



UNIVERSIDAD MICHUACANA DE
SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

DESARROLLO DE UNA TORTILLA CON AGUACATE
Y NOPAL DESHIDRATADO CONTRA SÍNDROME
METABÓLICO

T E S I S

QUE COMO REQUISITO PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

LICENCIADO EN QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

P R E S E N T A :

LAURA PATRICIA ARRIAGA MARTÍNEZ

ASESORES:

D.C. JOSÉ OCTAVIO RODILES LÓPEZ

M.C. ROSA MARIA GARCÍA MARTÍNEZ

MORELIA, MICHOACÁN AGOSTO 2016

DEDICATORIA

A Dios por darme la fortaleza, la entereza, la paciencia, la vida, pero sobretodo el amor de todos los que me rodean, para dar este gran pasó en mi vida con una felicidad invaluable.

A mis papás, que amo más que a nada en este mundo, y que me enseñaron a mí y mis hermanos los valores, el respeto, la dedicación y el amor que ponen en cada cosa que realizan, y que sin ellos no sería quien soy ahora. Agradezco su confianza y su amor incondicional. Y que Dios, no me pudo dar unos padres tan excepcionales como ustedes. Los amo y admiro por siempre

A mis hermanos, Fer por demostrarme que siempre se pueden alcanzar los sueños y por acompañarme en los momentos más difíciles, y a mi pequeño Edgar que espero darle un buen ejemplo y que es el motivo de mis sonrisas siempre. Los amo.

A Uriel mi amor, porque ha estado conmigo recorriendo este largo camino, que a pesar de las circunstancias ha demostrado ser un apoyo incondicional siempre. Que por él y nuestro futuro juntos me motivo a superarme. No tengo como agradecerle cielo que me ames tanto y que siempre estés a mi lado. Te amo.

A mi mamá Lulú y papá Chay que siempre están ahí, que han sido para mí un ejemplo de fortaleza y lucha constante para salir adelante, que son el pilar fuerte de mi hermosa familia y que siempre estarán ahí para nosotros.

A toda mi familia, mis tíos, tías, primos y primas porque siempre están ahí cuando los necesito y por su gran apoyo durante este proceso.

AGRADECIMIENTOS

Al D.C. José Octavio Rodiles López por su apoyo incondicional y su motivación, que desde sus clases me motivo a superarme, sus enseñanzas, por su constante asesoría, conducción, revisión y valiosas sugerencias en el desarrollo y culminación del presente trabajo.

A la M.C. Rosa María García Martínez por su generosa aportación de material utilizado en el laboratorio de Análisis de Alimentos, así como sus valiosas enseñanzas y sugerencias para este proyecto.

A nuestra máxima casa de estudios, la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, así como a la Facultad de Químico Farmacobiología por haberme proporcionado una formación y capacitación profesional y humana. Por eso y mucho más, por siempre y orgullosamente llevo un corazón Nicolaita.

Al D.C. Héctor Eduardo Martínez Flores, por su apoyo brindado para el trabajo en bioterio y su generosa aportación para la realización de las dietas.

A Diana y Eunice por su apoyo en el trabajo del ensayo biológico, y por ayudarme a resolver mil dudas que aparecían día tras día, además de brindarme su valiosa amistad.

A Toño, por sus enseñanzas y compañía durante este proceso, porque gracias a ti aprendí mucho profesional y humanamente hablando.

A Marcela González porque su proyecto de investigación fue de gran apoyo y de guía para la realización del mío.

A los alumnos del laboratorio de neurología de la facultad de Químico Farmacobiología, por su apoyo en el sacrificio de los modelos biológicos.

Al laboratorio CEDIMI por su apoyo en la realización de las determinaciones séricas. A la empresa SíoSí por proporcionar las muestras de aguacate liofilizado.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
1. EL AGUACATE.....	3
1.1. Origen del aguacate	3
1.2. Taxonomía.....	4
1.3. Morfología.....	4
1.4. Producción.....	5
1.5. Valor nutritivo.....	6
1.6. Propiedades funcionales del aguacate	10
1.7. Perspectivas de consumo.....	11
1.8. Liofilización	11
2. NOPAL.....	16
2.1. Taxonomía.....	17
2.2. Morfología.....	17
2.3. Aspectos económicos.....	17
2.4. Valor nutritivo.....	18
3. MAÍZ	22
3.1. Historia del maíz.....	22
3.2. Taxonomía.....	22
3.3. Morfología.....	23
3.4. Importancia económica del maíz	24
3.5. Valor nutritivo del maíz	25
3.6. Beneficios del consumo de maíz	28
3.7. La tortilla	28
3.8. Proceso de nixtamalización	30
4. SÍNDROME METABÓLICO	31
4.1. Epidemiología.....	33
4.2. Diagnóstico.....	34
4.3. Fisiopatología	35

4.4. Metabolismo celular.....	39
4.5. Metabolismo de azúcares.....	41
5. ALIMENTOS FUNCIONALES.....	42
5.1. Tipos de alimentos funcionales	43
5.2. Alimentos funcionales y síndrome metabólico.....	45
5.3. Resumen. Tabla nutrimental. Tortilla funcional.....	47
II. JUSTIFICACIÓN.....	49
III. HIPÓTESIS.....	50
IV. OBJETIVOS.....	50
1. OBJETIVO GENERAL	50
2. OBJETIVOS PARTICULARES	50
V. MATERIALES Y MÉTODOS.....	51
1. MATERIAS PRIMAS.....	51
2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS	52
2.1. Formulación de tortilla con aguacate y nopal	52
3. ENSAYO BIOLÓGICO	53
3.1. Selección del modelo biológico	53
3.2. Manejo de animales de experimentación	53
4. FORMULACIÓN DE DIETAS.....	55
4.1. Consumo del alimento.....	56
5. SACRIFICIO Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS BIOLÓGICAS.....	56
6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS SANGUÍNEOS	57
7. DETERMINACIÓN DE PARAMETROS HISTOLÓGICOS.....	57
8. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON	57
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	58
1. COMPOSICIÓN QUÍMICA.....	58
1.1. Aguacate liofilizado.....	58
1.2. Polvo de nopal.....	59
2. FORMULACIÓN DE TORTILLA FUNCIONAL.....	59
2.1. Degustación de tortillas funcionales	60
2.2. Análisis bromatológico tortilla funcional	61
3. ENSAYO BIOLÓGICO	62
3.1. Composición final de las dietas	62
3.2. Consumo de alimento.....	63
3.3. Ganancia de peso	64
4. DETERMINACIONES SANGUÍNEAS.....	65

4.1. Análisis de lípidos.....	66
4.2. Aspectos histológicos	68
5. LÍPIDOS Y HUMEDAD EN HECES E HÍGADO.....	71
5.1. Determinaciones en hígado.....	72
5.2. Determinaciones en heces	73
VII. CONCLUSIONES	76
VIII. BIBLIOGRAFÍA.....	77

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aguacate.....	4
Figura 2. Principales Productores de Aguacate. México, 2008.....	5
Figura 3. Proceso de liofilización.....	12
Figura 4. Liofilizador por contacto	14
Figura 5. Aguacate liofilizado	15
Figura 6. Nopal crudo.....	17
Figura 7. Principales polifenoles del nopal	20
Figura 8. Ácidos orgánicos presentes en <i>Opuntia spa</i>	21
Figura 9. Mazorca de maíz.	22
Figura 10. Morfología del grano de maíz	23
Figura 11. Principales Países Productores de Maíz.....	24
Figura 12. Maíz Nixtamalizado.....	30
Figura 13. Síndrome Metabólico	33
Figura 14. Hiperinsulina e Hipertensión Arterial	35
Figura 15. Síndrome Metabólico	37
Figura 16. Polvo de aguacate liofilizado y polvo de nopal deshidratado.	51
Figura 17. Peso Corporal de los Animales por Lote.....	54
Figura 18. Jaulas metabólicas: animales en condiciones ambientales necesarias. ...	54
Figura 19. Tortilla de Maíz adicionada con Aguacate y Nopal Deshidratado.	60
Figura 20. Comparación de la aceptación de las tortillas.....	61
Figura 21. Aspecto visual de las dietas.....	63
Figura 22. Consumo Promedio de Alimento en los tres Lotes	64
Figura 23. Comparación de Peso inicial y Peso final de Animales por Lote	65
Figura 24. Comprobación del Modelo Biológico.....	67
Figura 25. Determinaciones Sanguíneas (Glucosa y Urea)	70
Figura 26. Determinación de creatinina.	70
Figura 27. Porcentaje de Grasa en Hígados por Lotes	72
Figura 28. Comparación del Aspecto de los Hígados	73

Figura 29. Porcentaje de Humedad en Heces fecales.	74
Figura 30. Porcentaje de Lípidos en heces fecales.....	75

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Diferentes Nombres del Aguacate	3
Tabla 2. Análisis Bromatológico Aguacate. 100 gramos	6
Tabla 3. Análisis Bromatológico Nopal. 100 gramos.....	18
Tabla 4. Análisis Bromatológico Grano de Maíz Amarillo. En base a100 g.	25
Tabla 5. Factores de Riesgo del Síndrome Metabólico.....	34
Tabla 6. Factores Fisiopatológicos del Síndrome Metabólico	38
Tabla 7. Ingredientes. 100 g individualmente.....	47
Tabla 8. Vitaminas. 100 g	48
Tabla 9. Minerales. 100 g.....	48
Tabla 10. Materias primas para la elaboración de Dietas	51
Tabla 11. Composición de tortillas a diferente concentración. Gramos	52
Tabla 12. Formulación dietas experimentales. g.....	55
Tabla 13. Análisis Bromatológico Aguacate	58
Tabla 14. Análisis bromatológico de nopal.....	59
Tabla 15. Análisis Bromatológico de Tortilla de Aguacate y Nopal Deshidratado. %.....	61
Tabla 16. Composición final de las dietas (%)	62
Tabla 17. Ganancia y Pérdida de Peso. Gramos	64
Tabla 18. Análisis Lípidos Sanguíneos	66
Tabla 19. Otros parámetros sanguíneos. mg/dL	68
Tabla 20. Lípidos y Humedad en Heces Fecales e Hígado.	71

RESUMEN

Tanto en México como en todo el mundo, los problemas causados por obesidad se han convertido en un factor alarmante para la población, principalmente el llamado Síndrome Metabólico, que es el precursor de muchas otras enfermedades crónico-degenerativas que se están presentando continuamente, principalmente diabetes mellitus tipo 2, hipertensión arterial y problemas cardiovasculares.

Por tanto, se comienzan a buscar alternativas para disminuir los problemas causados por el síndrome metabólico o preferentemente prevenirlos; lo cual incluye la creación de alimentos funcionales que pueden ser útiles para disminuir, entre otros, los niveles tanto de glucosa como de lípidos séricos. Entendiéndose por alimento funcional aquel que además de su valor nutritivo aporta beneficios directos a la salud. Por tanto, en este trabajo se pensó en crear un alimento funcional basado en un producto de consumo diario en la dieta de la población mexicana, como lo es la tortilla de maíz, y que fue fortificada con aguacate en polvo liofilizado y nopal en polvo.

Se utilizaron estos componentes por la presencia de compuestos bioactivos capaces de generar bienestar a la salud humana. El aguacate tiene propiedades hipocolesterolémicas, hipolipidémicas y una disminución de riesgos en enfermedades tipo cardiovasculares. Por otro lado, el nopal, por su alto contenido de fibra beneficia el descenso de glucosa sérica.

El objetivo de este trabajo fue desarrollar este alimento funcional y probar que efectivamente tiene influencia sobre la reducción de niveles de glucosa, colesterol y triglicéridos y que pueden prevenir al síndrome metabólico. El trabajo incluyó el uso de ratas Wistar, para validar dichas propiedades funcionales. A esta tortilla se le realizaron análisis bromatológicos para determinar sus componentes nutricionales.

El ensayo biológico con ratas adultas jóvenes duró 21 días e incluyó una dieta de referencia (DR), una dieta control (DC), y la dieta con la tortilla de aguacate y nopal deshidratado (DTAN). Los resultados fueron muy favorables, ya que hubo una disminución del 26% en niveles de colesterol total y 31% en triglicéridos. Además, una disminución del 73% en las lipoproteínas de baja densidad y una disminución del 23% en glucosa. Cabe mencionar que las lipoproteínas de alta densidad también disminuyeron en un 7%. Asimismo, se determinó el contenido de grasa en hígado y obteniendo una disminución del 11%.

Aunado a esto, se realizaron análisis de lípidos y humedad en heces, recolectadas durante la última semana de experimentación, obteniéndose un aumento del 56% en lípidos y un 311% de humedad. Esto atribuyéndolo a la alta concentración de fibra, tanto del nopal como del aguacate.

ABSTRACT

Both in Mexico and throughout the world, problems caused by obesity have become an alarming factor for the population, and especially the so-called metabolic syndrome, which is the precursor of many other diseases that are continually presented, mainly diabetes mellitus type 2, hypertension and cardiovascular problems.

Therefore, they start looking for alternatives to reduce the problems caused by metabolic syndrome, or preferably prevent them; and which it includes creating functional foods that can be helpful in reducing the levels of both glucose and serum lipid; and functional food being understood that in addition to its nutritional value provides direct health benefits. Therefore, it was thought to create a functional food product based on a daily dietary intake of the Mexican population, as is the tortilla corn, which was fortified with lyophilized powder avocado and nopal powder.

These components are used for their high profits. The avocado has properties hypocholesterolemic, hypolipidemic, and a decrease cardiovascular risk in type diseases. In the other hand nopal, its high fiber content benefits decrease serum glucose.

The objective of this work was to develop the functional food and check that effectively influences glucose levels, cholesterol and triglycerides, and favor the metabolic syndrome. The work included the use of animals, Wistar rats, to validate these functional properties. To this tortilla they were performed bromatological analysis to determine their nutritional components.

The bioassay young adult rats lasted 21 days and included a diet of reference (DR), a control diet (DC), and diet by avocado and de-hydrated nopal tortilla (DTAN). The results were very favorable, as there was a 26% decrease in total cholesterol and 31% in triglycerides. In addition, a 73% decrease in low density lipoproteins and a decrease of 23% glucose. It is noteworthy that high density lipoproteins also decreased by 7%. Also, the fat content was determined in liver and obtaining a decrease of 11%.

In addition to this, analysis of lipids and moisture carried in feces collected during the last week of experimentation, obtaining an increase of 56% lipids and 311% moisture. This attributing it to the high concentration of fiber, by nopal and avocado.

PALABRAS CLAVE: Síndrome metabólico, tortilla, aguacate, nopal y bioterio.

I. INTRODUCCIÓN

1. EL AGUACATE

1.1. ORIGEN DEL AGUACATE

El aguacate es un árbol originario de Mesoamérica, y cuyo origen tuvo lugar en el centro de México, y en algunas partes altas de Guatemala, donde ya se cultivaba con anterioridad a la llegada de los españoles. El nombre del aguacate proviene de la palabra náhuatl (ahuacatl), que significa “testículos de árbol”- (SFA, 2011).

Se han encontrado fósiles de aguacate en México con más 8,000 años de antigüedad. Los primeros pobladores de centro y sur de América domesticaron este árbol, antes de la llegada de los europeos a América- (Bernal E. & Diaz, 2005). Este fruto se conoce con diferentes denominaciones dependiendo de las diferentes lenguas y regiones, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Diferentes Nombres del Aguacate

Nombre	Lengua	Región
México		
Nitzani	Otomí	Veracruz, Tabasco
Cupanda	Porhepecha	Michoacán
Ahuacatl	Nauatl	Centro
Pahua	Nauatl	
Cucata	Totonaca	Veracruz
Cucatizl	Totonaca	Veracruz
Yasu, yashu, ishu, isu	Zapoteca	Oaxaca
Cuytem	Zoques	Veracruz
Cuchem	Zoque	Texistepec (Istmo)
Cuchpa		San Juan de Guichicovi (Istmo)
Tzitzl, Tzitzitico		Chiapas
On	Maya (Tzental)	Yucatán, Chiapas
Hu	Huasteco	Veracruz, Tamaulipas
Guatemala		
Okh	Quiche	Guatemala
Oh	Kekihi	Norte de Guatemala
Ou	Chicomulteca	Guatemala
Um	Chol	Guatemala y México
Un	Chorti, Chontal	Guatemala y México del Sur
Oj	Maya (Cakchiquel)	Guatemala
On, Onte	Maya (Mam)	Guatemala
Otras regiones		
Amo	Chibchan-bribri	Centro América
Debo-ua	Chibchan-terraba	Centro América
Di-kora	Chibchan-Guatuso	Centro América

1.2. TAXONOMÍA

- REINO: Vegetal
- DIVISIÓN: *Spermatophyta*
- SUBDIVISIÓN: *Angiospermae*
- CLASE: *Dicotyledoneae*
- SUBCLASE: *Dipétala*
- ORDEN: *Renales*
- FAMILIA: *Lauraceae*
- GÉNERO: *Persea*



Figura 1. Aguacate (Sagarpa, 2012)

El aguacate pertenece a la familia de las Lauráceas, y está formado por 52 géneros y cerca de 3,500 especies. Esta familia está conformada por especies de una gran importancia económica, productoras de aceites esenciales como el alcanfor y la canela, entre otras- (Bernal E. & Diaz, 2005).

1.3. MORFOLOGÍA

El árbol puede alcanzar una altura de 20 metros, sin embargo, cuando se cultiva no se deja crecer más de 5 metros. Este es de tronco grueso y hojas alargadas- (SFA, 2011), y es perennifolio con hojas alternas, pedunculadas, y muy brillantes.

Sus flores son perfectas en racimos subterminales, los órganos femeninos y masculinos de la flor abren en diferentes tiempos, lo que evita la autofecundación, y una vez fecundada da una baya unisemillada, oval, de superficie lisa o rugosa. La maduración del fruto no tiene lugar hasta que se separa del árbol.

1.4. PRODUCCIÓN

Durante el 2008 la producción mundial del aguacate alcanzo 3,555,265 toneladas, en tanto que para el 2009 esta cifra presentó crecimiento, alcanzando 3,585,156 toneladas, y siendo México el primer productor y exportador de este rubro.

En el 2015 se dio a conocer que México aporta 3 de cada 10 toneladas de aguacate que se producen en el mundo, lo cual lo coloca como el país exportador número uno de este fruto y Michoacán aporta 8 de cada 10 toneladas que se producen en México. México produce un millón 316 mil 104 toneladas anuales. Michoacán aporta el 85.9% de la exportación total del fruto que genera nuestro país- (SAGARPA, 2015). En la producción mundial del aguacate, Indonesia ha participado con el 25% del total producido durante el año 2009, seguido de un amplio margen por Colombia y Perú, las cuales presentaron una participación de 16% y 15%, China 9% y Ruanda 7%. La producción nacional de aguacates ha mostrado un comportamiento inestable durante los últimos cinco años. Durante el periodo bajo análisis, solo en los años 2007 y 2008 se observó un crecimiento en la producción de este rubro- (Gerencia de Investigacion de mercados, 2011).

En México, la superficie aguacatera se centra en cinco entidades federativas, y que son: Michoacán, Nayarit, Morelos, Estado de México y Puebla, y con cerca del 92% del total. La producción en 2014 a nivel nacional fue de 1,520,694.5 toneladas y con una derrama económica de 20,715,986 miles de pesos. Michoacán tuvo una producción de 1,219,553, es decir, 80%. (SAGARPA, 2016)

La producción mundial ha crecido 139% en los últimos 20 años. El consumo en Estados Unidos de América ha crecido una tasa promedio de 16% durante los últimos 8 años. Europa consume 369,000 Ton/ye = 700 g/Hab. Perú les provee 30% del total anual. EE UU es el mayor importador mundial (50%), el consumo crece a una tasa del 16%- (Pavas Tavares, 2015).

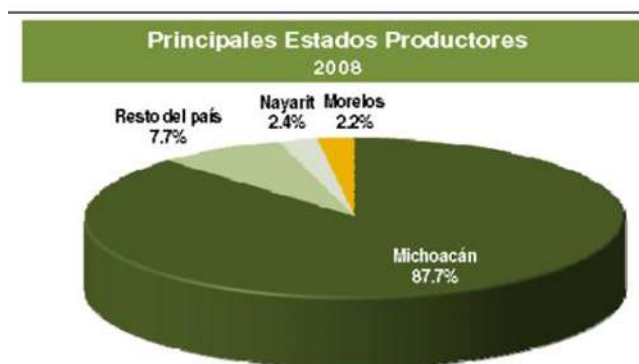


Figura 2. Principales Productores de Aguacate. México, 2008.
(Montoya, 2012)

1.5. VALOR NUTRITIVO

Nutricionalmente, el aguacate es una fuente interesante de energía, así como también de ácidos grasos y una excelente fuente de vitamina E. Los contenidos varían de acuerdo a variedad, origen y estado de maduración entre varias condiciones- (Bressani, 2009).

En la Tabla 2 se muestran los valores del análisis bromatológico del aguacate. Los datos corresponden al Reporte bibliográfico basado en la variedad California de la USDA, National Database for Standard Reference, Release 28 -(USDA, 2015).

Tabla 2. Análisis Bromatológico Aguacate. 100 gramos

NUTRIENTE	%
Humedad	72.3
Carbohidratos	2.0
Fibra	6.8
Proteínas	1.9
Lípidos	15.4
Cenizas	1.6

1.5.1. CARBOHIDRATOS

El aguacate es una fruta con un bajo contenido de azúcares solubles totales, con alrededor de 2% en fruto fresco y del 5-9% en base seca. La composición nutricional del aguacate depende de la variedad y la época del año en que se produzca- (Montoya, 2012).

