de nopal apta para pasta seca	74
7.4.1 pH y °Brix en la harina de nopal.....	75
7.4.2 Formulación de pasta de harina de nopal	76
7.5 Calidad de la pasta de harina de nopal.....	77
7.5.1 Humedad de la pasta de harina de nopal	77
7.5.2 Textura y especificaciones en pasta cruda.....	77
7.5.3 Cocimiento de la pasta	78
7.5.4 pH en pasta seca y pasta cocida de harina de nopal.....	80
7.5.5 Viscosidad del mucílago.....	80
7.5.6 Determinación de color en pasta de harina de nopal.....	81

7.5.7 Porcentaje de hinchamiento en pasta de harina de nopal	83
7.6 Información nutrimental en pasta de harina de nopal.....	83
VIII. Conclusiones	87
IX. Bibliografía.....	88

Índice de figuras

Figura 1. Tipos y formas de pastas alimenticias elaboradas industrialmente (Trattoria, 2015).	2
Figura 2. Pastas clasificadas por su forma (Esqueda-M., 2017).....	7
Figura 3. Granos y harina de trigo.	10
Figura 4. Anatomía del grano de trigo.	13
Figura 5. Etapas del proceso de producción de harina de trigo (Reyes-S., 2014).....	16
Figura 6. Etapas de la elaboración de pastas secas industriales (Lezcano-P., 2008).....	18
Figura 7. Ejemplos de envasado para pastas. A) Bolsas de celofán. B) Cajas de cartón.....	19
Figura 8. Planta de nopal <i>Opuntia ficus indica</i> var. blanco. Plantación en la comunidad de la Moncada, municipio de Tarimoro, Gto.	20
Figura 9. Abundancia de nopales silvestres en México (Scheinvar, et al., 2008).	21
Figura 10. Ejemplo de alimentos elaborados a base de nopalito fresco y nopal deshidratado (elaboración propia con imágenes de internet).....	33
Figura 11. Etapas experimentales para la harina de nopal.	39
Figura 12. Etapas de formulación y preparación de pasta de harina de nopal.	40
Figura 13. A) Materia prima (nopalito) colectada. B) Nopalito sin espinas. C) Nopalito picado en finas tiras. D) Soporte de acero con malla plástica utilizado para el secado solar de nopalito.....	41
Figura 14. Cenizas de nopal en horno (mufla) a 600 °C.....	42
Figura 15. A) Vasos de precipitados después del reposo en la determinación de Ca para harina de nopal. B) Precipitación por gravedad. C) Crisoles en mufla para calcinar a 900 °C la muestra. D) CaO obtenido de la harina de nopal.....	44

Figura 16. A) Muestra de cenizas de nopal en matraz aforado. B) Muestra de 3 ml de cenizas en solución con reactivo "A". C) Equipo fotómetro mostrando la lectura obtenida.	44
Figura 17. Proceso de extracción de grasas en harina de nopal	45
Figura 18. Reacción química para la obtención de furfural (Nieves-Díaz, et al., 2016).	46
Figura 19. A) Tubos de ensaye con muestra en reposo. B) Espectrofotómetro para cuantificar las absorbancias.	47
Figura 20. Utilización de la copa Zahn.	50
Figura 21. Pasta de harina de nopal lavada con agua desionizada y con gotas de solución de yodo.....	52
Figura 22. A) Centrífuga con muestra de harina de nopal. B) Sobrenadante de agua y sedimento de nopal, en prueba de CRA.	53
Figura 23. A) Sobrenadante en prueba de CAMO. B) Muestras en reposo y posición vertical.	54
Figura 24. Probeta con muestra de harina de nopal en prueba de CH.	54
Figura 25. A) Muestra de harina de nopal en un exceso de HCl y NaCl. B) Titulación en presencia del indicador de fenolftaleína. C) Muestras de harina de nopal, tituladas con NaOH y fenolftaleína como indicador de la neutralización.	55
Figura 26. Medición de pH en dispersión de harina de nopal.....	56
Figura 27. Prueba de viscosidad en harina de nopal.	57
Figura 28. Determinación de °Brix con uso de refractómetro.....	57
Figura 29. A) Pesadas de harina de trigo y harina de nopal. B) Mezcla de ingredientes secos (harinas). C) Adición de huevo a la mezcla. D) Mezclado de todos los ingredientes. E) Expansión de la masa en tiras, con ayuda de rodillo. F) Cortado de la masa para dar forma tipo moño.....	60
Figura 30. Balanza de humedad con muestra de harina de nopal.....	60
Figura 31. Determinación de pH. A) Triturado de pasta en mortero. B) Pasta troceada con agua desionizada. C) Potenciómetro mostrando la lectura obtenida.	61
Figura 32. A) Cocción de la pasta de harina de nopal. B) Pasta cocida triturada y mezclada con agua desionizada	62
Figura 33. A) Colorímetro sobre muestra de pasta de nopal. B) Lectura de resultados.	62

Figura 34. Obtención de harina de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i> var. blanco). A) Materia prima en la plantación. B) Nopal verdura deshidratado. C) Nopal pulverizado para tamizarse (malla 80-100). D) Harina de nopal con granulometría 180 μm .	64
Figura 35. Mucílago extraído de nopal fresco.	72
Figura 36. Pectinas deshidratadas.	73
Figura 37. Pasta de harina de nopal tipo moño.	77
Figura 38. Lote de pasta de harina de nopal tipo moño.	78
Figura 39. A) Cocimiento de pasta de harina de nopal con liberación de pigmentos en el agua.	79
Figura 40. Pasta 10 minutos después de ser lavada.	79
Figura 41. Medición de pH con potenciómetro. A) Pasta seca. B) Pasta cocida.	80
Figura 42. Diagrama de cromaticidad de espacio de color L^*a^* y b^* .	82

Índice de tablas

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal.	22
Tabla 2. Producción nacional de nopal verdura en México en el periodo 2010-2015.	24
Tabla 3. Principales estados productores de nopal verdura en México.	25
Tabla 4. Valor nutricional de una porción de 100 g de nopal fresco.	26
Tabla 5. Principales productos a la venta, derivados de nopal verdura.	30
Tabla 6. Diluciones de solución estándar de glucosa para curva patrón en la determinación de carbohidratos.	46
Tabla 7. Formulaciones para la pasta de harina de nopal.	58
Tabla 8. Composición de fibra dietaria de harina de nopal verdura <i>Opuntia ficus indica</i> var. blanco en base húmeda.	68
Tabla 9. Efecto de la edad del nopal en la composición química de la harina de nopal verdura <i>Opuntia xocostle</i> (porcentaje materia seca).	70
Tabla 10. Composición química proximal de harina de nopal verdura en base húmeda.	70
Tabla 11. Ingredientes utilizados para la formulación de pasta de harina de nopal.	76
Tabla 12. Coordenadas de color en escala CIELAB para la pasta de harina de nopal.	81

Tabla 13. Información nutrimental en una porción de 40 g de pasta seca de harina de nopal.	84
Tabla 14. Información nutrimental en una porción de 40 g de pasta seca de mayor consumo, tipo moño de harina de trigo.....	85
Tabla 15. Parámetros de diferencias significativas de pasta de harina de nopal vs pasta de harina de trigo de mayor consumo.....	86

I. Introducción

Actualmente, en gran parte del mundo el consumidor tiene cada vez más una mejor cultura alimentaria, gracias a la gran información derivada no solamente por las instituciones relacionadas con la salubridad y nutrición pública, sino principalmente por la masiva publicidad comercial que promueve el consumo de diversos productos alimenticios (Ferrucci-Péndola, 2000).

Es así, que se manifiesta la necesidad de saber seleccionar mejores alimentos, debido a que la mala alimentación además de generar obesidad, el principal problema es el desarrollo de múltiples enfermedades crónicas, como la diabetes, lo que origina a su vez el aumento de la demanda por alimentos que proporcionen menor cantidad de calorías, sin descuidar la nutrición ni sacrificar el placer de su consumo. Debido a esto, nace el reto en la ciencia y la tecnología de los alimentos de innovar en productos alimenticios para satisfacer dichos requerimientos, tratando de alcanzar la calidad al más bajo costo (Ferrucci-Péndola, 2000). Ya que, la alimentación va en constante evolución, van surgiendo nuevos productos alimenticios que satisfagan la demanda de los individuos respecto a su estilo de vida, ahora bajo el término de los denominados: funcionales y nutracéuticos (que brindan beneficios a la salud). Es así, que existe preferencia por alimentos naturales, orgánicos, de fácil y rápida preparación y de bajo costo.

El objetivo del presente trabajo fue obtener y caracterizar químicamente la harina de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*) ya que el nopal es endémico de nuestro país y en muchas ocasiones la oferta no es suficientemente aprovechada en fresco, de ahí surge la propuesta de darle valor agregado y evaluar sobre la tendencia mencionada anteriormente el desarrollo de un producto alimenticio tipo pasta que proporcione mayor valor nutrimental en cuanto a las pastas tradicionales y aumente el consumo de nopal en un producto innovador.

II. Antecedentes

2.1 Pastas alimenticias

Según la NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Señala que la pasta es el producto obtenido por el amasado mecánico de sémola, semolina, harinas o cualquier combinación de éstas procedentes de trigos con agua y otros ingredientes opcionales permitidos, moldeado, laminado o extruido y sometido o no a un proceso térmico de desecación (figura 1) (NOM-247-SSA1, 2008).

El ingrediente básico de la pasta es la harina de trigo, mezclada con agua, y a la cual se puede añadir sal, huevo u otros ingredientes, un producto que generalmente se cocina en agua hirviendo. Normalmente se utiliza la especie *Triticum durum* (trigo duro) en su elaboración a diferencia del pan. Para obtener esta harina sólo se emplea una parte del grano del cereal, el endospermo, rico en almidón y gluten, lo que le confiere una mayor capacidad de moldeado (NOM-247-SSA1, 2008).



Figura 1. Tipos y formas de pastas alimenticias elaboradas industrialmente (Trattoria, 2015).

Hay evidencias, que aseguran que el origen de la pasta está en China, India, en el mundo árabe o en la cuenca mediterránea, en diferentes momentos históricos, no siempre bien determinados. Las referencias más antiguas sobre la pasta proceden del año 4000 a.C. en el noroeste de China, en la ribera del río Amarillo, en donde los arqueólogos descubrieron un

bol, enterrado en barro, que contenía unos fideos delgados y amarillos, con un espesor de tres milímetros y 50 centímetros de largo. Estos fideos, se elaboraron con mijo y son claros antecesores de los que hoy se siguen haciendo en la zona de La-Mian, estirando la masa con la mano, que son considerados como un auténtico manjar. También está documentado que los chinos, 3000 años a.C. comían con frecuencia una especie de fideos de mijo y sorgo. También en India el consumo de pasta es antiquísimo y base de algunos de los platos más conocidos, como la rasgula, que ha desembocado en un dulce, pero tiene su origen en una pasta de sémola y las famosas samosas que fueron, al principio, unas láminas de pasta que se rellenaba con variados alimentos, tras ablandarla con vapor de agua (Díaz-Yubero, 2017). Marco Polo, fue el que introdujo en la península itálica la manera de hacer y comer la pasta, no deja de ser una anécdota. En Nápoles y en Sicilia a todos los tipos de pasta se les conocía como Maccheroni (Macarrones). Los árabes, descubridores de los beneficios del trigo duro conocían la pasta mucho antes que los italianos. Ellos enrollaban la pasta, la exponían al sol para que se secase y, de esa manera, conservarla por más tiempo. La pasta se consume en todo el mundo y se considera que es un invento italiano, porque Italia ha sido el país que la ha prestigiado y popularizado, que la ha hecho protagonista de su gastronomía y que ha sabido convertir a los restaurantes italianos, diseminados por todo el mundo, en embajadores de un producto que partiendo del trigo, cereal modesto y barato, ha sabido ir añadiéndole valor en la fabricación, comercialización y en la elaboración de platillos (Díaz-Yubero, 2017).

2.1.1 La pasta: una tradición mexicana

La pasta ha tenido un importante desarrollo en México, pues constituye parte de la comida diaria como una alternativa para acceder a los carbohidratos indispensables en toda buena nutrición. Desde el siglo pasado la pasta aparece mencionada en libros de cocina; en la actualidad importantes empresas mexicanas se encargan de proveer el mercado nacional con pasta de buena calidad, hecha con avanzada tecnología italiana, con un estricto control de calidad en la materia prima que utiliza y una adecuada distribución del producto terminado (Rangel-P, 1993).

A diferencia de la pasta que se fabrica en Italia, la pasta mexicana está elaborada en su mayoría con harina blanca de trigo y huevo, es decir no está hecha de pasta de sémola de trigo, que le da una consistencia más firme cuando se cocina. (La harina de sémola o semolina es una harina que se extrae de la parte dura del grano de trigo) (Rangel-P, 1993).

2.1.2 Valor de producción de pastas

Los costos de producción son los que se generan en el proceso de transformar las materias primas en productos elaborados. Son tres elementos los que integran el costo de producción: materia prima directa, mano de obra directa y cargos indirectos (Robles-Román, 2012).

En todo el mundo se producen anualmente casi 14 millones de toneladas de pasta seca, de la cual un 25 % corresponde a Italia y un 0.7 % a Argentina. Italia exporta el 48 % del total mundial, Argentina ostenta el segundo lugar como mayor fabricante de pasta en Latinoamérica, superando a México y detrás de Brasil. De los principales exportadores de pasta a nivel mundial (Italia, China y Estados Unidos) el volumen total de miles de toneladas es de 2,440.00 con un valor unitario de US\$/ton de 4,419.00 (Lezcano-P., 2008).

En el año 2009, la producción de pastas fue de 18,327 toneladas mensuales de pastas de mayor consumo, en las plantas de producción ubicadas en México y con un valor estimado en el mismo año para el mercado mundial de pastas fue de \$30.8 mil millones de dólares (Barrón-Salas, 2014).

2.1.3 Producción y consumo de pastas en México y en el mundo

La producción de pasta alimenticias a nivel mundial está en 11,000,000 de toneladas anuales, Europa 43.4 %, América 36.5 %, Asia 15.2 % y África 4.7 %. Las cifras reflejan una producción de pastas en América cercana a los 4 millones de toneladas. América tiene dos grandes productores de pastas que son Estados Unidos y Brasil con 29,6 % y 25,4 % del total, le siguen en importancia Venezuela (8,3 %), Argentina (7,4 %), México (7,2 %) (Ortiz-Montes, 2016). Las pastas ocupan la primera posición de las diez comidas favoritas o más populares a nivel mundial. En casi todos los países de América Latina la pasta se ha vuelto

uno de los platos básicos, con un consumo medio próximo a los 10 kg anuales por habitante (Lezcano-P., 2008).

De acuerdo a la Organización Internacional de Pastas (2014), los principales países productores fueron Italia, Estados Unidos, Brasil, Rusia y Turquía con volúmenes de 3.3, 2, 1.3, 1 y 0.85 millones de toneladas, respectivamente. Italia es el mayor consumidor y productor de pastas alimenticias del mundo. Su producción se focaliza en las pastas secas (95.7 % en 2008) al igual que su consumo per cápita (91.2 % en 2008), que alcanza la cifra de 26 kg. México ocupa el décimo lugar con una producción de 330 mil toneladas. En cuanto al consumo per cápita de pastas alimenticias, México se encuentra en los últimos lugares de este rubro con 2.7 kg anuales (Barrón-Salas, 2014).

2.1.4 Aporte nutricional de la pasta a base de trigo

La pasta a base de trigo está constituida entre el 60 y 70 % por hidratos de carbono de absorción lenta (almidón), el 12 - 13 % son proteínas (gluten), y el aporte de grasas es casi nulo. El aporte de vitaminas y minerales es relativamente bajo, excepto que hayan sido enriquecidas. Esto se debe a que en la elaboración se utiliza el endospermo, quedando los minerales en las capas externas del grano. El valor calórico aproximado que aportan 100 g de pasta es de 350 - 360 kcal. La ración para una persona es de 60 g, con lo cual es aporte calórico de una porción ronda entre las 200 kcal. Ahora bien, es importante señalar, que ese valor calórico, como los demás nutrientes variará en función de las salsas y acompañamientos de las pastas (Licata-T, s.f.).

2.1.4.1 Ingredientes y sus funciones tecnológicas

- Agua: en la elaboración de pastas alimenticias a nivel industrial, el agua tiene que pasar por diferentes equipos para estar libre de cationes, iones y pasar por una resina sintética para que se neutralice. Se adiciona en el momento del amasado.
- Sémola: es el producto más o menos granuloso que se obtiene por la ruptura industrial del endospermo del *Triticum durum*, libre de sustancias extrañas e impurezas. Según la granulometría puede ser grueso, fino o mezcla. Cuando el producto resulta en un

tamaño intermedio entre la sémola fina y la harina se denomina semolín (Alimentos Argentinos – MAGyP, 2014).

- Trigo candeal: clasificado taxonómicamente como *Triticum turgidum*, spp. Durum L, es una especie diferente a la del trigo pan (*Triticum aestivum*). El trigo candeal es una especie que se utiliza en la elaboración de pastas de alta calidad o pastas premium debido a que proporciona y asegura una serie de propiedades y ventajas, tanto en sabor, textura, como en la cocción de estos alimentos, otorga un óptimo balance entre tenacidad y extensibilidad, logrando formar una red fibrosa y elástica, que evita las deformaciones durante el secado de las pastas y también una mayor resistencia a la cocción, minimizando la extracción de almidón y por ende el “pegado” de los productos. De esta forma, las pastas elaboradas con trigo candeal no se deforman ni se deshacen, ni se pegan (Alimentos Argentinos – MAGyP, 2014).

2.1.5 Clasificación de las pastas

Existen muchas maneras de clasificar las pastas, pero la más común son las clasificaciones en función de su forma (figura 2). Las pastas también se pueden clasificar en función de la harina con las que están hechas, según su color, relleno o usos.

2.1.5.1 Tipos de pasta por su forma

- a) Pastas alimenticias largas. Spaghetti, tallarines fettuccine, fideo.
- b) Pastas alimenticias cortas. Lazos, codito, caracoles, conchitas, tornillo, macarrón, letras, números, animalitos, penne rigate, fusilli.
- c) Pastas alimenticias enroscadas. Son las pastas alimenticias o fideos largos que se presentan en forma de madejas, nidos, espiral.
- d) Pastas rellenas. Ravioli, cappelletti, tortellini.
- e) Pastas en láminas. Lasañas, canelones.



Figura 2. Pastas clasificadas por su forma (Esqueda-M., 2017).

2.1.5.2 Tipos de pasta por su composición

- a) Pastas alimenticias de sémola. Son las elaborados exclusivamente con sémola de trigo durum (trigo candeal) y agua potable.
- b) Pastas alimenticias de harina de trigo.
- c) Pastas alimenticias de la mezcla de sémola de trigo duro y harina de trigo.
- d) Pastas alimenticias de sémola integral de trigo duro o harina integral de trigo.
- e) Pastas alimenticias compuestas.
- f) Pastas alimenticias rellenas (Aguilar-Guncay & Cardoso-Martínez, 2017).

2.1.5.3 Tipos de pasta por su humedad

2.1.5.3.1 Pasta fresca

Este tipo de pasta se elabora, mediante la utilización de trigo candeal, y su base es la de harina y huevo. Generalmente no sufre ningún tipo de desecación y tienen un menor tiempo de conservación. Cabe destacar, que se prepara con el motivo de ser consumida inmediatamente y de no ser así, conservarla por muy poco tiempo. Aunque actualmente existen diferentes marcas que distribuyen este tipo de pasta, envasándolas al vacío y las cuales tienen una fecha de caducidad entre 2 a 3 semanas (Martínez-S., 2010).

2.1.5.3.2 Pasta seca

Este tipo de pasta se elabora con la utilización de sémola de trigo duro (harina poco molida), y agua. Es normalmente elaborada para su venta en paquetes, esto es debido a que en el proceso de su producción se le deshidrata. Gracias a que está exenta de agua se logra que la pasta se conserve durante mucho más tiempo, sin verse afectada por roturas que afecten su calidad (Martínez-S., 2010).

2.1.6 Pasta enriquecida y fortificada

Las pastas enriquecidas son aquellas a las que se les han adicionado nutrientes como vitaminas, minerales, aminoácidos esenciales y ácidos grasos, como hierro, calcio, germen de trigo, y vitaminas del grupo B (ácido fólico), por mencionar algunos (Zudaire-M., 2003). Mientras que la pasta fortificada es aquella a la que se le añaden uno o más nutrientes que no se encuentran normalmente en su estado natural, contiene suplementos de proteínas, como leche, huevo, soya, la adición de nutrientes a los alimentos fortificados es llevada a cabo voluntariamente por el fabricante con el fin de satisfacer necesidades nutricionales específicas de personas sanas, y de agregar valor al alimento para su venta. Por lo que un alimento fortificado puede tener un costo más alto (Zudaire-M., 2003).

Entre los ingredientes opcionales para una pasta fortificada y enriquecida están: el huevo que aporta consistencia a la pasta, hortalizas, se trituran en forma de pasta o puré y se añaden a la masa para colorearla. Las más empleadas son las espinacas, la zanahoria, las alcachofas y el tomate. Suplementos proteínicos, como la harina de soja, leche desnatada en polvo o gluten de trigo (Zudaire-M., 2003).

2.1.7 Innovaciones en pastas alimenticias

Uno de los grandes retos que afronta la industria, sin importar el sector en el que se encuentre, es ser competitiva y tener las condiciones necesarias para mantenerse en el mercado con altos estándares y con un sello diferencial, es así que surge la necesidad de innovar, uno de los objetivos de la innovación es ofrecer mejores productos que satisfagan las necesidades del

consumidor, la innovación se puede realizar tanto en el producto (formulación, envase y embalaje) como en el proceso (mercado, promociones, precio) (Cano-Salazar, 2012).

En la innovación de las pastas alimenticias se mejora el perfil organoléptico, adicionando vitaminas y minerales, así como hortalizas que hagan la pasta más apetecible y mejorando su perfil nutricional con ingredientes orgánicos. En el envase y embalaje de las pastas alimenticias, atraer al potencial consumidor, mejorar la funcionalidad del envase con materiales ecológicos y reducción de éstos. Optimización de espacio en anaquel y mejora de costes (Díaz-G., 2010). Sin embargo, las industrias han avanzado más si de innovación se trata, elaborando pastas con ingredientes no convencionales. El Dr. José Antonio Beltrán Gracia (2017), presentó el proyecto titulado “Desarrollo de pastas alimenticias enriquecidas con lubina (*D. labrax*) de producción nacional para fomentar la ingesta de pescado a través de formas no tradicionales de consumo”. El proyecto propone el desarrollo de pastas alimenticias enriquecidas con concentrado no desgrasado de proteína de lubina procedente de acuicultura nacional. El proyecto pretende combatir el desperdicio alimentario, al utilizar recortes y restos de lubina con valor nutricional y producir un alimento nuevo con propiedades saludables (Beltrán-Gracia, 2017).

Además, un grupo de investigación del laboratorio tecnológico de Massachusetts está trabajando en sistemas innovadores que permitan reducir el espacio a la hora de almacenar la comida y ahorrar dinero en los gastos de envío de las empresas. Con estos objetivos se ha presentado un nuevo concepto de pasta que pasa de 2D a 3D durante la cocción. La pasta alimenticia que cambia de forma con la cocción está formada por hidratos de carbono, proteínas y celulosa, elementos que están dispuestos en capas y que cuando entran en contacto con el agua, al tener cada uno una tasa de absorción diferente, provocan que la pasta se pliegue y adopte diversas formas (RICA, 2017).

2.2 Harinas y sus características tecnológicas

Según la norma del Codex, la harina de trigo (CODEX STAN 152-1985), se entiende, por el producto elaborado con granos de trigo común, *Triticum aestivum* L., o trigo ramificado, *Triticum compactum* Host., o combinaciones de ellos por medio de procedimientos de trituración o molienda en los que se separa parte del salvado y del germen, y el resto se muele hasta darle un grado adecuado de finura (CODEX, 1995).

Mediante la molienda se reduce a polvo los granos de cereal (figura 3) al tiempo que se separan las capas externas del grano del endospermo. Dentro de los procesos de molienda el del trigo es especialmente importante y representativo, ya que la harina de trigo, en sus diferentes variedades es ampliamente utilizada en panificación, repostería y fabricación de pastas alimenticias. Un grano de trigo contiene un 85 % de endospermo feculento, un 3 % de germen o embrión y el restante 12 % de salvado.



Figura 3. Granos y harina de trigo.

Desde el punto de vista tecnológico hay dos importantes propiedades del trigo que determinan su comportamiento frente a la molienda, estas son la dureza y el contenido y calidad de la proteína (García-Román, 2010). Los trigos de la especie *Durum* se usan sólo para obtener sémolas (procedente de trigo duro, cuyo tamaño de gránulo está comprendido entre 600 y 187 micras, con tolerancia del 10 %) adecuadas para la elaboración de pastas como: macarrones, spaghetti, espirales, etc., además, tiene un alto contenido en proteína (10-16 %) (García-Román, 2010).