Los azúcares de 7 carbonos, como la D- manohetulosa y el perseitól, son los azúcares solubles dominantes, además de los azúcares tipo hexosas como son la glucosa y la fructosa. Sin embargo, el contenido de azúcares en la pulpa disminuye bruscamente cuando comienza la maduración y los niveles de lípidos aumentan. En el periodo de post-cosecha los azúcares solubles totales disminuyen lentamente durante el periodo de almacenamiento, ya que juegan un papel importante en los procesos metabólicos asociados al desarrollo del fruto, así como en los procesos respiratorios asociados a la fisiología después de la cosecha y maduración del fruto (Liu, Robinson, Madore, Witney, & Arpaia, 1999).

1.5.2. FIBRA

El aguacate contiene niveles apreciables de fibra dietética, alrededor de un 5 a un 7% en el fruto fresco, de la cual aproximadamente el 75% es insoluble y el 25% restante es soluble. Las fibras insolubles o poco solubles son capaces de retener agua en su matriz estructural, formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Esta es la base para utilizar la fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de sustancias capaces de desencadenar cáncer con la mucosa de colon- (Cordova Aguilar & Martinez Flores, 2015).

Contiene varios polisacáridos estructurales, incluyendo celulosa, hemicelulosas y lignina como fibra insoluble, y hemicelulosa y pectina como fibras solubles.

- **Fibra Soluble.** Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada, y con ello originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anti carcinogénico- (Escudero Alvares & Gonzalez Sanchez, 2006).
- **Fibra Insoluble.** Estas son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad. Esto produce un aumento de masa fecal que acelera al tránsito intestinal.

1.5.3. PROTEÍNAS

Las proteínas son nutrientes formados por aminoácidos unidos por enlaces peptídicos, y estos a su vez son moléculas donde están presentes los elementos carbono, hidrógeno, oxígeno y nitrógeno, formando un grupo carboxilo y un grupo amino; aproximadamente 20 aminoácidos se encuentran presentes en casi todas las proteínas de los cuales 8 son considerados esenciales, por no poder ser sintetizados por el organismo (Ortega Tovar , 2003).

El aguacate contiene dos veces más proteínas que otras frutas, además de un buen perfil de aminoácidos, los cuales forman parte de las proteínas y también tienen múltiples funciones: como fuente de glucosa y energía y como precursores de numerosas moléculas no proteínicas importantes para el metabolismo.

El aguacate contiene los 9 aminoácidos esenciales en la dieta, y en total 18 de los 20 aminoácidos existentes, además, sus valores se encuentran entre un 5 y un 15% de la ingesta diaria recomendada; solamente los aminoácidos asparagina y glutamina no se encuentran presentes en el aguacate

Adicionalmente contiene el aminoácido colina, el cual es un nutriente esencial para el funcionamiento cardiovascular y cerebral y para el funcionamiento normal de la membrana celular (Belitz & Grosh , 1997).

El aguacate es uno de los frutos más ricos en proteínas, que según la variedad alcanzan el 2% de su peso. Contiene todos los aminoácidos esenciales aunque su proporción no es la óptima. Como suele ocurrir con los alimentos vegetales, a excepción de la soja. A pesar de esto las proteínas del aguacate son de gran valor tanto en cantidad como en calidad, valor que aumenta si se combina con otras proteínas vegetales (Pamplona Roger, 2006).

1.5.4. LÍPIDOS

El aguacate es un alimento rico en nutrientes que contienen una alta proporción de ácidos grasos monoinsaturados, una baja cantidad de ácidos grasos saturados y nada de colesterol. Según Pérez *et al.* en el 2005, el 60% de los ácidos grasos son monoinsaturados, el 20% poliinsaturados y los demás, saturados. Cuando el fruto madura, disminuye el contenido de ácido palmítico (saturado) y aumenta el ácido oleico (monoinsaturado).

A. ÁCIDOS GRASOS SATURADOS

El aceite de aguacate contiene una baja cantidad de ácidos grasos saturados, y comparable a los aceites de girasol, maíz, oliva, soya y cacahuate; y que depende de la variedad y el estado de madurez del fruto. Este contenido de ácidos grasos varía entre un 10% y un 19%.

B. ÁCIDOS GRASOS MONOINSATURADOS

El ácido oleico o también llamado omega 9 es el más abundante en la naturaleza. Este ácido graso monoinsaturado está presente en todas las grasas y aceites, y en algunos aceites como el de oliva, canola y aguacate, es el principal ácido graso. El ácido oleico llega a alcanzar hasta un 80% de total de ácidos grasos en el aceite de aguacate. Se ha comprobado que puede contribuir disminuir el riesgo de enfermedades cardiovasculares y accidentes cerebrovasculares. Se ha comprobado que aumentan el colesterol HDL (“bueno”) y disminuyen en colesterol LDL (“malo”); por lo tanto, facilitan la eliminación de la acumulación de placas en las paredes arteriales, que pueden ser la causa de un ataque cardíaco o accidente cardiovascular.

C. ÁCIDOS GRASOS POLIINSATURADOS

El aceite de aguacate está en una posición intermedia con respecto a los valores de ácidos grasos poliinsaturados teniendo de un 10 a un 15%. Contiene niveles más elevados que el aceite de oliva o de palma, pero más bajos que el aceite de maíz, algodón, soya, y girasol.

Entre estos ácidos grasos se encuentran los llamados Omega-3 y Omega-6 que poseen un doble enlace ubicado a 3 y 6 carbonos del metilo terminal, respectivamente, y ésta es una opción estratégica para la actividad de algunas enzimas. Estos compuestos desempeñan roles críticos en la estructura de las membranas celulares y actúan como precursores de los eicosanoides como las prostaglandinas, leucotrienos y lipoxinas, y son compuestos altamente reactivos que cumplen funciones diversas en el hombre: tales como en la agregación plaquetaria, en los procesos inflamatorios, y en el sistema inmunológico- (Perez Rosales, Villanueva Rodriguez, & Cosio Ramirez, 2005).

Otro compuesto lipídico muy importantes que se encuentra en el aguacate es el β -sitosterol, el cual es un compuesto que presenta una estructura muy similar a la del colesterol, difiriendo en un sustituyente metilo o etilo en su estructura. Su importancia radica en esta similitud química con el colesterol, ya que se ha asociado su consumo con la reducción de niveles de colesterol en sangre debido a que los fitoesteroles son más lipofílicos que el colesterol, y desplazan competitivamente al colesterol presente en las micelas mixtas formadas en el lumen intestinal por las sales biliares conjugadas y los fosfolípidos. Los fitoesteroles son escasamente absorbidos a nivel intestinal, por lo cual durante el proceso de difusión de los ácidos grasos y monoglicéridos desde la micela hacia las células intestinales, los esteroides son liberados junto con el colesterol que no puede ser absorbido y son excretados por las heces (Cordova Aguilar & Martinez Flores, 2015).

1.5.5. VITAMINAS Y MINERALES

El aguacate también es una fuente importante de vitaminas, contiene 12 de las 13 vitaminas existentes, solamente se encuentra ausente la vitamina B12 que es exclusiva del reino animal. Destacan las vitaminas A, una vitamina liposoluble, que desempeña un papel esencial en la retina. La vitamina C que presenta efectos antioxidantes y es utilizada en la prevención de enfermedades coronarias. La vitamina E conocida por su acción antioxidante *in vivo*, y cuya principal función es inhibir oxidaciones iniciadas y medidas por radicales libres y particularmente de ácidos grasos poliinsaturados; también se cree que previene la aterosclerosis no solo por sus efectos antioxidantes sino también por sus efectos inhibitorios sobre la proliferación del musculo liso y la agregación plaquetaria. La vitamina K que es una vitamina liposoluble cuyo papel más crítico

tiene que ver con la adecuada coagulación (Cordova Aguilar & Martinez Flores, 2015). El ácido pantoténico o vitamina B5 es esencial en la síntesis de colesterol y glóbulos rojos, así como en la síntesis de anticuerpos, formación de células, crecimiento y desarrollo del sistema nervioso. La deficiencia de ácido fólico o folatos puede contribuir a la síntesis anormal de ADN y en procesos de carcinogénesis e interferir en la metilación normal del ADN. Su alto consumo en la dieta puede disminuir el riesgo de cáncer de colon y de mama (Montoya, 2012).

El aguacate contiene por encima del 5% de minerales, y principalmente se encuentran presentes el fósforo, potasio, hierro, manganeso, magnesio, cobre y zinc, además de ser bajo en sodio (Cordova Aguilar & Martinez Flores, 2015).

Su alto contenido en potasio (485 mg/100g) y bajo de sodio (7 mg/100g), favorece la disminución de la presión arterial y con ello el riesgo de presentar accidentes vasculares (Restrepo Suarez , 2012).

1.6. PROPIEDADES FUNCIONALES DEL AGUACATE

El aguacate no promueve el sobrepeso, y aporta innumerables beneficios a nuestra salud, como disminuir el colesterol, el riesgo de infarto y la aterosclerosis, además de proporcionarnos una alta cantidad de vitaminas y minerales al consumirlo regularmente en una dieta balanceada (Cuevas, 2005).

El aguacate es un alimento rico en nutrientes que posee una alta cantidad de ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, destacando omega 9, omega 6 y omega 3, y donde éste último forma parte de la protección contra el cáncer- (Cuevas, 2005). Cuando el fruto madura disminuye la cantidad del ácido palmítico (saturado) y aumenta la del ácido oleico (monoinsaturado).

Los ácidos grasos monoinsaturados provenientes del aguacate se asocian con un corazón sano. Entre las dietas más empleadas contra la arterioesclerosis, la dieta rica en grasa monoinsaturada es la más benéfica para la población sana, y con ello ayuda a reducir la ingesta de medicamentos tipo antihipertensivos. Los ácidos grasos monoinsaturados (AGM) son el principal componente del aceite de aguacate, y de los cuales el más importante es el ácido oleico con aproximadamente 60-70%, además del palmitoleico. Los ácidos grasos monoinsaturados no son indispensables en la dieta, sin embargo, se ha demostrado que la incidencia de padecimientos cardiovasculares es menor en poblaciones con alta ingesta de estos. El consumo de AGM contribuye en la disminución de los niveles séricos de colesterol, así como disminuir la presión arterial (Gillingham, Harris-Janz, & Jones , 2011).

Una dieta enriquecida con aguacate puede mejorar el perfil de lípidos en pacientes con hipercolesterolemia moderada y en pacientes con diabetes mellitus no dependiente de insulina, y en quienes además mantienen un alto control glucémico. Sin embargo, para obtener estos efectos benéficos es necesario disminuir la ingesta de carbohidratos y ácidos grasos saturados (Perez Rosales, Villanueva Rodriguez, & Cosio Ramirez, 2005).

1.7. PERSPECTIVAS DE CONSUMO

El aguacate se consume principalmente fresco, pero también se industrializa para consumirse en pulpa, guacamole, y aceite no refinado; este último con fines comestibles y como materia prima en la industria de cosméticos y de productos farmacéuticos.

A pesar de su alto contenido relativo en aceites, presenta buenas perspectivas de demanda en la tendencia actual hacia el consumo de productos frescos, naturales y saludables. Los expertos lo recomiendan en cantidades moderadas, como parte de una dieta saludable, debido a que, además de tener un contenido bajo en azúcares es una fuente importante de proteínas, minerales y grasas monoinsaturadas con efectos benéficos para la salud.

1.8. LIOFILIZACIÓN

Uno de los métodos más utilizados para alargar la vida útil de los alimentos es el secado. Es una de las técnicas de conservación de alimentos más antigua, pues su práctica viene de la época en la que nuestros ancestros pasaron de ser cazadores a recolectores y a agricultores (Universidad de Granada , 2012).

Las bacterias y microorganismos que deterioran el alimento necesitan agua para crecer y el secado los priva de este medio, creando también una capa exterior dura que ayuda a evitar que puedan penetrar el alimento. Los productos que tradicionalmente han sido sometidos al secado son cereales, verduras, hierbas, carnes, pescados y frutas (Universidad de Granada , 2012).

La liofilización es la deshidratación por congelación o sublimación; el contenido líquido neutral de los sistemas biológicos se congela y se elimina en forma de vapor, bajo condiciones cuidadosamente controladas de presión y temperatura. Se aplica a sustancias lábiles como alimentos, y permite la conservación a temperatura ambiente durante largos periodos, adecuadamente protegidos del agua, la luz y el oxígeno. Su aspecto, palatabilidad y valor nutritivo tras la reconstitución son de excelente calidad, y sobreviven

al almacenamiento mucho más que si los alimentos se someten a cualquier otro tipo de proceso de secado (Ozuna , 2001).

La liofilización es una de las técnicas de deshidratación que mejor mantiene la calidad de los productos (Investigadores del grupo de Analisis y simulacion de Procesos agroalimentarios , 2012). Llamada anteriormente criodesecación, este es un proceso de secado que se basa en sublimar el hielo de un producto congelado. El producto pasa, por tanto, de estado sólido a vapor sin pasar por estado líquido, para lo cual se debe trabajar por debajo del punto triple de agua, 0.01°C y 4.5 mmHg (Universidad de Granada , 2012).

1.8.1. ETAPAS DE LA LIOFILIZACIÓN

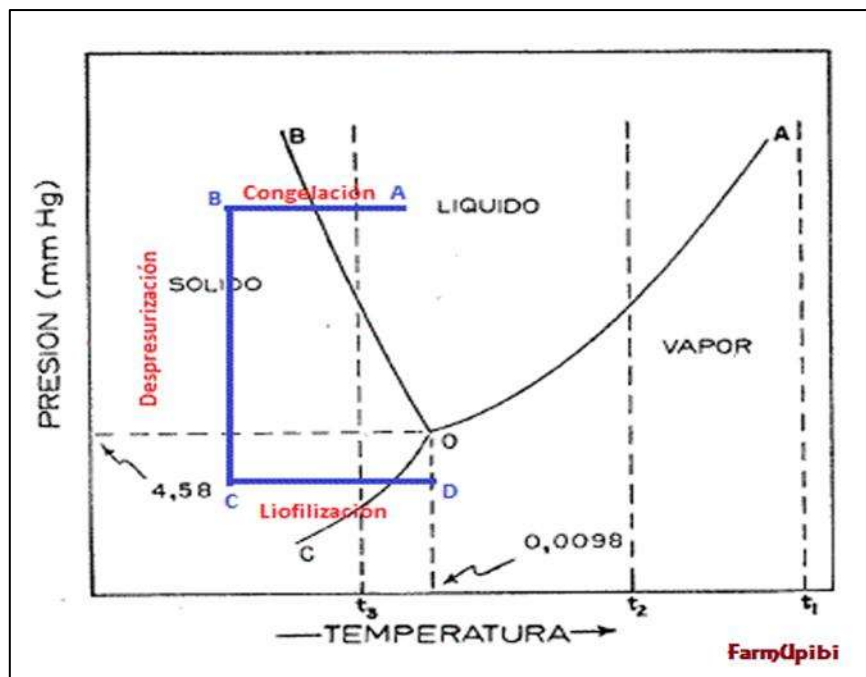


Figura 3. Proceso de liofilización. (Charles, 2015)

Las etapas de proceso de liofilización son:

- Acondicionamiento del lugar
- Congelación
- Dsecación primaria
- Dsecación secundaria

- Almacenamiento (Universidad de Granada , 2012)
- *Acondicionamiento del lugar*: Es fundamental el acondicionamiento de la materia prima, ya que los productos liofilizados no pueden ser manipulados una vez completado el proceso.
- *Congelación*: Esta etapa se lleva a cabo en congeladores independientes (separados del equipo de liofilización) o en el mismo equipo. El objetivo es congelar el agua libre del producto. Para ello se trabaja a temperaturas entre -20°C y -40°C . Con esto se busca que el producto congelado tenga una estructura sólida, sin que haya líquido concentrado, de manera que el secado ocurra únicamente por sublimación.
- *Desecación primaria*: Consiste en la sublimación del solvente congelado, generalmente agua; para este cambio es necesario reducir la presión dentro de la cámara mediante una bomba de vacío y aplicar calor al producto sin elevar la temperatura. Los niveles de presión y de calentamiento varían según el producto a tratar.
- *Desecación secundaria*: Esta consiste en evaporar el agua no congelable, o agua ligada que se encuentra en los alimentos, y que no fue eliminada en la sublimación, y con ello lograr que el porcentaje de humedad total sea menor al 2%. Es en este punto donde no existe agua libre, la temperatura de las bandejas puede subir sin riesgo de producir una fusión, y la presión disminuye al mínimo, por lo que se realiza a la máxima capacidad de vacío que pueda alcanzar el equipo (Parzanese, 2015).
- *Almacenamiento*: El producto liofilizado es almacenado bajo condiciones especiales, y básicamente libre de humedad, ya que esta provocaría la rehidratación y descomposición del producto terminado.

1.8.2. LIOFILIZADORES

La necesidad de emplear capacidades compatibles con una instalación de envasado y súper congelación ha determinado la producción de ciertos tipos específicamente diseñados para los equipos de liofilización de alimentos. Las unidades de producción se basan en cámaras de vacío independientes, generalmente cilíndricas, y con capacidad de carga que oscila entre una o dos toneladas. Aunque también existen equipos pequeños, pero en gran cantidad de los mismos.

Los liofilizadores consisten en una cámara de vacío dotada de una bandeja donde se coloca el alimento a liofilizar y de unos calentadores para suministrar el calor latente de sublimación. Para la condensación del vapor se emplean serpentines refrigerantes dotados de un sistema automático de descongelación con objeto de mantenerlos libres de

hielo para que su capacidad de condensación se mantenga. Este aspecto es muy importante ya que la mayor parte del gasto energético se emplea para la refrigeración de los condensadores y, por tanto, el rendimiento de un liofilizador viene determinado por la eficacia del condensador (Ozuna , 2001). Los vapores no condensables son eliminados mediante las bombas de vacío. Las condiciones adecuadas para la liofilización dependen del alimento.

Los liofilizadores se caracterizan por el método utilizado para el suministro calórico a la superficie del alimento. Los sistemas más corrientemente empleados son la conducción y la radiación. En la actualidad se están poniendo a punto liofilizadores de calentamiento por microondas (el calentamiento por convección carece de importancia, dado el vacío relativo existente en la cámara de liofilización). De cada tipo de liofilizador existen versiones de fraccionamiento continuo y discontinuo (Bravo Mendoza , 2011).

A. LIOFILIZADORES POR CONTACTO

En estos liofilizadores el alimento va colocado en bandejas compartimentadas que descansan sobre placas calefactoras. En estas instalaciones la liofilización es más lenta, ya que el calor se transmite por conducción tan solo por una cara del alimento. Además, el contacto entre el alimento a congelar y la superficie calefactora es desigual, lo que reduce la transferencia calórica. También se produce una caída de presión en la masa del alimento, lo que provoca diferencias entre la velocidad de liofilización de la capa superior e inferior. (Bravo Mendoza , 2011)



Figura 4. Liofilizador por contacto
(Universidad de Granada , 2012)

B. LIOFILIZADORES ACELERADOS

Entre el alimento y las placas calefactoras existe una malla metálica. Esto hace que la transferencia de calor sea más rápida a través de placas continuas y que el vapor se elimine de la superficie del alimento con mayor facilidad, lo que reduce el tiempo de liofilización. (Bravo Mendoza , 2011)

C. LIOFILIZADORES POR RADIACIÓN

En estas instalaciones, el alimento, distribuido en bandejas en capas de poco grosor se calientan por radiación. Este sistema de calentamiento es más uniforme que por conducción, ya que las irregularidades de la superficie del alimento influyen aquí menos sobre la velocidad de transferencia calórica. Además, no se produce una caída de presión en la masa del alimento, por lo que las condiciones de liofilización se mantienen constantes (Ozuna , 2001).



Figura 5. Aguacate liofilizado

El principal problema que afecta al aguacate es su pardeamiento al poco tiempo de ser cortado o troceado. Este pardeamiento oxidativo es el resultado de la acción de enzimas como la polifenoloxidasas que cataliza la acción de los mono y di fenoles a quinonas, las cuales se polimerizan espontáneamente formando una coloración parda. El pardeamiento enzimático puede ser controlado a través del uso de métodos físicos y químicos, a menudo empleados en combinación.

Se han hecho investigaciones aplicando la liofilización en la obtención de pulpa de aguacate que cumpla con las mismas características que el aguacate fresco al ser rehidratado, analizando la calidad del producto liofilizado en términos de la rapidez y facili-

dad con que se ha reconstituido, y debido a su alto contenido graso y a la oxidación que presenta el fruto. Su calidad final es mejor que la obtenida en los procesos clásicos de secado (Restrepo Suarez , 2012).

2. NOPAL

El nopal es una de las hortalizas más representativas de México desde tiempos prehispánicos. Nombrado por los Mexicanos en su idioma el Náhuatl “nopalli”, según Barberena viene de *pal* (ponerse de pie) porque sus pencas parecen estar paradas y según la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística está formado de *no* (nuestro) y *palli* (una especie de bandera (Etimología del Nopal , 2001) .Ha tenido a partir de entonces gran variedad de usos, desde artesanales hasta medicinales, y siendo sin duda su valor nutricional la parte fundamental y de mayor importancia (Salvador, 2001).

El nopal es un alimento tradicional de México que pertenece al género *Opuntia*, subfamilia *Opuntioideae*, familia *Cactacea*, originario principalmente del centro de México. Crece en zonas áridas y semiáridas debido a que es extremadamente eficiente para almacenar agua en sus tejidos. El nopal se siembra en 23 estados de la república mexicana. Se cosechan actualmente 436,222 toneladas al año, y donde el 97% se consume fresco y el 3% restante es utilizado como materia prima para las industrias de alimentos, farmacéuticas y perfumería (Carballo Flores, 2008).

El nopal como alimento funcional es una fuente importante de fibra dietética, calcio y potasio, compuestos apreciados para una dieta saludable y para la elaboración de nuevos productos a favor de la salud. Por otro lado, el nopal contiene 1.6 mg/100g de hierro mineral, imprescindible para la formación de hemoglobina, transporte de oxígeno al cuerpo y para el desarrollo del cerebro (Muñoz-Ledo, 2015).



Figura 6. Nopal crudo.

2.1. TAXONOMÍA

Clasificación botánica:

- Reino: Vegetal
- Phylum: *Pterophyta*
- División: *Tracheophyta*
- Subdivisión: *Pteropsida*
- Clase: *Angiospermae*
- Subclase: *Dicotyledoneae*
- Orden: *Cactales*
- Familia: *Cactaceae*

2.2. MORFOLOGÍA

Estas son plantas arbustivas, rastreras o erectas, que pueden alcanzar de 3.5 a 5 metros de altura. El sistema radical es muy extenso, densamente ramificado, rico en raíces finas y 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 en el riego y la fertilización. Los tallos succulentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas presentan forma de raqueta ovoide o alargada alcanzando hasta 60-70 centímetros de longitud dependiendo del agua y los nutrientes disponibles (Muñoz-Ledo, 2015).

2.3. ASPECTOS ECONÓMICOS

La producción nacional el nopal es de 600 mil toneladas al año, pero 160 mil se desperdician porque su consumo no se ha generalizado en todo el país, ni tampoco se cuenta con una cadena agroindustrial que permita procesarlo en productos de belleza y complementos alimenticios o medicinales. En cuanto al nopal como verdura se producen 267,385 toneladas por año. El 70 % del nopal que se produce en fresco como alimento y únicamente la tercera parte se procesa. El Estado de México, Distrito Federal y el estado de Morelos producen en conjunto el 90 por ciento de la producción nacional de nopal, seguidos de Puebla, Hidalgo, y San Luis Potosí (Muñoz-Ledo, 2015).

El consumo promedio del nopal es de 6.4 kilos por cápita a nivel nacional, pero llega a 8 kilos en el centro del país; en el norte es de 5 kilos y en el sur de 4.5 kilos (Muñoz-Ledo, 2015).

En México, 2014, la producción de nopal forrajero fue de 140,045 toneladas y una derrama económica de 56.4 millones de pesos. Así mismo, se produjo 824,602 toneladas de nopalitos y con una derrama de 1,617,645 miles de pesos (SAGARPA, 2016)

2.4. VALOR NUTRITIVO

La composición del nopal varía dependiendo de la composición y la naturaleza del suelo en el sitio de cultivo, la estación y la edad de la planta. En la siguiente tabla se muestra la composición nutrimental promedio el nopal sin espinas *Opuntia ficus*. Estos muestran los valores del análisis bromatológico del nopal. Los datos corresponden al Reporte bibliográfico basado en Nopal Crudo, y acorde a la USDA National Database for Standard Reference, Release 28 (USDA, 2015).

Tabla 3. Análisis Bromatológico Nopal. 100 gramos.

NUTRIENTE	%
Humedad	94.2
Carbohidratos	1.1
Fibra	2.2
Proteínas	1.3
Lípidos	0.1
Cenizas	1.1

El alto contenido de agua en el nopal es lo que logra que este tenga un muy bajo nivel de calorías, 27 kilocalorías por cada 100 gramos. El contenido de fibra es una de las características más importantes en el nopal, por la importancia fisiológica que tiene ésta sobre el metabolismo de la glucosa y porque ayuda a controlar la concentración de glucosa en la diabetes mellitus tipo 2.

2.4.1. CARBOHIDRATOS

En el nopal se encuentran la glucosa, sacarosa y arabinosa (azúcares del mucílago), principalmente, además de encontrarse también el almidón y dextrina en un porcentaje que alcanza el 2.7% (Perez, 2001).

2.4.2. FIBRA

Tiene un alto contenido de fibra tanto soluble como insoluble, y es una de sus principales características nutritivas. Los polisacáridos estructurales o fibra insoluble son muy variables entre las distintas especies de nopal. La concentración de pectina varía de 5.3% a 14.2%, mientras que el mucílago, la hemicelulosa total y la celulosa fluctúan entre 3.8% y 8.6%, 5.2% y 13.8%; y 3.5% y 13.2%, respectivamente (Bautista-Justo, Pineda Torres , Camarena-Aguilar , Alanis-Guzman, Da Mota, & Barboza-Corona, 2010).

El extracto de pectina indica que contiene 56% de ácidos urónicos, 6.5% de galactosa, 5.6% de arabinosa y cantidades mínimas de ramnosa y xilosa (Bautista-Justo, Pineda Torres , Camarena-Aguilar , Alanis-Guzman, Da Mota, & Barboza-Corona, 2010).

El mucílago es una secreción encontrada en la piel y pulpa de la fruta y en cladodios. De los mucílagos hidrolizados se han aislado glucosa, fructosa, arabinosa, ramnosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico.

El mucílago de *Opuntia ficus* contiene una considerable cantidad de ácido galacturónico (8.4%), y este es un polisacárido ácido (pH= 4.5 y a 5.7), que posee una estructura ampliamente ramificada. Las unidades de azúcares del mucílago forman un polisacárido ramificado de ácido galacturónico y ramnosa como unidades centrales. Las cadenas laterales tienen a su vez un esqueleto formado de β -galactosa, el cual se encuentra unido a ramnosas en el eje central, y ramificaciones laterales unidas de arabinosa, xilosa y galactosa. La estructura del mucílago está constituida principalmente por azúcares neutros y un azúcar ácido (Aguilar , 2007).

2.4.3. PROTEÍNAS

Los aminoácidos presentes en los cladodios de *Opuntia ficus* son: Alanina, Arginina, Asparagina, Ácido aspártico, Ácido glutámico, Glutamina, Glicina, Histidina, Isoleucina, Leucina, Lisina, Metionina, Fenilalanina, Serina, Treonina, Tirosina, Triptófano, y Valina (Arroyo Hernández & Villareal Díaz , 2014).

2.4.4. LÍPIDOS

El contenido de lípidos es bajo, posee proporciones variables de triglicéridos, ceras, resinas, látex, flavonoides, taninos, pigmentos clorofiloides y carotenoides (Godínez Martínez & Manzanares Baltazar , 2015).

En cuanto a los terpenoides se encuentran: (6S, 9S)-3- oxo-a-ionol-b-D-glucopiranosido y el corchoionosido (Arroyo Hernández & Villareal Díaz , 2014).

2.4.5. VITAMINAS Y MINERALES

El nopal contiene 166 miligramos de potasio por 100 g base húmeda y 93 mg de calcio; motivo por lo que se considera una fuente de calcio, sin embargo, se ha determinado que el nopal contiene un valor total de oxalato 35.1 mg/g peso seco. El oxalato se une al calcio, dando como resultado cristales de oxalato de calcio, lo cual es una forma nutricionalmente no disponible, lo que hace que la biodisponibilidad del calcio sea baja, por tanto, el nopal no puede ser considerado como una buena fuente de calcio (Lopez R. , 2015).

Los oxalatos de calcio ya cristalizados son insolubles y se almacenan en los tallos de las viejas cactáceas constituyen hasta el 85% de las cenizas de los ejemplares viejos. Además, en las cactáceas se encuentra libre el ácido cítrico.

2.4.6. OTROS NUTRIENTES

A. POLIFENOLES

Dentro de los compuestos más importantes del nopal se encuentran los polifenoles, que se consideran metabolitos secundarios de las plantas, y su función principal son actuar como metabolitos esenciales para el crecimiento, reproducción y como agentes protectores frente a la acción de patógenos. Los compuestos fenólicos funcionan como antioxidantes naturales de los alimentos, retrasando o inhibiendo así la oxidación de otras moléculas. Los principales polifenoles presentes en el nopal son el kaempferol, la quercetina y la isoramnetina (Lopez R. , 2015).

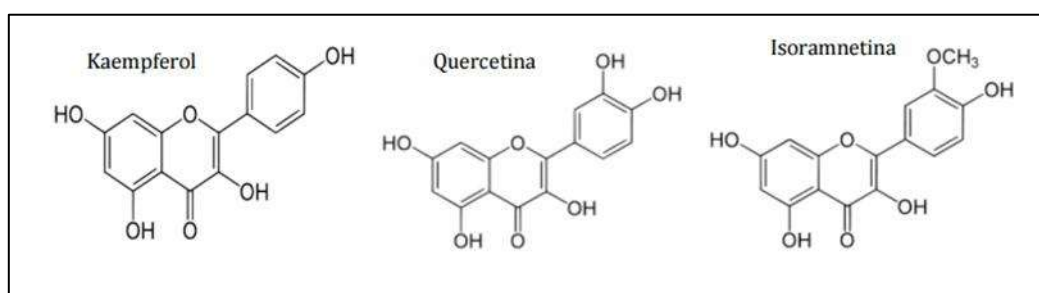


Figura 7. Principales polifenoles del nopal. (Lopez R. , 2015)

B. ÁCIDOS ORGÁNICOS

El grupo carboxilo es el origen de una serie de compuestos orgánicos entre los que se encuentran los haluros de ácido, los anhídridos de ácido, los ésteres y las amidas.

Los ácidos orgánicos desempeñan importantes roles en diversos procesos bioquímicos, como la fermentación láctica. Aparecen como metabolito intermediario en el ciclo de Krebs. Tiene propiedades ligeramente laxantes y diuréticas. Así como también sirven como agentes antimicrobianos (Bermudez & Narvaéz, 2011).

El contenido de ácido malónico y de ácido cítrico es de 36 mg y 178 mg/100 g de peso fresco, respectivamente, en cladodios jóvenes. Por el contrario, los cladodios maduros de *Opuntia ficus* indica con contiene ácido malónico y existe reducción en la cantidad de ácido cítrico (31 mg/ 100 g de peso fresco), mientras que los ácidos tartárico y succínico se encuentran solo en trazas. También hay evidencia de la presencia de los ácidos piscídicos y fórbicos, sin embargo, estos solo se han detectado cualitativamente. El ácido eucómico así como el n-butil leucomato y metil leucomato han sido identificados en extractos etanólicos de la misma especie (Arroyo Hernández & Villareal Díaz , 2014).

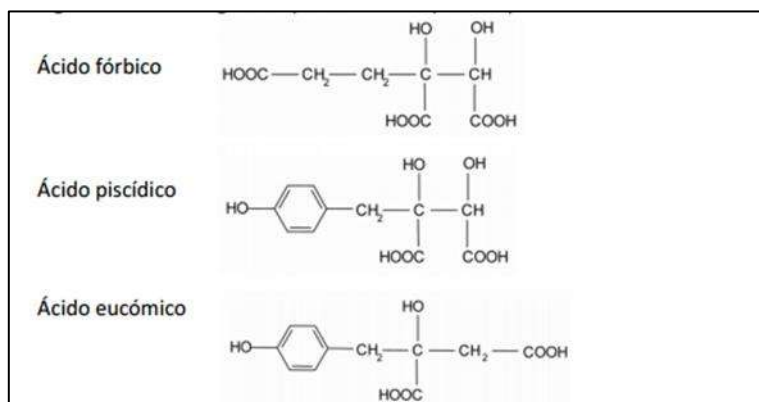


Figura 8. Ácidos orgánicos presentes en *Opuntia spa.*
(Arroyo Hernández & Villareal Díaz , 2014)

3. MAÍZ

3.1. HISTORIA DEL MAÍZ

La mayor parte de alimento del mundo proviene de siete plantas graminales, que son el trigo, el arroz, el centeno, la avena, la cebada, el sorgo y el maíz. Después del trigo, el maíz es el cereal que más se cultiva en el mundo y cuyo nombre científico es *Zea mays*.

Crece en todos los continentes, menos en la Antártida. Cristóbal Colon conoció el maíz en su primer viaje al Nuevo Mundo en 1492 y que llevó en el viaje de regreso a Europa. En 1516, marineros portugueses llevaron el maíz a China, muy pronto el comercio hizo que la planta llegara a África, India, Turquía y el resto del viejo mundo (Hipp, 2004).

La palabra maíz proviene de la palabra mahiz de la lengua de los indios tainos que significa “lo que sustenta la vida”; y que fue un pueblo, ya extinguido, que habitó en la región de las Antillas (Hipp, 2004).



Figura 9. Mazorca de maíz.

3.2. TAXONOMÍA

- REINO: *Plantae*
- DIVISIÓN: *Magnoliophyta*
- CLASE: *Liliopsida*
- ORDEN: *Poales*
- FAMILIA: *Poaceae*
- GÉNERO: *Zea linnaeus* (Ortega, 2014).

3.3. MORFOLOGÍA

El maíz es una planta alta, de ciclo biológico anual y crecimiento determinado, sus hojas ubicadas una frente a la otra son largas y angostas, insertándose de modo alterno a lo largo de un tallo sólido. Además de su tamaño, se caracteriza por la separación de los sexos en distintas estructuras florales. El maíz produce inflorescencias masculinas (espigas) las cuales coronan a la planta en el ápice del tallo e inflorescencias femeninas (mazorcas) las cuales se ubican en el ápice de los primordios de las ramas laterales que emergen de las axilas foliares

El fruto individual del maíz es una cariósida, un fruto seco que contiene una sola semilla fusionada en el interior de los tejidos del fruto. Éste está formado por cuatro estructuras principales: el pericarpio o cáscara, el germen o embrión, el endospermo y la piloriza (Cardoza, 2006).

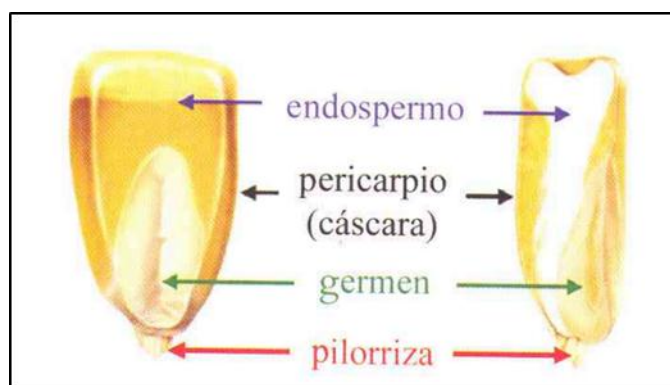


Figura 10. Morfología del grano de maíz

El pericarpio, cáscara o salvado, se caracteriza por un elevado contenido de fibra cruda, aproximadamente 87%, y la cual está constituida principalmente por hemicelulosa y celulosa. El resto de la composición química de la cáscara son minerales, proteínas y azúcares (Cardoza, 2006).

El endospermo provee los nutrientes para el germinado de la semilla, hasta el momento en que la nueva planta tenga suficiente área de hoja para ser autótrofa. Esta estructura posee un alto contenido de almidón (87%), y aproximadamente 8% de proteínas (Cardoza, 2006).

El germen o embrión es la estructura a partir de la cual se desarrollará una nueva planta. Se caracteriza por un elevado contenido de grasas, proteínas y minerales. En

este caso, la estructura morfológica del germen de maíz, presenta una morfología muy densa. Esta morfología puede estar relacionada con el alto contenido de minerales, los cuales tienen estructuras mucho más compactas que la de las proteínas y las grasas (Cardoza, 2006).

La piloriza es una estructura cónica de tejido inerte que une al grano y el carozo (comúnmente conocido como olote). Al igual que el pericarpio, está compuesta principalmente por celulosa y hemicelulosa, entre otros carbohidratos complejos (Cardoza, 2006).

3.4. IMPORTANCIA ECONÓMICA DEL MAÍZ

En la actualidad, el maíz es el cereal con mayor volumen de producción a nivel mundial, superando al trigo y el arroz. En 2007 el auge de producción de agro-combustibles a partir del maíz ha provocado un incremento notable en su producción. El precio del maíz estadounidense, registro un incremento de 58.09% en 2006, debido al incremento del maíz dedicado a la producción de etanol. A nivel mundial en el 2005, México ocupó el cuarto lugar en términos de producción aportando el 3.5 % de la producción mundial; el primer productor de maíz fue Estados Unidos con una participación del 42%, China ocupó el segundo lugar con una producción del 20% y Brasil se ubica en el tercer lugar con una producción del 7%. En 2014, México, produjo 37,106,426 toneladas de maíz, que incluyen maíz forrajero, maíz en grano, maíz grano semilla y maíz palomero; y con una derrama económica de 79.6 mil millones de pesos (SAGARPA, 2016).

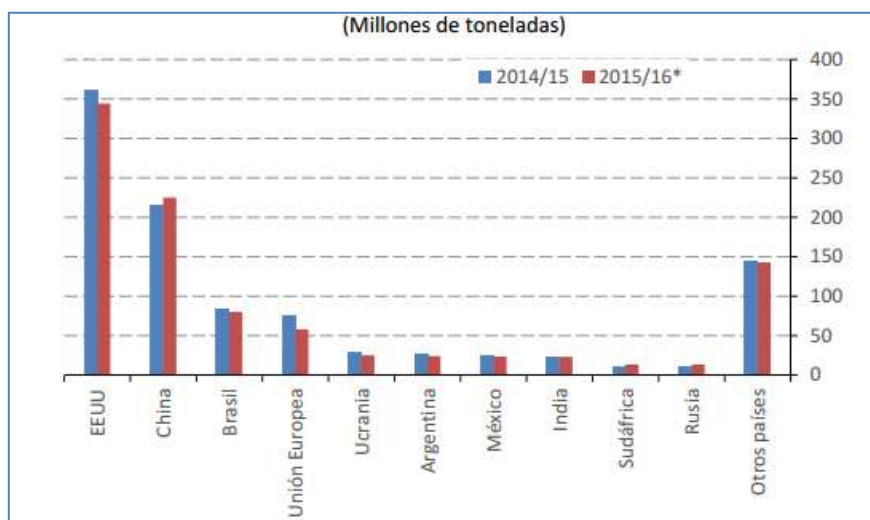


Figura 11. Principales Países Productores de Maíz
(Panorama Agroalimentario, 2016)

A nivel nacional, Jalisco era el principal productor de maíz con una aportación del 15% a la producción nacional, le seguía Sinaloa con el 13% de la producción, y en tercer lugar se ubicaba Chiapas con el 10% de esta. En los últimos años, Sinaloa ha desplazado al resto de las entidades al ocupar el primer lugar en producción de maíz con cosechas record.

El maíz es importante, no solo por la superficie que se siembra, sino por lo que representa para el país. En 1847 municipios del país es el cultivo más abundante y ocupa pocos más de la mitad de la superficie cultivable, y se calcula que ocho de cada diez productores agrícolas siembran esta gramínea (Fundacion semillas de vida, 2007).

El maíz es el tercer cultivo sembrado a nivel mundial, y tiene importancia económica como alimento humano, animal y como materia prima de un gran número de productos industriales. En México es el cultivo más importante, por la superficie sembrada, y el valor de su producción, y por ocupar al 20% de la población económicamente activa y por ser el alimento principal de la población. Desde el punto de vista económico el maíz se siembra en más de 8 millones de hectáreas, que representan el 39% de la superficie agrícola nacional y 63% de la superficie sembrada con granos y oleaginosas, contribuyen con un 8% del producto interno de la agricultura (Arambula Villa, De la Cruz Lazaro, Aparicio Trapala, & Jimenez Juarez, 2012).

3.5. VALOR NUTRITIVO DEL MAÍZ

Debido a su ingesta relativamente elevada en los países en desarrollo, a los cereales no se les puede considerar solamente como una fuente de energía, proporcionada por el almidón, sino que además suministra cantidades grandes de proteínas y otros nutrientes (Cardoza, 2006). En la tabla 4 se muestran los valores del análisis bromatológico de maíz. Los datos corresponden al reporte bibliográfico de la USDA, 2015.

Tabla 4. Análisis Bromatológico Grano de Maíz Amarillo. En base a100 g.

NUTRIENTE	%
Humedad	10.4
Carbohidratos	67.0
Fibra	7.3
Proteínas	9.4
Lípidos	4.7
Cenizas	1.2

3.5.1. CARBOHIDRATOS

El componente químico principal del maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 72-73% del peso del grano. El almidón está formado por dos polímeros de glucosa: amilosa y amilopectina. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían de 1 a 3 % del peso del grano (Cardoza, 2006).

A. ALMIDÓN

El almidón es el principal carbohidrato de reserva sintetizado por las plantas superiores y constituyendo una fuente de energía esencial para muchos organismos, principalmente el hombre. Actualmente, existe la tendencia a consumir alimentos más saludables y reduciendo el consumo de azúcar refinada y grasa, y sustituyéndolos por productos derivados del almidón.

El almidón está compuesto principalmente por los polímeros de D-glucosa (98-99%). Químicamente, el almidón consiste de dos polímeros de diferente estructura, amilosa (24 al 27%) y amilopectina (76 al 77%), además de que en algunos almidones se ha identificado un tercer componente denominado material intermedio. La proporción de estos dos polímeros y su organización física dentro de la estructura granular les confieren propiedades fisicoquímicas y funcionales diferentes.