La harina de trigo posee un nutriente esencial, el gluten, que la hace apta para la formación de una gran variedad de alimentos. Está formado por dos proteínas básicas, las gluteninas, encargadas de proporcionar fuerza y tenacidad, y las gliadinas, responsables de la elasticidad. Al añadir agua, el gluten hace posible la formación de una masa consistente, tenaz y resistente a la que se le puede dar la forma deseada y sirve de base para la elaboración de una amplia variedad de alimentos (Gimferrer- Morato, 2009).

2.2.1 Clasificación y tipos de harina según su origen vegetal

La clasificación de las harinas se hace en base al grado de gluten o proteína que contiene. Las más ricas en gluten, al retener mucha agua, forma masas consistentes y elásticas. Se utilizan sobre todo para realizar la pasta, el pan y algunas masas de repostería. El tipo de harina se define de 1 a 4 0's:

- **Harina 0** = harina de gran fuerza. Porcentaje de proteína de 12 a 15 %, proviene de los trigos duros, con alto contenido en gluten, que le confieren una gran resistencia al estirado, esta harina equivale a la sémola, por lo tanto, es una harina gruesa, muy poco refinada. Se diferencia por su color más oscuro y es idónea para elaborar pasta mucho más gruesa (raviolis, espaguetis, fideos) (Ventana-C., 2019).
- **Harina 00** = harina de media fuerza. Porcentaje de proteína del 10-11 %, adecuada para el hojaldre. La harina de trigo 00 es muy refinada y contiene una alta calidad en gluten, esto permite que la masa tenga humedad, elasticidad y resistencia. Perfecta sobre todo para la elaboración de pastas rellenas (Ventana-C., 2019).
- **Harina 000** = harina de fuerza. Porcentaje de proteínas del 13 %, es la más común, se muele toda la parte interior del grano; solo se separa el salvado y el germen, tiene la mejor calidad para fabricar pan, dado su mayor contenido de gluten, permite una mejor acción de la levadura, se utiliza también para la elaboración de bolillos, masas de pizza, etc. (Ventana-C., 2019).
- **Harina 0000** = harina floja. La harina 0000 es la más refinada y la más blanca, que se obtiene del centro de grano. Valor de proteína entre 8 y 9 %. Absorbe poca agua, no son aptas para hacer pan, pero si bizcochos, masas para hacer crepas, galletas, muffins, etc. Posee menos cantidad de gluten (Ventana-C., 2019).

Además existen tipos de harinas según su origen vegetal, por ejemplo:

- **Harina de trigo integral:** Es la harina más utilizada para hacer pan después de la de trigo. Apenas contiene gluten, es necesario añadir un 50 % de harina de trigo para conseguir un buen proceso de fermentación. Es una harina oscura sin realizar ninguna separación de las partes del trigo por lo que contiene la totalidad del salvado del mismo (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).

- **Harina de soya:** Es una excelente fuente de proteína, hierro, vitaminas del complejo B y calcio. La harina de soya sin grasa, es también una fuente importante de fibra, contiene isoflavones, que actúan como antioxidantes para la prevención del cáncer, osteoporosis y la enfermedad cardiovascular. Posee una textura ideal para la preparación de una gran variedad de recetas y productos (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).
- **Harina de arroz:** No contiene gluten, se utiliza principalmente como producto para celíacos y convalecientes. El arroz refinado y molido muy finamente se convierte en harina de arroz. Se puede usar como agente espesante y es útil para personas que son alérgicas al trigo (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).
- **Harina de cebada:** El grano de cebada contiene gluten en poca cantidad y ello hace que sea una harina que no tiene las características para elaborar pan y repostería, ya que no se esponja. La harina de cebada se obtiene moliendo el grano de cebada entero, mientras que la harina blanca es el núcleo del grano de cebada molido sin la corteza exterior. Esta harina puede añadirse en pequeñas cantidades a la integral o a la blanca para producir un tipo de pan de sabor rústico (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).
- **Harina de centeno:** El pan elaborado con solo harina de centeno, resulta algo compacto y duro. El centeno es el único cereal, aparte del trigo, que se usa ampliamente para hacer pan. Tiene un alto contenido en gluten y la masa de harina de centeno es más pegajosa y difícil de manejar. Se mezcla con otras harinas para crear una masa más manejable. Hay diferentes tipos de harina de centeno que varían en su color y finura del grano (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).
- **Harina de maíz:** No contiene gluten. En su forma menos refinada se denomina polenta a la sémola del maíz. Este tipo de harina se obtiene moliendo granos de maíz blancos o amarillos, y se encuentra normalmente en diversos grados de refinado. Son muchos los tipos de pan elaborados con harina de maíz en los países de América del sur. Sin embargo al no contener gluten, no es posible hacer pan con él sin añadirle harina de trigo, en cuyo caso el maíz aporta a la mezcla sobre todo sabor y color (Jiménez-Mazarán & Landa-Robles, 2018).

- **Harina de avena:** Molida finamente es muy útil en repostería y panes. Es rica en ácidos grasos y ácido fólico. La harina de avena no tiene gluten por lo que raramente se usa sola para hacer pan. Los copos de avena no son una variedad de harina, sino los granos de avena enteros cocidos al vapor y prensados. Suelen utilizarse esparcidos sobre la corteza de panes y panecillos, a los que aportan un agradable sabor (Jiménez-Mazaran & Landa-Robles, 2018).

2.2.2 Harinas refinadas para pastas y problemas de salud

Las harinas refinadas son aquellas que se someten a un proceso industrial en el que se crean partículas más finas y pequeñas al eliminar parte de los componentes fundamentales de la harina de grano entero. Esta suele estar formada por el salvado, germen y endospermo, (figura 4) en las harinas refinadas se emplea tan solo el endospermo, dando lugar a un ingrediente más digerible y que permite ser utilizado con mayor facilidad en diversos productos (Gomez-S., 2018). Cuando se elimina el salvado y el germen, el trigo está perdiendo parte de sus propiedades y nutrientes. De esta manera, al eliminar dichos componentes, las harinas refinadas tienen un aporte mucho menor en fibra, proteína y otros micronutrientes como vitaminas y minerales (Gomez-S., 2018).

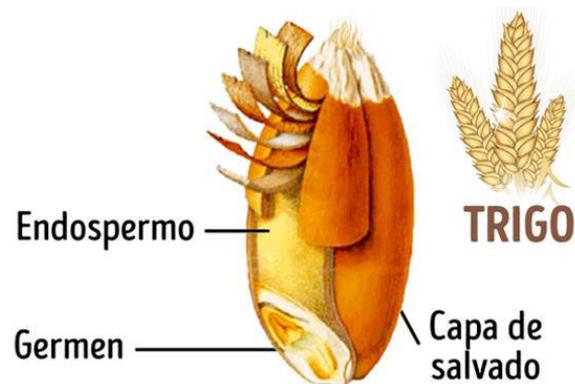


Figura 4. Anatomía del grano de trigo.

Las harinas refinadas se digieren fácilmente en comparación con el grano entero que le da origen, por ello, éstas y sus derivados son alimentos de alto índice glucémico lo que indica que su consumo eleva rápidamente la glucosa en nuestra sangre. La ingesta frecuente de este tipo de alimentos de alto índice glucémico puede inducir cambios metabólicos en nuestro cuerpo que generen entre otras cosas, mayor riesgo de sufrir cardiopatías, obesidad, diabetes y cáncer. Además, las harinas refinadas consumidas solas, no sacian y pueden tener un efecto adictivo propio de la respuesta placentera que desencadenan los hidratos de fácil absorción en el organismo (Gottau-G., 2017).

2.2.3 Pastas con harinas no convencionales

Actualmente el consumidor busca tener en los alimentos básicos algún aporte extra o que lo beneficie tanto en salud como económicamente, es por eso que se han desarrollado a nivel de investigación gran variedad de pastas con harinas no convencionales o innovaciones, entre ellas están las siguientes:

- **Pasta adicionada con harina de garbanzo.** La pasta es preparada con harina de garbanzo cruda, para la formulación se mezcla sémola de trigo, harina de garbanzo y agua, hasta obtener la masa, se realiza un corte en una máquina en forma de tallarines (Rincón-Reyna, *et al.*, 2016).
- **Pasta alimenticia a partir de harinas de sagú, quinua y lenteja.** Los autores Aparicio-Aponte & Agudelo-Quintero realizaron tres formulaciones, en las cuales adicionaron huevo, goma guar y sal con el fin de mejorar las propiedades tecnológicas del producto. (Aparicio-Aponte & Agudelo-Quintero, 2018).
- **Pasta alimentaria a partir de diferentes variedades de cebada.** Según el autor Acosta, la pasta se realizó con la siguiente formulación: sémola de cebada (100 g), aceite de oliva (3.5 g), huevo (16 g), agua (30 ml) y sal (0.75 g) (Acosta-Rueda, 2007).
- **Pasta alimenticia tipo caracol a base de harina de maíz nixtamalizado y harina de frijol honduras nutritivo.** La investigación demuestra que la mejor formulación fue de 70 % de harina de maíz y 30 % de harina de frijol, aunque las pastas elaboradas obtuvieron una aceptación de “me gusta poco”. La adición de harina de frijol

disminuye la calidad fisicoquímica de las pastas, aunque su preparación casera es de menor consumo energético en comparación al frijol (González-Teo, 2018).

- **Pasta funcional con adición de harina de bagazo de uva.** La investigación señala que para maximizar la adición de harina de bagazo de uva tinto a la pasta, incorporó carbonato de calcio, como regulador de acidez. Además, adicionó gluten para mejorar las características de la masa y fibra de avena para complementar la fibra por la sémola de trigo y harina de bagazo de uva, permitiendo que el producto sea alto en fibra. Como resultado de la investigación presentada por Navarrete-Jaramillo (2015), la formulación final contiene un 93.25 % de sémola de trigo, 2.5 % de harina de bagazo de uva, 2.0 % de gluten de trigo, 1.25 % de fibra de avena y un 1.0 % de CaCO_3 , el producto final contiene 7.54 % de fibra.

2.2.4 Preparación agroindustrial de harinas y pastas.

El trigo recorre un largo camino desde la producción del grano hasta la obtención de los diferentes tipos de productos farináceos elaborados con la harina que resulta de la operación de la molienda. Los distintos eslabones que componen la cadena agroindustrial del trigo, le agregan valor a la producción primaria. De esta manera, los productos que se obtienen en las sucesivas operaciones y posteriores procesos industriales de transformación satisfacen las demandas de consumidores tanto internos como externos (SAGARPA, 2015).

El proceso de producción de harina de trigo para fabricación de pan, pastas alimenticias o galletas consta de varias etapas y aparece esquematizado en la figura 5.

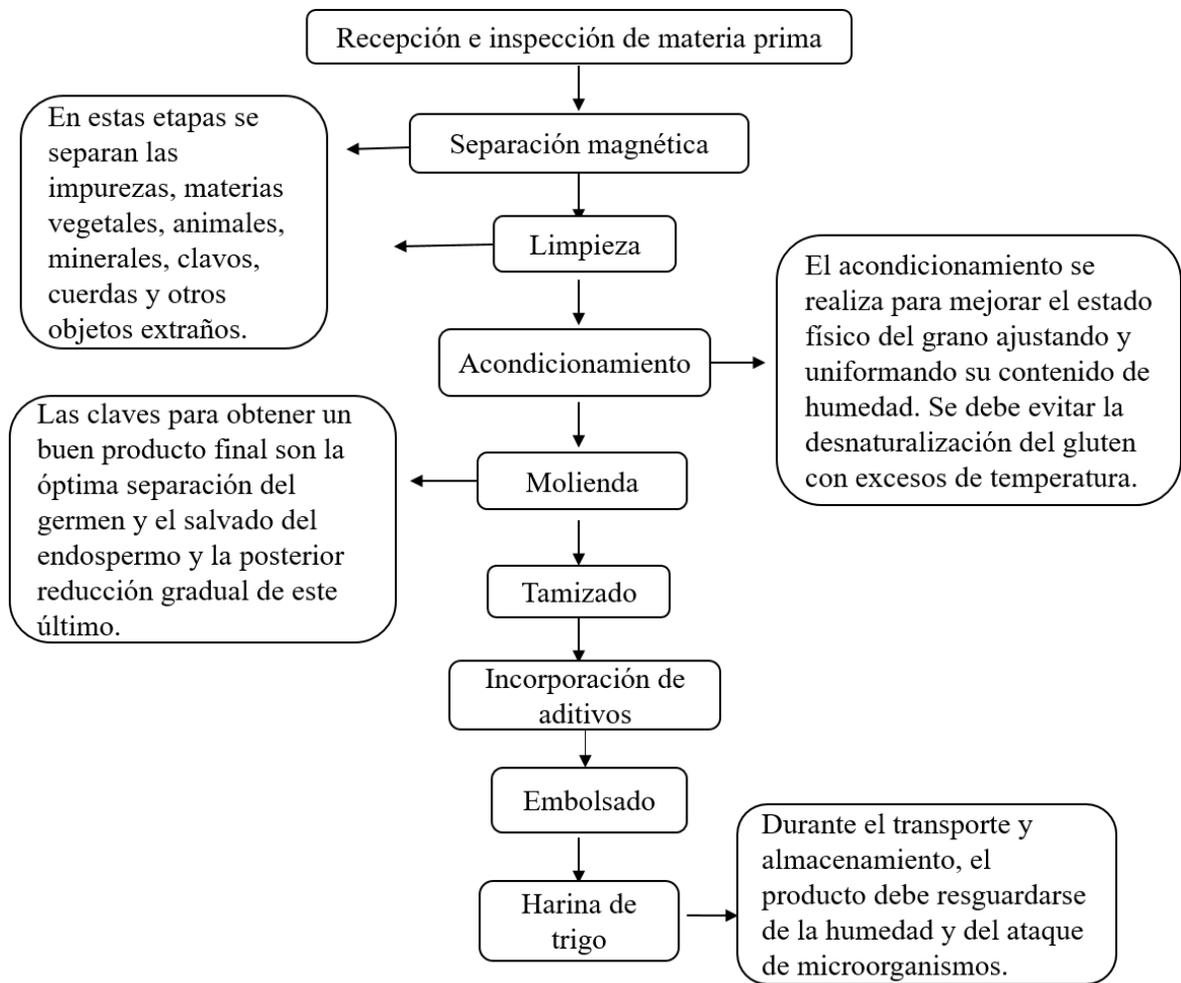


Figura 5. Etapas del proceso de producción de harina de trigo (Reyes-S., 2014)

2.2.4.1 Etapas y procesos de la elaboración de pastas secas industriales

En el comienzo del proceso de las pastas secas a nivel industrial, dosificadores independientes introducen los ingredientes en forma automática en el compartimiento que realiza la premezcla de los mismos. El volumen de agua se relaciona con el contenido de humedad inicial de los ingredientes pulverulentos.

De aquí pasan al compartimiento de amasado, donde se busca gradualmente que la hidratación sea homogénea en todos los gránulos de harina o sémola que componen la masa para evitar defectos en las pastas secas, como son las manchas blancas (la granulometría de estos ingredientes es muy importante y también su temperatura).

Algunos equipos incorporan vacío durante el amasado para evitar la oxidación enzimática de los pigmentos naturales de la sémola, que puede afectar el color amarillo de las pastas (Lezcano-P., 2008).

Posteriormente la masa ingresa a la unidad de extrusión donde un tornillo sin fin, fuerza su paso a través de una abertura que le otorga la forma final al producto. En esta etapa la masa sufre una compresión y fricción mecánica que incrementa su temperatura, lo cual puede implicar para el producto riesgos tales como sequedad excesiva, por lo que la temperatura no debe superar los 40 °C. La salida de la prensa posee una pieza intercambiable que otorga distintas formas a las pastas (Lezcano-P., 2008).

Una vez que las pastas ya formadas y cortadas salen de la prensa automática continua, son sometidas a un presecado a fin de evitar que se deformen o peguen entre sí; luego una cinta de tela las conduce hacia el equipo de secado. El tiempo de permanencia dentro del mismo depende de la variedad de pasta, si el fideo es hueco o no, de su tamaño, etc., y el paso requiere tener en cuenta las variables de temperatura y humedad (Lezcano-P., 2008).

Cuando las pastas llegan, en forma continua, a la salida del secador, un elevador de cangilones las traslada hacia tolvas donde permanecen hasta su enfriamiento. Posteriormente, son transportadas por cinta de tela hacia la tolva de la envasadora de multicabezales (Lezcano-P., 2008) el proceso se muestra en la figura 6.

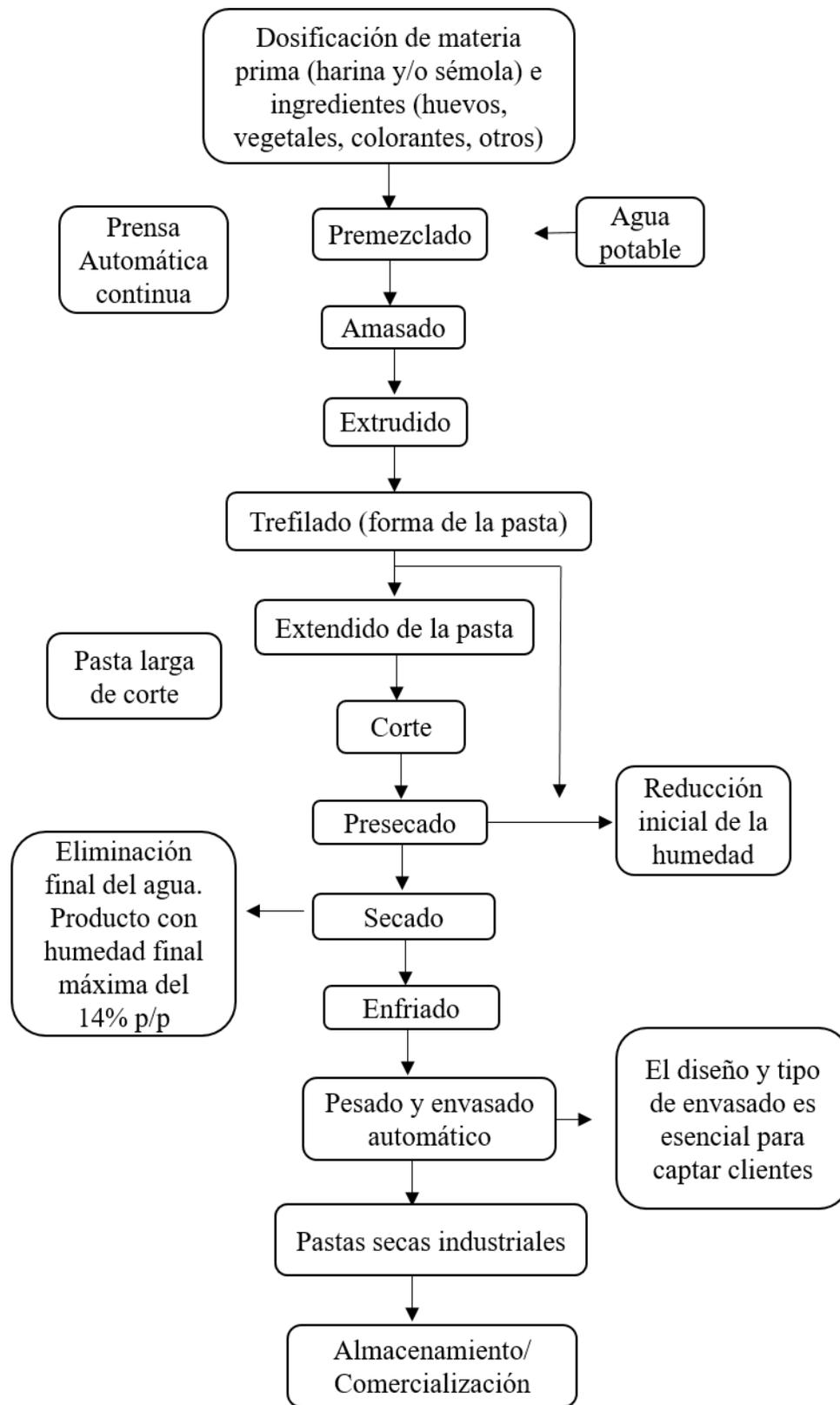


Figura 6. Etapas de la elaboración de pastas secas industriales (Lezcano-P., 2008).

2.2.4.2 Envasado

Las principales funciones de los diferentes tipos de envases, son, preservar el producto, mantenerlo libre de contaminación, proteger el producto del daño durante el almacenamiento, conservar las propiedades del producto. Se envasan principalmente en material de celofán, polietileno de baja densidad, papel kraft o papel corrugado, cajas de cartón, u otro material de calidad sanitaria y cerrado (figura 7), ya sea sellado al calor u otro medio que asegure su conservación y no altere sus especificaciones sensoriales (Pérez-Espinoza, 2012).



Figura 7. Ejemplos de envasado para pastas. A) Bolsas de celofán. B) Cajas de cartón.

2.2.4.3 Embalaje

Según la norma NMX-F-023-S (1980), pasta de harina de trigo y/o semolina para sopa y sus variedades. Para el embalaje del producto, se deben usar cajas de cartón o envolturas de algún otro material apropiado, que tengan la debida resistencia y que ofrezcan la protección adecuada a los envases para impedir su deterioro exterior, a la vez faciliten su manipulación en el almacenamiento y distribución de las mismas, sin exponer a las personas que los manipulen (Pérez-Espinoza, 2012).

2.2.4.4 Almacenamiento

El producto terminado debe conservarse en locales que reúnan los requisitos sanitarios que señale la Secretaria de Salubridad y Asistencia, la cual indica que el alimento debe colocarse en mesas, estibas, tarimas, anaqueles, entrepaños, estructura o cualquier superficie limpia que evite su contaminación, deben colocarse de tal manera que permita la circulación del

aire, la estiba de productos debe realizarse evitando el rompimiento y exudación de empaques y envolturas, los implementos o utensilios tales como escobas, trapeadores, recogedores, fibras y cualquier otro empleado para la limpieza del establecimiento, deben almacenarse en un lugar específico de tal manera que se evite la contaminación del alimento (NOM-251-SSA1-2009, 2009).

2.3 El nopal

Los nopales son plantas arbustivas, rastreras o erectas, que pueden alcanzar de 3 a 5 m de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas absorbentes y superficiales en zonas áridas de escasa pluviometría. La longitud de las raíces está en relación con las condiciones hídricas y con el manejo cultural, especialmente el riego y la fertilización (Villegas y de Gante, 1997; Granados Sánchez y Castañeda Pérez, 2000; De la Rosa y Santana, 2001) citados en (Abraján-Villaseñor, et al., 2008). Su tronco es leñoso y mide entre 20 y 50 cm de diámetro. Sus ramas están formadas por cladodios de 30 a 60 cm de largo x 20 a 40 cm de ancho y de 2 a 3 cm de espesor. El cladodio fresco recibe el nombre de nopalito y el adulto de penca (figura 8), puede desarrollarse en zonas desérticas y resistir grandes periodos de sequía. Se desarrolla en temperaturas que oscilan entre 6 y 36 °C y su óptima es entre 15 y 16 °C. El nopal verdura principalmente se propaga de manera asexual a través de cladodios/raquetas (Abraján-Villaseñor, *et al.*, 2008).



Figura 8. Planta de nopal *Opuntia ficus indica* var. *blanco*. Plantación en la comunidad de la Moncada, municipio de Tarimoro, Gto.

2.3.1 Origen y Diversidad

La planta del nopal se distribuye en América, siendo México el país con mayor abundancia de especies, por lo que se puede considerar como el centro de origen y diversidad de esta especie. A partir de la conquista, las mejores variedades fueron llevadas por los conquistadores a Sudamérica y al resto del mundo. Actualmente, las plantas del género *Opuntia* son nativas de varios ambientes, desde zonas áridas al nivel del mar hasta territorios de gran altura como Los Andes del Perú (Quispe-Jiménez, 2012). La familia de las cactáceas incluye alrededor de 130 géneros y 500 especies en el mundo y se usan como alimento, como cerco vivo o para el control de erosión del suelo. Las cactáceas pueden producir mayor cantidad de materia seca por milímetros de lluvia que cualquier otro tipo de planta debido a su metabolismo fotosintético conocido como metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM) (Sanchez-Vázquez, 2011). El metabolismo de las plantas CAM consiste en que los estomas permanecen abiertos durante la noche y cerrados durante la mayor parte del día, resultando de esta manera en una pérdida mínima de agua y fotorespiración reducida. Por tanto, las plantas CAM exhiben tasas en la eficiencia del uso del agua cinco a diez veces más altas que otras, resultando en una considerable ventaja competitiva en ambientes en que el agua es el factor limitante (Geydan-T. & Melgarejo-R., 2005).



Figura 9. Abundancia de nopales silvestres en México (Scheinvar, *et al.*, 2008).

Las opuntias de México presentan la diversidad genética más amplia y el más alto consumo del mundo (Inglese-L, *et al.*, 2018). Las principales especies cultivadas son. *O. ficus-indica*, *O. xocconostle*, y *O. megacantha*, por su historia e importancia agroecológica y económica del nopal. Adicionalmente *O. robusta*, *O. leucotricha*, *O. hyptiacantha* y *O. chaveña* son cosechadas de poblaciones silvestres de nopal de zonas semiáridas con suelos pobres, que cubren casi 3 millones de hectáreas de los estados de: Sonora, Baja California Norte y Sur, Sinaloa, Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Tamaulipas, Durango, Zacatecas, San Luis Potosí, Jalisco, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo. *O. ficus indica* es la cactácea de mayor valor económico en el mundo. Es cultivada en América, África, Asia, Europa y Oceanía. La tabla 1 muestra su clasificación taxonómica (Inglese-L, *et al.*, 2018).

Tabla 1. Clasificación taxonómica del nopal.

Reino	Vegetal
Subreino	<i>Embryophyta / Siphonogama</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledonese</i>
Subclase	<i>Dialipétalas</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactáceas</i>
Subfamilia	<i>Opuntiodeae</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Género	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Platyopuntia</i>
Especie	Variante

Fuente: Inglese-L, *et al.*, 2018.

2.3.2 Valor de la producción del nopal a nivel mundial y en México

A pesar de que México se considera el principal productor de nopal mundialmente, con 9,000 hectáreas cultivadas, los mercados internacionales también se hacen presentes, en 2016 Estados Unidos cultivó cerca de 1000 hectáreas, principalmente, en los estados de Texas y California. La producción media es de 50 toneladas por hectárea. Mientras que Chile produce en pequeñas cantidades (Saravia , 2016).

México se distingue a nivel mundial por la producción de nopal, según el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP, 2017) esta hortaliza se ubica entre las 15 más importantes del país. Los datos de producción indican que a nivel nacional el nopalito, es cultivado en 14 entidades federativas por 50 mil productores de pequeña escala. Destacan por su liderazgo el estado de Morelos, con 45.3 % de la producción nacional, seguido por la Ciudad de México con el 38 % del valor de la producción, para el año 2017 , la producción en México fue de 1, 496, 332 toneladas de una superficie sembrada de 77, 878 hectáreas, dejando una derrama económica para el país de \$ 3'302, 570, 580.00, siendo la producción del nopal verdura el que más deja en términos económicos (Sandoval-Trujillo, *et al.*, 2019). El estado de Hidalgo reporta sólo 78 hectáreas sembradas y participa con menos del 1% en el valor de la producción. Según SAGARPA, el mercado estadounidense constituye el principal destino de nopalitos, las ventas en 2016 reportaron alrededor de 13.9 mdd.

Entre el resto de países importadores de nopal mexicano, Bélgica aporta el segundo mayor flujo monetario por el volumen adquirido con casi 29 mil dólares, en tanto, que Corea del Sur, en este rubro, es el tercer mercado que más divisas transfiere al país (Sandoval-Trujillo, *et al.*, 2019)

La tabla 2, muestra información sobre la producción de nopal verdura en México en el periodo comprendido entre los años 2010 y 2015, en aspectos tales como superficie sembrada, superficie cosechada, total de la producción anual, rendimiento por hectárea, precio medio rural, así como el valor total de la producción.

Tabla 2. Producción nacional de nopal verdura en México en el periodo 2010-2015.

Año	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de Pesos)
2015	12,626	12,038	812,705	67.51	1,882	1,530,285
2014	12,038	10,996	824,602	74.99	1,961	1,617,645
2013	13,123	12,520	786,774	62.84	2,448	1,926,160
2012	12,453	12,104	856,542	70.76	1,635	1,400,748
2011	12,644	12,179	777,413	63.83	1,724	1,340,602
2010	12,472	12,201	723,815	59.32	2,308	1,671,212

PMR: Precio Medio Rural

Fuente: información SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2016.

Como se observa en la tabla 2, la superficie sembrada de nopal verdura en México ha tenido pocas variaciones, no así la superficie cosechada, que tuvo en 2014 una caída ocasionada principalmente por efectos climáticos (descensos de temperatura y heladas principalmente). Por otro lado, la producción ha tenido un aumento paulatino en los últimos años y esto se explica por las mejoras tecnológicas que suponen una inversión en este sector.

La tabla 3 presenta los principales estados productores de nopal, así como la superficie cosechada y el valor de producción (Ocampo-Ochoa, *et al.*, 2017).

Tabla 3. Principales estados productores de nopal verdura en México.

Estado	Superficie sembrada (Ha)	Superficie cosechada (Ha)	Producción (Ton)	Rendimiento (Ton/Ha)	PMR (\$/Ton)	Valor producción (Miles de Pesos)
Morelos	3,905	3,873	367,826	94.9	1,548	569,432
Ciudad de México	2,903	2,903	204,047	70.2	3,823	780,156
Estado de México	950	927	82,967	97.0	1,905	171,452
Tamaulipas	938	864	11,337	13.1	2,536	28,855
Jalisco	738	737	33,442	45.3	4,322	144,550
Hidalgo	92	87	6,539	75	3,989	26,084

PMR: Precio Medio Rural

Fuente: información SIAP (Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera) 2016.

2.3.3 Consumo de nopal verdura en México

El mercado y consumo del nopal verdura en México se focaliza principalmente en cuatro regiones que son las siguientes:

- 50 % en la región centro, con un consumo per cápita de 6.72 kg anuales.
- 22 % en la región norte, con un consumo per cápita de 5.27 kg anuales.
- 15 % en la región sur, con un consumo per cápita anual de 3.66 kg.
- 13 % en la región occidente, con un consumo per cápita anual de 5.87 kg.

La información anterior señala que los productores mantienen concentrada la producción en la región centro del país (Ciudad de México, principalmente), en donde el consumo per cápita es más alto. En lo que respecta a la región sur, el bajo consumo de nopal puede estar relacionado a un aspecto cultural y a la existencia de una limitada relación de identidad entre los consumidores y el producto (nopal verdura). Lo anterior no limita la oportunidad

comercial que los productores pueden aprovechar para incursionar en los mercados estatales alejados de los principales centros de producción (Ocampo-Ochoa, *et al.*, 2017).

2.3.4 Valor nutricional

La alimentación hoy en día, ha dejado de ser un simple sistema para satisfacer nuestras necesidades de sobrevivencia y se convierte en un instrumento que garantiza nuestro bienestar y salud. Cada día, los consumidores se dirigen más a la búsqueda de nuevos productos con propiedades funcionales que puedan mejorar su estado tanto físico como mental, el nopal verdura se puede incorporar fácilmente como parte de una alimentación sana y saludable, ya que su preparación es muy variada (Torres-Ponce, *et al.*, 2015).

Tabla 4. Valor nutricional de una porción de 100 g de nopal fresco.

Parámetro	%	Minerales	mg
Agua	88 - 95	Fósforo	16
Carbohidratos	3 - 7	Potasio	257
Cenizas	1 - 2	Calcio	93
Proteínas	0.5 - 1.7	Magnesio	52
		Hierro	1.6
		Manganeso	0.5
Compuestos funcionales	mg		
Niacina	0.30 - 0.46		
Ácido ascórbico	7 - 22		
Carotenos totales	11.3 - 53.5		
Clorofila	11.52		

Fuente: Flores-Mendiola, (2012).

2.3.5 Propiedades funcionales de los nopales

Los compuestos funcionales son aquellos que tienen efectos beneficiosos para la salud. Tanto los frutos como los cladodios son una fuente interesante de tales componentes, entre los que destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C, importante por sus propiedades antioxidantes. Todos estos compuestos son muy apreciados como parte de una dieta saludable y como ingredientes para el diseño de nuevos alimentos (Sáenz, *et al.*, 2006). Los alimentos funcionales se definen como ‘alimentos o bebidas que proporcionan un beneficio fisiológico, que fortalece la salud, ayuda a prevenir o tratar enfermedades o mejora el rendimiento físico o mental por la adición de un ingrediente funcional, por la modificación de un proceso o por el uso de la biotecnología’ (Sloan, 2000) citado en (Sáenz, *et al.*, 2006). Entre los compuestos funcionales del nopal, la fibra dietética es el componente más estudiado desde el punto de vista de la nutrición y la relación que existe entre fibra y salud. Por ejemplo, para el control del colesterol y prevención de algunas enfermedades como diabetes y obesidad (Hollingsworth, 1996; Grijspaardt-Vink, 1996; Sloan, 1994) citados en (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).

2.3.6 El nopal: atributos y beneficios a la salud

Algunos de los atributos presentes en el nopal es que contiene 17 aminoácidos, 8 son esenciales, es decir, que se deben ingerir en la alimentación diaria, como triptófano, valina y lisina, aunque el más abundante sea la glutamina, el grupo de aminoácidos lo completa la alanina, arginina, asparagina, ácido glutámico, ácido aspártico, glicina, histidina, prolina, hidroxiprolina, isoleucina, leucina, metionina, fenilalanina, serina, treonina, tirosina (Melgoza-Hernández, 2000).

El nopal tiene vitaminas A, B1, B3, B12, C y E, contiene además riboflavina y tiamina. Vitaminas A y C tienen poder antioxidante contra los radicales libres que alteran el equilibrio celular, las vitaminas son importantes para los procesos bioquímicos del organismo, los radicales libres son moléculas reactivas del oxígeno que pueden dañar las membranas

celulares y el material genético, los antioxidantes previenen, evitan y detienen el deterioro o debilidad de células, órganos y sistemas (Melgoza-Hernández, 2000).

Vitamina B3, conocida como niacina o ácido nicotínico o niacinamida, participa en la formación de transmisores nerviosos y producción de hormonas sexuales e insulina. El contenido de vitamina C en el nopal es considerable. Esta vitamina es de gran importancia puesto que contribuye en la síntesis de colágeno, huesos, dentina de los dientes, cartílagos y paredes de los vasos capilares sanguíneos y ayuda a la absorción de hierro. El nopal tiene muchos minerales. Los minerales hacen parte de las enzimas necesarias en el metabolismo y en la desintoxicación del organismo, así mismo, hacen parte de los mecanismos que transportan nutrientes y elementos necesarios para el funcionamiento del organismo y para la vida (Melgoza-Hernández, 2000).

Contiene, tres minerales esenciales; calcio, fósforo y hierro. Al igual que las vitaminas, algunos minerales son indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano y su carencia puede provocar daños a la salud. El calcio es el elemento químico más abundante en el ser humano y se recomienda una ingestión de 500 a 1000 mg diarios. El calcio es indispensable para la formación de huesos y dientes además de favorecer la contracción muscular y la coagulación de la sangre (Melgoza-Hernández, 2000).

El nopal verdura aporta una gran cantidad de beneficios a la salud, por ejemplo, en:

- **Obesidad.** La fibra dietética insoluble absorbe agua y acelera el paso de los alimentos por el tracto digestivo, impidiendo o retrasando la absorción de azúcares, lo que provoca una sensación de saciedad, por lo que disminuye la ingesta de alimento; asimismo, ayuda a regular el movimiento intestinal (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Padecimientos gastrointestinales.** El nopal aporta una gran cantidad de fibra soluble e insoluble. A la gran cantidad de fibra soluble (pectina, gomas y mucílagos), le atribuyen una función medicinal que favorece el proceso digestivo. Además, reduce el riesgo de problemas gastrointestinales. (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Colesterol.** Los aminoácidos, la fibra y la niacina previenen que el exceso de azúcar en la sangre se convierta en grasa; por otro lado, metabolizan la grasa y los ácidos grasos reduciendo así los niveles de colesterol. De la misma manera, la fibra reduce la cantidad de lipoproteínas y disminuye el colesterol en la sangre al interferir en la absorción de grasas en los intestinos (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).

- **Arteriosclerosis.** El efecto de los aminoácidos y la fibra, incluyendo los antioxidantes, vitamina C y A, previenen la posibilidad de daños en las paredes de los vasos sanguíneos, así como la formación de plaquetas de grasa (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Limpieza del colon.** Las fibras insolubles ayudan a diluir la concentración de cancerígenos en el colon, con lo que se previene en cierta medida la aparición de este padecimiento (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Diabetes.** El nopal es un alimento recomendable en el tratamiento de la diabetes para disminuir las concentraciones de azúcar en la sangre, el efecto hipoglucemiante se debe a su alto contenido de polisacáridos fibrosos y pectina. El nopal es un vegetal que contiene compuestos solubles, como el mucílago y la pectina, y varios tipos de fibra insoluble, como la hemicelulosa, la celulosa y la lignina; en adición, contiene polifenoles, vitamina C y agua. La combinación de todos estos compuestos, unida a su índice glucémico bajo, hace que el nopal favorezca la liberación lenta y constante de la glucosa en sangre (Basurto-Santos, *et al.*, 2018).
- **Desintoxicación del organismo.** Las vitaminas disponibles en el nopal, como la B1, B2, B3 y C, además de minerales como calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro, participan en la desintoxicación del organismo en general. Su poder antioxidante brinda adecuada protección ante las toxinas del medio ambiente (Melgoza-Hernández, 2000).

2.3.7 Tecnologías a base de nopal fresco

Obtener productos de mayor valor agregado y mayor potencial de comercialización, ampliar la vida de anaquel y la disponibilidad del producto a lo largo de todo el año, regular los precios en caso de sobreoferta en el mercado del producto en fresco, así como generar empleo son, entre otros aspectos, las principales ventajas y razones de ser de la industrialización.

El procesamiento e industrialización del nopal resulta de gran interés, dado que es tecnológicamente posible y que puede ser económicamente viable y rentable, se realiza la transformación y uso del nopal para producción de alimentos, utilizando tanto los cladodios tiernos (nopalitos) como los cladodios maduros. Los principales productos de la industria

alimentaria asociada al nopal en el Sur de Estados Unidos de América y México son los nopalitos (nopal verdura), preparando alimentos con nopalitos como mermeladas, dulces, bebidas y harina de nopal (Sáenz, *et al.*, 2006).

2.3.7.1 Productos derivados del nopal

El nopal puede ser utilizado tanto como producto fresco como en materia prima para la elaboración de productos de la dieta diaria, tales como jugos, licor, harina para panificación, pastas, bizcochos, galletas, salmueras o escabeche para el consumo humano; además es base para dulces cristalizados, mermeladas y jaleas, edulcorantes, materia prima para la industria de cosméticos, artículos de tocador, shampoo, jabón y cremas, elementos decorativos como planta de ornato y base para obtención de pigmento de usos múltiples. Los productos que se pueden obtener del nopal verdura van desde la industria de bebidas hasta la industria de la construcción (Sanchez-Vázquez, 2011). La tabla 5 muestra algunos ejemplos de los principales productos derivados del nopal verdura.

Tabla 5. Principales productos a la venta, derivados de nopal verdura

Usos	Nopal Verdura
Farmacéuticos	Comprimidos y cápsulas, protectores gástricos de extractos de mucílagos; cápsulas y tabletas de polvo de nopal.
Cosméticos	Cremas, shampoos y enjuagues.
Alimentarios	Dulces, escabeches, harina, jugos, mermeladas, salsas, salmueras, tortillas y tostadas.
Construcción	Pintura, compuestos ligantes de los cladodios-pencas.
Textil	Colorantes naturales: carmín de grana cochinilla.

Elaborado por Ocampo-Ochoa, *et al.*, (2017).

2.3.7.2 Productos alimenticios derivados del nopal fresco

Diversos productos han sido formulados con nopal a continuación se mencionan algunos que fueron identificados en la investigación documental reportados en artículos de investigación.

- **Galletas.** Elaboración de galletas empleando nopal fresco como fuente de fibra en la formulación, utilizando aceite de canola y sucralosa, la cantidad de nopal es constante de tal manera que no afecte la textura de la masa. Además, el uso de nopal fresco en la formulación de panqués para incrementar su contenido de fibra dietética y calcio (Bautista-Justo, *et al.*, 2018).
- **Jugos y bebidas.** El jugo de nopal es el extracto obtenido de la molienda y prensado de los nopalitas. El proceso de obtención del jugo de nopal consiste en moler en un equipo industrial o doméstico los nopalitas previamente sin espinas y cortados; para facilitar el proceso se adiciona agua y el homogeneizado obtenido se filtra para separar los sólidos en suspensión del líquido. En México el jugo de nopal es producido a manera de mezcla con jugo de guayaba y se comercializa en el mercado nacional y de exportación. Otros productos de interés son los jarabes de nopal que se elaboran con base en jarabe de sacarosa (55-75 °Brix) y jugo de nopal (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Nopalitas en Salmuera.** El acondicionamiento consiste básicamente en escaldar y lavar los nopalitas, con el propósito de inactivar las enzimas y destruir los microorganismos que pudieran estar presentes, ablandar el producto y eliminar parte del mucílago, se vierte agua en una cacerola de 4 litros, se tapa y se pone a fuego alto, ya que el agua hierve, se añaden los nopales, se dejan por un tiempo de 3 minutos, para que se escalden, los nopales se retiran del fuego y se escurren inmediatamente se sumergen en agua fría por cinco segundos y se deja escurrir; la salmuera se prepara vertiendo dos tazas de agua en la cacerola de un litro, se añade la sal y el azúcar y se pone a fuego alto hasta que hierva por dos minutos (Sánchez-Alejo, 2008).
- **Nopalitas en escabeche.** Son nopalitas conservados en vinagre, el proceso consiste básicamente en cortar o picar (manual o mecánicamente) los nopalitas previamente acondicionados (limpios y sin espinas), a la par se prepara el escabeche que es una

mezcla con vinagre al 1.5 %, agua, sal y especias (hiervas de olor). El vinagre se calienta hasta ebullición, se le adicionan las especias, directamente o dentro de una bolsa de tela, dejando hervir cinco minutos más para que el vinagre se aromatice (Buendía-Campos, *et al.*, 2006).

2.3.7.3 Productos alimenticios elaborados con harina de nopal

La harina de nopal se obtiene por deshidratación y molido de los cladodios, sin espinas lavados y cortados. Se usa en las industrias del pan, galletas y pastas, así como para elaborar fibras dietéticas peletizadas. Algunos ejemplos se describen a continuación (figura 10).

- **Tortilla de nopal.** En el año 2003 se encontró en el mercado la oferta de tortillas con una proporción de harina de nopal (o de nopal fresco) agregada a la tradicional harina de maíz con la que se elaboran estos productos que son de consumo masivo en el país. El producto elaborado con nopal fresco ha tenido buena aceptación en el país y actualmente se comercializa en varios estados de México (Aguascalientes, Jalisco, Nuevo León, Zacatecas) (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008).
- **Productos de panificación.** Son de consumo cotidiano en el país: empanada, bizcocho, galletas y pudín, sustituyendo porcentajes de 10, 15, 20 y 25 % de harina de nopal por la harina de trigo (Berigüete-E, *et al.*, 2012).
- **Formulación de alfajores.** (Dos o más galletas unidas por un relleno dulce y generalmente bañadas en chocolate, glaseado o azúcar en polvo) con mezclas de trigo-harina en diferentes proporciones. Cada alfajor se elaboró con mezcla de harina de trigo enriquecida, harina de nopal, azúcar, manteca, leche entera, huevo, aromatizante artificial vainilla y limón (Castillo, *et al.*, 2013).
- **Mermelada de nopal.** Se elabora con base en nopalitos molidos y cocidos, con una concentración variable de azúcar, pectina y conservadores. Su procesamiento consiste en picar el material previamente escaldado y después someterlo a cocción y a molienda; luego se calienta para agregar gradualmente el azúcar a partir del punto de ebullición. Antes de terminar de agregar el azúcar se adiciona pectina, benzoato de sodio y ácido cítrico en diferentes proporciones, se mezcla y se termina de agregar el azúcar. La mezcla se calienta hasta una concentración de 65 °Brix y la pectina se

agrega disuelta en un jarabe. Si no hay una buena formación de gel, se puede incrementar la relación pectina-ácido cítrico (Covarrubias-Peña, 2000).

El consumidor debe disponer de datos veraces y comprobados, exentos de artificios que lo engañen sobre las propiedades de los ingredientes de los alimentos; por tal motivo es responsabilidad de los industriales que los alimentos que produzcan sean seguros y correspondan a las características con las que se comercialicen, además que deben contener declaraciones nutrimentales. Estas declaraciones se rigen a nivel internacional por el Codex Alimentarius, y en el ámbito nacional por la (NOM-051-SCFI, 1994).



Figura 10. Ejemplo de alimentos elaborados a base de nopalito fresco y nopal deshidratado (elaboración propia con imágenes de internet)

2.4 Alimentación y problemas a la salud en México y el mundo

La obesidad es una enfermedad de curso crónico que tiene como origen una cadena causal compleja, donde interactúan factores genéticos, sociales y ambientales, incluyendo estilos de vida, así como determinantes sociales y económicos. Se caracteriza por un aumento en los depósitos de grasa corporal y por ende ganancia de peso, causados por un balance positivo de energía, que ocurre cuando la ingestión de energía de los alimentos excede al gasto energético y, como consecuencia, el exceso se almacena en forma de grasa en el organismo (Rivera-Dommarco, *et al.*, 2013).

Durante décadas el mundo progresó en la lucha contra el hambre. Hoy en día el número de personas subalimentadas está aumentando de nuevo. Más de 820 millones de personas (o aproximadamente una de cada nueve personas), padecen hambre. Las dietas poco saludables se han convertido ahora en el factor de riesgo principal de enfermedad y muerte en todo el mundo. Existe una necesidad urgente de hacer que una alimentación sana y sostenible sea asequible y accesible para todos (FAO, 2019).

En 2016, más de 1900 millones de adultos tenían sobrepeso y más de 650 millones eran obesos. Cada año mueren, como mínimo, 2.8 millones de personas a causa de la obesidad o sobrepeso. Para la población menor de cinco años 41 millones de niños tenían sobrepeso u obesidad y 340 millones de casos para niños y adolescentes de 5 a 19 años. La prevalencia de la obesidad se ha casi triplicado entre 1975 y 2016 (OMS, 2017).

En México, de 1980 a la fecha, la obesidad y sobrepeso se ha triplicado en proporciones alarmantes, ocupando, desafortunadamente, el segundo lugar a nivel mundial en la prevalencia de obesidad en adultos con un 32.4 %, solo por debajo de Estados Unidos (38.2 %); pero el negro panorama no termina ahí, pues México ocupa el primer lugar en obesidad infantil. La obesidad infantil se asocia con una mayor probabilidad de obesidad, muerte prematura y discapacidad en la edad adulta. Proyectando que para el 2030 el 39 % de la población mexicana será obesa (OECD, 2017).

Más de 50 % de la población de adultos y casi un tercio de los niños y niñas en México tienen sobrepeso y obesidad. El hecho de tener sobrepeso u obesidad conlleva a un mayor riesgo de mortalidad, así como al desarrollo de múltiples padecimientos especialmente enfermedad coronaria, diabetes tipo 2, cáncer y apoplejía que hoy por hoy son las principales causas de muerte en nuestro país. Además de la epidemia de obesidad, se observa en México gran incremento en la incidencia de diabetes tipo 2, se pensaba que la enfermedad se limitaba a adultos, pero ahora están involucrados los grupos de edad más jóvenes (Sánchez-Castillo, *et al.*, 2004).

Según la OMS la diabetes es una enfermedad crónica no trasmisible, aparece cuando el páncreas no produce insulina suficiente o cuando el organismo no utiliza eficazmente la insulina que produce. Según datos de la OMS la prevalencia de diabetes en el mundo aumentó, en 2014, 422 millones de adultos (8.5 % de la población) estaban diagnosticados con diabetes, cuando en 1980 eran 108 millones (4.7 % de la población). En el año 2000 ya

eran 171 millones de personas afectadas con diabetes, se prevé que para 2030 haya 366 millones de personas con este padecimiento. El 90 % de los casos diagnosticados con diabetes tienen relación directa con el sobrepeso y la obesidad (Vázquez-Morales, *et al.*, 2019).

En las últimas décadas hemos cambiado drásticamente nuestras dietas y hábitos alimenticios como resultado de la globalización y la urbanización. Hemos pasado de platos de temporada elaborados principalmente a base de plantas y ricos en fibra, a dietas hipercalóricas que tienen un alto contenido de almidones refinados, azúcar, grasas, sal, alimentos elaborados y, que, con frecuencia, están marcadas por el consumo excesivo de carne. Los consumidores, sobre todo en las zonas urbanas, dependen cada vez más de supermercados, vendedores de alimentos en la vía pública y establecimientos de comida rápida (FAO, 2019).

Es evidente que el cambio en la cultura alimentaria en México ha propiciado problemas de salud en la población: “La urbanización, la modernización y la sofisticación frecuentemente han llevado a dietas en las que un gran porcentaje del consumo de energía viene de azúcares y grasas, y conduce a un mayor consumo de sal”. Estos hábitos nutricionalmente negativos que han adquirido la mayor parte de las personas, han influido en el aumento de enfermedades crónicas, cuyas consecuencias si no son tratadas a tiempo llegan a ser fatales (Gomez-Delgado & Velázquez-Rodríguez, 2019).