De acuerdo al contenido de amilosa, los almidones se pueden clasificar en diferentes grupos como son los almidones cerosos que contienen muy poca cantidad de amilosa, alrededor de 1%, los normales que contienen entre 18-30% de amilosa y los altos en amilosa que contienen 70% o más de este polímero (Aguilar , 2007).

3.5.2. FIBRA

Los hidratos de carbono complejos como la fibra se encuentran en el pericarpio, aunque también en las paredes celulares del endospermo, y en baja medida en las del germen. El valor de fibra dietaria dependen del método de análisis y también de la eficiencia de remoción de la cáscara durante su procesamiento, sin embargo, se presenta valores entre 12 y 14% (Ortiz Prudencio, 2006).

La fibra insoluble está en mayor proporción que la fibra soluble, mientras que los granos enteros tendrán mayor cantidad de fibra que los granos descascarados (Ortega, 2014).

3.5.3. PROTEÍNAS

En las variedades comunes del maíz el contenido de proteína puede oscilar entre el 8 y 11 % del peso del grano, y en su mayor parte se encuentran en el endospermo.

Las proteínas están formadas de varias fracciones distintas, y según estudios en:

- La fracción de proteínas solubles en agua: albúminas y globulinas.
- La fracción de proteínas solubles en alcohol: prolaminas o zeínas, y representando un 50% del total de proteínas del endospermo, por lo que se consideran las proteínas de reserva más importantes, y cuya función es servir como fuente de nitrógeno para el germinado de la semilla. Las zeínas son ricas en prolina, glutamina, leucina y alanina.
- Las fracciones solubles en soluciones alcalinas en presencia de mercapto etanol; esta fracción representa aproximadamente 1% de la proteína total del grano (Cardoza, 2006).

3.5.4. ACEITES Y ÁCIDOS GRASOS

El aceite del grano de maíz esta fundamentalmente en el germen, y viene determinado genéticamente con valores que van del 3 a 8%. El aceite de maíz tiene bajo nivel de ácidos grasos saturados, y en especial el ácido palmítico y el esteárico, y con valores medios del 11 y 12% respectivamente.

En cambio, contiene niveles relativamente altos de grasas poliinsaturadas, fundamentalmente ácido linoleico, y con un valor medio de cerca de 24%; y solo se han encontrado mínimas cantidades de ácido linolénico y araquidónico. Por otro lado, aceite de maíz es relativamente estable, pues contiene pequeñas cantidades de ácido linolénico y niveles elevados de antioxidantes naturales.

Cabe recordar que los ácidos grasos saturados pueden afectar negativamente varios factores relacionados con enfermedades cardiovasculares y aterosclerosis; mientras que los ácidos grasos poli-insaturados pueden tener efectos benéficos en el sistema cardiovascular (Cardoza, 2006).

3.5.5. VITAMINAS Y MINERALES

El maíz tiene vitaminas tanto liposolubles como solubles en agua. El grano de maíz contiene dos vitaminas liposolubles: A o carotenoide y la vitamina E. La mayoría de los carotenoides se encuentran presentes en el endospermo duro del grano y solo peque-

ñas cantidades en el germen. La vitamina E se localiza principalmente en el germen y su contenido en el maíz depende de la variedad genética.

Por otro lado, las vitaminas solubles en agua se encuentran sobre todo en las capas externas del grano de maíz, y en menor medida en el germen y el endospermo. Se han encontrado cantidades variables de tiamina y riboflavina en el grano, y su contenido está determinado por el medio ambiente y las prácticas de cultivo (Cardoza, 2006).

3.6. BENEFICIOS DEL CONSUMO DE MAÍZ

El maíz aporta al organismo buenas cantidades de proteína, lípidos, carbohidratos, vitaminas A, B, C y sales minerales de potasio, calcio y fósforo entre otras (Buena Salud, 2010). Las vitaminas del grupo B que contiene el maíz nos ayudan para el buen funcionamiento cerebral, y son necesarias para la absorción de glucosa, y para la obtención de energía a partir de los alimentos.

También tiene propiedades diuréticas si es tomado como infusión, jarabes o cuando está presente en ciertos tipos de aceites (Buena Salud, 2010).

La obesidad y diabetes son dos enfermedades que puede prevenirse, o bien ayudar el tratamiento, con el consumo regular del maíz. El extracto de maíz mejora y regula la función de las células grasas, reduce el colesterol y estimula el sistema circulatorio (Buena Salud, 2010).

Los usos de este cereal son muy diversos, tanto las mazorcas se pueden consumir asadas o cocidas, habitual en ensaladas, en el desayuno o hasta consumir en forma de palomitas durante una película. Es muy rico en tiamina o vitamina B1, necesaria para que el cerebro pueda absorber la glucosa y por tanto los alimentos se transformen en energía. También contiene vitamina B7 o biotina que le da beneficios nutricionales, ya que la deficiencia de esta vitamina en el organismo, incide en el estado de la piel y el cabello. Además, sus beneficios nutricionales se ven también reflejados por su contenido de vitamina A, que funciona como antioxidante en la prevención de enfermedades, como el cáncer (Buena Salud, 2010).

3.7. LA TORTILLA

El maíz en forma de tortilla es uno de los principales componentes de la dieta del pueblo mexicano. Se consume alrededor de 12.3 millones de toneladas de maíz en forma de tortilla, y de las cuales el 64% se realizan a través del método tradicional de maíz-masa- tortilla, y el 36% a través de la industria harinera. (Sierra-Macias , Palafox-Caballero, Vazquez-Carrillo, Rodriguez- Montalvo, & Espinosa-Calderon, 2010)

Por lo general, la tortilla consumida en las áreas rurales se produce del maíz que se cosecha en la localidad, que puede ser blanco, amarillo o de colores, y de manera general, la preferencia entre los distintos tipos de maíz es por atributos de color, sabor y textura, consistencia de las tortillas y la facilidad de la masa para trabajarla. Mientras que la industria de la masa y la tortilla, prefieren procesar maíces de tamaño y color uniforme, y optan por los de color blanco crema brillante y con textura intermedia a dura.

Se tiene la norma NMX-034 para maíz destinado al proceso de nixtamalización, e incluye variables de calidad del grano, entre las que destaca la dureza, así como pericarpio retenido en el nixtamal, pérdida de sólidos y humedad del nixtamal (Arambula Villa, De la Cruz Lazaro, Aparicio Trapala, & Jimenez Juarez, 2012).

Los productos de maíz, como la tortilla, son la base de la alimentación popular mexicana y su consumo se relaciona estrechamente con el consumo de energía, además del aporte de calcio, hierro, zinc, y cobre (Shamah Levy, Avila Curiel, Cuevas Nasu, Chavez Villsana, Avila Arcos, & Fernandez Mendoza, 2003).

La calidad de la tortilla es influenciada por las características del grano y por las condiciones de su elaboración. Para producir tortillas de calidad se requiere un grano que produzca masa con alta humedad, buena cohesión y adhesividad, entre otras características (Arambula Villa, De la Cruz Lazaro, Aparicio Trapala, & Jimenez Juarez, 2012).

Para el año 2001 la Tortilla Industry Association de Estados Unidos calculó las ventas de este alimento en el orden de los 4,400 millones de dólares. En tanto que, en Centro América fue de 580 millones de dólares. En 1998, la industria de la masa y la tortilla en México representó un negocio de aproximadamente 22,689,504 millones de pesos. En este año esta industria generó 131,340 empleos directos, colocándose en la cuarta industria de importancia dentro de la industria alimenticia de México (Tesorero, 2002).

Según el INEGI, en el año 2010 la industria de la masa y la tortilla se distribuye a lo largo de todo el territorio nacional, con aproximadamente 85,111 establecimientos, los cuales emplean a 161,463 personas con un valor de la producción de 33.5 millones de pesos. El 53% de las unidades económicas de la producción de masa o tortilla se encuentran en el Estado de México, Distrito Federal, Jalisco, Veracruz, Michoacán, Guanajuato y Puebla; en estos estados se genera el 51.0% de la producción y empleo. (Espejel Garcia, 2012)



Figura 12. Maíz Nixtamalizado

3.8. PROCESO DE NIXTAMALIZACIÓN

El proceso de nixtamalización se ha utilizado desde tiempos muy remotos para la preparación de las tortillas, y siendo uno de los alimentos más importantes para la población de Meso América. Este proceso consiste en el cocimiento del grano de maíz en abundante agua, 1 kg de grano de maíz por 2-3 L de agua y adicionada con un álcali, preferentemente Ca(OH)_2 , y sometido a temperaturas ligeramente menores a las de ebullición, durante 30 o 45 min, dependiendo de la dureza del maíz (> dureza > tiempo).

Después del cocimiento el grano cocido se deja reposar entre 12 y 14 h en la solución alcalina. La solución alcalina, denominada nejayote, se desecha y el grano se lava ligeramente, este producto se denomina nixtamal. El nixtamal se muele en molinos de piedras y se obtiene la masa (Arambula Villa, Barron Avila, González Hernández, Moreno Martínez, & Luna Barcenás, 2001).

Durante el cocimiento del grano se originan reacciones bioquímicas, entrecruzamientos, e interacciones moleculares que modifican tanto las características fisicoquímicas, estructurales y reológicas de la masa, y las propiedades estructurales y de textura de la tortilla (Arambula Villa, Barron Avila, González Hernández, Moreno Martínez, & Luna Barcenás, 2001). Los cambios se deben a las pérdidas materiales del grano y a las reacciones químicas que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros- (FAO, 2015). Un alto porcentaje de estos cambios se debe a modificaciones en la estructura del almidón, principal componente químico del maíz (72-73 g/100 g).

El contenido de fibra cruda disminuye cuando se transforma el grano en tortillas- (FAO, 2015). Después de elaborado el nixtamal, se muele para convertirlo en masa. La

masa obtenida de esta forma es una mezcla de material cocido a diferentes grados, la cual desarrolla sus propiedades de cohesión y adhesión características (Arambula Villa, Barron Avila, González Hernández, Moreno Martínez, & Luna Barcenás, 2001).

Actualmente se dispone de procesos alternativos a la nixtamalización tradicional como son la nixtamalización por extrusión y la nixtamalización fraccionada, y que al igual que la nixtamalización tradicional, los granos de maíz son sometidos a un tratamiento térmico- alcalino en presencia de exceso o limitada cantidad de agua (Escalante-Aburto, Ramírez, Torres- Chavez, Barron Hoyos, & Figueroa Cardenas, 2013).

El desarrollo de estos procesos alternativos se debe a que la nixtamalización tradicional requiere de largos periodos de tiempo y el uso de gran cantidad de agua, que produce el “nejayote” cuyo pH es elevado y contiene gran cantidad de material orgánico al cual se le han encontrado pocos usos. Los procesos alternos se enfocan a la reducción de tiempo de procesamiento y efluentes contaminantes, así se han desarrollado tecnologías que optimizan el contenido de antocianinas en productos nixtamalizados para obtener un beneficio adicional para la salud de la población (Escalante- Aburto, Ramírez, Torres- Chavez, Barron Hoyos, & Figueroa Cardenas, 2013).

4. SÍNDROME METABÓLICO

El sobrepeso y la obesidad se consideran uno de los factores más importantes de riesgos para la salud en el siglo XXI. Ambas condiciones están relacionadas con la alta tasa de muerte en México por diabetes, enfermedades del corazón, del sistema circulatorio, problemas de irrigación cerebral, y ciertos tipos de cáncer.

El síndrome metabólico fue reconocido hace más de 80 años en la literatura médica y ha recibido diversas denominaciones a través del tiempo. No se trata de una única enfermedad sino de una asociación de problemas a la salud que puede aparecer de forma simultánea o secuencial en un mismo individuo (Rodríguez Porto, Sánchez León, & Martínez Valdes, 2002).

El síndrome metabólico es una entidad clínica controvertida que aparece con altas variaciones fenotípicas, en personas con predisposición endógena, determinada genéticamente y condicionada por factores ambientales (López Albornoz & Pérez Rodrigo, 2012). Se caracteriza por la presencia de resistencia a la insulina, asociada a trastornos del metabolismo hidrocarbonado, cifras elevadas de presión arterial, alteraciones lipídicas (hipertrigliceridemia, descenso del colesterol HDL, presencia del LDL tipo B, aumento de ácidos grasos libres y lipemia postprandial), y obesidad, con un incremento de morbilidad de origen aterosclerótico.

Además de la susceptibilidad genética, el síndrome metabólico precisa de la presencia de otros factores ambientales, tales como la obesidad central o abdominal, sedentarismo, dieta hipercalórica rica en grasas y carbohidratos, y tabaquismo. Otros factores relacionados son la hiperuricemia, hipercoagulabilidad, hiperleptinemia o resistencia a la leptina, leucocitosis, hiperandrogenismo, hígado graso, cálculos biliares, osteoporosis, acantosis nigricans y síndrome del ovario poli quístico. (Lopez Albornoz & Perez Rodrigo, 2012)

Reaven fue el primero en describir este síndrome, llamándoles “síndrome X”, donde sugería que la resistencia a la insulina junto con la intolerancia a la glucosa, dislipidemias e hipertensión, incrementaban el riesgo de enfermedad cardiovascular. A partir de esta definición, diferentes grupos y organizaciones comenzaron a crear su propia definición (Lopez, 2015).

Según la Organización Mundial de la Salud, OMS, el síndrome metabólico se define como la regulación alterada de la glucosa o diabetes o resistencia a la insulina (definida como una captación de glucosa por debajo del cuartil inferior por la población en estudio, bajo condiciones de hiperinsulinemia y euglucemia). Además, dos o más de estos componentes:

- Presión arterial elevada ($\geq 140/90$ mmHg)
- Triglicéridos plasmáticos elevados (≥ 1.7 mmol/L; 150 mg/dL) y/o colesterol.
- HDL bajo (< 0.9 mmol/L en hombres y < 1.0 mmol/L en mujeres)
- Obesidad central (relación cintura-cadera > 0.90 para hombres y > 0.85 para mujeres) y con un índice de masa corporal (IMC) > 30 kg/m².
- Microalbuminuria (excreción ≥ 20 mg/min en relación albúmina: creatinina en orina ≥ 30 mg/g) (Rodriguez Porto , Sanchez Leon , & Martinez Valdes, 2002).

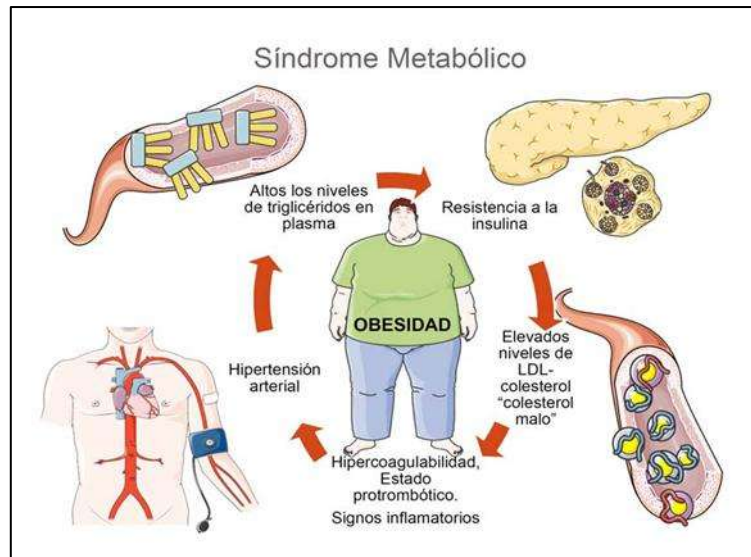


Figura 13. Síndrome Metabólico. (Scacchi Bernasconi, 2012)

4.1. EPIDEMIOLOGIA

La prevalencia del síndrome metabólico ha aumentado alrededor del mundo, y esto es por el aumento en paralelo que está teniendo la obesidad (Lopez, 2015).

Se ha confirmado la presencia de síndrome metabólico en diferentes grupos étnicos, incluyendo a la población latinoamericana. La prevalencia de síndrome metabólico varía según la definición que se tenga para los diferentes componentes que lo integran. De acuerdo con la definición de la OMS se presenta en el 15% de los hombres y en el 10% de las mujeres que tienen metabolismo de la glucosa normal y en el 64% de los hombres y el 42% de las mujeres que presentan alteración en la glucosa de ayuno o intolerancia a la glucosa. Hasta el 90 % de los pacientes con diabetes mellitus tipo 2 tienen síndrome metabólico. En algunas revisiones, se responsabiliza a la resistencia a la insulina del 6% de los casos de enfermedad arterial coronaria, no asociada a diabetes, y hasta un 45% en los casos de diabetes. Al momento de diagnóstico de diabetes mellitus tipo 2 ya existen anomalías vasculares en 50% de los pacientes (Asociación Nacional de Cardiólogos de México , 2002).

El estimado de prevalencia en EE UU es del 22% y varía del 6.7% en las edades de 20 a 43.5 años a 43.5% en los mayores de 60 años, no se han reportado diferencias por sexo (Rodríguez Porto , Sánchez León , & Martínez Valdes, 2002).

En poblaciones de alto riesgo, como las de familiares de personas diabéticas, la prevalencia aumenta considerablemente hasta casi el 50%, y llega a más del 80% en per-

sonas diabéticas y el 40% en personas con intolerancia a la glucosa (Rodriguez Porto , Sanchez Leon , & Martinez Valdes, 2002).

4.2. DIAGNÓSTICO

No existe una definición consensuada internacionalmente, aunque desde un punto de vista práctico y eminentemente clínico de los parámetros más extendidos para identificar el síndrome metabólico son los propuestos por el National Cholesterol Education Programed, 2001, y actualizados posteriormente por la American Heart Association (AHA) en 2005.

Tabla 5. Factores de Riesgo del Síndrome Metabólico

Obesidad abdominal (perímetro cintura) • Hombres: >102 cm. • Mujeres: >88 cm.
Triglicéridos • Hombres: ≥ 150 mg/dl • Mujeres: ≥ 150 mg/dl <i>o tratamiento farmacológico</i>
HDL • Hombres: <40 mg/dl • Mujeres: <50 mg/dl <i>o tratamiento farmacológico</i>
Presión arterial • Hombres: $\geq 130/ \geq 85$ mmHg • Mujeres: $\geq 130/ \geq 85$ mmHg <i>o tratamiento farmacológico</i>
Nivel de glucosa en ayunas • Hombres: ≥ 100 mg/dl • Mujeres: ≥ 100 mg/dl <i>o tratamiento farmacológico</i>

Otros organismos internacionales, incorporan modificaciones a la hora de diagnosticar el síndrome metabólico. La OMS incluye como criterio necesario la diabetes, la tolerancia anormal a la glucosa o la resistencia a la insulina, y añade el índice cintura-

cadera y la micro albuminaria; el grupo europeo para el estudio de la resistencia a la insulina varia las cifras de triglicéridos (>180 mg/dL), incluye el perímetro abdominal (>94 en varones y 80 en mujeres) y agrega también la resistencia a la insulina o hiperinsulinemia en ayunas superior a percentil 75.

4.3. FISIOPATOLOGÍA

Diversos mecanismos fisiopatológicos con la participación de factores genéticos y ambientales explican el desarrollo de resistencia a la insulina en un individuo. La hiperinsulinemia compensatoria, resultante de la resistencia a la insulina es considerada como un posible factor de riesgo para el desarrollo de la hipertensión arterial, diabetes tipo 2, dislipidemia, obesidad, disfunción endotelial y aterosclerosis a través de mecanismos interrelacionados (Asociación Nacional de Cardiólogos de México, 2002).