III. Planteamiento del problema

Debido al exceso de consumo de comida rápida que afecta al mundo, además de favorecer al desarrollo de la obesidad, es un factor de riesgo para el desarrollo de enfermedades, por ello es indispensable crear conciencia entre la población al momento de elegir alimentos nutritivos, ya que la obesidad se ha convertido en enemigo público de la humanidad, desarrollando graves problemas de salud que pueden terminar en enfermedades como la diabetes, hipertensión etc. Se ha reportado que el nopal es una gran fuente de nutrientes que pueden ser más aprovechados aplicando tecnologías de procesamiento, es así que nace la idea de obtener y caracterizar la harina de nopal para elaborar un producto alimenticio tipo pasta para sugerir una propuesta viable al consumo de alimentos chatarra, con bajo valor nutricional y así aportar nutrientes a la población en general con un producto muy tradicional como lo son las pastas alimenticias.

IV. Justificación

La obesidad ha alcanzado proporciones epidémicas a nivel mundial, con base en información de la OMS cada año mueren, como mínimo, 2.8 millones de personas a causa de la obesidad o sobrepeso. Entre las principales causas de estas enfermedades se encuentran el abuso en consumo de calorías, grasas, procesados y azúcares. México ha incrementado su prevalencia de obesidad y sobrepeso rápidamente en las últimas décadas, ocupando, desafortunadamente, el segundo lugar a nivel mundial en obesidad en adultos con un 32.4 %, solo por debajo de Estados Unidos (38.2 %)(OECD). El hecho de tener sobrepeso u obesidad conlleva a un mayor riesgo de mortalidad, así como al desarrollo de múltiples padecimientos especialmente enfermedad coronaria, diabetes tipo 2, cáncer y apoplejía que hoy por hoy son las principales causas de muerte en nuestro país.

El nopal pertenece a la familia de las cactáceas y es originario del continente americano. De las mil 400 especies de cactus, 670 viven en México, y de estas, 508 son endémicas. Su consumo se distingue por beneficiar la salud del organismo, gracias al alto nivel de nutrientes que contiene, destacan la fibra, los hidrocoloides (mucílagos), los pigmentos (betalaínas y carotenoides), los minerales (calcio, potasio), y algunas vitaminas como la vitamina C.

El mercado y consumo del nopal verdura en México se focaliza principalmente en la región centro de la república, con un consumo per cápita de 6.72 kg anuales del producto fresco. Debido a que nuestro país tiene las más grandes extensiones de cultivo de nopal, y la importancia como alimento para las familias mexicanas, estos, son dignos de ser considerados para la industrialización, los nopales se conservan y transforman aplicando tecnologías de procesamiento, hoy en día existe gran variedad de alimentos tradicionales preparados a base de nopal verdura, por tanto en el presente trabajo se aspira a iniciar un producto agroindustrial tipo sopa casera a base de harina de nopal, que disminuya la ingesta de almidones refinados de alto contenido calórico y bajo valor nutricional de las pastas alimenticias de trigo tradicionales.

V. Objetivo general

Obtener y caracterizar harina de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*) y estudiar su posible utilización para la elaboración de una pasta seca, como producto alimenticio.

Objetivos específicos

- Obtener harina de nopal verdura para la preparación de producto alimenticio.
- Caracterizar química, física y funcionalmente la harina de nopal verdura (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*) para indagar en sus atributos como materia prima en preparación de un producto alimenticio de alto valor nutrimental del tipo pasta seca.
- Obtener una pasta seca moldeada a piezas de moños que presente atributos favorables para el consumo después de ser cocinada.

VI. Metodología

6.1 Planeación de la metodología del trabajo experimental de la tesis

6.1.1 Etapas experimentales para la harina de nopal

En la figura 11 se presenta un esquema de las etapas de experimentación que se realizaron, desde la recolección de la materia prima (nopalito), la obtención de la harina, y análisis posterior de la misma. La caracterización de la composición química, es el primer elemento esencial en cualquier estudio cuantitativo de un alimento o materia prima para su preparación. Componentes que refieren a sus atributos tecnológicos y/o funcionales, además del aporte nutricional y propiedades sensoriales, que dirijan hacia una formulación de pasta con óptima calidad, como es el objetivo de este trabajo.

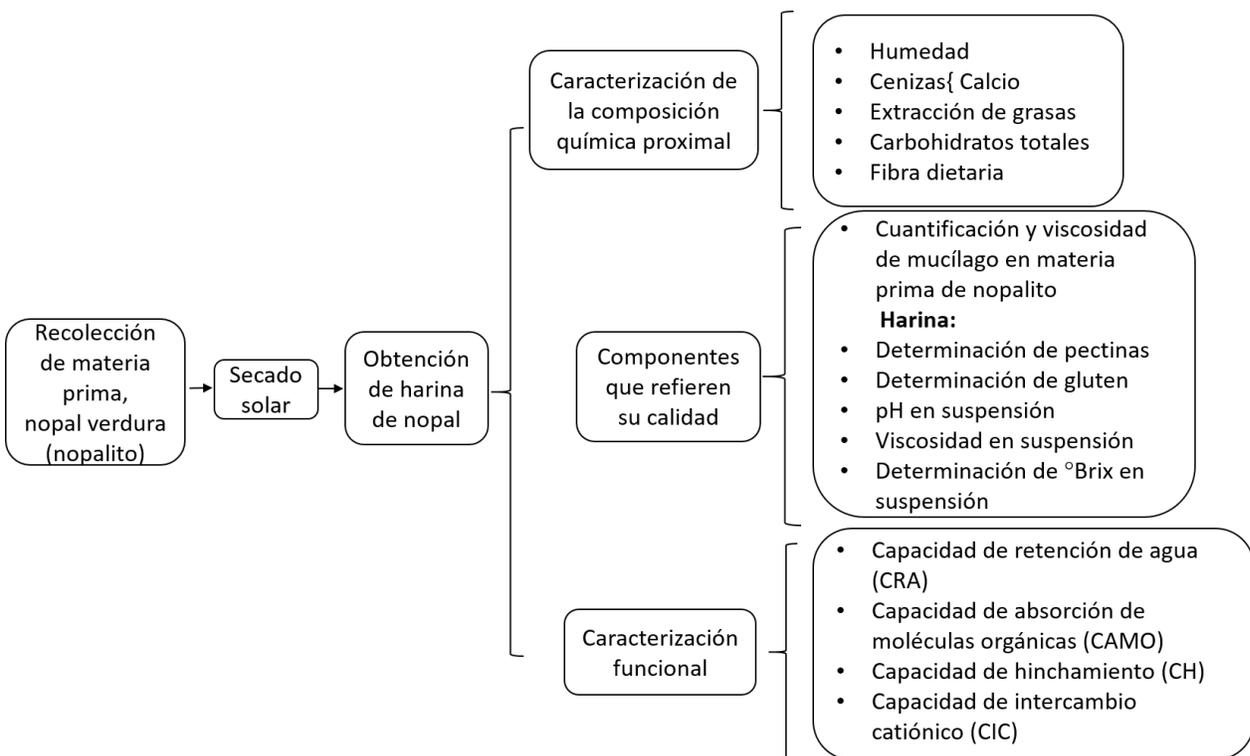


Figura 11. Etapas experimentales para la harina de nopal.

En correspondencia a la obtención y caracterización de la harina de nopal, se señalan en la figura 12 las etapas para la formulación de pasta de harina de nopal y las pruebas de calidad necesarias.

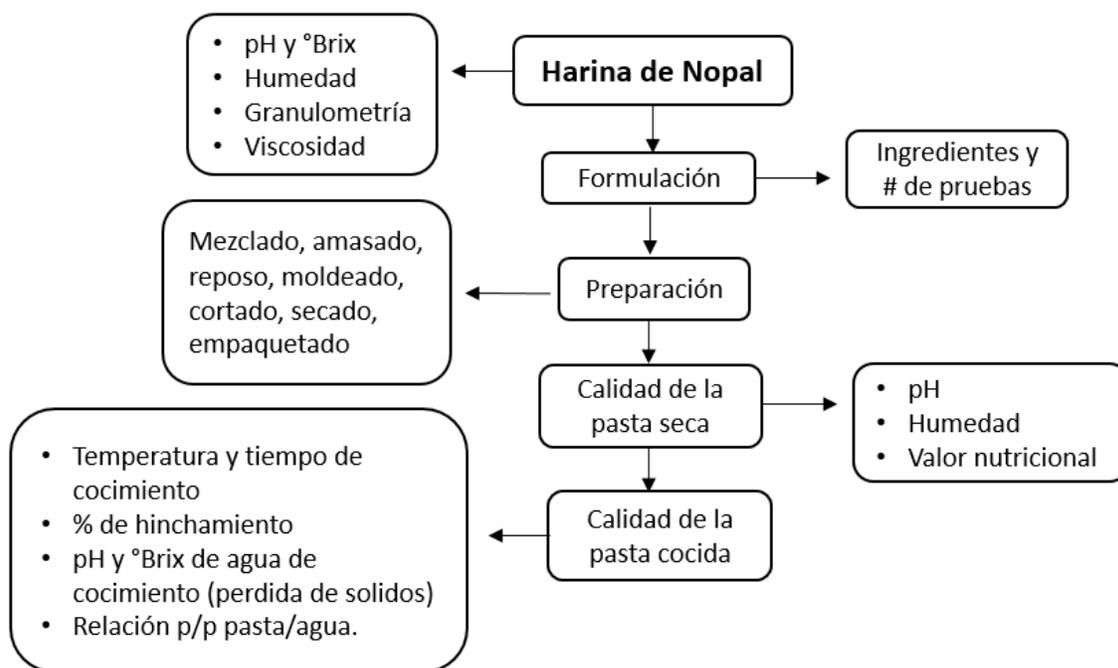


Figura 12. Etapas de formulación y preparación de pasta de harina de nopal.

6.2 Materia prima y obtención de harina de nopal

La materia prima nopal verdura (nopalito) en fresco (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*) se recolectó en una parcela agrícola de nopal en el ejido de la Moncada municipio de Tarimoro, Gto., México (coordenadas 20°17'05" latitud norte y 100°48'18" longitud oeste). El lote de nopalito de 1.2 kg fue lavado y desinfectado en una disolución acuosa de 0.5 ml de hipoclorito de sodio (NaClO), por 1 litro de agua. El lote sin espinas se sumergió en la disolución por 30 minutos aproximadamente, fue escurrido, pesado y cortado longitudinalmente en tiras no mayores a ½ cm de ancho (figura 13, inciso C). Colocado en 4 soportes de acero de 70x40 cm y recubiertos por una malla fina, los que a su vez fueron sobrepuestos en una base en forma de cajón, uno encima del otro con un espacio de 15 cm

entre cada uno de los soportes (figura 13, inciso D), donde el nopalito se expuso en capa no mayor de ½ pulgada de espesor directamente al sol durante 6 horas (con una temperatura de 30°C, humedad relativa: 19 %, las cuales se realizaron en la temporada de verano, donde la temperatura no es muy variable en el municipio de Salvatierra, Gto, éste se localiza entre las coordenadas geográficas 20° 12' 56" latitud norte y entre 100° 53' 46" longitud oeste). Una vez deshidratado con una humedad de 7.84 % ± 0.1267 se pasó por licuadora de uso doméstico marca Oster modelo Classic de luxe en velocidad 3, para facilitar su molienda, se trituró una vez más en mortero y se tamizó por malla 80-100 micras.



Figura 13. A) Materia prima (nopalito) colectada. B) Nopalito sin espinas. C) Nopalito picado en finas tiras. D) Soporte de acero con malla plástica utilizado para el secado solar de nopalito.

6.2.1 Caracterización de la composición química proximal

Todas las pruebas para la caracterización química fueron realizadas por triplicado, utilizando agua desionizada para los ensayos y se reportaron los promedios de los valores.

6.2.1.1 Determinación de humedad en harina de nopal

La humedad se considera como la pérdida de masa que sufre un material cuando se calienta a temperatura cercana al punto de ebullición del agua, durante un tiempo seleccionado o bien cuando se pesa la muestra dos veces sucesivas y no difieran en más de 3 mg. Para la determinación de humedad se pesó 2 g de harina de nopal, pesados en un crisol a peso constante, posteriormente se colocaron en una estufa de vacío a una temperatura de 100 °C durante 4 horas, por último se dejó enfriar en un desecador y se pesaron (A.O.A.C., 1984). El porcentaje de humedad se calculó de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% H = \frac{(P_i - P_f)}{(P_i - P_c)} \times 100$$

Dónde:

% H = Porcentaje de humedad

P_i = Peso de crisol con muestra fresca (g)

P_f = Peso de crisol con muestra seca (g)

P_c = Peso (constante) de crisol sin muestra (g)

6.2.1.2 Determinación de cenizas

El material mineral se cuantifica mediante la incineración de la muestra “orgánica” hasta la obtención de un residuo inorgánico correspondiente a la fracción de cenizas. En un crisol a peso constante, se pesaron 2 g de harina de nopalito, se precalcinó a fuego directo con la llama de mechero; posterior a esto, se colocó en una mufla a una temperatura de 600 °C por un tiempo de 4 horas, se dejó que bajara la temperatura a 100 °C, se transfirió a un desecador para que enfriara completamente para pesar (A.O.A.C., 1984). La muestra resultante de cenizas se muestra en la figura 14, a la cual posteriormente se analizó el contenido de calcio, mediante la siguiente ecuación:

$$\% C = \frac{(B - A)}{M} \times 100$$

Dónde:

% C = Porcentaje de cenizas

A = Peso del crisol vacío (g)

B = Peso del crisol con cenizas (g)

M = Peso de la muestra (g)



Figura 14. Cenizas de nopal en horno (mufla) a 600 °C

6.2.1.3 Determinación de calcio en harina de nopal

Para la determinación de calcio se siguió la metodología propuesta por Vargas-Fiallo & Camargo-Hernández, (2012) con ligeras modificaciones.

En un vaso de precipitado de 50 ml se colocó 1 g de harina de nopal tamizada a 180 micras, después se adicionó 20 ml de solución acuosa de HCl (1:3), posteriormente la solución se llevó a aforo con agua desionizada que previamente se le había adicionado 5 ml de HCl (1:3). Se mezcló y tomó una alícuota de 50 ml y se adicionaron 20 ml de oxalato de amonio al 5 %, posteriormente se calentó en una parrilla agitando constantemente durante 10 min a una temperatura constante de 69 °C, luego de enfriarse se dejó en reposo durante 18 horas dentro del refrigerador, después se realizó una filtración con papel filtro, de poro fino grado 42. Una vez finalizada la filtración, se introdujo en un crisol de porcelana (previamente marcado y puesto a peso constante).

Se calentó el crisol a fuego directo, hasta carbonizar el papel filtro libre de cenizas, evitando formación de llama. Después de carbonizar el papel filtro, se colocó el crisol en la mufla y se calcinó a 900 °C durante una hora, se esperó a que la temperatura bajara hasta 200 °C para sacar el crisol y colocarlo en un desecador, se dejó enfriar e inmediatamente se pesó; parte del proceso se muestra en la figura 15. El porcentaje de calcio se calculó con la siguiente ecuación:

$$\% \text{CaO} = \frac{A_1 - A_2}{A_2} \times 100$$

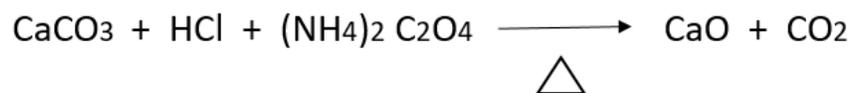
$$A_1 - A_2$$

Dónde:

A_1 = peso del crisol + muestra de harina de nopal

A_2 = peso del crisol vacío

El fundamento consiste en que el calcio se libera en contacto con el ácido clorhídrico, debido a que reacciona con efervescencia. La reacción se presenta a continuación:



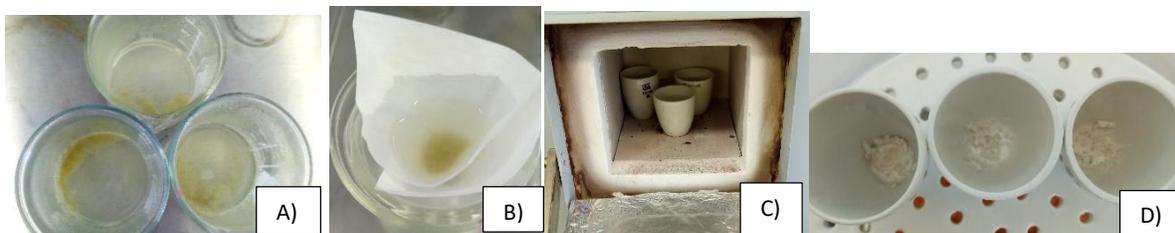


Figura 15. A) Vasos de precipitados después del reposo en la determinación de Ca para harina de nopal. B) Precipitación por gravedad. C) Crisoles en mufla para calcinar a 900 °C la muestra. D) CaO obtenido de la harina de nopal.

6.2.1.4 Determinación de calcio en cenizas de harina de nopal con fotómetro multiparamétrico

Para la determinación de calcio en cenizas con fotómetro multiparamétrico se siguió las instrucciones propias del fotómetro. Se realizó la determinación de calcio en las cenizas de nopal, obtenidas con el método anterior “determinación de cenizas”. En un matraz aforado se colocaron 0.125 g de cenizas las cuales se diluyeron con agua desionizada. En el manejo del fotómetro, se añaden 3ml de muestra no reaccionada, posteriormente se llenó con el reactivo calcio A HI 93752A-Ca (figura 16), luego se añadieron 4 gotas de solución tampón. Se retiró la cubeta del equipo con el contenido (que sirvió para calibrar) y en esa misma mezcla se añadió 1 ml de reactivo calcio HI 93752B-Ca; tapada la cubeta se invirtió 10 veces para mezclar perfectamente. La lectura se realizó en el equipo el cual mostró los resultados en mg/L de calcio (Ca^{2+}).

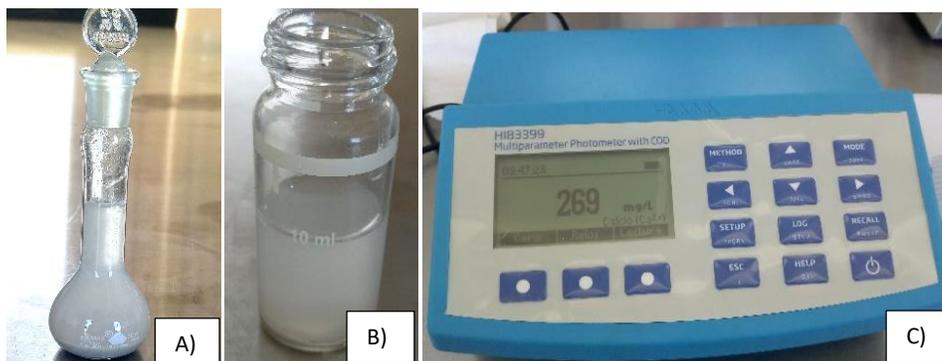


Figura 16. A) Muestra de cenizas de nopal en matraz aforado. B) Muestra de 3 ml de cenizas en solución con reactivo "A". C) Equipo fotómetro mostrando la lectura obtenida.

6.2.1.5 Extracción de grasas

La determinación de grasa en las muestras se llevó a cabo mediante el método Soxhlet. En papel filtro se colocaron 3 g de harina de nopal. Se introdujo el cartucho en el equipo, durante 4 horas (figura 17), utilizando éter de petróleo como solvente de extracción. Una vez terminado el proceso, el matraz de fondo plano de capacidad de 250 ml (de peso constante conocido) con la grasa extraída (libre de éter) se introdujo a la estufa de vacío a 100° C durante 4 horas, se atemperó en desecador durante 30 min y se pesó. (A.O.A.C., 1984). Para el cálculo del porcentaje de grasa, se utilizó la siguiente ecuación:

$$\% G = \frac{(P_i - P_f)}{P_i} \times 100$$

Dónde:

% G = Porcentaje de grasas

P_i = Peso constante inicial de matraces con perlas

P_f = Peso constante final una vez terminado el proceso



Figura 17. Proceso de extracción de grasas en harina de nopal

6.2.1.6 Carbohidratos totales

Todos los azúcares incluyendo polisacáridos se deshidratan con ácido sulfúrico concentrado formando furfurales o alguno de sus derivados (figura 18), los que a su vez se condensan con fenoles presentes en la mezcla de reacción para dar compuestos de coloración naranja amarillento cuya intensidad se mide espectrofotométricamente (Dubois, *et al.*, 1956).

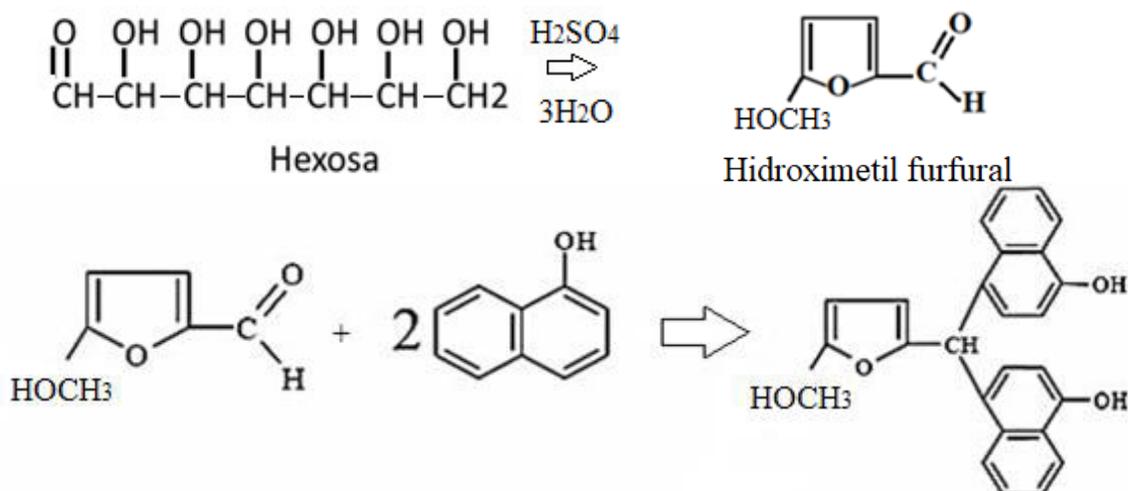


Figura 18. Reacción química para la obtención de furfural (Nieves-Díaz, *et al.*, 2016).

En la determinación de carbohidratos totales se utilizó glucosa grado reactivo como estándar, la cual se preparó con 50 mg de glucosa en 500 ml H_2O desionizada, es decir a una concentración de 0.1 mg/ml.

En la tabla 6 se muestra el volumen de H_2O desionizada y solución estándar utilizada en los tubos de ensayo para la determinación de la curva patrón en la cuantificación espectrofotométrica de carbohidratos.

Tabla 6. Diluciones de solución estándar de glucosa para curva patrón en la determinación de carbohidratos.

Muestra	ml de H_2O desionizada	μl de solución estándar (μg de glucosa)
1	1.00	0 (0)
2	0.80	20 (2)
3	0.60	40 (4)
4	0.40	60 (6)
5	0.20	80 (8)
6	0.00	100 (10)

Posteriormente, a cada tubo se le adicionó 1.0 ml de solución acuosa de fenol al 5 % e inmediatamente se deslizó con precaución 5 ml de H₂SO₄ concentrado. Se mezcló perfectamente y con cuidado por el contenido del ácido sulfúrico, cada uno de los tubos se mantuvo en reposo en posición vertical durante 10 min.

Después se midió la absorbancia de las muestras en un espectrofotómetro a 490 nm, frente al blanco de solución, las muestras y el equipo utilizado se muestran en la figura 19.

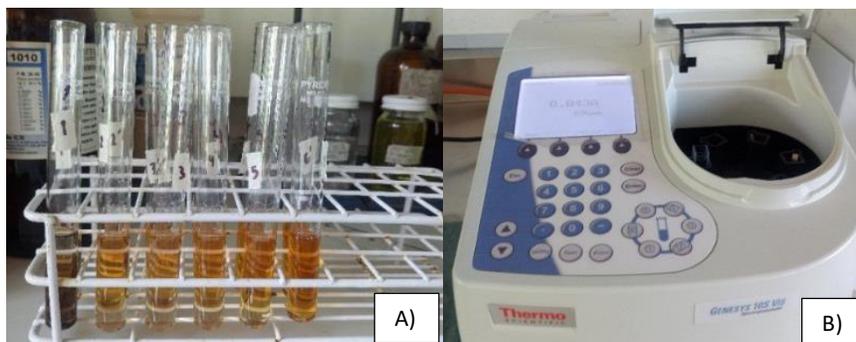


Figura 19. A) Tubos de ensaye con muestra en reposo. B) Espectrofotómetro para cuantificar las absorbancias.

6.2.1.7 Fibra dietaria

La determinación de la fibra dietaria fue con base al método de Van-Soest , et al., (1991). El método de análisis de alimentos de Van Soest, se originó con el objetivo de buscar una mejor alternativa para determinar la fracción de fibra cruda en los forrajes utilizados para alimentación de rumiantes. La fibra tiene diferente valor nutritivo para los rumiantes que para los no rumiantes, dado que la celulosa y hemicelulosa presentes en la fibra por lo general son bien digeridas y metabolizadas por la flora ruminal, mientras que estas mismas sustancias son prácticamente no digeribles para monogástricos, es así que el método se basa en la simulación del sistema ruminal, donde se obtienen dos residuos principales cuando se somete un forraje a análisis.