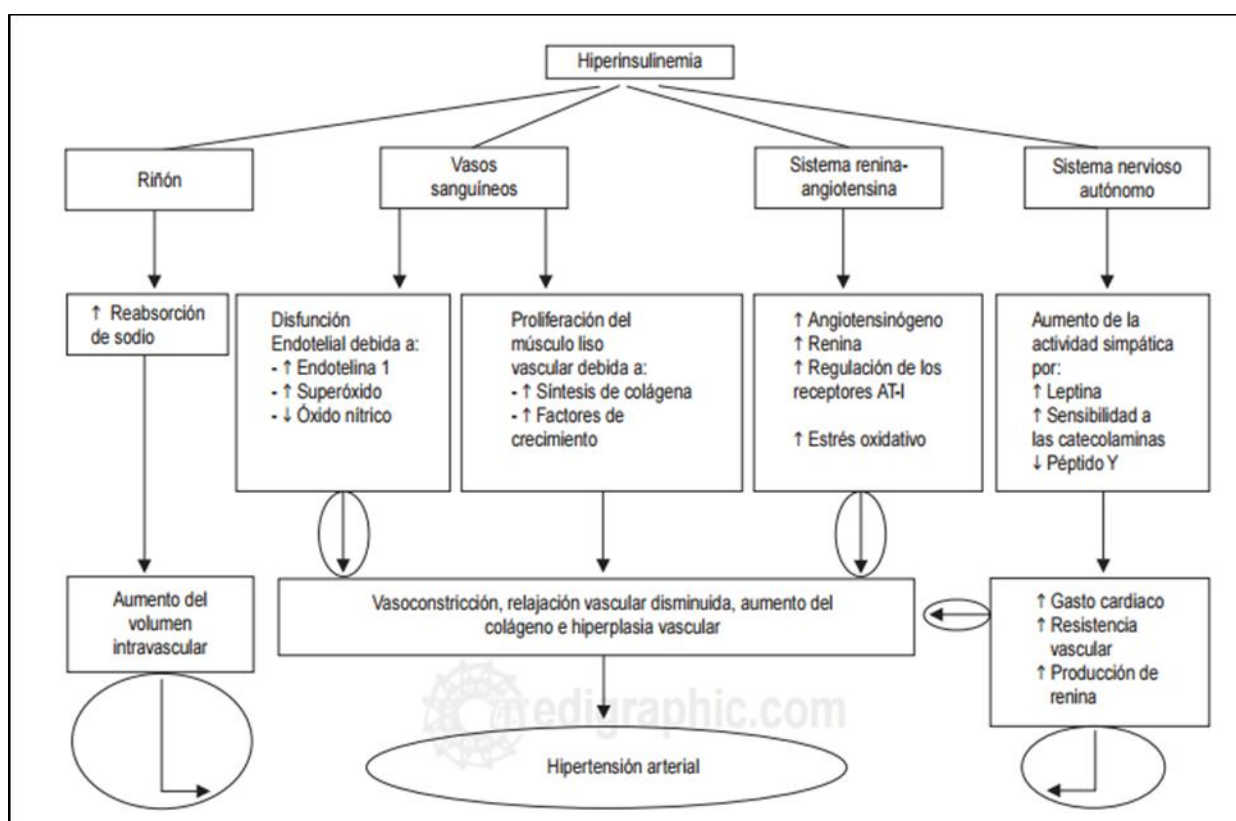


Figura 14. Hiperinsulina e Hipertensión Arterial
(Asociación Nacional de Cardiólogos de México, 2002)

El centro de su fisiopatología se centra en la resistencia a la insulina, mecanismos que une a la mayoría de los componentes del síndrome. Sin embargo varias de las ca-

racterísticas del síndrome no pueden ser explicadas por la resistencia a la insulina. Por eso la Organización Mundial de la Salud recomendó identificar a la enfermedad como “síndrome metabólico”, en vez de síndrome de resistencia a la insulina. (Gomez Perez, y otros, 2007)

La obesidad juega un rol preponderante, ya que el tejido adiposo, sobre todo el visceral y abdominal es muy activo en la liberación de distintas sustancias: ácidos grasos, factor de necrosis tumoral α , leptina, resistina, factor inhibidor de la activación de plasminógeno, IL6, etc. Estos factores pueden favorecer la aparición de un estado proinflamatorio de resistencia a insulina y/o daño endotelial (Lopez Albornoz & Perez Rodrigo, 2012).

La insulina tiene múltiples efectos que varía dependiendo el órgano en estudio. Estimula la síntesis de lípidos y proteínas en el musculo y en el hígado; a su vez reprime la liberación de ácidos grasos en el tejido adiposo. Además participa en la regulación de diversos factores de coagulación, de la función del endotelio, del metabolismo de diversas lipoproteínas, de la síntesis de las hormonas sexuales y del crecimiento (Gomez Perez, y otros, 2007).

Los ácidos grasos libres no esterificados que se generan aumentan en el plasma y se encuentran con un hígado y un músculo resistentes a la insulina (Lopez Albornoz & Perez Rodrigo, 2012). La mayor oferta de ácidos grasos en hígado conduce un aumento de gluconeogénesis, incremento en la producción de triglicéridos (aumento de VLDL, LDL), disminución de HDL, mayor producción de sustancias con actividad protombótica como el fibrinógeno. y la esteatosis hepática no alcohólica por depósito de triglicéridos (Lopez Albornoz & Perez Rodrigo, 2012).

En músculo se acumula tejido graso y se estimula la utilización de ácidos grasos como fuente de energía en lugar de glucosa. Esta glucosa no utilizada a nivel muscular, sumada a la mayor producción de glucosa hepática, genera hiperglucemia; y en respuesta a esto el páncreas incrementa la secreción de insulina que compensa la situación, manteniendo una glucemia basal normal. Esto es lo que se le conoce como resistencia a la insulina.

La activación de la inmunidad innata conduce a la liberación de citoquinas por células del sistema inmune (macrófagos, monocitos), y estas contribuyen a la acción pro trombótica y pro inflamatoria. Produce también cambios en las lipoproteínas plasmáticas, enzimas, proteínas transportadoras y receptoras tanto en animales como en humanos. Especialmente en humanos, puede producir un incremento de la síntesis hepática de VLDL, disminuir su aclaramiento, reducir los niveles de colesterol HDL y modificar su composición.

Desde el punto de vista genético, una variedad de genes ha sido asociados al desarrollo de síndrome metabólico: genes reguladores de lipólisis, termogénesis, metabolismo de la glucosa y del músculo. No se debe de dejar de señalar la influencia de factores genéticos y ambientales sobre el peso al nacer, porque la subnutrición fetal puede ser negativa para el desarrollo de las células β pancreáticas y de los tejidos sensibles a la insulina cuya causa pudiera estar relacionada con la activación de genes vinculados con la insulina resistencia.

Otros importantes modificadores ambientales influyen sobre la expresión del síndrome metabólico: la inactividad física promueve el desarrollo de la obesidad y modifica la sensibilidad a la insulina en el músculo. Las dietas con alto contenido graso son favorables para el síndrome metabólico y contribuyen al desarrollo de la hipertensión arterial y obesidad (Lopez Albornoz & Perez Rodrigo, 2012).

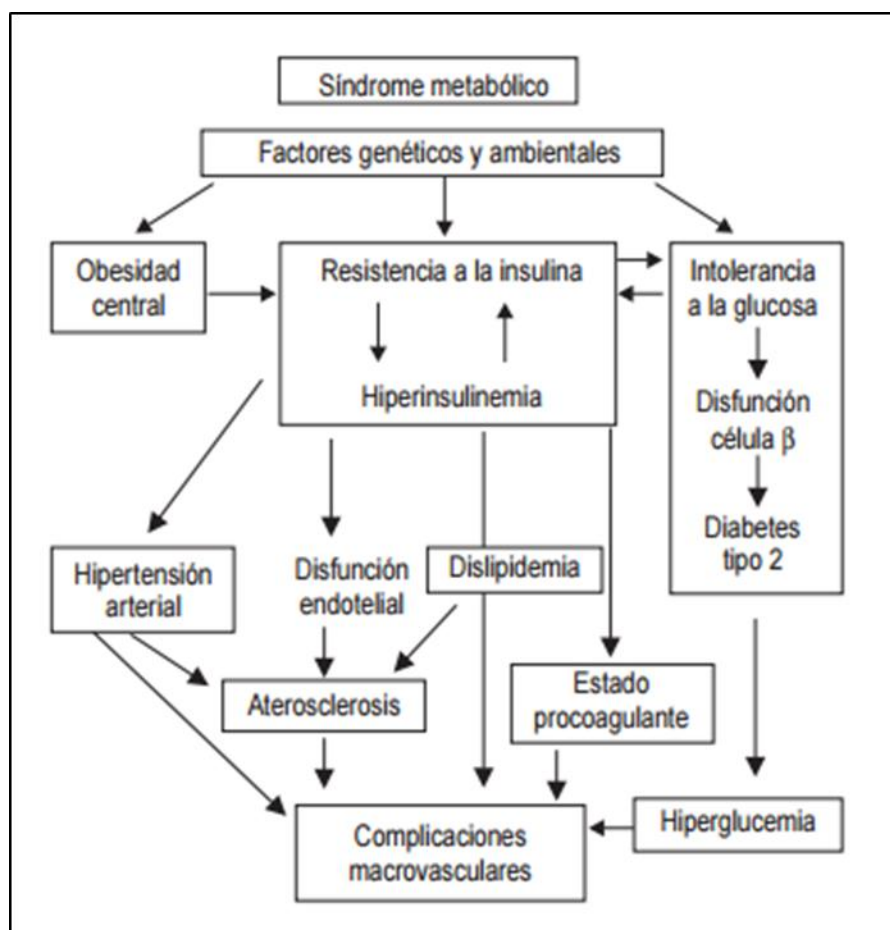


Figura 15. Síndrome Metabólico
(Asociación Nacional de Cardiólogos de México, 2002)

La forma de presentación clínica del síndrome metabólico tiene una variación fenotípica, por ejemplo, puede manifestarse inicialmente como hipertensión u obesidad, y en otros como alteración en la regulación de la glucosa o de los lípidos u otros trastornos, como por ejemplo la asociación de hipertrigliceridemia y el perímetro de la cintura (con un punto de corte de 102 cm en el hombre y de 88 cm en la mujer). Puede identificar tempranamente a los individuos portadores de una triada metabólica aterogénica, hiperinsulinemia en ayuno, incremento de apolipoproteína B e incremento de la LDL pequeñas y densas que está asociado con un marcado incremento en el riesgo de enfermedad coronaria.

Tabla 6. Factores Fisiopatológicos del Síndrome Metabólico
(Asociación Nacional de Cardiólogos de México, 2002)

Cuadro II. Factores que participan en la fisiopatología de la resistencia a la insulina en los diferentes componentes del síndrome metabólico			
FACTORES GENÉTICOS	COMPONENTE	FACTORES AMBIENTALES	FACTORES AMBIENTALES
• Receptor de leptina • Receptor del gen humano B-adrenérgico • Gen ahorrador • Gen receptor PPAR α • Genes de Lipasa (LPL, HSL) • Otros	Obesidad	• Estilo de vida • Dieta hipercalórica • Inactividad física • Aspectos psicológicos	• Metabólicos • Ácidos grasos no esterificados • Hiperinsulinemia - FNT α • Neuropéptido Y • Leptina • Angiotensina
• Gen sintasa del óxido nítrico endotelial • Genes de la ECA • Genes de los receptores de angiotensina • Otros	Hipertensión arterial	• Estilo de vida • Consumo de sal • Inactividad física • Sedentarismo • Obesidad	• METABÓLICOS • Hiperinsulinemia • Otros
• Gen del IRS-1 • Gen glucógeno sintasa • Receptor de glucógeno • Gen GLUT 4 • Otros	Diabetes tipo 2	• Estilo de vida • Dieta hipercalórica • Inactividad física • Sedentarismo	• METABÓLICOS • Glucotoxicidad • Lipotoxicidad • Hiperinsulinemia • Otros
• Gen apolipo-proteína E • Gen expresión de proteínas ligadoras de ácidos grasos • Gen variante de la lipoproteína lipasa (Asn 291 SER) • Gen expresión Apo C III • Gen receptor PPAR α	Dislipidemia	• Estilo de vida • Dieta alta en grasa • Inactividad física • Sedentarismo	• METABÓLICOS • Hormonales • Lipemia posprandial (triacilglicerol) • Hiperinsulinemia • Otros

4.4. METABOLISMO CELULAR

El metabolismo se define como el conjunto de reacciones catalizadas mediante enzimas que tienen lugar en el organismo o ser vivo, especialmente en la célula.

Este conjunto de reacciones tiene distintas finalidades, entre las cuales se podrían destacar las siguientes:

- Obtención de energía necesaria para realizar las funciones del organismo a partir de nutrientes.
- Obtención de las moléculas precursoras o sillares (monómeros) necesarios para la formación de macromoléculas (polímeros) endógenas, a partir de la degradación de macromoléculas exógenas que se ingieren con los nutrientes
- Formación o síntesis de macromoléculas endógenas (polisacáridos, lípidos, proteínas, ácidos nucleicos, etc.) partiendo de las moléculas precursoras. Este proceso suele requerir energía. (Díaz Plascencia , 2015)

4.4.1. METABOLISMO DE LÍPIDOS

Los lípidos son uno de los principales grupos de biomoléculas de los seres vivos. Se define como un conjunto de compuestos con heterogeneidad química que tienen en común su poca o nula solubilidad en agua y, por el contrario, su solubilidad en solventes orgánicos como éter y cloroformo, entre otros.

Algunas de las funciones biológicas de los lípidos son: fuente y almacenamiento de energía, reguladores metabólicos y fisiológicos (hormonas esteroideas y prostaglandinas), vitaminas liposolubles (A, D, E y K), emulsificantes (sales biliares), y como parte esencial en la estructura de las membranas celulares de todos los seres vivos (Sanchez, 2014).

La clasificación más satisfactoria se basa en las estructuras de los esqueletos carbonados. Los lípidos simples son aquellos que se caracterizan porque contienen ácidos grasos como componentes y comprenden a los acilglicéridos (monoglicéridos, diglicéridos y triglicéridos), los fosfoglicéridos, los esfingolípidos y las ceras; y estos reciben también el nombre de lípidos saponificables, ya que al reaccionar con sosa potásica forman jabones. Por otro lado, los lípidos complejos no forman jabones con KOH (Lehninger, Nelson, & Cox, 2005).

Los triglicéridos y las grasas neutras son los compuestos que usualmente se ingieren en la alimentación, por lo que todo el proceso para sacarles el mayor rendimiento energético comienza desde la ingestión, donde existe la lipasa lingual, enzima que hidroliza las largas cadenas de ácidos grasos en cadenas más cortas, luego del mismo modo en

el estómago y en el intestino delgado, la lipasa gástrica y la lipasa pancreática, respectivamente, con la ayuda de las sales biliares continua el proceso de ruptura de cadenas hasta obtener partículas llamadas micelas que son principalmente ácidos grasos libres (Hoyos Serrano & Rosales Calle, 2014).

Después de ser absorbido el contenido lipídico por el intestino delgado, se pueden producir los siguientes procesos catabólicos como anabólicos:

- a) Células absorptivas intestinales. Donde los ácidos grasos se unen a proteínas de bajo peso molecular formando triglicéridos (TAG), fosfolípidos y esteres de colesterol.
- b) Beta-oxidación. Los ácidos grasos no metabolizados en las células intestinales pasan a la circulación porta y se dirigen a las mitocondrias del hepatocito, donde se degradan formando ATP. No es muy eficiente en cuanto a velocidad, pero produce un gran aporte energético.
- c) Litogénesis. Ocurre en periodos de exceso calórico en el que la ingesta calórica sobrepasa el consumo energético, y en donde los ácidos grasos sintetizados por el hígado son esterificados y almacenados como triglicéridos en el tejido adiposo.
- d) Lipólisis. Sucede cuando el consumo energético sobrepasa la ingesta calórica y los adipocitos liberan su contenido para compensar la deficiencia y proporcionar energía en caso de ser necesario.
- e) Formación de Eicosanoides y Decasanoides. Estos son formados en casi todas las células, y en donde se incluyen las prostaglandinas, prostacilinas, tromboxanos, leucotrienos, etc., y que se forman a partir de dos rutas: la ciclooxigenasa que transforma los ácidos grasos de 20 carbonos en prostanoides y la lipooxigenasa que los transforma en hidroperixotetranoides.

El consumo de ácidos grasos esenciales es primordial porque el organismo no los puede sintetizar, y de manera que una dieta equilibrada debe contener pequeñas cantidades de ácido linoleico, linolénico y araquidónico, y se debe evitar el consumo excesivo de colesterol en su forma original, los ácidos grasos saturados y los ácidos grasos tipo *trans*, ya que no son nutrientes esenciales y producen exceso de tejido adiposo, entre otras alteraciones (Hoyos Serrano & Rosales Calle, 2014).

A. EXCESO DE LÍPIDOS

La obesidad es el incremento del peso corporal debido al aumento de las grasas. La grasa localizada en la región visceral, propicia diversas alteraciones metabólicas y sobre todo dislipidemias, hiperglucemia e hipertensión. Estas alteraciones se agravan en el envejecimiento y el aumento de peso corporal, además la presencia de ciertos factores hereditarios, y que pueden originar el Síndrome Metabólico, y que confiere un riesgo para patologías crónico-degenerativas, como lo es la diabetes mellitus tipo 2 y las en-

fermedades cardiovasculares, y que en la actualidad son las primeras causas de mortalidad y morbilidad en México.

El factor fisiopatológico que vincula la obesidad con las patologías crónicas es la resistencia a la insulina, que se evalúa mediante distintos métodos como el índice de triglicéridos/colesterol en lipoproteínas de alta densidad (Sanchez, 2014).

Para lograr combatir una enfermedad como esta, se requiere disciplina, llevar un buen régimen alimenticio y concienciarnos de que debemos comer lo más sano posible y realizar ejercicio físico habitualmente (Maria, 2014).

4.5. METABOLISMO DE AZÚCARES

La necesidad de un aporte constante de energía a la célula se debe a que ella lo requiere para realizar varias funciones, la realización de un trabajo mecánico, la contracción muscular y movimientos celulares, el transporte activo de iones y moléculas y la síntesis de moléculas, entre otros. Para la mayoría de los animales, incluyendo el hombre, la energía para la célula es la energía química, que se encuentra en los carbohidratos y lípidos, principalmente, que se consumen.

El mantenimiento de los niveles de glucosa en sangre, resulta esencial para el organismo humano. Hay tejidos que dependen esencialmente de la glucosa para la obtención de energía, como el cerebro. El mantenimiento de glucosa es un aspecto esencial en el metabolismo de los carbohidratos.

Los procesos que aportan glucosa a la sangre son: absorción intestinal, glucogenolisis y gluconeogénesis. El primero consiste en el paso de glucosa a sangre por la absorción intestinal, después de una comida con contenido glicémico; el segundo se refiere al proceso mediante el cual se degrada el polisacárido glucógeno del hígado y la glucosa liberada pasa a la sangre; y por último la gluconeogénesis, que es un proceso fundamentalmente hepático mediante el cual se sintetiza glucosa a partir de compuestos no glucémicos. Los procesos que sustraen glucosa de la sangre son: síntesis de glucógeno (glucogénesis), degradación de glucosa (glucolisis). También se consume glucosa en otro proceso que resulta importante en algunos tejidos, como el ciclo de las pentosas (Cardella Rosales, 2007).

A. EXCESO DE AZÚCARES

Los carbohidratos proporcionan la principal y más barata fuente de energía en la alimentación de la mayoría de los pueblos del mundo. En la actualidad existe controversia sobre la posible relación entre enfermedades cardiovasculares y consumo de carbohi-

dratos. Blanco señala una mayor frecuencia de enfermedad coronaria y otras afecciones en los países industrializados, circunstancia que se ha asociado con un mayor consumo de azúcar y harinas refinadas. Estudios epidemiológicos evidencian una mayor incidencia de diabetes, obesidad y colelitiasis en las poblaciones que incluyen en su alimentación una tasa elevada de azúcar y harinas refinadas.

Actualmente se recomienda por los organismos internacionales que la ingesta de azúcar debe representar entre 10 y 15% de la ingesta total de energía (± 25 gramos de azúcar en 1000 kcal), equivalente a dos cucharadas soperas rasas al día. La azúcar blanca proporciona energía, pero no nutrimentos. Aporta principalmente 4 kcal/g y su densidad nutrimental es nula, siendo una fuente de “calorías vacías” (Blanco Anesto, 2002).

El consumo excesivo de azúcar, se relaciona con las siguientes enfermedades:

- Caries dental
- Aumenta la demanda de vitaminas del complejo B
- Hipertrigliceridemia
- Obesidad y Diabetes mellitus
- Enfermedades cardiovasculares
- Síndrome Metabólico
- Resistencia a la insulina
- Hipertensión e Hiperuricemia
- Hígado graso

5. ALIMENTOS FUNCIONALES

La principal función de la dieta es aportar los nutrientes necesarios para el buen funcionamiento del organismo. El concepto de “nutrición adecuada”, está siendo sustituido por el de “nutrición óptima”, que contempla la posibilidad de que algunos alimentos mejoren la salud de la población y reduzcan el riesgo de desarrollar determinadas enfermedades. Con los alimentos funcionales se ha introducido la consideración de que algunos alimentos pueden ejercer un papel beneficioso adicional a su propio como suministradores de energía y nutrimentos (Aguilera, y otros, 2015).

Se ha creado lo que podría denominar la ciencia como Alimentos Funcionales, que presenta uno de los segmentos de mayor crecimiento dentro de la industria alimentaria y su significado trasciende el mundo comercial, para convertirse en una de las mayores áreas de investigación científica en la actualidad.

Los alimentos funcionales son un concepto no definido aún de forma consensuada en la comunidad científica. Un alimento funcional es aquel que contiene un componente, nutriente o no nutriente, con actividad selectiva relacionada con una o varias funciones en el organismo, con un efecto fisiológico añadido por encima de su valor nutricional y cuyas acciones positivas justifican que puedan reivindicarse su carácter funcional (fisiológico) o incluso saludable (Silveira Rodriguez , Monereo Megias , & Molina Baena , 2003).

La primera reseña histórica, viene de Japón, donde en la década de los 80 y gracias a la ayuda del gobierno de ese país, se comenzó la investigación y se propuso el término de alimentos saludables para uso específico, en inglés Food for Special Health Use (FOSHU). Este concepto expone por primera vez la existencia de “alimentos con efecto específico sobre la salud” y en consecuencia la población se puede beneficiar de su consumo.

Es importante destacar que los alimentos funcionales han de seguir siendo ante todo un alimento, por lo que no se consumirán en forma de píldoras, cápsulas, polvos, etc. Hay que tener en cuenta que los Alimentos Funcionales deben de mostrar sus resultados en cantidades que puedan ser normalmente consumidas en la dieta, por lo que tendrían que formar parte del patrón normal de alimentación (Aguilera, y otros, 2015).

Según la ISL, un alimento funcional puede ser:

- ✓ Un alimento natural
- ✓ Un alimento al que se le ha agregado o eliminado un componente por biotecnología.
- ✓ Un alimento donde la naturaleza de uno o más de sus componentes ha sido variada.
- ✓ Un alimento en el cual la biodisponibilidad de uno o más de sus componentes ha sido modificada.
- ✓ Cualquier combinación de las anteriores posibilidades.

5.1. TIPOS DE ALIMENTOS FUNCIONALES

5.1.1. PREBIÓTICOS, PROBIÓTICOS Y SIMBIÓTICOS

Probióticos. Estos son los alimentos fermentados con bacterias o levaduras, especialmente *bifidobacterias* y *Lactobacillus*. Se caracterizan por contener microorganismos vivos, como el yogur.

Prebióticos. Estos son el sustrato trófico de los probióticos. Estas son sustancias no digeribles por el hombre que forman parte de los alimentos, y que benefician al huésped, estimulando de forma selectiva el crecimiento y/o actividad de una o un número limitado de bacterias intestinales. Un ejemplo de estos es la inulina.

Simbióticos. Esta es la asociación de un probiótico con un prebiótico que se denomina simbiótico. Un ejemplo de estos son los preparados lácteos ricos en fibra fermentados con bífidobacterias.

5.1.2. ALIMENTOS ENRIQUECIDOS CON FIBRA

Fibra Insoluble. Engloba la celulosa, hemicelulosa y lignina. Como acciones funcionales se le atribuyen el incremento del bolo fecal y el estímulo de la motilidad intestinal; la mayor necesidad del masticado, relevante en las modernas sociedades víctimas de la ingesta compulsiva y la obesidad, el aumento de la excreción de ácidos biliares y propiedades antioxidantes e hipocolesterolemiantes.

Fibra Soluble. Representada fundamentalmente por pectinas, gomas, mucilagos y algunas hemicelulosas. Su principal característica es su capacidad de atrapar agua y formar geles viscosos, lo que determina su poder laxante.

Ambos tipos de fibra e encuentran en proporciones variables en los alimentos, aunque en forma genérica puede decirse que la insoluble predomina en cereales enteros mientras que la soluble abunda en frutas, vegetales y tubérculos (Silveira Rodriguez , Monereo Megias , & Molina Baena , 2003).

5.1.3. ÁCIDOS GRASOS OMEGA Y FITOESTEROLES

Aceites de pescado y ácidos grasos omega 3. Presentes principalmente en pescado azul, juegan un papel importante como agentes antiinflamatorios, anti arritmia-génicos y protectores a nivel cardiovascular.

Aceite de oliva y ácidos grasos monoinsaturados. El ácido oleico es el representante dietético fundamental de los ácidos grasos monoinsaturados. A nivel lipídico origina una reducción de triglicéridos, de colesterol total, y LDL, así como de la oxidación del mismo.

Fitoesteroles. Estos son esteroides vegetales, es decir, moléculas esteroideas similares al colesterol animal. Se postula como funcional por su efecto hipolipemiante (Silveira Rodriguez , Monereo Megias , & Molina Baena , 2003).

5.2. ALIMENTOS FUNCIONALES Y SÍNDROME METABÓLICO

Una de las consecuencias de estar sobrealimentados y mal nutridos es la aparición de sobrepeso y obesidad. El lugar del organismo donde se deposita la grasa que generamos tras la ingesta alimentaria ha adquirido mucha importancia en la prevención de múltiples enfermedades, ya que los expertos son capaces de predecir el riesgo cardiovascular y/o diabetes con una simple medición de cintura. Por eso, el estudio de la llamada “obesidad abdominal” y de la “adiposidad intra-abdominal” es objeto de análisis pormenorizado, ya que muchas veces es la antesala de la aparición de complicaciones cardio metabólicas como incremento en los niveles de colesterol y triglicéridos; intolerancia a la glucosa, resistencia a la insulina, además de hipertensión arterial, lo que se conoce como “Síndrome Metabólico” (Aguilera, y otros, 2015).

El consumo de los alimentos funcionales es una de las estrategias que puede ser utilizada para disminuir las complicaciones presentes en el síndrome metabólico, la obesidad y la Diabetes Mellitus tipos 2, tales como, hiperlipidemias, hipercolesterolemias, disminución de procesos inflamatorios y modificación de la microbiota intestinal (Azalia, 2014) .

La sociedad está cada día más consiente de la necesidad de combatir enfermedades crónicas no transmisibles, y de la relación entre estas y una adecuada alimentación. La industria alimentaria debe seguir apoyando e incentivando el consumo de nutrientes beneficiosos para la salud, a partir de la creación y promoción de alimentos funcionales, que satisfagan la demanda de los consumidores, que se torna cada día más hacia los productos saludables (Valeria, 2010).

5.2.1. EFECTO FISIOLÓGICOS DE CONSUMO DE AGUACATE

Los estudios realizados hasta ahora sobre el efecto de los ácidos grasos monoinsaturados de la dieta sobre el perfil lipídico han sido limitados. Sin embargo, se han realizado varios estudios sobre el consumo del aguacate y su relación con la salud cardiovascular, así como también se ha llevado a cabo estudios sobre su composición.

Vázquez *et al.* en el 2009, evaluaron la actividad metabólica del consumo de aguacate en comparación con el consumo de aceite de maíz, administrando una dieta en la cual incluía 200 gramos de aguacate diarios en personas a las cuales anteriormente se les habían tomado muestras sanguíneas para la determinación de colesterol total, trigli-

céridos, y colesterol de alta densidad (c-HDL) por 30 días. Pasado el tiempo observaron que el colesterol total disminuyó un 9.2%, los triglicéridos disminuyeron 10.3%, mientras que el colesterol de alta densidad c-HDL aumento un 6.3% (Vazquez Anderson, Cabrera, Lozano , & Gonzalez Inciarte, 2009).

Adicionalmente, García observó que el aguacate como fuente principal de grasas dietéticas, aumenta la cantidad de colesterol de alta densidad c-HDL y reduce los niveles de triglicéridos, contribuyendo a disminuir el riesgo de aterosclerosis, y esto evaluado en una dieta administrada a un grupo de 30 ratas, y realizando estudios séricos pasadas 6 semanas (Hernandez G. , 2005).

5.2.2. EFECTO FISIOLÓGICO DE CONSUMO DE NOPAL

En México, las estructuras reproductivas y vegetativas de los nopales han sido usadas con fines medicinales desde la época precolombina, y extendiéndose a otros países como parte de la medicina alternativa contra la diabetes mellitus tipo 2, aunque también en algunos trabajos publicados, se ha observado efectos en el metabolismo de colesterol y TG.

El nopal contiene grandes cantidades de mucilago que al ponerse en contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada y originando soluciones de gran viscosidad. De acuerdo con Muñoz *et al.*, en su experimento realizado para observar la disminución de lípidos séricos con nopal deshidratado, el nopal reduce significativamente los niveles de colesterol total y triglicéridos en plasma (Muñoz, Díaz, González , Medina, & Cardona , 2014).

Por otro lado, existe controversia en relación a que la ingesta de nopal no afecta los niveles de insulina, ya que se ha reportado que la producción de ácidos grasos de cadena corta (propiónico y acético) durante la fermentación de la fibra (pectina y mucilago del nopal) en el colon es el causante del efecto hipoglucémico, al estimular la secreción de insulina, reduciendo los niveles de glucosa en plasma (Guevara Arauza , 2009).

Fernández *et al.* (1990) Evaluaron el efecto de una pectina aislada de *Opuntia sp*, sobre el metabolismo del colesterol y de las lipoproteínas en cerdos de guinea, quienes tienen niveles altos de lipoproteínas de baja densidad LDL y de lipoproteínas de alta densidad HDL, como en los humanos; y observaron que se producía una disminución del 26% de las concentraciones plasmáticas de colesterol, LDL y HDL (Fernández , Ñine , & McNamara, 1994).

5.2.3. EFECTO FISIOLÓGICO DE LA FIBRA

La fibra soluble por su alta viscosidad enlentece el vaciamiento gástrico y disminuye la velocidad de absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos, además de aumentar el espesor de las capas de agua estacionada a través de la cual los solutos han de difundir para alcanzar la membrana del eritrocito.

Los mecanismos propuestos para explicar los beneficios de la fibra soluble están en relación con su capacidad de limitar la absorción de colesterol intestinal, y con la acción quelante sobre las sales biliares, y con ello interrumpiéndose la circulación entero hepática. Esta situación genera reducción considerable en la tasa de absorción de lípidos y colesterol contenidos en los alimentos, por lo que el hígado tendrá que sintetizar nuevos ácidos biliares a partir del colesterol intracelular provocando la disminución de sus concentraciones plasmáticas. Al estimularse la conversión de colesterol en sales biliares por la enzima 7- α -hidroxilasa, la fibra soluble incrementa la actividad de dicha enzima, disminuyendo las concentraciones intracelulares hepáticas de colesterol libre.

En el intestino grueso la fibra soluble es fermentada y se producen diferentes ácidos grasos de cadena corta, destacando el propionato, que al absorberse en el colon y llegar a la circulación portal inhibe la HMG-Co A reductasa, y con ello disminuyéndose la tasa de síntesis de ácidos grasos, colesterol y lipoproteínas de muy baja densidad VLDL en el hígado, reduciéndose así la síntesis de colesterol, ácidos grasos y VLDL. Estos ácidos biliares formados de colesterol intracelular, por efecto de la fibra soluble, son arrastrados por la fibra y posteriormente excretados fuera del organismo (Muñoz, Díaz, González, Medina, & Cardona, 2014).

5.3. RESUMEN. TABLA NUTRIMENTAL. TORTILLA FUNCIONAL

En las tablas siguientes se muestra el análisis bromatológico de los diferentes componentes de la tortilla funcional que se elabora en este trabajo de investigación. Los datos son teóricos se obtuvieron de la USDA, 2016.

Tabla 7. Ingredientes. 100 g individualmente

	Aguate. %	Nopal. %	Maíz. %
Humedad	72.3	94.2	10.4
Carbohidratos	2.0	1.1	67.0
Fibra	6.8	2.2	7.3
Proteínas	1.9	1.3	9.4

Lípidos	15.4	0.1	4.7
Cenizas	1.6	1.1	1.2

Tabla 8. Vitaminas. 100 g

	Unidad	IDR	Aguacate	Nopal	Maíz
Vitamina A. Retinol	mg	1	0	23	0
Vitamina D. Calciferol	µg	50	0.0	0.0	0
Vitamina E. Tocoferol	mg	10	2.6	0.0	-
Vitamina K. Menadiona	µg	120	-	5.3	-
Vitamina C. Ácido Ascórbico	mg	60	17.4	9.3	0.0
Vitamina B1. Tiamina	mg	1.5	0.02	0.01	0.38
Vitamina B2. Riboflavina	mg	1.7	0.05	0.04	0.20
Vitamina B3. Niacina	mg	20	0.67	0.41	3.63
Vitamina B5. Ácido Pantoténico	mg	5	0.93	0.17	0.42
Vitamina B6. Piridoxina	mg	2	0.08	0.07	0.62
Vitamina B9. Folatos	µg	200	35	3	-
Vitamina B12. Cianocobalamina	µg	2	0.0	0.0	0.0

Tabla 9. Minerales. 100 g

	Unidad	IDR	Aguacate	Nopal	Maíz
Calcio	mg	800	10	164	7
Fósforo	mg	800	40	16	210
Fierro	mg	15	0.17	0.59	2.71
Magnesio	mg	350	24	52	127
Zinc	mg	15	0.40	0.25	2.21
Sodio	mg	500	2	21	35
Potasio	mg	190	351	257	287
Cobre	mg	2	0.31	0.05	0.31
Manganeso	mg	3	0.09	0.46	0.48
Selenio	µg	50	-	0.7	15.5

II. JUSTIFICACIÓN

El síndrome metabólico se conoce como la pandemia de siglo XXI, ya que se han incrementado desmesuradamente los casos a nivel mundial; y como consecuencia se ha observado un incremento en el desarrollo de diabetes mellitus, obesidad, problemas cerebrovasculares, cáncer, y enfermedades cardiovasculares.

Los principales ensayos de prevención desarrollados se han basado en la inducción de cambios en el estilo de vida, modificaciones en la alimentación, realización de actividad física, y algunas veces la administración de fármacos.

En cuanto a cambios en la alimentación que ayuden a prevenir la aparición de diabetes mellitus se propone mantener el índice de masa corporal por debajo de 25 kg/m^2 , realizando algunas modificaciones nutricionales como son una dieta alta en fibra y grasas poliinsaturadas con respecto a las grasas saturadas, disminuir la ingesta de grasas *trans* procedentes de la hidrogenación de ácidos grasos, y limitar la ingesta de alimentos con alto índice glucémico.

En función a lo anterior, se propone desarrollar una tortilla enriquecida con aguacate y nopal deshidratado, y en la que, utilizando las propiedades funcionales de cada uno de ellos, se puedan disminuir algunas de las sintomatologías del síndrome metabólico, avalado con estudios *in vivo* usando ratas como modelo biológico.

III. HIPÓTESIS

La tortilla de maíz enriquecida con aguacate y nopal deshidratado permitirá disminuir algunos síntomas del síndrome metabólico, siendo el alimento básico en un experimento *in vivo* utilizando ratas como modelo biológico.

IV. OBJETIVOS

1. OBJETIVO GENERAL

Desarrollar una tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado como alimento funcional para disminuir algunos indicadores del síndrome metabólico.

2. OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar el valor nutricional de la tortilla de maíz enriquecida con aguacate y nopal deshidratados.
- Diseño de dietas usando una tortilla enriquecida con nopal y aguacate liofilizado y usadas para pruebas en bioterio usando ratas Wistar para disminuir algunas de las afectaciones propias del síndrome metabólico.
- Análisis sanguíneos en muestras de ratas Wistar alimentadas con la tortilla de maíz adicionada con nopal y aguacate en polvo sobre algunos indicadores del síndrome metabólico.
- Analizar lípidos en hígado y heces fecales de los modelos biológicos para evaluar las propiedades de la tortilla funcional en el desecho de lípidos.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

1. MATERIAS PRIMAS

- Harina de nopal. Ésta fue elaborada por la empresa COMERSPRO del Pacífico. México.
- Aguacate Liofilizado. Éste corresponde a la variedad Hass, y fue elaborado por la empresa SioSi de alimentos ubicada en la ciudad de Morelia, Michoacán.
- Maíz Nixtamalizado. Se utilizó masa de maíz ya nixtamalizado y molido de una tortillería de la ciudad de Morelia, Michoacán. Usando esta masa se elaboraron las tortillas de maíz, mezclada con los polvos de nopal y aguacate liofilizado.
- Ingredientes de referencia para dietas en animales de experimentación. Éstas se formularon en base a lo publicado por Reeves en 1993 en el American Institute of Nutrition (Reeves, Philip, Nielsen, Forrest, Fahey, & C. Jr., 1993). Los ingredientes utilizados se muestran en la tabla 5.



Figura 16. Polvo de aguacate liofilizado y polvo de nopal deshidratado.

Tabla 10. Materias primas para la elaboración de Dietas

INGREDIENTE	FUENTE DE
Sacarosa	Se adicionó para mejor el sabor
Almidón	Carbohidratos
Caseína	Proteína
Celulosa	Fibra
Aceite de soya	Lípidos
Mezcla de Minerales AIN-93VX, HARLAN	Minerales
Mezcla de Vitaminas AIN-93VX, HARLAN	Vitaminas
Colesterol al 92.5%. Sigma; Aldrich	Hipercolesterolemia
Aceite de coco puro	Hipercolesterolemia

2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS

Se realizaron análisis bromatológicos del nopal deshidratado, el aguacate liofilizado, y la tortilla elaborada con harina de maíz, y mezclada con los polvos de nopal y aguacate. A continuación, se listan las técnicas utilizadas.

- HUMEDAD: Método oficial del Official Methods of Analysis 2012.
- PROTEÍNAS. Se hizo la determinación con el Método Kjeldhal, y de acuerdo a la NMX-F-608-NORMEX-2011
- LÍPIDOS: Determinación por el método Soxhlet, y de acuerdo a la NMX-F-615-NORMEX-2004
- FIBRA: Determinación de fibra cruda, y de acuerdo a la NMX-F-613-NORMEX-2003.
- CARBOHIDRATOS: Determinados por diferencia.
- CENIZAS: Método de determinación por incineración, y de acuerdo a la NMX-F-607-NORMEX-2013

2.1. FORMULACIÓN DE TORTILLA CON AGUACATE Y NOPAL

Las tortillas fueron elaboradas con masa de maíz nixtamalizado y adicionadas con nopal y aguacate en polvo, y una cantidad de agua para el manejo de la masa. En la tortilla 1 se usó 2.17% de polvo de nopal e igual cantidad de polvo de aguacate. En la tortilla 2 se usó 4.16% de ambos polvos.

Tabla 11. Composición de tortillas a diferente concentración. Gramos

INGREDIENTE	TORTILLA 1	TORTILLA 2
Masa de maíz	100 g	100 g
Aguacate liofilizado	2.5 g	5 g
Nopal Deshidratado	2.5 g	5 g
Agua	10 ml	10 ml

2.1.1. ANÁLISIS SENSORIAL DE LAS TORTILLAS

Se realizó una degustación de las tortillas de aguacate y nopal deshidratado a 20 personas de sexo y edad indistinta. Se realizó una prueba de preferencia simple entre ambas tortillas, y la cual se basaba en escoger cual tortilla era de su preferencia dependiendo de pruebas sensoriales.

La encuesta medía color, olor, sabor y textura, e incluyendo algunas observaciones según la opinión de los comensales encuestados. El objetivo fue seleccionar la mejor opción desde un punto de vista sensorial.

3. ENSAYO BIOLÓGICO

3.1. SELECCIÓN DEL MODELO BIOLÓGICO

Se usaron ratas Wistar adultos jóvenes como material biológico en las pruebas de bioterio para evaluar *in vivo* las propiedades funcionales de la tortilla de maíz con nopal y aguacate en polvos.

Cuando se realizan estudios *in vivo* y que se desean que los resultados de la experiencia deben extrapolarse al hombre, la elección no es tan sencilla. En algunos casos puede ser necesario el uso de más de una especie, en una secuencia lógica, avanzando en el proyecto si los resultados son satisfactorios en la primera etapa. En este tipo de estructura de trabajo el ratón, la rata y otros pequeños roedores son útiles en ensayos preliminares (A. Gullace & D. Caturini, 2013).

El animal de laboratorio es cualquier especie animal que se mantiene bajo condiciones determinadas y se utiliza con fines científicos. El reactivo biológico es un animal estandarizado, lo que significa que tiene una composición genético sanitario definido, son criados y mantenidos en ambientes controlados que cumplen con los requerimientos específicos para cada especie, los cuales garantizan, además el bienestar del animal (Hernandez, 2009).

3.2. MANEJO DE ANIMALES DE EXPERIMENTACIÓN

En el ensayo biológico se utilizaron 12 ratas machos proporcionados por el Bioterio de la Facultad de Ciencias de la UNAM Campus Querétaro, Querétaro, México.

Las ratas se mantuvieron en un periodo de adaptación por 7 días, y dándoles alimento comercial Chow 5001. Posteriormente, se colocaron en jaulas metabólicas individuales, en un ambiente aislado de ruido y controlado para evitar un estado de estrés, Bioterio, y ubicado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. La temperatura fue de $25^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, y una humedad ambiental entre 40 y 50 %, y con ciclos de luz y oscuridad por 12 horas.

Los animales fueron pesados al inicio y al término del periodo de experimentación. Los animales se distribuyeron de menor a mayor peso y fueron asignados a cada uno de los lotes de experimentación para que al final cada lote experimental tuviera el mis-

mo peso como bloque de prueba. El peso promedio de animales en cada grupo de prueba al iniciar el periodo de experimentación fue de 449.4 gramos.

Se dividieron en tres lotes distintos de cuatro animales cada lote, y se alimentaron durante 21 días, y de acuerdo a cada una de las dietas experimentales, y suministrando agua *ad libitum*, y manteniendo las condiciones ambientales necesarias. El consumo total del alimento se determinó por lote después de los 21 días de experimentación.



Figura 17. Peso Corporal de los Animales por Lote.



Figura 18. Jaulas metabólicas: animales en condiciones ambientales necesarias.

4. FORMULACIÓN DE DIETAS

Se formularon tres dietas experimentales de acuerdo a lo establecido por la AIN-93 para animales adultos en mantenimiento. Se les adicionó una cierta cantidad de sacarosa para que fueran más agradables sensorialmente, y no nutritivamente.

Las dietas quedaron compuestas de la siguiente manera:

- ❖ DR: Dieta Referencia establecida por la AIN-93. Esta corresponde a una dieta estándar para animales sanos.
- ❖ DC: Dieta Control positivo. Dieta adicionada con 1.5% de colesterol y un 10% de aceite de coco con respecto a la dieta DR. Esta tiene como objetivo generar un rápido aumento de lípidos e inducir cuadros de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia, respectivamente.
- ❖ DTAN: Dieta de Tortilla de Aguacate y Nopal deshidratado. Esta dieta incluye la tortilla funcional (maíz-nopal-aguacate) y 1.5% de colesterol y 10% de aceite de coco para inducir los cuadros de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia. Se agregaron 713 gramos de la tortilla y ajustando los nutrientes para obtener 1 kg de muestra. El ajuste de nutrientes fue para equiparar en la medida de lo posible a la dieta de Control Positivo.

El cálculo de los 713 gramos de tortilla se basó en la concentración de lípidos de la tortilla funcional, y de manera tal que fuera equivalente a los lípidos de la dieta DC, es decir, se sustituyeron los lípidos de la dieta DC por los lípidos de la tortilla funcional. Los otros macro y micro nutrientes se ajustaron para que fueran equivalentes a la dieta DC.