1. Fibra detergente neutro (FDN): Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente neutro.
2. Fibra detergente ácido (FDA): Es la porción de la muestra de alimento que es insoluble en un detergente ácido.

El fundamento consiste en que la pared celular de las células vegetales puede ser rota usando detergentes, se utilizó la metodología de fibra neutro detergente (FND). A continuación se describen los procedimientos para la determinación.

A. Fibra neutro detergente (FND)

Comprende la fracción que contiene los componentes de la pared celular.

La determinación consiste en hervir con un detergente neutro a reflujo, la muestra de forraje (previamente secada a 60 °C), obteniéndose un residuo insoluble, compuesto principalmente de celulosa, hemicelulosa y lignina

B. Fibra ácido detergente (FAD)

En este procedimiento, la muestra de forraje es sometida a reflujo con una solución detergente en medio ácido, la cual disuelve todo el contenido celular más la hemicelulosa. El residuo insoluble está compuesto principalmente por celulosa y lignina.

Si restamos del porcentaje de FND el porcentaje de FAD, obtenemos por diferencia, el contenido de hemicelulosa de la muestra analizada.

Fórmula:

$$\text{Hemicelulosa} = \% \text{ FND} - \% \text{ FAD}$$

Donde:

% FND= fibra neutro detergente

% FAD= fibra ácido detergente

C. Lignina ácido detergente (LAD)

El contenido de lignina presente en el residuo de FAD, se determinó mediante la oxidación de compuestos orgánicos con H₂SO₄. La lignina y la sílice son resistentes a esta oxidación.

El contenido de sílice existente en el residuo se separa de la lignina por incineración a 170 °C. Si restamos del porcentaje de FAD el porcentaje de LAD, obtenemos por diferencia, el contenido de celulosa de la muestra analizada.

Fórmula:

$$\text{Celulosa} = \% \text{ FAD} - \% \text{ LAD}$$

Donde:

% FAD= fibra ácido detergente

% LAD= lignina ácido detergente

6.2.2 Otros componentes de la harina de nopal

6.2.2.1 Mucílago

La prueba de mucílago para obtener rendimiento en la harina de nopal verdura se realizó mediante la metodología de Vargas-Rodríguez, *et al.*, (2016).

Se pesaron 500 g de nopalitos sin espinas en fresco para estimar posterior el rendimiento de mucílago, los cladodios se lavaron y desinfectaron, se cortaron en cubos de 1 cm aproximadamente; se colocaron en agua desionizada relación 1:1.5, hasta cubrir el volumen de nopalitos, durante 24 horas a temperatura ambiente. Este paso es importante para recuperar la mayor cantidad de mucílago en fase acuosa en el primer filtrado. Una alícuota líquida de 100 ml, se filtró, pesó y el resto de tejido vegetal se eliminó. La precipitación del mucílago (insolubilización de polímeros) de la fase acuosa se llevó a cabo agregando etanol de 96° en una relación de volúmenes 1:3 (solución acuosa: etanol a 96°) y agitando constantemente. El precipitado del mucílago se separó y se dejó secar en una estufa a 100 °C durante 4 horas.

El mucílago seco recuperado se colocó en un recipiente de vidrio y se pesó. El porcentaje de mucílago se determinó mediante la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Mucílago} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

Dónde:

% Mucílago= porcentaje de mucílago

P_f= peso final

P_i = peso inicial

6.2.2.1.1 Viscosidad del mucílago

La viscosidad del mucílago fue determinada a través de la copa Zahn, la cual se utiliza para comprobar y ajustar la viscosidad de líquidos, esta tiene una manija de 12 pulgadas, enlazada para permitir la inmersión manual dentro del envase que contiene el líquido a prueba.

En el centro de esta manija se encuentra un anillo para sujetar la taza en posición vertical durante la prueba (figura 20), (Twilight SA de CV, s.f.).

La copa Zahn basa su cálculo en el tiempo que tarda en fluir el material a prueba a través del orificio. Hay dos factores que afectan la precisión: la temperatura y el tiempo. Por lo tanto, para esta prueba, además de la copa Zahn se requiere el uso de un cronómetro y un termómetro de precisión. La prueba se realizó con el mucílago en fase acuosa obtenido de la prueba anterior, en una dispersión de 0.6 °Brix a 25 °C.

La viscosidad cinemática (η) se obtiene a través del uso de una copa Zahn número 4 para líquidos viscosos y la siguiente expresión matemática:

$$\eta = K (t-c)$$

Donde:

η = viscosidad cinemática en cSt

K = rango de conversión de copa no. 4 (14.8)

t = tiempo en segundos (s)

c = rango de conversión de copa no. 4 (5)



Figura 20. Utilización de la copa Zahn.

6.2.2.2 Determinación de pectinas

Una muestra de 20 g de harina tamizada de *Opuntia ficus indica* var. *blanco* se puso a secar en un horno a 85 °C durante 20 minutos, una vez transcurrido este tiempo se procedió a pesar de nuevo el material para determinar la cantidad de agua perdida. Se tomaron 90 ml de la solución de ácido cítrico, la concentración, la mezcla de harina y ácido fue colocada en un matraz balón, se colocó sobre una mantilla de calentamiento y se instaló en un sistema de reflujo (equipo Soxhlet). Cuando la mezcla comenzó a hervir, se contaron 30 minutos y se dejó enfriar durante 2 horas. Fría la mezcla, se pasó a través de 3 capas de gasa;

posteriormente, para eliminar impurezas, se filtró la solución en un papel Whatman no. 42 en condiciones de vacío.

Una vez que se obtuvo una solución libre de impurezas se le añadió 300 ml de etanol a 96° para que las pectinas precipitaran, posteriormente se colocó a 8 °C durante 12 horas. Se procedió a filtrar la solución utilizando papel Whatman No. 42, dejando las pectinas sobre dicho filtro, el cual fue colocado en un desecador. El proceso se repitió con un papel filtro, ausente de pectinas, este fue el control para poder medir la posible variación dada por el papel filtro (Breton Deval, s.f.). Una vez seco, el papel filtro con pectinas se pesó y se determinó la cantidad de pectinas resultantes con la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Pectinas (g)} = \frac{P_f - P_i}{P_i} \times 100$$

Dónde:

P_f = peso de papel filtro seco (g), con pectinas

P_i = peso de papel filtro (g) ausente de pectinas

6.2.2.3 Determinación de gluten

El gluten es la proteína del trigo que le confiere a la harina propiedades únicas para obtener una masa viscoelástica y cohesiva capaz de retener gas y preparar productos horneados aireados y livianos como panes, bizcochos y galletas. No hay harina capaz de formar una masa con propiedades viscoelásticas similares. El gluten está formado por dos proteínas: gliadina (una prolamina) y glutenina (una glutelina) (Villanueva-Flores, 2014).

El gluten se obtiene después de la eliminación del almidón, por un proceso de separación de partículas, bajo una corriente de agua, por la insolubilidad del gluten en agua.

La obtención y cuantificación del gluten se basó en metodología convencional a través de solubilidad en agua, para la harina de nopal verdura (UNSTA, 2015). La que consistió en pesar 16 g de harina de nopal y se colocó en un mortero, se le agregó poco a poco y con ayuda de una pipeta 32 ml de agua desionizada, se mezcló continuamente hasta tener una pasta homogénea, se dejó reposar durante 30 minutos y luego bajo chorro de agua se amasa para eliminar el almidón que pudiera estar presente, para comprobar, se agregan dos gotas de solución de yodo (figura 21). En la determinación de gluten para la harina de nopal se

colocaron dos gotas de solución de yodo y con la aparición de una coloración azul indica presencia de almidón, por lo que la masa se debe seguir lavando.



Figura 21. Pasta de harina de nopal lavada con agua desionizada y con gotas de solución de yodo.

6.2.3 Caracterización funcional

Identificar la caracterización funcional en la harina de nopal es importante para determinar el posible uso de la misma como ingrediente en la pasta. La caracterización funcional proporciona información sobre cómo se comportaría la harina en el alimento, desempeña un papel destacado durante la preparación, elaboración y almacenamiento de los alimentos y se relaciona con las propiedades sensoriales.

6.2.3.1 Capacidad de retención de agua (CRA)

La capacidad de retención de agua en la harina es un factor importante, ya que contribuye a la calidad del producto, como textura y dureza, así como su vida útil. Son varios los factores que afectan este valor; grado de molienda, porcentaje de almidón y presencia de fibra (Aguilera-Gutiérrez, 2009).

Una muestra de 0.5 g de harina de nopal tamizada por malla 80-100 micras, se colocó en un tubo de una centrífuga (Centrífuga Universal Rotofix HETT), se adicionaron 10 ml de agua desionizada a temperatura ambiente y se agitó manualmente durante 10 minutos; se mantuvo en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente en posición vertical, se centrifugó a 3000 r.p.m. durante 10 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante y se pesó el sedimento. En la figura 22 se muestra el sobrenadante y sedimento después de colocarlo en la centrífuga. La CRA (%) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CRA = \frac{Pf - Pi}{Pi} \times 100 \text{ (Valencia \& Román, 2006)}$$

Dónde:

CRA = Capacidad de retención de agua

Pf = Peso final del sedimento (g)

Pi = Peso inicial del sedimento (g)

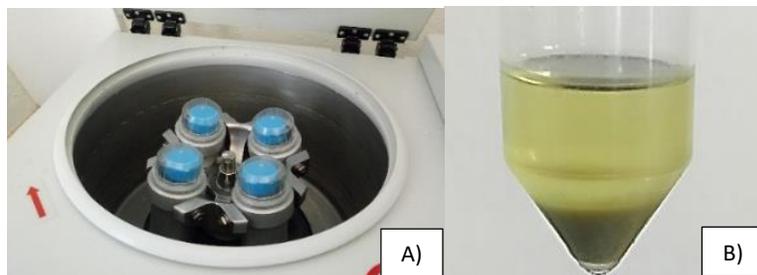


Figura 22. A) Centrífuga con muestra de harina de nopal. B) Sobrenadante de agua y sedimento de nopal, en prueba de CRA.

6.2.3.2 Capacidad de adsorción de moléculas orgánicas (CAMO)

Los alimentos con buena capacidad de adsorción de moléculas orgánicas, disminuye las pérdidas de cocción y ayuda a mantener la estabilidad de la pasta cocida.

En tubos de centrifuga, se pesaron 0.5 g de la muestra (P_o)(g) de harina de nopal tamizada por malla 80 - 100 micras, se adicionaron 10 ml de aceite de girasol comercial a temperatura ambiente y se agitó manualmente durante 10 minutos, luego se dejó en reposo durante 24 horas a temperatura ambiente en posición vertical y se centrifugó a 3000 rpm durante 10 minutos, inmediatamente se retiró el sobrenadante como se muestra en la figura 23 y se pesó el sedimento (P_1) (g) (Valencia & Román, 2006). La CAMO (ml/g) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CAMO = \frac{Pf - Pi}{Pi} \times 100$$

Dónde:

CAMO = Capacidad de adsorción de moléculas orgánicas.

Pf = Peso final

Pi = Peso inicial

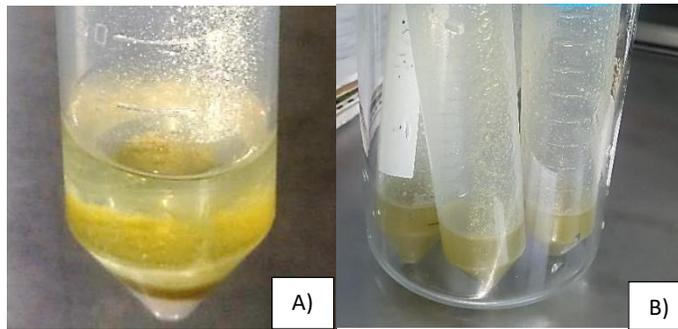


Figura 23. A) Sobrenadante en prueba de CAMO. B) Muestras en reposo y posición vertical.

6.2.3.3 Capacidad de hinchamiento (CH)

En general, la deshidratación del nopalito provoca un aumento de la capacidad de hinchamiento que presenta la harina. Sin embargo, la CH es una propiedad debida principalmente a la fracción de amilopectina, la cual es uno de los dos polímeros que presenta el mucílago y contribuye a la estabilización y características de cohesión en la pasta (Aguilera-Gutiérrez, 2009)

Se pesaron 2 g de muestra de harina de nopal tamizada por malla 80-100 micras en una probeta graduada de 50 ml con diámetro de 2.5cm y se midió el volumen ocupado por la harina (V_0) (ml); se adicionó 10 ml de agua desionizada a temperatura ambiente y se agitó manualmente durante 5 min. Se dejó en reposo durante 24 horas en posición vertical a temperatura ambiente. Posteriormente, se midió el volumen final de las muestras (V_1) (ml), como se muestra en la figura 24 (Valencia & Román, 2006).

La capacidad de hinchamiento (ml/g) se calculó mediante la siguiente ecuación:

$$CH = \frac{V_f - V_i}{\text{peso muestra}}$$

Dónde:

CH = Capacidad de hinchamiento

V_f = Volumen final

V_i = Volumen inicial



Figura 24. Probeta con muestra de harina de nopal en prueba de CH.

6.2.3.4 Capacidad de intercambio catiónico (CIC)

La capacidad de absorber una cantidad determinada de cationes y retenerlos en un estado intercambiable es conocida como la capacidad de intercambio catiónico (CIC). Ésta se expresa generalmente en términos de miligramos equivalentes de hidrogeno por 100 g de coloide (meq/100g), una alta capacidad de intercambio catiónico, facilita la absorción de nutrientes (Franco-Urquiza & Maspocho-Rulduá, 2009).

En un vaso de precipitado se colocaron 2 g de muestra de harina de nopal tamizada en un exceso de HCl (6.50 ml) 2N y una solución saturada de NaCl (20 ml), se mezcló perfectamente (figura 25, inciso A) y se dejó reposar durante 24 horas, en posición vertical, después se eliminó el sobrenadante con ayuda de una pipeta y se procedió a titular con NaOH al 2N, para conocer el volumen en el punto de equivalencia (figura 25 inciso B). Este punto se detecta mediante el cambio de color del indicador de fenolftaleína, pasando de verde opaco a un color rojizo intenso (figura 25, inciso C) indicando la neutralización entre las dos soluciones (Valencia & Román, 2006).

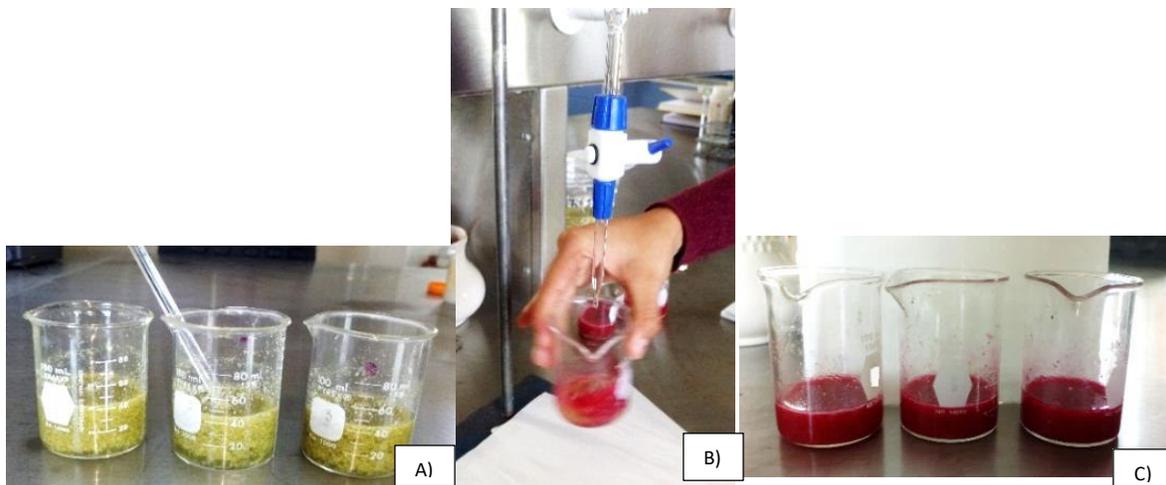


Figura 25. A) Muestra de harina de nopal en un exceso de HCl y NaCl. B) Titulación en presencia del indicador de fenolftaleína. C) Muestras de harina de nopal, tituladas con NaOH y fenolftaleína como indicador de la neutralización.

6.2.4 Potencial de hidrogeno (pH) en harina de nopal

Todas las pruebas fueron realizadas con harina de nopal, tamizada por malla 80-100 y con una granulometría de 180 micras. El pH es una medida de la acidez o de la alcalinidad de una sustancia según la determinación del tipo de iones. Los iones positivos libres corresponden a hidrogeno (+H, cationes), en tanto los libres de hidrogeno, o negativos pueden ser radicales hidroxilo (-OH, aniones). Los números 0-7 en la escala del potencial de H o pH indican las soluciones ácidas, y 7-14 indican soluciones alcalinas (González-T, 2011).

El pH para la muestra de harina de nopal se realizó con un potenciómetro marca OHAUS, para ello se colocó en un vaso de precipitado, 6 de harina de nopal dispersa en 100 ml de agua desionizada (figura 26), la cual se dejó en agitación constante por 10 minutos y a una temperatura ambiente de 25 °C.



Figura 26. Medición de pH en dispersión de harina de nopal

6.2.5 Viscosidad de la harina de nopal

Se realizó la prueba de viscosidad en un viscosímetro de la marca Brookfield, para conocer cómo se comporta el fluido ante la presión, también se le conoce como viscosidad dinámica. La fundamentación, se basa en la rotación de una aguja en el material de prueba, para este caso se utilizó la numero 62, dentro de un vaso de precipitado donde se dispersó a temperatura ambiente (24 °C) 30 g de harina de nopal en 500 ml de agua desionizada, se ajustó la velocidad en el aparato expresada en rpm, en esta prueba se realizó a 20 rpm y 50 rpm.

El resultado obtenido se da en centipoises (cP). Las lecturas ocurrieron para un valor de torque de 15.1 % (figura 27).



Figura 27. Prueba de viscosidad en harina de nopal.

6.2.6 Grados Brix (°Bx)

Los grados Brix (°Bx) miden la cantidad de sólidos solubles presentes en una muestra, usualmente alimento por lo que suele expresarse en porcentaje de sacarosa.

Para los alimentos, los sólidos solubles están compuestos por los azúcares, ácidos, sales y demás compuestos solubles en agua que están presentes en el citoplasma de las células (Muñoz & Vega, 2014).

Las pruebas en la harina de nopal se realizaron en una dispersión de 6g/100 ml H₂O, usando un refractómetro portátil (figura 28) modelo HI96801 marca Hanna



Figura 28. Determinación de °Brix con uso de refractómetro.

6.3 Producto terminado “pasta seca”

6.3.1 Formulación de la pasta de harina de nopal

Para la formulación de la pasta, se realizaron varias pruebas para indagar en la optimización respecto a la composición y cantidad de los ingredientes utilizados. Las proporciones de ingredientes para las pruebas se muestran en la tabla 7.

Tabla 7. Formulaciones para la pasta de harina de nopal.

	Formulaciones e Ingredientes			
Número de tratamiento	Harina de nopal (g) (%) y Equivalente de nopalito fresco (g)	Harina de trigo (g)	Huevo (ml)	H₂O (ml)
1	100 (83.3 %) (1175.08)	20 (16.67%)	----	110
2	100 (90.9 %) (1175.08)	10 (9.09%)	55	----
3	50 (76.9 %) (587.54)	15 (23.0%)	6	30
4	25 (62.5 %) (293.77)	15 (37.5%)	55	----

Materias primas.

- **Harina de trigo.** Se utilizó la harina de trigo marca Tres Estrellas San Antonio® extra fina, la cual contiene por porción de 100 g, 358,46 kcal, proteínas 10.88 g, grasas 2.1 g de las cuales grasa saturada 0.14 g, es aquella que se encuentra en los alimentos de origen animal, son sólidas a temperatura ambiente y no tienen ningún beneficio en sí mismas más allá de las características que aportan las grasas en general, que son nutrientes necesarios para el correcto funcionamiento del organismo y aumentan el riesgo de problemas a la salud. No contiene grasas trans ya que son más perjudiciales que las saturadas. Contiene 1.58 g de grasa poli insaturada, estas, son grasas saludables pues incluyen omega 3 y 6, además, ayudan a disminuir el colesterol malo.

No contiene colesterol ni grasas trans, carbohidratos 74.01 g, además esta adicionada con ácido fólico, hierro y zinc (ADAM, 2020).

- **Huevo.** Según el código alimentario, solo se considera huevo a los que proceden de gallina. Para designar huevos de otras aves es necesario indicar la especie de la que proceden. Para la formulación de la pasta se utilizó huevo de la marca San Juan®, el cual contiene proteínas de alto valor biológico, vitaminas de los grupos A y B. Además contiene minerales entre los que destaca el hierro. La clara esta compuesta fundamentalmente por albumina, la proteína de mayor calidad biológica. La yema contiene grasa (lecitina), proteínas, hierro, azufre y vitaminas A, B, D y E. Es rica en grasa y colesterol, de fácil digestión (Borbón, 2018).

Modo de preparación de la pasta seca. La secuencia de etapas del proceso se muestra en la figura 29 A-F.

1. En un tazón se mezcló perfectamente los ingredientes secos, es decir las harinas de trigo y nopal previamente tamizado y pesado.
2. Posteriormente, se adicionó huevo entero (marca San Juan®, cascaron blanco) y se mezcló completamente hasta obtener una masa homogenea.
3. Se dejó reposar la masa a temperatura ambiente (25 °C), tapado con una manta durante 30 a 45 minutos.
4. Con ayuda de un rodillo, se extendió la masa sobre una superficie plana previamente espolvoreada con harina de trigo hasta obtener una capa de 3-5mm de espesor.
5. Se dejó reposar durante 30 minutos.
6. Utilizando un cuchillo de hoja larga y delgada, se cortó la pasta en rectángulos con medidas de 3cm x 2 cm x 0.5 cm; y manualmete se hizo una ligera presión en el centro de cada pieza recortada, para darle forma de moño.
7. Se dejó secar a una temperatura ambiente, durante 1 hr aproximadamente, sobre una superficie plana o charola, con los moños separados, para luego almacenar el producto dentro de una bolsa plástica sellada.

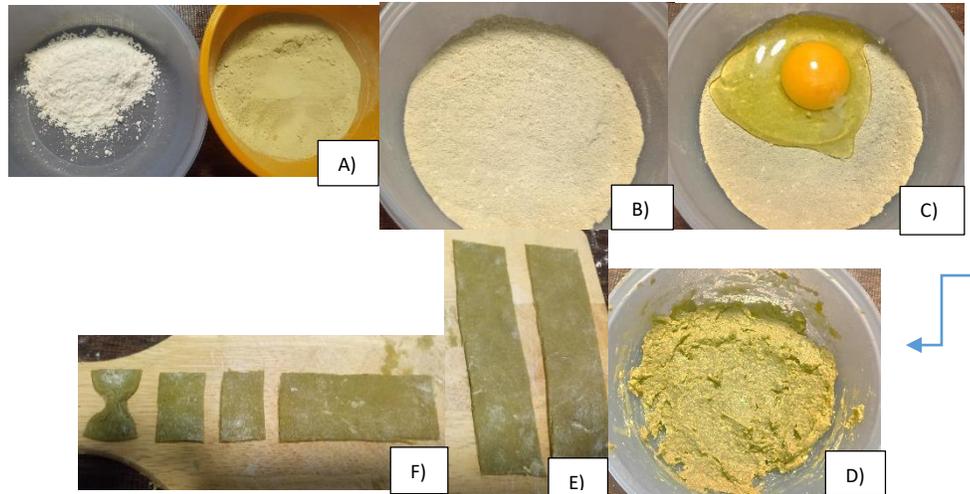


Figura 29. A) Pesadas de harina de trigo y harina de nopal. B) Mezcla de ingredientes secos (harinas). C) Adición de huevo a la mezcla. D) Mezclado de todos los ingredientes. E) Expansión de la masa en tiras, con ayuda de rodillo. F) Cortado de la masa para dar forma tipo moño.

6.3.2 Calidad en la pasta

6.3.2.1 Análisis de humedad en pasta tipo moño

Se analizó la humedad mediante una balanza de humedad Ohaus, (figura 30), se colocó 3 g de una muestra de la pasta seca tipo moño de harina de nopal, tritúndola previamente en un mortero, hasta obtener un polvo fino, en la pantalla se mostró la temperatura actual, el tiempo de calentamiento y la humedad contenida en la muestra. El resultado de humedad en la muestra de la pasta tipo moño, se desplegó, así como el tiempo de calentamiento y la temperatura actual. Se realizó el mismo procedimiento para el nopalito fresco, la harina de nopal y pasta comercial tipo moño de mayor consumo en todos los casos bastó una muestra de 3.2 g, pero en ensayos triplicados.