Tabla 12. Formulación dietas experimentales. g.

INGREDIENTES	FUENTE	DIETA DR (Dieta de Referencia)	DIETA DC (Dieta de Control)	DIETA DTAN (Dieta de tortilla con aguacate y nopal)
Almidón	Carbohidratos	665	550	0
Sacarosa	-	100	100	61
Caseína	Proteínas	100	100	77
Celulosa	Fibra	50	50	0
Aceite de soya	Lípidos	40	40	0
Minerales	Minerales	35	35	24
Vitaminas	Vitaminas	10	10	10
Colesterol	-	0	15	15

Aceite de coco	-	0	100	100
Tortilla Funcional	-	0	0	713
TOTAL		1000	1000	1000

4.1. CONSUMO DEL ALIMENTO

El consumo del alimento se midió durante los 21 días del experimento biológico. Consistió en determinar el peso de la dieta administrada en gramos (50 gramos) y restando los gramos de la dieta sobrante, antes de volver a colocar el nuevo alimento, y poder así determinar el alimento consumido por los animales en un día. También se pesó el alimento que los animales tiraron durante todo un día para poder saber realmente cuanto era lo que estaban consumiendo.

5. SACRIFICIO Y OBTENCIÓN DE MUESTRAS BIOLÓGICAS

Una semana antes del sacrificio se hizo la recolección de heces fecales de las ratas para posteriormente realizarles los debidos análisis.

Una noche anterior al sacrificio se les retiró el alimento y el agua. Este ayuno prolongado se realiza para vaciar el estómago de las ratas, y con el fin de prevenir la regurgitación o aspiración del contenido gástrico. El sacrificio se llevó a cabo 21 días después de mantenerlas en experimentación. El sacrificio se realizó por dislocación cervical, y basándonos en la Norma Oficial Mexicana NOM-062-ZOO-1999 que dice “La dislocación cervical manual ejecutada apropiadamente induce inconsciencia rápidamente, y se aplica porque no contamina los tejidos con otras sustancias químicas”.

Se extrajo la sangre por punción cardiaca y el hígado de tres ejemplares de cada lote.

Las muestras se obtuvieron en tubos amarillos para química sanguínea. Se dejaron coagular y se centrifugaron a 4000 rpm durante 15 minutos, se almacenaron a 4°C para posteriormente mandarla al Centro de Diagnóstico Microbiológico CEDIMI, y que ellos realizaran diversas pruebas. Estas consistieron en una química sanguínea, donde se evaluó los niveles de glucosa, urea, creatinina y el perfil lipídico (colesterol total, triglicéridos, colesterol HDL y colesterol LDL.).

Las muestras de los hígados se pesaron, se lavaron, se trituraron y se pusieron a secar para sus posteriores análisis. Por otro lado, las heces fecales se retiraron una se-

mana antes del sacrificio de los modelos biológicos. El día del sacrificio de los se realizaron análisis de determinación de humedad, así como de determinación de lípidos.

6. DETERMINACIÓN DE PARÁMETROS SANGUÍNEOS

Se obtuvieron los sueros de cada una de las ratas de las diferentes dietas experimentales: dieta de referencia (DR), dieta control (DC), y dieta con la tortilla de aguacate y nopal deshidratado (DTAN). Se realizaron las determinaciones cuantitativas de Glucosa (Glu), Urea, Creatinina (Cre), Colesterol Total (CT), Colesterol HDL, Colesterol LDL, y Triglicéridos (TG). La determinación cuantitativa de esta química sanguínea se llevó a cabo en los Laboratorios CEDIMI, Centro de Diagnóstico Microbiológicos, ubicados en la ciudad de Morelia, Michoacán.

7. DETERMINACIÓN DE PARAMETROS HISTOLÓGICOS

Además de la química sanguínea se determinó la humedad en heces fecales, grasas en heces fecales, y contenido de grasas en hígado. Se analizaron 3 animales del lote de 4 animales de experimentación.

- Determinación de humedad en heces. Se pesaron las heces recolectadas y se les realizó la determinación de humedad por el método de secado en estufa y calculando por diferencia de pesos. Esto se realizó después del sacrificio de modelos biológicos.
- Determinación de grasa en heces. Después del secado para determinación de humedad, las muestras fueron analizadas para la determinación de extracto etéreo por el método Soxhlet. Esto para evaluar si hubo o no una expresión de lípidos. a mayor concentración de lípidos en heces, menor absorción de los mismos metabólicamente; lo cual favorece una disminución en los síntomas del Síndrome Metabólico.
- Determinación de grasa en hígado. Los hígados una vez extraídos se pesaron y se metieron al horno durante 12 horas, pasado el tiempo se hizo determinación de extracto etéreo por el método Soxhlet. Esto se realizó para verificar que los lípidos no estaban siendo absorbidos por el hígado, y evitando con ello un hígado graso.

8. COEFICIENTE DE CORRELACIÓN DE PEARSON

El coeficiente de Pearson nos permite validar si una serie de datos son estadísticamente representativos. Este coeficiente va de 0 a 100, y mayor homogeneización en los datos, mayor coeficiente de Pearson.

$$\text{Pearson} = 100 - \left(\frac{\text{Desviación Estándar}}{\text{Media}} \times 100 \right)$$

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

1. COMPOSICIÓN QUÍMICA

Se realiza el análisis proximal en las muestras de aguacate en polvo, nopal en polvo, y tortillas funcionales.

1.1. AGUACATE LIOFILIZADO

El aguacate liofilizado fue proporcionado por la empresa SioSi Alimentos, y se comparó con información bibliográfica de aguacate fresco, pero cabe señalar que el análisis bibliográfico corresponde a las variedades California y Florida, y la del aguacate liofilizado corresponde a la variedad Hass. (Tabla 9)

Se observa una variación en el porcentaje de lípidos, y en donde el polvo SioSi presenta un 10% más lípidos contra el valor de bibliografía; pero hay que considerar que éste llega a cambiar dependiendo de la temporada de cosecha y la variedad del mismo. Lógicamente al variar éste, varían los porcentajes de los otros nutrientes.

Tabla 13. Análisis Bromatológico Aguacate

Nutriente	Bibliografía Base Húmeda (%)	Bibliografía en Ba- se Seca (%)	Experimental Liofilizado SioSi (%)
Humedad	73.2	-	0.1
Proteína	2.0	7.5	3.9
Lípidos	14.7	54.9	60.4
Carbohidratos	1.8	6.7	9.1
Fibra dietética	6.7	25.0	19.4
Cenizas	1.6	6.0	7.1
TOTAL	100	100	100

1.2. POLVO DE NOPAL

El análisis bromatológico del polvo de nopal se presenta en la tabla 10 y comparado con una fuente bibliográfica (USDA, 2016). Se puede observar que los análisis en base seca son muy similares. La diferencia varía básicamente en el contenido de carbohidratos, siendo el polvo que nosotros utilizamos un poco más alto que lo reportado en bibliografía.

Tabla 14. Análisis bromatológico de nopal

Nutriente	Bibliografía Base Húmeda (%)	Bibliografía Base Seca (%)	Polvo de Nopal Base Húmeda (%)	Polvo de Nopal Base Seca (%)
Humedad	94.4	-	6.8	-
Proteína	1.3	23.5	20.9	22.4
Lípidos	0.1	1.6	1.4	1.5
Carbohidratos	0.9	15.5	17.9	19.2
Fibra dietética	2.2	39.1	34.9	37.4
Cenizas	1.1	20.3	18.1	19.4
TOTAL	100	100	100	100

2. FORMULACIÓN DE TORTILLA FUNCIONAL

Se formuló una tortilla funcional empleando masa de maíz adicionada con los polvos de nopal y aguacate; este último liofilizado. Se realizaron dos totillas a diferentes concentraciones: la primera utilizado 100 gramos de masa de maíz y 5 gramos de aguacate y 5 gramos de nopal deshidratado; y la segunda tortilla se elaboró con 100 gramos de masa de maíz y 2.5 gramos polvo de aguacate y 2.5 g de nopal deshidratado. A ambas masas se les adicionaron 10 mL de agua para su incorporación.

Se observó que ambas tortillas pasando los días toman un aspecto quebradizo y arenoso, así como un color un poco más oscuro (café) por la oxidación del aguacate.



Figura 19. Tortilla de Maíz adicionada con Aguacate y Nopal Deshidratado.

2.1. DEGUSTACIÓN DE TORTILLAS FUNCIONALES

Se realizaron pruebas de degustación a las dos tortillas a 20 personas, realizando una encuesta en la que se valoraba el sabor, color, olor y textura. Por los resultados obtenidos en la encuesta, se seleccionó la tortilla de 2.5 g de aguacate y 2.5 g de nopal en 100 gramos de masa de maíz, y 10 mL de agua; equivalente 95.2% de masa de maíz nixtamalizado, 2.4% de polvo de nopal, 2.4% de polvo de aguacate.

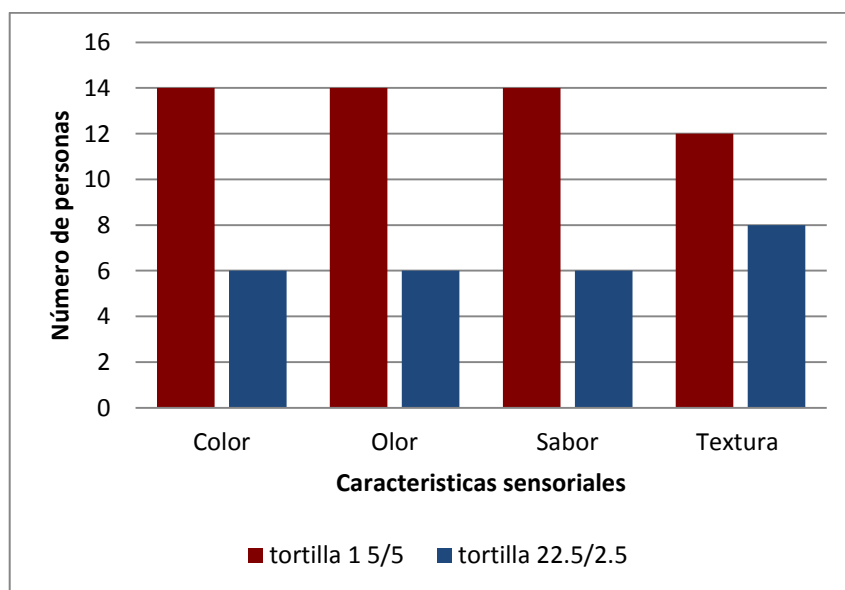


Figura 20. Comparación de la aceptación de las tortillas.

La figura 20 nos muestra claramente una preferencia por la tortilla que contiene 2.5 gramos tanto de nopal como de aguacate liofilizado (tortilla 1); esto debido a que los comensales sintieron la tortilla de 5 gramos de cada uno de estos componentes menos atractiva al paladar. Nos hicieron la observación de que la tortilla 2 era más amarga, quebradiza y con aroma a tierra.

2.2. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO TORTILLA FUNCIONAL

Ya seleccionada la tortilla funcional, 2.5 g, se le realizó un análisis bromatológico, y se comparó con datos bibliográficos para una tortilla normal de maíz. Analizando los resultados en base seca se observa un incremento tanto en fibra como en lípidos, debido al aporte de fibra del polvo de nopal y los lípidos del aguacate liofilizado. Sin embargo, hay una disminución en los valores de proteína. Los resultados se presentan en la Tabla 15.

Tabla 15. Análisis Bromatológico de Tortilla de Aguacate y Nopal Deshidratado. %

PARÁMETROS	TEÓRICO BH*	REAL BH	TEÓRICO BS	REAL BS
Humedad	45.9	42.8	-	-
Carbohidratos	38.3	39.6	70.8	69.2
Fibra	6.3	7.3	11.6	12.8
Proteínas	5.7	3.2	10.5	5.6
Lípidos	2.9	5.6	5.4	9.8
Cenizas	0.9	1.5	1.7	2.6

* USDA National Nutrient Database for Standard Reference Release (2015).
Esta corresponde a una tortilla normal a base de harina de maíz.

3. ENSAYO BIOLÓGICO

3.1. COMPOSICIÓN FINAL DE LAS DIETAS

En la siguiente tabla se muestra la composición de las diferentes dietas de experimentación, y en donde (DR) es la dieta de referencia, (DC) la dieta control, y (DTAN) la dieta de experimentación (totilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado). La dieta control y la DTAN llevan aceite de coco y colesterol para inducir el cuadro de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia.

Tabla 16. Composición final de las dietas (%)

INGREDIENTES	Dieta DR	Dieta DC	Dieta DTAN
Carbohidratos	66.5	55.0	-
Sacarosa	10.0	10.0	6.1
Proteínas	10.0	10.0	7.7
Fibra	5.0	5.0	-
Lípidos	4.0	4.0	-
Minerales	3.5	3.5	2.4
Vitaminas	1.0	1.0	1.0
Colesterol	-	1.5	1.5
Triglicéridos	-	10.0	10.0
Tortilla Funcional	-	-	71.3
TOTAL	100	100	100

La dieta de referencia (DR) se hizo en base a lo establecido en “Components of the AIN-93 Diets as Improvements in the AIN-76^a Diet”, donde se señala la dieta adecuada para animales de bioterio tipo roedores, y donde nos recomienda un porcentaje de grasa del 4%. Basándonos en ésta se formula la dieta control (DC), en donde se agregaron colesterol y triglicéridos, usando como fuente el aceite de coco.

Por otro lado, la dieta de experimentación con la tortilla funcional se formuló en base al contenido de lípidos; es decir, se agregó una cantidad de la tortilla para que su aporte de lípidos fuera igual a la dieta DC, y cuyo valor fue de 4%, y que equivalió a usar 71.3 g de tortilla por 100 g de dieta. Los demás nutrientes se ajustaron para que fueran lo

más parecido a la dieta DC, y que implicó agregar 7.7 g de proteínas (caseínas), y 2.4 de minerales. A esta dieta también se le agregó aceite de coco y colesterol y con el fin de observar la funcionalidad de la tortilla.

A todas las dietas se le agregó sacarosa para potenciar el sabor y que fueran más apetitosas para los animales en estudio. . Cabe señalar que parte del estudio contempló los niveles de glucosa en sangre, pero a todas las dietas, experimentales y controles, se les agregó la sacarosa.



Figura 21. Aspecto visual de las dietas.

3.2. CONSUMO DE ALIMENTO

El consumo de alimento se determinó calculando el total de alimento consumido por cada animal en cada uno de los grupos y obteniendo el promedio. Dichos resultados se observan en la tabla 17. El experimento duró 28 días, y durante los primeros 7 días se les dio a todos los animales una dieta estándar de referencia, y después de los 7 días se les dieron las dietas experimentales.

Los resultados nos muestran que las dietas de referencia DR y la dieta control DC no presentan diferencia, no obstante, se hay diferencia con la dieta a base de la tortilla, DTAN, y mostrando un consumo mayor, 37% más. Esto probablemente se deba al sabor y la textura que tiene la dieta a base tortilla.

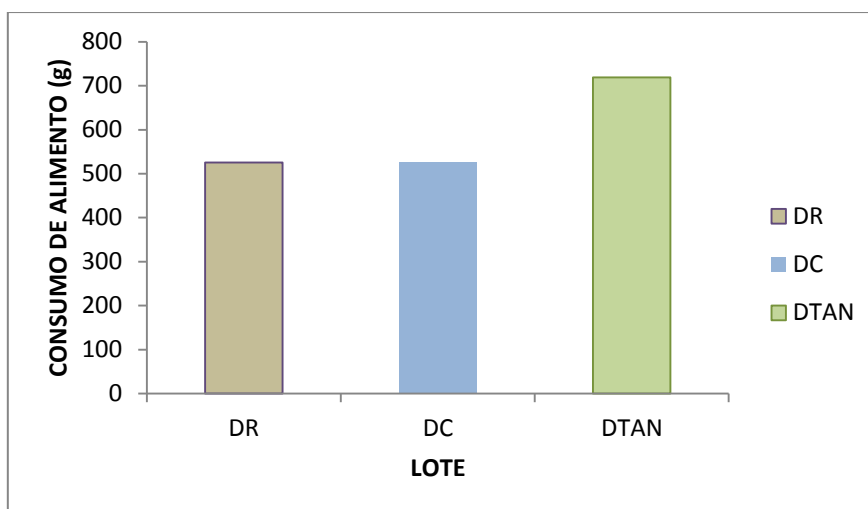


Figura 22. Consumo Promedio de Alimento en los tres Lotes

3.3. GANANCIA DE PESO

Se realizó la medición de peso de los modelos biológicos al inicio de la investigación y al final del mismo. Por otro lado, la distribución uniforme por lotes de acuerdo al peso pudo comprobarse por medio de un análisis estadístico, y no se encontró diferencia significativa dentro de los pesos de los animales al inicio de la experimentación.

Al final del experimento se pudo observar que en los tres lotes de las diferentes dietas existe un incremento de peso (figura 17). Sin embargo, en el lote de tortilla de aguacate y nopal deshidratado se observa con claridad que el incremento de peso fue mayor. El incremento en la dieta DR fue de 13.4%, en la DC de 18.4%, y en la DTAN de 21.2%. Asimismo, hay un aumento de peso de la dieta DC con respecto a la dieta DR de 1.6%, y la DTAN de 4.4%.

Se observaron valores altos de Pearson, considerando que el valor máximo es de 100%. Esto implica que el experimento es altamente representativo.

Tabla 17. Ganancia y Pérdida de Peso. Gramos

Dieta	Rata	Peso Inicial	Peso Final
DR	R1	445.0	502.0
	R2	452.0	500.0
	R3	474.0	552.5
	Media	457.0	518.2
	Desviación	15.1	29.8
	Pearson	96.7	94.3

DC	R1	414.0	501.1
	R2	446.0	524.1
	R3	474.0	554
	Media	444.7	526.4
	Desviación	30.0	26.5
	Pearson	93.2	95.0
DTAN	R1	410.0	468.0
	R2	448.0	546.5
	R3	482.0	609.0
	Media	446.6	541.2
	Desviación	36.0	70.7
	Pearson	91.9	86.9

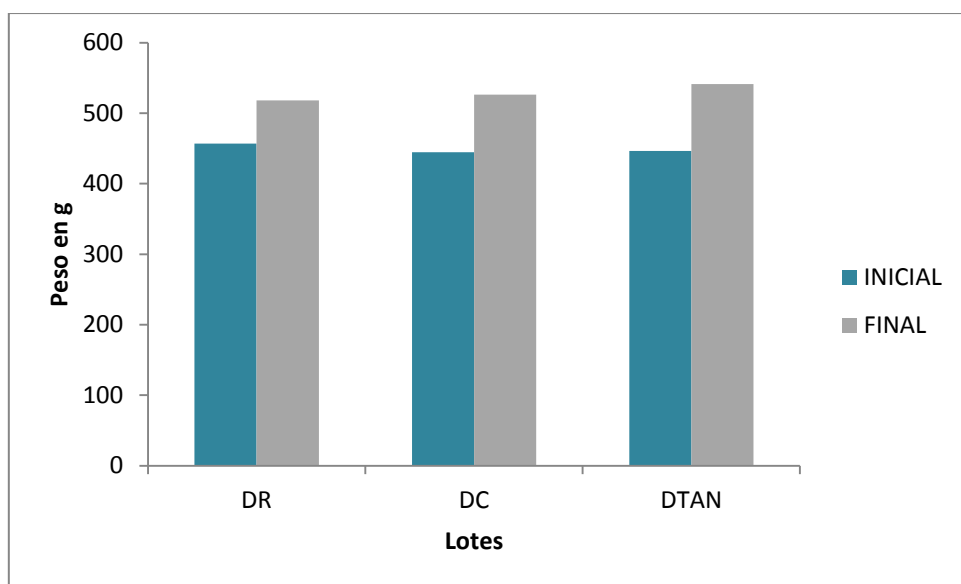


Figura 23. Comparación de Peso inicial y Peso final de Animales por Lote

4. DETERMINACIONES SANGUÍNEAS

Se realizaron determinaciones sanguíneas en los animales para evaluar las propiedades funcionales de nuestro desarrollo nutritivo

Estos se estudiaron para ver si la tortilla adicionada con aguacate y nopal deshidratado servía como alimento funcional para disminuir los niveles de colesterol, triglicéridos y glucosa y aumentar los niveles de colesterol de alta densidad, así como observar la

influencia que tiene sobre la urea y creatinina; y tomando de referencia los resultados de las dietas de control y referencia.

4.1. ANÁLISIS DE LÍPIDOS

En la tabla siguiente se muestra el análisis sanguíneo de lípidos. mg/dL

Tabla 18. Análisis Lípidos Sanguíneos

Dieta	Rata	Colesterol Total (mg/dL)	Colesterol HDL (mg/dL)	Colesterol LDL (mg/dL)	Triglicéridos (mg/dL)
DR	R1	49.4	44.4	6.0	112.7
	R2	54.5	32.7	2.0	144.3
	R3	52.0	35.5	7.0	107.2
	Media	52.0	37.5	5.0	121.4
	Desviación	2.6	6.1	2.6	20.0
	Pearson	95.1	83.7	47.1	83.5
DC	R1	89.3	34.8	38.0	261.7
	R2	74.1	38.5	32.0	195.4
	R3	92.1	35.8	63.0	198.4
	Media	85.2	36.4	44.3	218.5
	Desviación	9.7	1.9	16.4	37.4
	Pearson	88.6	94.7	62.9	82.9
DTAN	R1	60.5	33.7	16.0	128.7
	R2	68.2	31.3	10.0	140.3
	R3	60.8	36.8	10.0	184.8
	Media	63.2	33.9	12.0	151.3
	Desviación	4.4	2.8	3.5	29.6
	Pearson	93.1	91.9	71.1	80.4

Con los datos obtenidos, se comprobó satisfactoriamente que se indujo el cuadro de hipercolesterolemia e hipertrigliceridemia en la dieta control (DC) con respecto a la dieta de referencia. Hay un aumento 64%% de colesterol, 787% de colesterol LDL, 80% de triglicéridos; y una disminución de colesterol HDL de 3.1%.