Figura 30. Balanza de humedad con muestra de harina de nopal.

6.3.2.2 Determinación de pH en producto terminado seco

Para medir el pH de la pasta seca tipo moño, se desmenuzaron tres moños con ayuda de un mortero, una vez que estuvieran bien troceados se colocaron en un vaso de precipitado con 20 ml de agua desionizada a temperatura ambiente (24 °C) se mezcló perfectamente durante 5 minutos y se procedió a medir el pH con el potenciómetro (figura 31).



Figura 31. Determinación de pH. A) Triturado de pasta en mortero. B) Pasta troceada con agua desionizada. C) Potenciómetro mostrando la lectura obtenida.

6.3.2.3 Cocción de producto terminado

En un recipiente de aluminio se añadieron 500 ml de agua potable embotellada marca Ciel® a la cual se le midió el pH (7.5), se puso a calor directo sobre una parrilla eléctrica, hasta que el agua hirvió, se agregaron cinco moños (3.168 g) de la pasta de harina de nopal, se cocieron sin tapa a fuego lento y en constante ebullición durante 10 minutos.

6.3.2.4 Determinación de pH en producto terminado cocido

Una vez cocida la pasta tipo moño se trituraron y mezclaron con 20 ml de agua desionizada, se mezcló perfectamente, hasta obtener una muestra homogénea. Posteriormente, se dejó enfriar hasta temperatura ambiente de 24 °C y se determinó el pH con un potenciómetro, parte inicial del proceso se presenta en la figura 32. Así mismo se determinó el pH y °Brix del agua donde se cocinó la pasta.

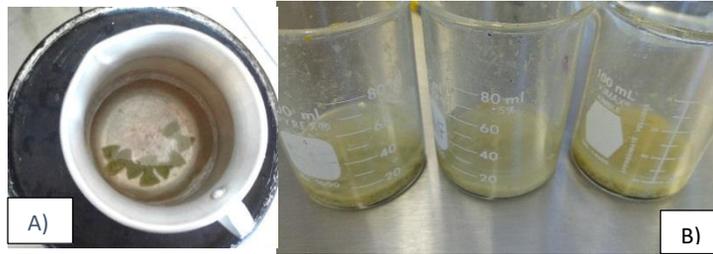


Figura 32. A) Cocción de la pasta de harina de nopal. B) Pasta cocida triturada y mezclada con agua desionizada

6.3.2.5 Determinación de color

Se utilizó el colorímetro Chroma Meter modelo Cr-400. La calibración se realizó en las mismas condiciones de luz y temperatura que aquellas en las que se realizó la medición de la muestra.

Una vez que se fijaron los datos de calibración, el instrumento se utilizó, se realizó una muestra de pasta seca de nopal completamente plana, para poder utilizar el instrumento. Se colocó la muestra en una superficie plana y posteriormente el colorímetro sobre la muestra, se obtuvieron las coordenadas de color CIE L^* , a^* y b^* en la pantalla como se muestra en la figura 33.



Figura 33. A) Colorímetro sobre muestra de pasta de nopal. B) Lectura de resultados.

6.3.2.6 Porcentaje de hinchamiento en pasta

Se tomaron 100 g de pasta seca tipo moño y se sometieron a cocción en 1 litro de agua potable embotellada marca Ciel®, durante 10 minutos aproximadamente, se escurrió el líquido de cocción y se dejó enfriar hasta alcanzar la temperatura ambiente. Seguidamente se registró el peso de la pasta cocida (drenada) y pasta seca.

El porcentaje de hinchamiento de las pastas se comprobó mediante la siguiente fórmula (Martínez-Mora, *et al.*, 2017).

$$\% \text{ hinchamiento} = \frac{\text{peso pasta cocida} - \text{peso pasta seca}}{\text{peso pasta seca}} \times 100$$

VII. Resultados y discusión

7.1 Rendimiento de la harina de nopal

El rendimiento de harina de nopal verdura *Opuntia ficus indica* var. *blanco* alcanzó valor de 8.832 % ± 0.1474 promedio de 7 lotes, cada lote en promedio pesó 670 g.

El secado solar es una importante opción para la conservación de los alimentos ya que es el método más fácil y económico para la conservación de una gran variedad de productos alimenticios (Hernández-Rodríguez, *et al.*, 2013). Paz-Echeverría, *et al.*, (2005) describen que tradicionalmente se secan varios alimentos, sin ningún equipamiento especial. Se colocan sobre una manta, lona o tablas de madera, o se cuelgan por un hilo al aire libre, en el sol, aprovechando el calor ambiental. Cabe mencionar que este método natural tiene algunos inconvenientes, muchas veces el alimento presenta un proceso de secado defectuoso, se pudre o se enmohecen, el producto está expuesto al polvo o insectos que pueden deteriorar el alimento; por lo tanto, se debe tener cuidado al realizarlo de esta manera. En este trabajo, se realizó la limpieza y desinfección del nopalito; así como cubrir con una manta tipo tul durante el secado para evitar la entrada de insectos o roedores, además de aminorar el polvo que pudiera caer al producto.

La harina resultante tamizada pasó por una malla número 80-100 micras para una granulometría de 180 micras, se comparó con la harina de trigo la cual según la norma del Codex Alimentarius el 98 % o más de la harina deberá pasar a través de un tamiz no. 70 de 212 micras. La figura 34 muestra algunas etapas del proceso para la obtención de harina de nopal.

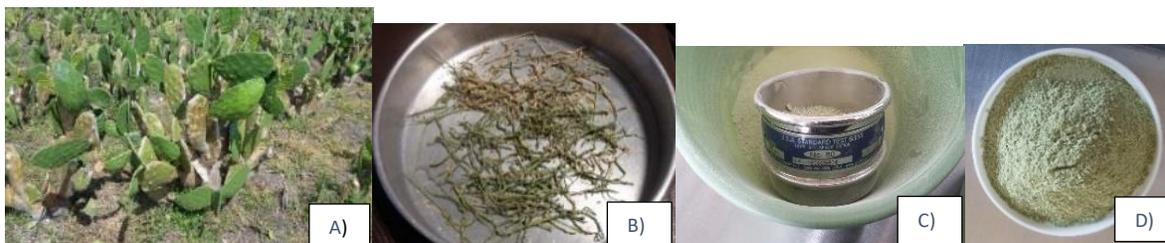


Figura 34. Obtención de harina de nopal (*Opuntia ficus indica* var. *blanco*). A) Materia prima en la plantación. B) Nopal verdura deshidratado. C) Nopal pulverizado para tamizarse (malla 80-100). D) Harina de nopal con granulometría 180 μ m.

7.2 Caracterización de la composición química proximal de la harina de nopal.

7.2.1 Contenido de humedad en nopalito fresco y harina de nopal.

La humedad en la materia prima o nopalito es de $91.35 \% \pm 0.21$ (MS de 8.65 %), Maki-Díaz, *et al.* (2015), señala un valor de 94.56 % para la misma especie, el nopalito presenta tipo de agua libre o no ligada, es la que se comporta como agua pura, y se elimina durante el periodo de secado, o por la evaporación debido a que no se encuentra fijamente enlazada a la estructura del nopal y es la única disponible para el crecimiento de microorganismos, por esto la importancia del secado en los nopalitos para alargar su vida útil, ya que en su composición el mayor porcentaje es agua (Aguilar-Guncay & Cardoso-Martínez, 2017). En contraparte, la harina de nopal obtuvo un contenido de humedad de $7.84 \% \pm 0.1267$; sin embargo, Pérez-Rubio, (2009) señala un contenido de humedad del 9 % para nopal deshidratado de la misma especie. Mientras que la NOM-247-SSA1, 2008, no considera un valor determinado, si no un límite máximo de humedad del 15 % para harina de trigo, por tanto el valor obtenido en el presente trabajo para la harina de nopal está dentro del límite especificado.

El componente más abundante en el nopal es el agua; adicionalmente, la determinación del contenido de humedad de los alimentos es una de las más importantes y ampliamente usadas

en el proceso y control de los alimentos. Debido a que es un factor determinante para el desarrollo de microorganismos que se desarrollan y alteran la calidad del producto y por lo tanto afecta en la vida de anaquel (Torres, *et al.*, 2016).

7.2.2 Contenido de cenizas

En el presente trabajo se determinó que la harina de nopal es buena fuente de minerales con un valor de $17.01 \% \pm 0.806$ en base húmeda (7.84 % de humedad) lo que quiere decir que dicho valor de residuos inorgánicos está presente en la muestra fresca y un 18.45 % en base seca.

Otros autores, (Castillo, *et al.*, 2013) respecto a la determinación de cenizas en nopal verdura han reportado valores de 20.28 % en base húmeda para la harina de nopal de la misma especie, sin precisar en el porcentaje de humedad. Muñoz de Chávez *et al.* (1995) citado en (Valdez-Cepeda, *et al.*, 2008) afirman que dentro de los minerales que contienen los nopales están, el calcio y el potasio 93 y 166 mg/100 g respectivamente; y tienen bajo contenido de sodio (2 mg/100 g), lo que es una ventaja para su consumo por seres humanos. Comparado con los autores mencionados anteriormente la harina de nopal es rica en minerales pues el porcentaje se encuentra cercano a los reportados.

7.2.3 Contenido de calcio en harina de nopal

En el presente trabajo, se obtuvo un valor de 564 mg de Ca en la harina de nopal (7.8 % de humedad) por cada 100 g, en base seca, en tanto que Bautista-Justo, *et al.* (2010) reportan un valor de 93 mg/100 g en base húmeda y 1470 mg/100 g nopal en base seca. Cabe mencionar que el calcio está disponible para la absorción del cuerpo en el nopal verdura, a menos que presente grandes concentraciones de ácido oxálico ya que limitan su formación al quedar secuestrado como oxalato, impidiendo su absorción por el metabolismo, además el oxalato de calcio (CaC_2O_4) está limitada por el tipo y forma de cristales el cual varía entre 8 y 50 % del peso seco del cladodio. Respecto al consumo de nopalito, se reportan altos contenidos de calcio libre de oxalato, 3.4 g en 100 g para nopales de 6 meses, valor que puede variar dependiendo de su estado de maduración (Rodríguez *et al.*, (2007) citado en (Zúñiga-Valenzuela, *et al.*, 2018)).

El calcio (Ca) es el elemento mineral más abundante en nuestro organismo, ya que forma parte importante del esqueleto y los dientes, supone alrededor del 2 % del peso corporal. El Ca iónico (Ca^{2+}) es un componente celular imprescindible para mantener y/o realizar las diferentes funciones especializadas de prácticamente todas las células del organismo (Martínez-de Victoria, 2016). Se ha establecido que la edad de la penca o cladodio es un factor importante para el valor nutricional del nopal, para el caso del calcio entre mayor edad tenga el cladodio habrá más presencia de calcio que en nopalitos tiernos (Loubet-González, 2008).

7.2.4 Contenido de grasas

En la harina de nopal el contenido de grasa fue de $0.305 \% \pm 0.055$; Surco & Alvarado, (2010) señalan un contenido de grasa en la harina de trigo del 1.4 %, lo cual es mayor y se prefieren alimentos con menos contenido de grasa, para las personas que buscan perder peso, además, la harina de nopal aporta menos grasa que la harina de trigo. En nopal verdura fresco su contenido de grasa ha sido reportado con un valor de 0.009 g/100 g (Bautista-Justo, *et al.*, 2010).

7.2.5 Carbohidratos totales

El contenido de carbohidratos presentes en la harina de nopal es de $68.05 \% \pm 0.0084$ BS, (62.71% BH) obteniendo un valor subestimado. Posible causa ha sido discutida respecto a que en la reacción de fenol-ácido sulfúrico ocurre una sulfonación *in situ* del fenol, el ácido fenolsulfónico formado disminuye la intensidad de color del furfural formado, lo que afecta la lectura espectrofotométrica. Investigaciones realizadas por Rao y Pattabiraman ((1989) citado en (López-Legarda, *et al.*, 2017)), sugirieron un cambio en la secuencia de la adición de los reactivos, de esta forma, el ácido sulfúrico se agrega primero a la solución acuosa de carbohidratos para hacer la hidrólisis, seguido por la adición del fenol, que genera la reacción colorimétrica y conservando la longitud de onda de 490 nm propuesta en el método original para las lecturas de absorbancia.

Rodiles-López, *et al.*, (2016), señalan un valor de 74.38 % BS de carbohidratos en el nopal deshidratado de la misma especie *Opuntia ficus indica* variedad *amarilla*, en condiciones de 50 °Bx, lo anterior se presentó debido a que la solución osmótica está hecha con sacarosa.

El índice glucémico es una forma de clasificar los alimentos en una escala de 0 a 100 de acuerdo a qué tan elevado es el pico de glucosa en sangre después de dos horas siguientes de haber consumido dicho alimento. El índice glucémico (GI) fue creado para clasificar alimentos ricos en carbohidratos, cuando el IG es de 70 o más, es de valor alto; es medio de 56 a 69, y es bajo si es menor de 55. El índice glucémico para una porción de 100 g de nopal fresco es de 7, comparado con el tomate por cada 100 g/38 IG o la zanahoria cocida la cual presenta un IG muy elevado de 92; por lo tanto, el nopal contiene un IG bajo y es de utilidad para controlar los niveles de glucosa sanguínea (Pérez-Ortega, 2013).

7.2.6 Contenido de fibra dietaria

La fibra dietaria total obtenida para la harina de nopal en nopalitos tiernos de uno a dos meses de edad es de 39.76 % BS, de la cual 30.11 % es insoluble y 9.65 % es soluble. En el nopal el principal material constituyente de la pared celular es la fibra insoluble, en este se pueden encontrar polisacáridos como la celulosa, hemicelulosa y lignina. Mientras que en la fracción de fibra soluble se tienen pectinas y mucílago, las concentraciones de estos componentes suelen variar, dependiendo de factores como la especie, variedad del nopal, su edad y proceso de producción (Gongora-Cauich, 2016). La tabla número 8 presenta la composición de los principales polisacáridos presentes en la harina de nopal.

Tabla 8. Composición de fibra dietaria de harina de nopal verdura *Opuntia ficus indica* var. *blanco* en base húmeda.

Componente (%)			
Extractivos	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina
9.65	35.89	44.75	9.71
±0.20	±1.63	±1.66	±0.17

Sin embargo, autores como (Castillo, *et al.*, 2013), demuestran que el contenido de fibra alimentaria es de 43 %, 28.45 % insoluble y 14.54 % soluble. Esto en la especie *Opuntia ficus-indica* L. Millar, se aprecia el incremento de fibra debido a que utilizaron cladodios maduros de 1-3 años de edad. (Bautista-Justo, *et al.*, 2010), señalan un contenido de fibra total de 35.91 % en base seca, para *Opuntia amyclaea* Tenore, en nopalitos tiernos de dos a tres meses de edad. Por lo tanto, la fibra dietaria del presente trabajo se encuentra dentro del rango según los otros autores mencionados.

La fibra dietaria es la parte comestible de las plantas o carbohidratos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, con fermentación parcial o completa en el intestino grueso. Promueve efectos fisiológicos benéficos que incluyen su propiedad laxante, la disminución del colesterol sanguíneo y la disminución de la glucosa sanguínea (control de diabetes). Por sus propiedades de solubilidad, las fibras dietarias se dividen en dos (Robles-S., 2001).

1. Fibra dietaria soluble (FDS)

Es la fracción de la fibra dietética total (FDT) soluble en agua. Comprenden a las pectinas, gomas, mucilagos, hemicelulosa y celulosa modificada. La FDS puede variar entre 15 % a 50 % de la FDT, según el método analítico empleado y la especie de plantas que se trate (Robles-S., 2001).

2. Fibra dietaria insoluble (FDI)

Es la fracción de la FDT que es insoluble en agua. Comprende celulosas, gran parte de las hemicelulosas y la lignina. Casi todos los alimentos que contienen fibra, contienen más FDI que FDS. En dietas típicas de alimentos, cerca del 60 al 75 % de

la FDT es insoluble en agua, además, depende de la fuente y maduración del vegetal. (Robles-S., 2001).

Importante mencionar que los valores de fibra cruda no tienen relación con el verdadero valor de fibra dietaria de los alimentos humanos. Los valores de fibra dietaria generalmente son 3 a 5 veces mayores que los valores de fibra cruda, pero no puede hacerse un factor de corrección porque la relación entre fibra cruda y fibra dietaria varía dependiendo de los componentes químicos. La fibra cruda tiene poca significancia fisiológica en la nutrición humana y no debería usarse para informar del contenido de fibra de los alimentos (Slavin-J.L., 1987).

El interés por el estudio de las fibras dietéticas resurgió hace 35 años a raíz de las observaciones epidemiológicas de Towell (1973) y de Burkitt (1975), citados en (Bautista-Justo, et al., 2010) quienes mostraron que la prevalencia de las enfermedades cardiovasculares y de la diabetes mellitus en distintas regiones del mundo se correlacionan inversamente con el aporte de fibra en la dieta. La hipótesis que se propuso para explicar este hallazgo fue que tal vez las fibras formaran una barrera física para la absorción intestinal de nutrimentos que se tradujeran en menores concentraciones de glucosa y lípidos en la sangre (Bautista-Justo, et al., 2010).

El nopal viejo o pie de cría es una fuente rica en fibra dietética (Sandoval Iturbide, et al., 2015). Se sabe que el consumo de fibra es importante para el buen funcionamiento intestinal por lo cual muchas personas la incluyen en su dieta, aun cuando el consumo lo hacen en el nopal tierno.

Los cladodios, tienen interés desde el punto de vista industrial, ya que dependiendo de la edad presentan variaciones en la composición química y de acuerdo a esto se utilizan para diversas variedades de producción, la tabla 9 muestra la diferencia en la composición química de la harina de nopal para la especie *Opuntia xocconostle* (López et al, (1977) citado por (Sáenz, et al., 2006)).

Tabla 9. Efecto de la edad del nopal en la composición química de la harina de nopal verdura *Opuntia xocconostle* (porcentaje materia seca).

Edad de cladodio (años)	Proteína (%)	Grasa (%)	Cenizas (%)	Fibra cruda (%)
0.5	9.4	1.00	21.0	8.0
1	5.4	1.29	18.2	12.0
2	5.4	1.29	18.2	12.0
3	3.7	1.33	14.2	17.0
4	2.5	1.67	14.4	17.5

Fuente: Sáenz, *et al.*, (2006)

En la tabla 10 se presentan los valores para la composición química de harina de nopal *Opuntia ficus indica* var. *blanco*.

Tabla 10. Composición química proximal de harina de nopal verdura en base húmeda.

Componente químico (%)					
Harina de nopal <i>Opuntia ficus indica</i> var. <i>blanco</i>.	Agua	Cenizas	Calcio	Grasas	Carbohidratos Totales
	7.84	17.01	0.00564	0.305	68.05
	± 0.1267	± 0.8064		±0.0557	± 0.0084
	Fibra dietaria %				
	Extractivos	Hemicelulosa	Celulosa	Lignina	
9.65	35.89	44.75	9.71		
± 0.20	± 1.63	± 1.66	± 0.17		

Fuente: Elaboración propia

7.3 Otros componentes de la harina de nopal

7.3.1 Contenido de mucílago en nopalito fresco

El mucílago extraído del nopal fresco *Opuntia ficus indica* var. *blanco*, representó el 0.061 % para los lotes de nopal evaluado; Vargas-Rodríguez, *et al.* (2016) exponen que las condiciones propias del cultivo (variedad, edad, condiciones ambientales, fruto, cáscara o cladodio), determinan el contenido de mucílago en el nopal, aunado a la variabilidad del método extractivo, reflejando rendimientos de extracción sumamente bajos como el mencionado anteriormente.

Estudios efectuados por Sáenz y Sepúlveda, (1993) indican que el rendimiento es bajo, 1.2 % en la misma especie, *Opuntia ficus indica*, no obstante, realizaron su estudio en pencas maduras de 3 a 4 años de edad. Las pencas de nopal excretan una sustancia “viscosa” llamada mucílago, este es uno de los componentes más importantes en el nopal ya que forma parte de la fibra dietaria. El mucílago del nopal es un polisacárido fibroso, altamente ramificado, contiene aproximadamente de 35 a 40 % de arabinosa, 20 a 25 % de galactosa y xilosa cada uno y de 7 a 8 % de ramnosa y ácido galacturónico cada uno (Rodríguez-González, *et al.*, 2009). La determinación del mucílago en la materia prima de harina de nopal es importante ya que posee diversas funciones positivas para la salud, entre estas destaca la reducción del colesterol; la fibra soluble mucilaginoso se emplea en la alimentación para reducir los niveles de colesterol en sangre. Esta acción se lleva a cabo gracias a que evita que haya una reabsorción del colesterol intestinal que se produce por la bilis en la digestión de los alimentos. Estudios realizados en el Departamento de Especialidades del Centro Médico “La Raza” señala que la administración de nopal 20 minutos antes de los alimentos tres veces al día durante 10 días, produce una disminución significativa en el colesterol debido a la presencia de mucílago, capaz de disminuir la absorción gastrointestinal de varios nutrientes; y en consecuencia los niveles sanguíneos de colesterol, triglicéridos y glucosa disminuyen por falta de absorción (Basurto-Santos, *et al.*, 2018).

Además, el mucílago de nopal ayuda en la salud digestiva porque es una fibra soluble que favorece a la comunidad de bacterias que hay en el intestino y tiene como resultado una mejora en la salud intestinal al ayudar al tránsito intestinal y favorecer la saciedad, por ello,

el mucílago es recomendable incluirlo en la dieta, aun en pequeñas cantidades, pues beneficia a las personas que padecen diabetes (Basurto-Santos, *et al.*, 2018).

En el presente trabajo, el mucílago en la harina de nopal (figura 35) proporciona la funcionalidad a la pasta de una menor resistencia al corte, el cual es un atributo favorable. Lo mismo para pectinas y fibra. Gracias a esto se obtiene una masa más suave, teniendo únicamente como desventaja la viscosidad presente, la cual se redujo manteniendo en reposo la masa.



Figura 35. Mucílago extraído de nopal fresco.

7.3.2 Contenido de pectinas

La harina de nopal evaluada presentó un contenido de pectinas de $14.032 \% \pm 0.006$ en base seca y 1.1% en base húmeda, con una humedad de 7.84% (figura 36); otros autores (Bello Lara, *et al.*, 2016) determinaron 1.5% en base húmeda para este mismo componente en nopalito de *O. ficus indica*. La pectina es uno de los principales responsables de la textura de los productos vegetales, para la elaboración de pastas es importante como agente espesante y estabilizante, ya que le confiere las características reológicas; además, las pectinas son térmicamente estables, por lo que mantienen la estructura del producto cuando es sometido a temperaturas elevadas (Garza-S. & Yuste-Puigvert, 2003).

La pectina es una sustancia natural que se forma principalmente en la pared primaria y en los tejidos mesenquimáticos y parenquimáticos de frutos y vegetales, y tiene la función de cemento intercelular (Nwanekesi, Alawuba y Mkpolulu, 1994; Srinrangarajan y Shrikhande,

1979, citados por Chasquibol *et al.*, 2008). Las pectinas forman coloides por excelencia, pues presentan la propiedad de absorber una gran cantidad de agua, pertenecen a la familia de los oligosacáridos y polisacáridos de alto peso molecular (Chasquibol Silva, *et al.*, 2008).

Las pectinas forman parte de la fibra soluble y se le atribuyen efectos a la salud ya que reduce la concentración de colesterol en la sangre, debido a que el efecto de la fibra soluble se produce como consecuencia de la limitación y enlentecimiento de la absorción intestinal del colesterol. Esta actuación se realiza al favorecer la mezcla con los ácidos biliares y como consecuencia, tanto ácidos biliares como colesterol se eliminan a través de las heces, por lo que la ingestión de pectinas puede actuar también como un factor de prevención de esta enfermedad (Aza-Espinosa, *et al.*, 2017).

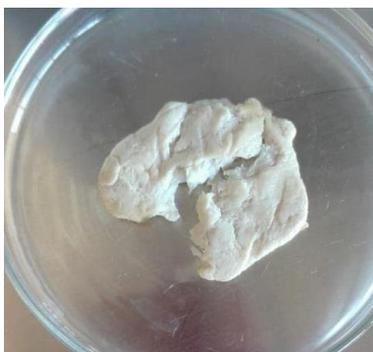


Figura 36. Pectinas deshidratadas.

7.3.3 Contenido de gluten

La harina de nopal no presentó contenido de gluten. Debido a que muchas personas son intolerantes al gluten se busca hacer productos sin gluten o en menor medida, por esta razón la harina de nopal es buena opción al momento de sustituir la harina de trigo

El gluten, es una glucoproteína compuesta a su vez por dos glucoproteínas, la gliadina y la glutenina. La gliadina es la encargada de aportar viscosidad y plasticidad a la masa y la glutenina se encarga de la elasticidad. Se obtiene principalmente a partir de harina de trigo y es utilizado como aditivo para dar viscosidad, espesor o volumen a una gran cantidad de productos alimenticios. El valor nutricional del gluten es muy bajo por lo que no es imprescindible en ninguna dieta. Sin embargo, ofrece propiedades tecnológicas inigualables en la industria alimentaria (San Mauro-Martín, *et al.*, 2014).

7.3.4 Viscosidad en la harina de nopal

La viscosidad en la harina de nopal tamizada a 180 micras alcanzó un valor de 165 cP en una dispersión de 30 g/ 500 ml de agua desionizada, a 20 °C, 20 rpm y una torca de 11.0 %. En cuanto a la dispersión de la harina de nopal se dice que es un fluido no newtoniano, ya que su viscosidad varía con la temperatura y la tensión cortante que se le aplica (Ruiz, 2014).

La viscosidad se define como la medida de la fricción interna de un fluido, esta fricción empieza a ser aparentemente cuando el fluido en quietud es obligado al movimiento con respecto a otro cuerpo; a mayor valor de fricción, mayor debe ser el valor de la fuerza requerida para causar el movimiento el cual es llamado esfuerzo cortante (Miranda & Vilca, 2018).

El comportamiento reológico (deformación de un producto sometido a esfuerzos externos) es importante en el control de calidad de los alimentos, las mediciones de las características reológicas de la harina utilizada son de gran importancia, se evalúa la dureza, grado de gelatinización de los almidones, extensibilidad de la masa, entre otras propiedades, productos derivados de harinas, como pastas, deben poseer una determinada textura que resulte agradable al consumidor (Roger, 2002).

7.4 Caracterización funcional de la harina de nopal apta para pasta seca

Los resultados para la caracterización funcional de la harina de nopal (granulometría 180 micras) apta para pasta seca, se muestran más altos en cuanto a la capacidad de retención de agua 13.08 ml/g, comparada con la harina de trigo que presentó 3.8 ml/g de MS (materia seca) por Valencia & Román (2006).

La capacidad de retención de agua es considerada una propiedad funcional de las proteínas, es un índice importante en la evaluación del comportamiento de las mismas como ingredientes en productos de panadería, carnes embutidas, salchichas y geles alimentarios. Esta propiedad afecta no sólo las condiciones del procesamiento, sino también la calidad final de los productos (Abugoch, 2006) citado en (Rivera-Figueroa, 2006).

La explicación a las diferencias de CRA entre la harina de nopal y la harina de trigo, podría atribuirse al mayor nivel de desnaturalización de las proteínas, además debe considerarse el hecho obvio de que una muestra más soluble posee una menor fracción insoluble capaz de

retener agua. (Rivera-Figueroa, 2006). Además del gran contenido de hidrocoloides como mucílago y pectinas. Así mismo, la capacidad de absorción de moléculas orgánicas de 7.06 g aceite/ g harina, es tomado como una alta capacidad, debido a que otros autores como Zambrano *et al.*, (2001), citado en (Ospina-Meneses, *et al.*, 2016) muestran valores de 1.98 para salvado de trigo, altos valores en CAMO se relacionan con la capacidad de ligar sales biliares, colesterol, compuestos tóxicos y carcinógenos permitiendo su excreción por las heces. El componente presente en la fibra dietaria total que contienen CAMO (capacidad de absorción de moléculas orgánicas) son principalmente los que hacen parte de la fibra dietaria insoluble (hemicelulosa, celulosa, lignina) (López-G, *et al.*, 1997). La capacidad de absorción de moléculas orgánicas reemplaza en cierta parte el agua liberada de los alimentos (Montes, *et al.*, 2016), de esta manera influye en las pastas de harina de nopal en sus propiedades organolépticas, especialmente sabor, color y aroma. El valor obtenido en el presente trabajo presenta cambios poco considerables en estas propiedades.

La capacidad de hinchamiento en la harina de nopal tamizada a 180 micras es de 0.5 ml H₂O/ g harina, Valencia & Román, (2006) señalan para la harina de trigo un valor de 7.1 ml de H₂O/g MS (materia seca) cabe mencionar que para la harina de avena presentó un valor más bajo de 2.3 g de ml H₂O/g MS. Al igual que la CRA la capacidad de hinchamiento es una propiedad funcional de las proteínas, fundamental para la preparación de alimentos viscosos como sopas, masas y productos horneados (Gallegos-Garza, *et al.*, 2018).

La capacidad de intercambio catiónico en la harina de nopal fue de 33.14 meq [H⁺]/g de harina, es un valor de 6.53 veces superior al intercambiado por la harina de trigo con un valor de 4,4 meq [H⁺]/g. Lo anterior indica que el contenido de grupos carboxilos libres e hidroxilos, así como el contenido de pectina es mayor en la harina de nopal, por lo tanto facilita la absorción de nutrientes (Valencia y Román, 2006).

7.4.1 pH y °Brix en la harina de nopal

La harina de nopal obtuvo un valor de pH de 4.8 que la ubica en un alimento en el tipo ácido (pH<7), su determinación es importante para la conservación, generalmente cuando disminuye el valor de pH, aumenta el periodo de conservación, (Alzamora-K., *et al.*, 2004); sin embargo, Rodríguez (2007) citado en (Loubet-González, 2008) reportó un valor cercano

de 4.26 para el mismo producto deshidratado de la misma especie, variedad desconocida y edad de tres meses. A reconocer que el pH es función de condiciones del cultivo del nopal; cabe mencionar que el pH de la harina de trigo usualmente recae entre 6.0 y 6.8 (Bennion 1971) citado en (Álvarez-Rodríguez, 2011).

Los grados Brix presentes en la harina de nopal tamizada a 180 micras y temperatura de 19 °C, fueron de 3.2, en una dispersión del 6.0 % mientras que Jiménez-Jiménez (2017), en su investigación presenta un valor de 4.4 grados brix para el nopal fresco de la misma especie *Opuntia ficus indica* de la variedad de *Copena* a una temperatura de 27.5 °C. La literatura no muestra reportes a cerca del contenido de sólidos solubles en las harinas, ya que esta prueba esta mas enfocada en frutas y alimentos con alto contenido de azúcar; sin embargo conociendo el valor de los sólidos solubles en la harina, podemos determinar que tan reblandecida quedará la pasta y la reduccion de sus componentes (deterioro vs integridad) por lo tanto que cantidad de sólidos desprende al momento de ser cocida. El valor obtenido en el presente trabajo nos dice que existen 3.2 g de sólido disuelto por 100 de disolucion total, lo que se sugiere sea un valor bajo y por tanto hace a la harina de nopal apta para elaborar una pasta.

7.4.2 Formulación de pasta de harina de nopal

Para que la masa fuera moldeable y se pudiera obtener la pasta de harina de nopal, así como darle forma tipo moño, se utilizó la formulación número 4 (presentada anteriormente en metodología). La tabla número 11 muestra los ingredientes utilizados.

Tabla 11. Ingredientes utilizados para la formulación de pasta de harina de nopal.

Ingredientes	Peso (g)	% de harinas
Harina de nopal	25	62.5
Harina de trigo	15	37.5
Huevo de gallina	55 (1 pieza)	-

Fuente: Elaboración propia.

El contenido comestible del huevo lo forman la clara y la yema. La clara contiene principalmente agua (88 %) y proteínas. En la yema el 50 % es agua, y el resto se reparte

equitativamente entre proteínas y lípidos. Una fracción muy pequeña corresponde a otras sustancias también importantes para la salud. Por esta razón la pertinencia de utilización del huevo en la formulación, ya que además de aportar nutrientes, al realizar la mezcla con la harina de nopal auxilia en capacidades espesantes que provocan una masa resulte homogénea.

7.5 Calidad de la pasta de harina de nopal

7.5.1 Humedad de la pasta de harina de nopal

El porcentaje de humedad en la pasta de harina de nopal tipo moño almacenada durante 20 días en bolsa sellada fue de 1.01 %. El Codex-Stan 234-199-2006 (metodos recomendados de analisis de muestreo recomendado, volumen 13 del Codex Alimentarius) para pastas alimenticias secas, define el porcentaje de humedad como el producto una vez terminado sufre un proceso de secado hasta alcanzar una humedad menor o igual al 12 %, de gran importancia al momento del embalaje de las mismas para que no sufra algún tipo de deterioro.

7.5.2 Textura y especificaciones en pasta cruda

La pasta de harina de nopal tipo moño no presenta grietas considerables una vez que está seca, aun pasados 15 días no cambia en apariencia, como se muestra en la figura 37. La presencia de grietas es una característica que afecta la apariencia en las pastas, el agrietamiento es un defecto de producción, causado principalmente por condiciones inapropiadas de secado (Esqueda-M., 2017).



Figura 37. Pasta de harina de nopal tipo moño.

Por cada lote de la formulación hubo un rendimiento de 61 moños con un peso de 45.828 g; por lo tanto el rendimiento es de 133 moños/100 g. Cada pasta tipo moño tiene un peso promedio de $0.633 \text{ g} \pm 0.063$ y dimensiones de $3 \times 2 \text{ cm} \times .5\text{mm}$. La figura 38 muestra el lote de pasta tipo moño.

La apariencia involucra factores como son: color, pecas, textura de la superficie, fuerza y flexibilidad de la pasta, presencia de grietas, la cual está relacionada a las condiciones bajo las cuales fue extrudida y secada (Martínez-Mora, *et al.*, 2017). La forma de secado en las pastas de harina de nopal tipo moño es lenta ya que se realiza a la intemperie y sin un proceso estandarizado; sin embargo, ésta favorece el producto terminado.



Figura 38. Lote de pasta de harina de nopal tipo moño.

7.5.3 Cocimiento de la pasta

La calidad del cocimiento se refiere a la capacidad de la pasta de mantener una buena textura después de ser cocida, sin dar una sensación espesa y pegajosa, la pasta desarrollada en este trabajo, después del cocimiento en agua hirviente en una relación de 100g/1 litro y durante 10 minutos sin presencia de aditivos, es considerada de buena calidad, debido a que no se rompió y no perdió significativamente sólidos en el agua de cocimiento ($^{\circ}\text{Bx}$), es bastante firme después de la cocción, aunque presenta una ligera sensación pegajosa, además se desprendió el color en el agua de cocimiento (figura 39, inciso A), soportó el lavado después de ser cocida, como se muestra en la figura 39, inciso B, después que la pasta fue sometida al lavado no pierde su forma inicial pasados 10 minutos como se muestra en la figura 40.

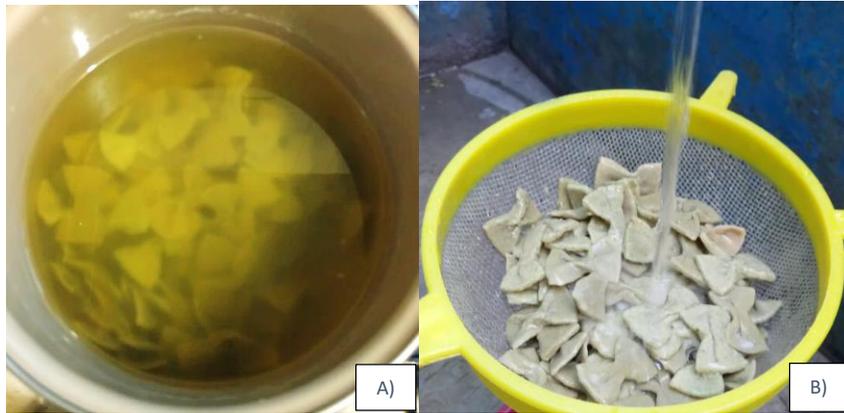


Figura 39. A) Cocimiento de pasta de harina de nopal con liberación de pigmentos en el agua. B) Lavado de pasta inmediatamente después de ser cocida.



Figura 40. Pasta 10 minutos después de ser lavada.

La evaluación de las propiedades de cocción en productos como la pasta es importante, sobre todo cuando se trata de materiales novedosos, distintos a las pastas simples; ya que como señalan Tudorica *et al.* (2007), citado en (Vasiliu & Navas, 2009) son parámetros fundamentales e índices comúnmente empleados por los consumidores e industriales como predictores generales de calidad (Vasiliu & Navas, 2009).

7.5.4 pH en pasta seca y pasta cocida de harina de nopal

El pH de la pasta seca tipo moño obtuvo un valor de 4.9, según el departamento de tecnología de los alimentos de la Universidad Wageningen, de Holanda, reportan para la pasta seca elaborada con trigo un pH de 3.5 a 4.7, la pasta debe tener un pH ácido para evitar la reproducción de microorganismos patógenos. Con esta información se infiere la pasta seca con harina de nopal se favorecerá en ese atributo de conservación (figura 41, inciso A) (Clayton-k, *et al.*, 2015).

La pasta cocida obtuvo un valor de 5.5 (figura 41, inciso B), mientras que el valor respectivo para el agua donde fue cocida 5.0 lo que indica que es un alimento ácido, en las pastas con harina de trigo el valor fue de, 3.5 a 4.7; sin embargo, dichas determinaciones deben verificarse.



Figura 41. Medición de pH con potenciómetro. A) Pasta seca. B) Pasta cocida.

7.5.5 Viscosidad del mucílago

El componente mucílago extraído del nopal verdura *Opuntia ficus indica* var. *blanco*, presentó 134.68 cSt (centistokes) de viscosidad cinemática. Dicho valor de viscosidad del mucílago beneficia funcionalmente la pasta de harina de nopal.

El mucílago tiene una gran capacidad de absorción de agua, también se atribuyen a los mucílagos propiedades como ligante del sabor y reemplazantes de grasas en diversos alimentos, lo que beneficia los alimentos elaborados con una proporción de mucílago, además, es un tipo de fibra soluble, que evita el estreñimiento (Abraján-Villaseñor, *et al.*, 2008).

7.5.6 Determinación de color en pasta de harina de nopal

El sistema de medición para determinar el color es conocido como CIELAB, expresa la luminosidad L^* (claro u oscuro); a^* y b^* indican la orientación del color.

Donde:

L^* = Luminosidad

a y b = coordenadas de cromaticidad

$a (+)$ = color rojo

$a (-)$ = color verde

$b (+)$ = color amarillo

$b (-)$ = color azul

Los resultados para las coordenadas de color en la pasta seca de harina de nopal cruda se muestran en la tabla 12.

Tabla 12. Coordenadas de color en escala CIELAB para la pasta de harina de nopal.

Lectura	L	a	b
1	38.05	-0.45	10.95
2	37.89	-0.45	10.98
3	38.79	-0.48	11.11
Promedio	38.24	-0.46	11.01
Desviación estándar	0.48013887	0.01732051	0.08504901

Ya que la pasta fue comparada con el color del nopal en fresco existen diferencias significativas en cuanto a luminosidad, la pasta de nopal es opaca por presentar un valor numérico bajo en la coordenada (a). Sin embargo es aceptable ya que prevalece el color verde característico del nopal, aunque en futuras experimentaciones se pueden agregar colorantes o aditivos que mejoren su color y así ser más aceptada a la vista.

La figura 42 muestra el diagrama de cromaticidad donde se puede ver el punto rojo que indica aproximadamente las coordenadas donde se encuentra el color de la pasta de harina de nopal, según el valor resultante de L en cuanto a luminosidad se puede decir que el color es opaco, mientras que para las coordenadas a y b muestra un color entre verde y amarillo.

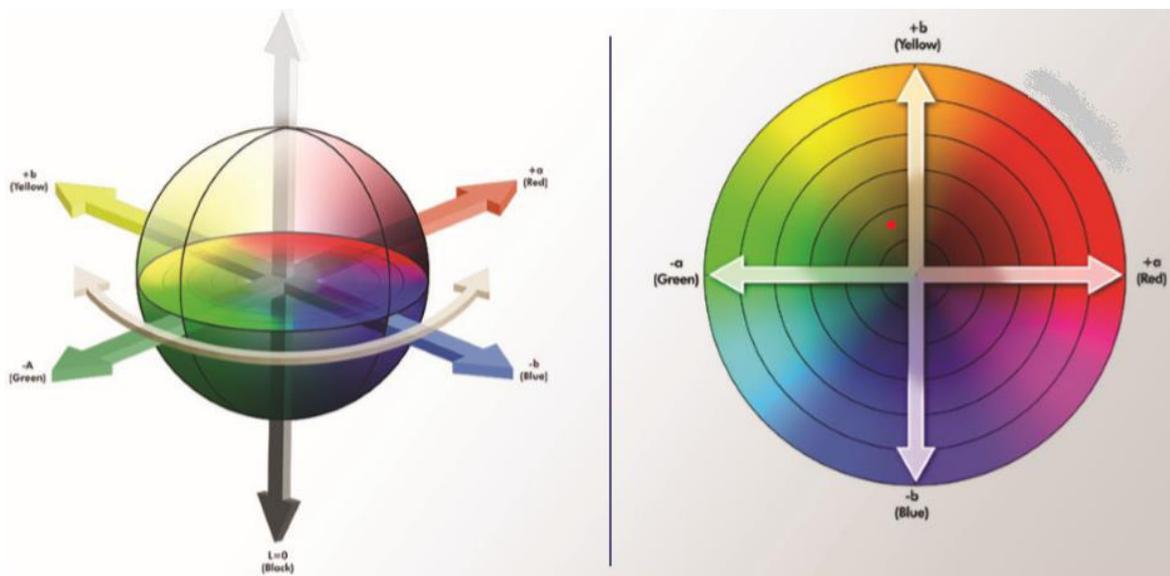


Figura 42. Diagrama de cromaticidad de espacio de color $L^*a^*b^*$.

El color corresponde a una percepción e interpretación subjetiva. Un espacio de color puede ser descrito como un método para expresar el color de un objeto usando algún tipo de anotación, como pueden ser los números. Dos personas mirando un mismo objeto pueden usar puntos de referencia distintos y expresar el mismo color con una gran variedad de palabras diferentes, llevando a confusión y falta de comunicación internamente o a través de la cadena de abastecimiento. Para evitar esto y asegurar que una muestra cumpla con el estándar, el color debe ser expresado en términos numéricos y objetivos.

Cuando se clasifican los colores, se les puede expresar en términos de matiz (color), luminosidad (brillo) y saturación (vividez). Al crear escalas para estos atributos, podemos expresar en forma precisa el color.

El sistema fue creado en 1976 referido a los espacios de color ($L^* a^* b^*$), siendo este sistema el más utilizado en la actualidad por los instrumentos de medición de color (Konica Minolta, 2006).

7.5.7 Porcentaje de hinchamiento en pasta de harina de nopal

La pasta de harina de nopal absorbe 1.1 veces su peso, mientras que las pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo absorben un equivalente de 1.5 a 3 veces su peso en agua. El porcentaje de hinchamiento de la pasta de trigo está relacionado con la capacidad de absorción de agua que posee el almidón, durante la cocción, los gránulos de almidón absorben agua, lo que implica un aumento en su volumen, la pasta de harina de trigo presentó 112.2 % de hinchamiento (Martínez-Mora, *et al.*, 2017) mientras que la pasta de harina de nopal presentó 10 % de hinchamiento. Por lo tanto, la pasta desarrollada mayormente de harina de nopal se muestra baja en su capacidad de hinchamiento debido a la reducida cantidad de almidones que contiene.

7.6 Información nutrimental en pasta de harina de nopal

La información nutricional de un alimento se refiere a su valor energético que proporciona, y a los determinados nutrientes como grasas, grasas saturadas, hidratos de carbono, azúcares, proteínas y sal (Ruiz-Chércoles & Cenarro-Guerrero, 2016).

En la tabla 13 se muestra la información nutrimental para la pasta de harina de nopal tipo moño realizada en este trabajo, eso a través de las reglas de etiqueta que reporta el laboratorio PROFECO, el cual indica que toda declaración presente en la etiqueta de todo producto debe ser veraz, comprobable y no enunciarse de manera engañosa. Se realizó comparación con la pasta comercial de mayor consumo tipo moño, la cual se muestra en la tabla 14.

Tabla 13. Información nutrimental en una porción de 40 g de pasta seca de harina de nopal.

Información Nutrimental		
Tamaño de Porción	40 g	
Porciones de Envase	5.0	
Contenido Energético	290kJ (70 kcal)	
Proteínas	5 g	
Grasa (Lípidos) / Grasas Totales	2 g	
Grasa Saturada	1 g	
Grasa Poliinsaturada	0 g	
Grasa Monoinsaturada	1 g	
Grasa Trans	0 g	
Colesterol	85 mg	
Carbohidratos	8 g	
Azúcares	1 g	
Fibra Dietética	4 g	
Sodio	150 mg	
Vitamina A	100 mcg	7% VNR*
Vitamina C	0 mg	0% VNR*
Calcio	280 mg	28% VNR*
Hierro	1 mg	6% VNR*
*Porcentajes de Valores Nutrimentales de Referencia (% VNR) de Acuerdo a la NOM-051-SCF SSA1-2010		

Una Porción de 40 g aporta:

Otras Grasa 10 Kcal	Azúcares Totales 5 Kcal	Sodio 150 mg	Energía 5 Kcal
3%	1%	8%	4%

*Elaboración en apoyo con el Ing. José Jesús Hurtado Zamora.

Tabla 14. Información nutrimental en una porción de 40 g de pasta seca de mayor consumo, tipo moño de harina de trigo.

Información Nutrimental	
Tamaño de Porción	40 g
Porciones de Envase	5
Contenido Energético	588 KJ (138 kcal)
Proteínas	4.8 g
Grasa (Lípidos) / Grasas Totales	0.8 g
Grasa saturada	0 g
Carbohidratos (hidratos de carbono)	28 g
Azúcares	1.6 g
Fibra Dietética	1.6 g
Sodio	1.6 mg
% del VNR* por porción	
Vitamina B1 (Tiamina)	44.8 %
Vitamina B2 (Riboflavina)	19.2 %
Niacina (Ácido Nicotínico)	24.8 %
Ácido Fólico (Folacina)	24.8 %
Hierro	14.4 %
*(VNR) Valor Nutrimental de Referencia para la Población Mexicana (NOM-051-SCFI/SSA1-2010)	

1 taza de pasta cocida (aprox. 110 g) aporta:

Grasa Saturada 0 Kcal	Otras Grasas 2.5 Kcal	Azúcares Totales 3.2 Kcal	Sodio 0.7 mg	Energía 138.4 Kcal	Energía por Envase 554.4 Kcal
0 %	0.7 %	0.7 %	0 %		5 porciones por envase

Según la información nutrimental en ambas pastas, se puede apreciar que la pasta de harina de nopal es un alimento innovador que proporciona beneficios a la salud, ya que se observa en el contenido energético una diferencia de 68 kcal más para la pasta de harina de trigo, las diferencias de otros parámetros se muestran en la tabla 15.

Tabla 15. Parámetros de diferencias significativas de pasta de harina de nopal vs pasta de harina de trigo de mayor consumo.

Parámetros	Pasta de harina de nopal	Pasta de harina de trigo
Contenido energético	290 kJ (70 kcal)	588 KJ (138 kcal)
Proteínas	5 g	4.8 g
Grasas totales	2 g	0.8 g
Grasa saturada	1 g	0 g
Carbohidratos	8 g	28 g
Azúcares	1 g	1.6 g
Fibra dietética	4 g	1.6 g
Sodio	150 mg	1.6 mg
Hierro	6 % VNR*	14.4 % VNR*

VIII. Conclusiones

Las características físicas de la pasta se vieron modificadas por la harina de nopal, por lo que fue necesario la incorporación de harina de trigo para mejorar las propiedades de la masa, el mucílago afectó considerablemente la calidad pues presenta una sensación un poco viscosa al momento de ser cocida, pero se valora su presencia por su aporte a la salud.

Debido a que el análisis sensorial no se realizó de manera presencial ante catadores, de forma general se concluye que la pasta es aceptable en cuanto a sabor, sin dejar de lado que presenta el sabor herbáceo característico del nopal. Sin embargo, el producto no fue bien evaluado en atributos de apariencia de color y olor, mayormente agradables, lo cual se considera realizar futuras mejoras, adicionando algún colorante vegetal. Los °Brix (3.2) al ser un valor bajo reduce considerablemente el deterioro de la pasta al momento de ser cocida.

Además, retiene su forma inicial al no presentar valor significativo en el desprendimiento de sólidos.

Respecto a la caracterización funcional se obtuvo un producto con alto contenido de fibra dietaria (4 g) el doble que para las pastas comerciales (2 g), alto contenido en minerales (17.01 %) bajo en carbohidratos que incrementen el IG y con menos del 1 % de grasa. La importancia del consumo de verduras como parte de una dieta saludable reduce el riesgo de enfermedades y aumento de peso, el nopal es una fuente rica de vitaminas y minerales; contiene, vitaminas A, complejo B y C. minerales como calcio, magnesio, sodio, potasio y hierro, que en conjunto con los 17 aminoácidos ayudan a eliminar toxinas y radicales libres. Existe una gran diferencia de la cantidad de carbohidratos presentes en las pastas comerciales (28 g/40 g), mientras que la pasta de harina de nopal presenta tan solo 8 g/40 g. Así como, menor cantidad de azúcares y grasas; buena aportación de calcio. Por lo tanto, se cumple con el objetivo de desarrollar una pasta con atributos favorables en cuanto a nutrientes y tecnología del alimento apta para su consumo.

Es así como se concluye que la harina de nopal verdura *Opuntia ficus indica* var. *blanco* se concibe propia para el desarrollo de una pasta alimenticia tipo moño, que satisfaga las exigencias de las nuevas tendencias.

IX. Bibliografía

A.O.A.C., 1984. Official Methods of Analysis. 14 th. 14.003 y 14.006, Washington, D.C. U.S.A: Ed. Association of Official Analytical Chemists.

Abraján-Villaseñor, M., Chiralt-Boix, A. & Martínez-Navarrete, N., 2008. Efecto del método de extracción en las características químicas y físicas del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*) y estudio de su aplicación como recubrimiento comestible, *Universidad Politécnica de Valencia*. España: (Tesis).

Acosta-Rueda, K., 2007. Elaboración de una pasta alimentaria a partir de semola de diferentes variedades de cebada, Pachuca de Soto, Hidalgo: *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. (Trabajo de titulación).

ADAM, 2020. Medline Plus. [En línea]

Available at: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000747.htm>

[Último acceso: 3 Agosto 2020].

Aguilar-Guncay, I. & Cardoso-Martínez, E., 2017. Optimización del proceso de secado en pastas, Cuenca, Ecuador: (Trabajo de titulación).

Aguilera-Gutiérrez, Y., 2009. Harinas de Leguminosas Deshidratadas: Caracterización Nutricional y Valoración de sus Propiedades Tecno-Funcionales, Madrid: *Universidad Autónoma de Madrid*. Facultad de Ciencias. Departamento de Química Agrícola (Tesis doctoral).

Alimentos Argentinos – MAGyP, 2014. Nutrición y educación alimentaria - pastas: Beneficios al dente, Buenos Aires, Argentina: s.n.

Álvarez-Rodríguez, M., 2011. Ensayo de Determinación de Acidez en Harinas. Método Volumétrico y Determinación de pH en Harinas, Paraguay: *Universidad Nacional de San Agustín*. Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias.

Alzamora-K., S., Guerrero-L., S., Nieto-O., A. & Vidales.T., S., 2004. Conservación de frutas y hortalizas mediante tecnologías combinadas. 1 ed. Roma, Italia: Danilo J. Mejía L. (Ph.D), Oficial, AGST. FAO.

Anon., 2019. tipode. [En línea]

Available at: <https://www.tipode.net/tipos-de-pasta/>

[Último acceso: 16 Diciembre 2020].

Aparicio-Aponte, O. & Agudelo-Quintero, L., 2018. Elaboración de un producto tipo pasta alimenticia a partir de harinas no convencionales (sagú, quinua, lenteja), Bogotá: *Universidad de La Salle*, Programa Ingeniería de Alimentos.

Aza-Espinosa, M., Méndez-Arellano, M. & Toromoreno-Ibarra, L., 2017. Extracción de pectina de nopal (*Opuntia ficus indica*) por medio ácido aplicando dos niveles de temperatura, tiempo y estado de madurez, Ecuador: *Universidad Técnica del Norte*. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agropecuarias y Ambientales.

Barrón-Salas, J., 2014. La industria molinera de trigo cristalino de Sonora: Oportunidades y limitaciones para vincularse a la cadena global de valor en Asia- Pacífico, Hermosillo, Sonora: Coordinación de desarrollo regional.

Basurto-Santos, D., Lorenzana-Jiménez, M. & Magos-Guerrero, G., 2018. Utilidad del nopal para el control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2, Cd. de México: Escuela de Medicina Tominaga Nakamoto y Facultad de Medicina, UNAM.

Bautista-Justo, M. y otros, 2018. Valor nutritivo de galletas elaboradas con harina integral y nopal fresco, Guanajuato, Gto: IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos. UG.

Bautista-Justo, M. y otros, 2010. El nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. *Acta Universitaria*, Vol. 20(3), pp. 12,14 y 15.

Bello Lara, J., Balois Morales, R., Sumaya Martínez, T. & Juárez López, P., 2016. Biopolímeros de mucílago, pectinas de nopalitos y quitosano, como recubrimiento en almacenamiento y vida de anaquel de frutos de aguacate hass. *Acta Agrícola y Pecuaria*, II(2), p. 43.

Beltrán-Gracia, J., 2017. Cátedra. AgroBank. [En línea]
Available at: <http://www.catedragrobank.udl.cat/es/actualidad/innovacion-en-pasta-alimentaria-con-pescado-proyecto-ganador-de-la-i-convocatoria-de>
[Último acceso: 9 Enero 2020].

Berigüete-E, L., Merette, O., Gómez, E. & Calderón, C., 2012. Harina de nopal (*Opuntia ficus*) aplicada en la elaboración de productos de panificación. *Innova Biotec*, Vol. I(1), p. 21.

Borbón, M., 2018. Fundación Española del corazón. [En línea]
Available at: <https://fundaciondelcorazon.com/nutricion/alimentos/797-huevos-proteinas-grasa-colesterol.html>
[Último acceso: 13 Julio 2020].

Breton Deval, L., s.f. Determinación de pectinas del género opuntia por gravimetría. s.l.:s.n.

Buendía-Campos, N., Cruz-Muñoz, R., Gómez-Díaz, L. & Tecpa-González, J., 2006. Nopales en escabeche, México: Instituto Politecnico Nacional. Unidad de Biotecnología.

Cano-Salazar, J., 2012. La innovación en alimentos. *Revista. Lasallista de Investigación*, Vol.9(2).

- Castillo, S., Estrada, L., Margalef, M. & Tóffoli, S., 2013. Obtención de harina de nopal y formulación de alfajores de alto contenido en fibra, Buenos Aires, Argentina: *Universidad Nacional de Salta*. Facultad de Ciencias de la Salud. Consejo de Investigación.
- Chasquibol Silva, N., Arroyo Benites, E. & Morales Gomero, J., 2008. Extracción y caracterización de pectinas obtenidas a partir de frutos de la biodiversidad peruana. *Ingeniería Industrial*, Vol. I(26), p. 176.
- Clayton-k, A., Bush-T, D. & Keener-U, K., 2015. Métodos para la conservación de alimentos. *Emprendimientos Alimentarios*, Vol. 2(1), pp. 3-4.
- CODEX, 1995. CODEX-STAN-152-1985 NORMA del CODEX para la harina de trigo, Cd. de México: s.n.
- Covarrubias-Peña, G., 2000. Estudio de prefactibilidad para la instalación de una planta elaboradora de mermelada de nopal baja en calorías, Iztapalapa. Cd. de México: *Universidad Autónoma Metropolitana*.
- Díaz-G., 2010. La innovación en la industria alimentaria, s.l.: Unilever.
- Díaz-Yubero, I., 2017. Alimentos con historia. Pastas alimenticias. *Distribución y Consumo*, Vol. I(1), p. 61.
- Dubois, M. y otros, 1956. Colorimetric method for determination of sugar and related substances *Analytical Chemistry*.28 (3): 350-356. s.l.:s.n.
- Esqueda-M., I., 2017. Industria del trigo. Proceso de pastificación, Venezuela: *Universidad Centro occidental "Lisandro Alvarado" Decanato de Agronomía*. Programa Ingeniería Agroindustrial.
- FAO, 2019. Nuestras acciones son nuestro futuro, Italia: s.n.
- Ferrucci-Péndola, F., 2000. La importancia del mercado en la investigación agraria para el desarrollo alternativo, Lima, Perú: Proyecto IICA-GTZ. Serie de Publicaciones Misceláneas.
- Flores-Mendiola, G., 2012. Producción de biomasa y calidad nutrimental de *Opuntia ficus-indica* (L) Mill para consumo humano cultivado en forma hidropónica, Escobedo, N.L. México: (Trabajo de titulación) *Universidad Autónoma de Nuevo León*.
- Franco-Urquiza, E. & Maspoch-Rulduá, M., 2009. Estructura general de las arcillas utilizadas en la preparación de nanocompuestos poliméricos. *Ingenierías*, Vol. 12(44), p. 39.
- Gallegos-Garza, M. y otros, 2018. Caracterización tecnofuncional de harinas obtenidas de la cascara y semillas de pepino (*Cucumis sativus*)y su aplicación en un alimento funcional. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, Vol. 3(1), p. 604.
- García-Román, M., 2010. Molturación de cereales y sus productos, *Universidad de Granada*: Dpto. de Ingeniería Química, Facultad de Ciencias (Tesis).

Garza-S., S. & Yuste-Puigvert, J., 2003. Los geles de pectina y su aplicación en la industria alimentaria. *Revista de Tecnología e Higiene de los Alimentos*, Vol. 1(342).

Geydan-T., T. & Melgarejo-R., L., 2005. Metabolismo ácido de las crasuláceas. *Acta Biológica Colombiana*, Vol.10(2), p. 4.

Gimferrer- Morato, N., 2009. Del grano a la harina. [En línea]
Available at: <https://www.consumer.es/seguridad-alimentaria/del-grano-a-la-harina.html>
[Último acceso: 23 Julio 2020].

Gomez-Delgado, Y. & Velázquez-Rodríguez, E., 2019. Salud y cultura alimentaria en México. *Revista Digital Universitaria*, Vol. 20(1), p. 6.

Gomez-S., 2018. ALIMENTE. [En línea]
Available at: https://www.alimente.elconfidencial.com/nutricion/2018-08-22/harinas-refinadas-que-son_1605474/
[Último acceso: 13 Febrero 2020].

Gongora-Cauich, J., 2016. Establecimiento de un proceso de hidrólisis a partir de cladodios frescos y secos de nopal (*Opuntia spp.*) para la obtención de azúcares fermentables, Mérida, Yucatán: Centro de Investigación y Asistencia en Tecnología y Diseño del Estado de Jalisco A.C.

González-T, C., 2011. Monitoreo de la calidad del agua, s.l.: Servicio de Extensión Agrícola.

González-Teo, Y., 2018. Desarrollo de pastas alimenticias tipo caracol a base de harina de maíz nixtamalizado (*Zea mays*) y de frijol Honduras nutritivo (*Phaseolus vulgaris*), Zamorano, Honduras: *Escuela Agrícola Panamericana*, Zamorano, Honduras.

Gottau-G., 2017. Vítónica. [En línea]
Available at: <https://www.vitonica.com/alimentos/harinas-refinadas-las-claves-para-localizarlas-y-evitarlas-en-tu-alimentacion>
[Último acceso: 13 Febrero 2020].

Hernández-Rodríguez, J., Flores-Murrieta, F., Acosta-Olea, R. & Barbosa-Pool, G., 2013. Secado solar de productos agrícolas, Chetumal, Quintana Roo: *Universidad de Quintana Roo*.

Inglese-L, P., Mondragon, C., Icardia, A. & Sáenz, C., 2018. Ecología del cultivo, manejo y usos del nopal, Roma: Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.

Jiménez-Jiménez, J., 2017. Determinación de la hora óptima del día para la cosecha de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*), Torreón, Coahuila: *Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro*.

Jiménez-Mazarán, C. & Landa-Robles, Y., 2018. Propiedades nutricionales y funcionales de las distintas harinas utilizadas para la elaboración de un pan de alto valor nutricional,

Milagro, Ecuador: *Universidad Estatal de Milagro*, Facultad de Ciencias de la Salud. (Trabajo de titulación).

Konica Minolta, 2006. Konica Minolta Sensing Americas, Inc. [En línea]
Available at: <https://sensing.konicaminolta.us/mx/blog/entendiendo-el-espacio-de-color-cie-lab/>
[Último acceso: 5 Agosto 2020].

Lezcano-P., E., 2008. Pastas alimenticias y cadenas alimentarias, Buenos Aires, Argentina: Dirección de Industria Alimentaria y Agroindustrias.

Licata-T, M., s.f. zonadiet.com. [En línea]
Available at: <https://www.zonadiet.com/comida/pastas.htm>
[Último acceso: 11 Febrero 2020].

López-G, G. y otros, 1997. Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismo de acción en el tracto gastrointestinal, s.l.: Archivos Latinoamericanos de Nutrición.

López-Legarda, X. y otros, 2017. Comparación de métodos que utilizan ácido sulfúrico para la determinación de azúcares totales. *Revista Cubana de Química*, Vol.29(No. 2), p. 182.

Loubet-González, A., 2008. Biodisponibilidad de calcio presente en harina de nopal (*Opuntia Ficus Indica*) en función a su estado de maduración, Hidalgo: *Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo*. Instituto de Ciencias de la Salud. Área Académica de Nutrición.

Maki-Díaz, G. y otros, 2015. Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional. *Agrociencia*, Vol. 49(1), p. 12.

Martínez-de Victoria, E., 2016. El calcio, esencial para la salud. *Nutrición Hospitalaria*, Vol. 33(4), p. 2.

Martínez-Mora, E., Criollo-Feijoo, J., Silverio-Calderón, C. & Díaz-Torres, R., 2017. Pruebas de cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo - almidón de banano. *Revista Cumbres*, Vol. 4(1), pp. 6, 8, 9.

Martínez-S., C., 2010. Utilización de pastas como alimentos funcionales, Buenos Aires, Argentina: *Universidad Nacional de la Plata*, Facultad de Ciencias Exactas.

Melgoza-Hernández, A., 2000. Planeación del sistema de calidad para la producción de nopal verdura precortado, Monterrey: Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (Trabajo de titulación).

Miranda, V. & Vilca, K., 2018. Determinación de los parámetros óptimos para la elaboración de una bebida funcional de cebada (*Hordeum vulgare*), Arequipa, Perú: *Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa*. Facultad de Ingeniería de Procesos. (Tesis).

Montes, N. y otros, 2016. Absorción de aceite en alimentos fritos. *Revista Chilena de Nutrición*, Vol. 43(1), p. 5.

Muñoz, A. & Vega, J., 2014. Determinación de sólidos solubles en alimentos, Nuevo Chimbote, Perú: *Universidad Nacional del Santa*. Facultad de Ingeniería Agroindustrial.

Navarrete-Jaramillo, A., 2015. Elaboración y caracterización de pasta funcional con adición de bagazo de uva, Santiago, Chile: Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.

Nieves-Díaz, J., Jorrín-Novó, V. & Bárcena-Ruíz, J., 2016. Reacciones coloreadas para la determinación cualitativa de azúcares, Córdoba, España: *Universidad de Córdoba*, Dep. de Bioquímica y Biología Molecular.

NMX-F-023-S, 1980. NORMA NMX-F-023-S-1980. Pasta de harina de trigo y/o semolina para sopas y sus variedades Normas Mexicanas. Dirección general de Normas. Cd. de México: s.n.

NOM-051-SCFI, 1994. NORMA Oficial Mexicana. Especificaciones generales de etiquetado para alimentos y bebidas no alcohólicas preenvasados. Cd. de México: s.n.

NOM-247-SSA1, 2008. NORMA Oficial Mexicana NOM-247-SSA1-2008, Productos y servicios. Cereales y sus productos. Cereales, harinas de cereales, sémolas o semolinas. Alimentos a base de cereales, semillas comestibles, de harinas, sémolas o semolinas o sus mezclas. México: s.n.

NOM-251-SSA1-2009, 2009. NORMA Oficial Mexicana NOM-251-SSA1-2009. Prácticas de higiene para el proceso de alimentos, bebidas o suplementos alimenticios, Cd. de México: s.n.

Ocampo-Ochoa, F., Riveros-Cañas, R. & Roldán-Cruz, E., 2017. Caracterización del SIAL nopal verdura y fruta en el estado de Hidalgo, México, Hidalgo, México: Secretaría de Desarrollo Agropecuario del Estado de Hidalgo.

OECD, 2017. Organisation for economic co-operation and development. Organización para la cooperación y el desarrollo económico. [En línea]
Available at: <http://www.oecd.org/health/obesity-update.htm>
[Último acceso: 28 Octubre 2019].

OMS, 2017. Organización Mundial de la Salud. [En línea]
Available at: [Disponible en: https://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/](https://www.who.int/features/factfiles/obesity/es/)
[Último acceso: 28 Octubre 2019].

Ortiz-Montes, A., 2016. El mercado de pastas en América 2004-2005, Venezuela: Avepastas.

Ospina-Meneses, S., Restrepo-Molina, D. & López-Vargas, J., 2016. Caracterización fisicoquímica y funcionalidad tecnológica de la fibra de banano íntegro verde (Cavendish valery). *Revista Lasallista de Investigación*, Vol. 13(1), p. 28.

Paz-Echeverría, M. y otros, 2005. Guía de uso, de secaderos solares para frutas, legumbres, hortalizas, plantas medicinales y carnes, Asunción, Paraguay: Fundación Celestina Pérez de Almada.

Pérez-Espinoza, C.-K., 2012. Empaques y embalajes. 1° ed. Tlanepantla, Edo. de México: Red Tercer Milenio.

Pérez-Ortega, E., 2013. Índice glucémico y carga glucémica, Oaxaca. México: Laboratorio de Patología Clínica.

Pérez-Rubio, V., 2009. Elaboración de productos deshidratados de nopal verdura, Culiacán: Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo (CIAD), A. C., Unidad Culiacán.

Quispe-Jiménez, H., 2012. Aplicación del mucílago extraído de nopal (*Opuntia ficus-indica*) en la clarificación del agua del río uchusuma, Tacna, Perú: (Tesis) Ingeniería Química.

Rangel-P, M., 1993. La magia de la pasta. 1° Edición ed. Toluca. Estado de México: Diagrama Casa Editorial S.C.

Reyes-S., 2014. Diagrama de flujo de producción de harina de trigo, Cd. de México: s.n.

RICA, 2017. Red de Intercambio de Conocimiento Agroalimentario. [En línea] Available at: <http://rica.chil.me/post/pasta-alimenticia-que-cambia-de-forma-con-la-coccion-c2bfel-futuro-de-la-pasta-142773> [Último acceso: 20 Octubre 2019].

Rincón-Reyna, P. y otros, 2016. Efecto sobre el índice glucémico de pastas adicionadas con garbanzo y deshidratadas por microondas. *Rincón*, Vol.1(2), p. 771.

Rivera-Dommarco, J. y otros, 2013. Obesidad en México. Recomendaciones para una política de Estado, México: Elsa Botello López. UNAM.

Rivera-Figueroa, M., 2006. Obtención, caracterización estructural y determinación de las propiedades funcionales de un aislado proteico de quinua orgánica, Santiago, Chile: *Universidad de Chile*. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacéuticas.

Robles-Román, C., 2012. Costos históricos. 1° Edición ed. Tlanepantla, Estado de México: Revisión editorial: Eduardo Durán Valdivieso.

Robles-S., 2001. ¿Que es la fibra dietética?, s.l.: Centro Nacional de Alimentación y Nutrición. Instituto Nacional de Salud.

Rodiles-López, J., Manivel-Chávez, R., Zamora-Vega, R. & Martínez-Flores, H., 2016. Elaboración de una botana de nopal obtenida por deshidratación osmótica. *Superficies y Vacío*, Vol. 29(2), p. 51.

Rodríguez-González, S., Martínez-Flores, H., Órnelas-Nuñez, J. & Garnica-Romo, M., 2009. Optimización de la extracción del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*), Morelia, Michoacán: *Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*, Facultad de Químico Farmacobiología.

Roger, 2002. Reología y textura de alimentos dirigido a la industria del chocolate, Ecuador. disponible en: https://www.ecured.cu/Reolog%C3%ADa_de_los_alimentos: Centro de

Documentación e Información Científico-Técnica Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.

Ruiz-Chércoles, E. & Cenarro-Guerrero, T., 2016. La importancia del etiquetado, Madrid: Lúa Ediciones.

Ruiz, I., 2014. Propiedades reológicas, Yarinacocha, Perú: *Universidad Nacional Intercultural de la Amazonia*.

Sáenz, C. y otros, 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO, Vol. 6(162), pp. 1-5.

SAGARPA, 2015. Cadena Agroindustrial de Trigo, CDMX: s.n.

San Mauro-Martín, I., Garicano-Vilar, E., Collado-Yurrutia, L. & Ciudad-Cabañas, M., 2014. ¿Es el gluten el gran agente etiopatogénico de enfermedad en el siglo XXI?. *Nutrición Hospitalaria*, Vol. 30(6), p. 1204.

Sánchez-Alejo, E., 2008. Nopales en salmuera. *Revista de Salud Pública y Nutrición*, Vol. 1(14), pp. 151-152.

Sánchez-Castillo, C., Pichardo-Ontiveros, E. & López-R, P., 2004. Epidemiología de la obesidad. *Gac Méd Méx*, Vol.140(2), p. 3.

Sanchez-Vázquez, E., 2011. Uso de cubiertas plásticas aplicadas en túneles bajos de producción de nopal verdura, Saltillo, Coahuila: Centro de Investigación de Química Aplicada.

Sandoval Iturbide, A. y otros, 2015. Elaboración de un producto de panificación utilizando harina de nopal viejo o pie de cría, Puebla: Dpto. de Bioquímica-Alimentos. Facultad de Ciencias Químicas, *Universidad Autónoma de Puebla*.

Sandoval-Trujillo, S., Ramírez-Cortés, V. & Hernández-Bonilla, B., 2019. Alternativas de producción del nopal en el Estado de México, Estado de México: *Universidad Autónoma del Estado de México*, Centro Universitario UAEM Valle de Teotihuacán Axapusco.

Saravia, P., 2016. Agrupamientos productivos (cluster) del nopal, s.l.: s.n.

Scheinvar, L. y otros, 2008. Diversidad de los nopales silvestres mexicanos géneros opuntia y nopalea (*cactaceae*). Estatus de conservación, México: Laboratorio de Cactología del Jardín Botánico del Instituto de Biología UNAM, Ciudad Universitaria.

Slavin-J.L., 1987. Dietary fiber: classification, chemical analysis, and food sources, s.l.: J. Am. Diet Ass.

Surco, J. & Alvarado, J., 2010. Harinas compuestas de sorgo-trigo para panificación. *Revista Boliviana de Química*, Vol. 27(1), p. 21.

Torres, J., Hernández, O., Arce, G. & Vizuet, J., 2016. Secado de nopal (*opuntia ficus*) utilizando secador solar con sistema de reflectores. *Energía Química y Física*, Vol. 3(6), pp. 41- 42.

Torres-Ponce, R., Morales-Corral, D., Ballinas-Casarrubias, L. & Nevárez-Moorillón, G., 2015. El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 6(5).

Trattoria, L., 2015. La Trattoria restaurante. [En línea]
Available at: <https://latrattoriadealmeria.es/contacto-restaurantes-italianos-almeria/>
[Último acceso: 6 julio 2020].

Twilight SA de CV, s.f. Instrumentos de medición industrial. [En línea]
Available at: <https://twilight.mx/instrumentos/viscosímetros/60/29/bl-z1-copa-zahn-1.html>
[Último acceso: 3 Septiembre 2019].

UNSTA, 2015. Catedra de Bromatología y Tecnicas Alimentarias. Análisis de harinas y productos de panadería. s.l.:s.n.

Valdez-Cepeda, R., Blanco Macías, F., Vázquez-Alvarado, R. & Magallanes-Quintanar, R., 2008. Producción y usos del nopal para verdura. *Revista Salud Pública y Nutrición*, Vol. 1(14), p. 5.

Valencia, F. & Román, M., 2006. Caracterización fisicoquímica y funcional de tres concentrados comerciales de fibra dietaria. *Revista de la Facultad de Química Farmacéutica*, Vol. 13(2), pp. 55-56.

Van-Soest , P., Robertson, J. & Lewis, B., 1991. Métodos para la fibra dietética, la fibra detergente neutra y los polisacáridos distintos del almidón en relación con la nutrición animal, Ithaca, NY: *Universidad de Cornell*, Departamento de Ciencia Animal.

Vargas-Fiallo, L. & Camargo-Hernández, J., 2012. Manual 4: Prácticas de laboratorio de análisis químico I, Colombia: *Universidad Industrial de Santander*. Facultad de Ciencias.

Vargas-Rodríguez, L. y otros, 2016. Propiedades físicas del mucílago de nopal. *Acta Universitaria*, Vol. 26(1), p. 9.

Vasiliu, M. & Navas, P., 2009. Propiedades de cocción, físicas y sensoriales de una pasta tipo fetuchine elaborada con sémola de trigo durum y harina deshidratada de cebollín (*Alliumfi stulosum* L). *SABER. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente*, Vol. 21(1), pp. 72, 79.

Vázquez-Morales, E. y otros, 2019. Sedentarismo, alimentación, obesidad, consumo de alcohol y tabaco como factores de riesgo para el desarrollo de diabetes tipo 2. *Journal*, Vol. 4(10), p. 1013.

Ventana-C., P., 2019. Harinas: Tipos y usos en la cocina. *Divina Cocina*, Volumen Vol. 2.

Villanueva-Flores, R., 2014. El gluten del trigo y su rol en la industria de la panificación. *Ingeniería Industrial*, Vol. 1(32), p. 231.

Zudaire-M., 2003. EROSKI. Consumer. [En línea]
Available at: <https://www.consumer.es/alimentacion/la-pasta.html>
[Último acceso: 11 Febrero 2020].

Zúñiga-Valenzuela, R. y otros, 2018. Caracterización CaCO_3 y CaC_2O_4 con análisis microfotográfico en *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, Vol. 9(7), p. 1525.