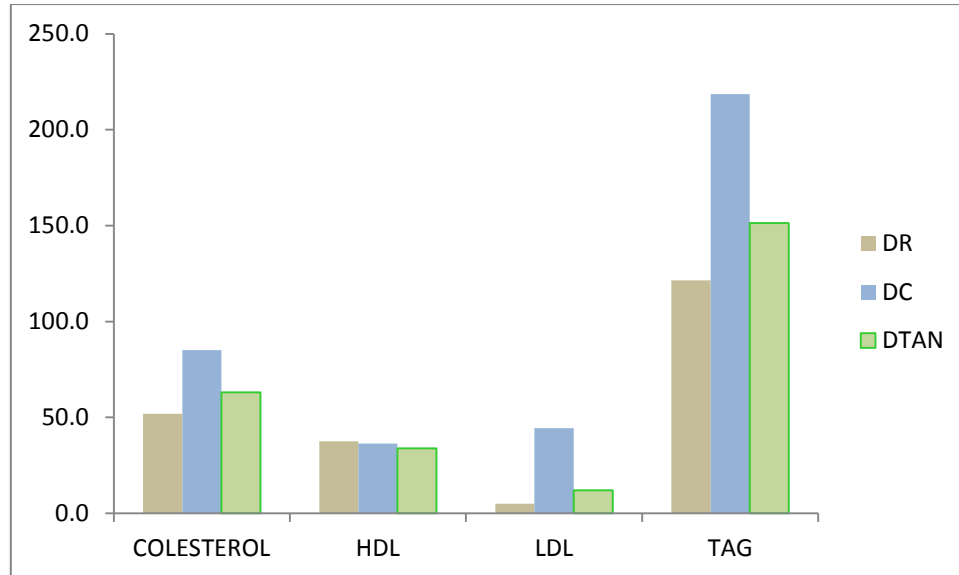


Figura 24. Comprobación del Modelo Biológico.

En la misma tabla se observan los cambios en lípidos entre la dieta control, DC, y la dieta con la tortilla funcional DTAN, elaborada con los polvos de aguacate y nopal. En colesterol total existió una disminución del 26% entre la dieta DC y la dieta DTAN. El Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio (Leon Goñi , y otros, 2011) nos dice que los valores de colesterol total se encuentran entre 40.3-84.7 mg/dL, por tanto, se observa que, a pesar del aumento en la DC, la tortilla de aguacate y nopal deshidratado tuvo mucha influencia sobre el descenso en la concentración de colesterol con respecto a la DC.

Los mismo ocurre con los triglicéridos, donde se observa una disminución del 31% entre los valores obtenidos en la DC con respecto a la DTAN; y con un parámetro dentro de los rangos normales que son 44.8-119.2 de acuerdo a El Centro Nacional para la Producción de animales de Laboratorio (Leon Goñi , y otros, 2011).

En las lipoproteínas LDL, también se observa una gran disminución del 73%. Por otro lado, no se observaron cambios significativos en lipoproteínas tipo HDL.

Alvizouri realizó un estudio con conejos, donde media el efecto del aceite de aguacate y observó que en humanos induce el descenso de colesterol total, de baja densidad (LDL) y triglicéridos y eleva el colesterol de alta densidad (HDL), lo que nos hace comprobar el efecto benéfico del aguacate (Alvizouri Muñoz & Rodríguez Barron , 2009).

Se puede decir entonces, que tanto el aguacate liofilizado como el nopal deshidratado tienen una alta cantidad de fibra (soluble e insoluble), así como ácidos grasos poliinsaturados en el aguacate liofilizado, y esto favorece la disminución del colesterol y los triglicéridos sanguíneos. La fibra también aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos (Montoya, 2012).

4.2. ASPECTOS HISTOLÓGICOS

También se evaluó la concentración de humedad y lípidos en heces. Así mismo, se evaluó la concentración de los lípidos en hígado.

Tabla 19. Otros parámetros sanguíneos. mg/dL

Dieta	Rata	Glucosa (mg/dL)	Urea (mg/dL)	Creatinina (mg/dL)
DR	R1	156.3	34.7	0.6
	R2	157.0	37.1	0.7
	R3	174.8	38.0	0.7
	Media	162.7	36.6	0.7
	Desviación	10.5	1.7	0.1
	Pearson	93.6	95.3	91.3
DC	R1	169.8	35.5	0.7
	R2	161.0	32.1	0.7
	R3	160.5	34.9	0.7
	Media	163.8	34.2	0.7
	Desviación	5.2	1.8	0.0
	Pearson	96.8	94.7	100
DTAN	R1	140.0	34.5	0.6
	R2	119.9	37.0	0.5
	R3	120.3	37.4	0.5
	Media	126.7	36.3	0.5
	Desviación	11.5	1.6	0.1
	Pearson	90.9	95.7	89.2

No se observaron cambios significativos en estos tres parámetros en la DC respecto a la DR. Esto debido a que no se indujo un cuadro de hiperglucemia. Por otro lado, la DTAN mostró grandes beneficios. Ésta disminuyó las concentraciones de glucosa en 23%, cabe mencionar que se encuentra hasta por debajo de los niveles obtenidos en la DR, por lo que nos lleva a pensar en el gran beneficio hipoglucémico de este alimento

funcional. Se observa un aumento del 6.2% en urea, y un descenso del 24% en las concentraciones de creatinina.

La disminución en glucosa posiblemente fue debido a que el nopal tiene un efecto hipoglucemiante, ya que incrementa los niveles de insulina, logrando estabilizar la cantidad de glucosa en sangre. El consumo de la tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado tiene un efecto positivo en la disminución de glucosa en sangre, aun en pacientes que llevan una dieta balanceada. Los resultados obtenidos en este proyecto respecto a la glucosa, urea y creatinina, se encuentran dentro de los parámetros normales en la dieta control en relación con los resultados del experimento realizado por El Centro Nacional para la Producción de Animales de Laboratorio- (Leon Goñi , y otros, 2011) en ratas. Donde nos dice que los parámetros normales de concentración de glucosa en ratas machos adultos es de 58.0- 160.2 y en concentraciones de urea es de 31.6-52.6.

Los niveles de urea y creatinina se encuentran totalmente dentro de los valores normales. Estos dos parámetros se midieron con el fin de evaluar que influencia tiene la dieta de tortilla de aguacate y nopal deshidratado sobre las proteínas, si existiera un aumento y por consecuencia tener una idea del efecto que tiene a nivel renal. Sin embargo, la disminución de la creatinina en la dieta de tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado es 24%.

Basurto et al dice que en un estudio realizado por el Departamento de Especialidades del Centro Medico "la Raza" IMSS, donde se utilizó nopal asado a sujetos obesos y diabéticos tipo 2, la administración de nopal 20 minutos antes de los alimentos tres veces al día durante 10 días, produce disminución significativa en el colesterol total, en los triglicéridos, en el peso corporal de los sujetos obesos y en la glucemia de los sujetos diabéticos. Con esto los autores proponen que los efectos observados con el nopal, se deben a su contenido de fibra (Basurto Santos , Lorenzana- Jimenez, & Magos Guerrero , 2007).

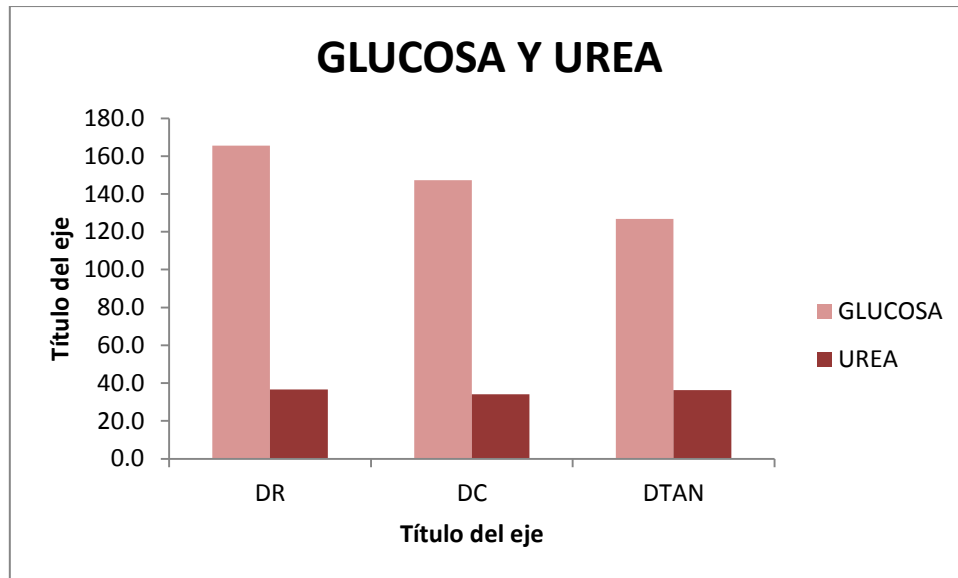


Figura 25. Determinaciones Sanguíneas (Glucosa y Urea)

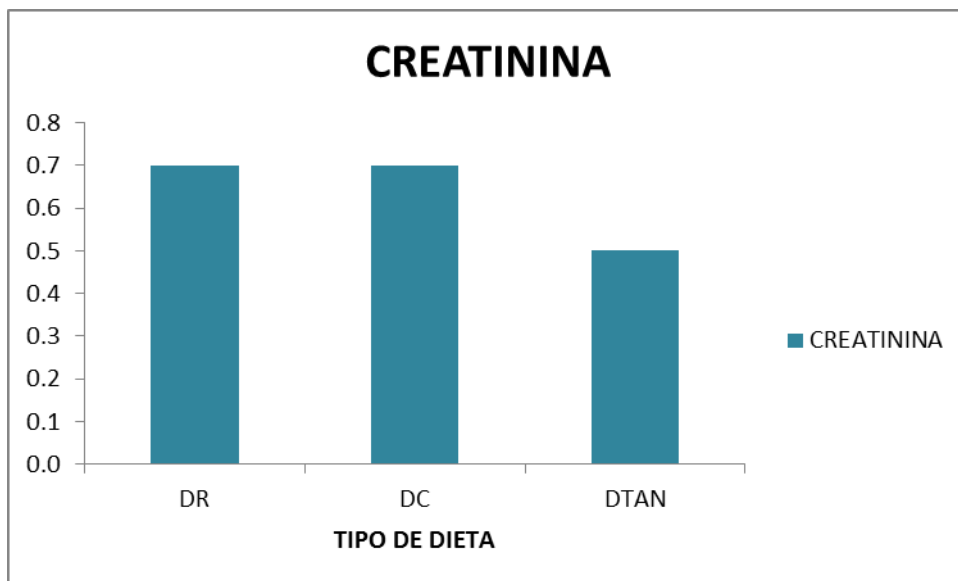


Figura 26. Determinación de creatinina.

5. LÍPIDOS Y HUMEDAD EN HECES E HÍGADO

También se evaluó la concentración de lípidos en heces. A mayor concentración, mayor excreción de los mismos. Así mismo, se evaluó la concentración de los lípidos en hígado. Lo ideal es que haya poca cantidad de lípidos en el mismo. También se evaluó la humedad en heces. A continuación, se presentan dichos resultados.

Tabla 20. Lípidos y Humedad en Heces Fecales e Hígado.

Dieta	Rata	% Lípidos en Hígado	% Lípidos en Heces	% Humedad en Heces
DR	R1	14.6	1.7	13.3
	R2	13.5	1.6	13.7
	R3	14.1	1.8	13.5
	Media	14.1	1.7	13.5
	Desviación	0.6	0.1	0.2
	Pearson	96.1	94.1	98.5
DC	R1	44.9	18.3	9.6
	R2	44.6	17.8	11.9
	R3	46.5	17.3	10.6
	Media	45.3	17.8	10.7
	Desviación	1.00	0.5	1.2
	Pearson	97.7	97.2	89.2
DTAN	R1	40.7	27.7	44.3
	R2	40.6	28.2	47.4
	R3	40.6	27.5	40.4
	Media	40.6	27.8	44.0
	Desviación	0.1	0.4	3.5
	Pearson	99.9	98.7	92.0

5.1. DETERMINACIONES EN HÍGADO

Se extrajeron y pesaron los hígados de los tres lotes, y se determinó la cantidad de lípidos que contenían. Los resultados se muestran en la tabla 18.

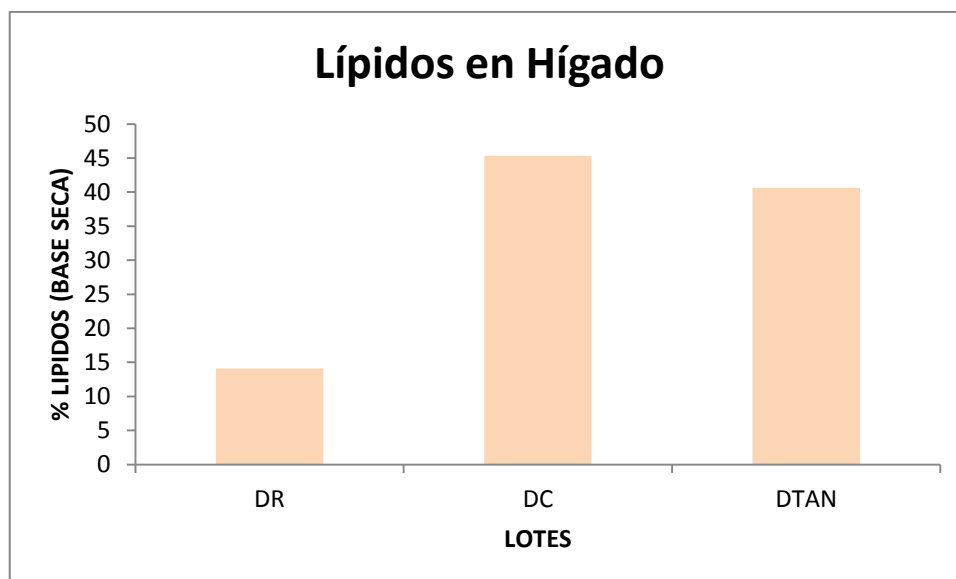


Figura 27. Porcentaje de Grasa en Hígados por Lotes

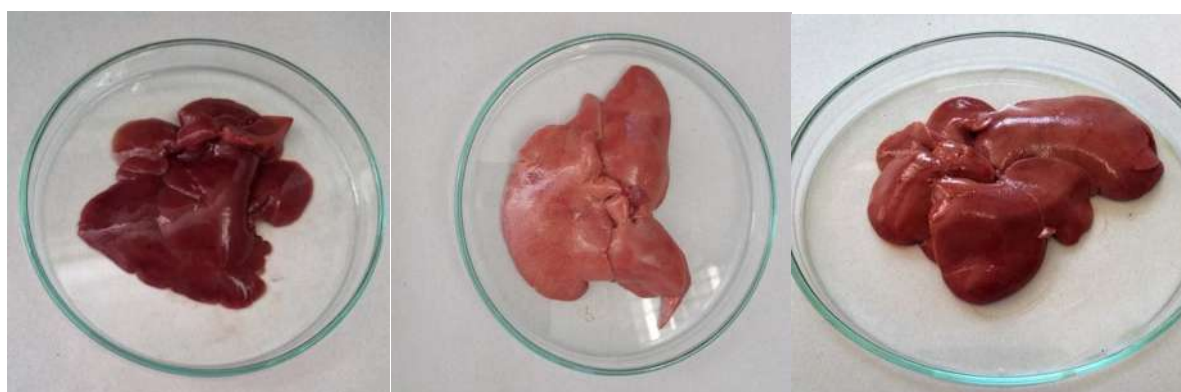
En la figura 26 se puede observar claramente un aumento del 222% de lípidos entre la DR y la DC, debido a la hipercolesterolemia inducida. Por otro lado, se observa una disminución entre la dieta control y la dieta con la tortilla. El hígado pierde cerca del 10%. Esto implica que la dieta de tortilla evita la acumulación de lípidos en hígado. Esto muestra que además de que la dieta con la tortilla funcional DTAN, tiene un efecto positivo en los niveles de colesterol y triglicéridos séricos, también favorece el metabolismo de la grasa a nivel hepático, evitando que los lípidos se acumulen en este órgano.

Esto resulta de gran importancia ya que el hígado graso se caracteriza por la acumulación excesiva de lípidos en los hepatocitos, y esta patología, a su vez, puede desencadenar una serie de procesos inflamatorios en el hígado, que ponen en riesgo la fisiología hepática (Montoya, 2012). Por lo que se podría recomendar ampliamente el uso de la tortilla de aguacate y nopal deshidratado en pacientes que padecen hígado graso, ya que no favorecen la acumulación de grasa en este órgano.

El aspecto de los hígados de cada uno de los lotes puede observarse en la Figura 27. El lote de la dieta de referencia DR donde se consumió una dieta libre de colesterol

y triglicéridos presenta un color rojo brillante, característico de un hígado sano. Mientras que en el lote de dieta control DC donde se administró una dieta elevada en colesterol y triglicéridos se puede observar un hígado blanquecino y más brillante que el hígado normal. Y el hígado que tuvo el consumo de la tortilla de aguacate y nopal deshidratado, no es igual al de la dieta de referencia DR, pero tampoco es similar a dieta control DC, por tanto, muestra una disminución significativa de grasa en comparación con dieta control DC.

Con esto podemos reafirmar que el consumo de este alimento funcional puede beneficiar la disminución de grasa en este órgano, a pesar de llevar una dieta alta en colesterol o triglicéridos, no obstante, este no ayuda a que el órgano regrese a su estado original.



DR

DC

DTAN

Figura 28. Comparación del Aspecto de los Hígados

5.2. DETERMINACIONES EN HECES

Se realizaron determinaciones de humedad y lípidos en heces fecales, y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 18. Se puede observar que las heces de los animales que consumieron la dieta DTAN tiene un mayor nivel de humedad en comparación con la dieta de referencia DR y la dieta control DC y esto relacionado a su efecto fisiológico por su alto nivel de fibra.

El alto contenido de fibra que se encuentra tanto en el aguacate como en el nopal tienen como beneficio ayudar a detener el agua en su matriz estructural formando mez-

clas de baja viscosidad; y esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal y estimula más rápidamente las evacuaciones (Montoya, 2012).

La figura 28 muestra un aumento considerable del 312% en la humedad de las heces fecales. La dieta control presenta una humedad del 9.6% y la dieta de la tortilla de 44.3%; y esto debido a que la tortilla de aguacate y nopal deshidratado tiene un alto porcentaje de fibra gracias a sus componentes y esto favorece la expulsión de heces fecales más húmedas.

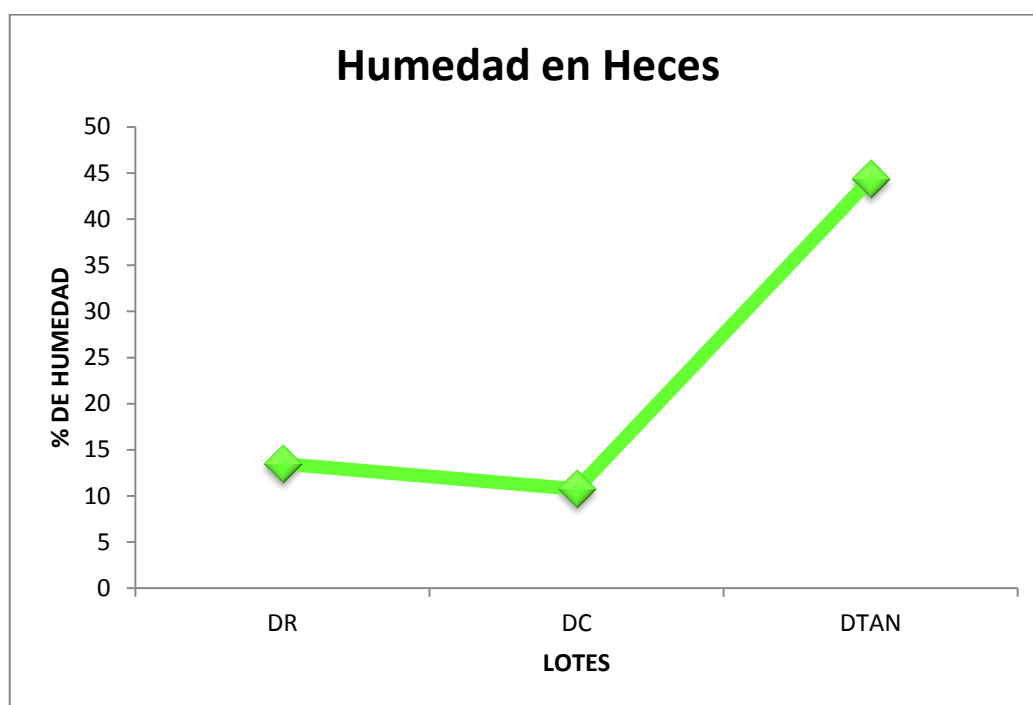


Figura 29. Porcentaje de Humedad en Heces fecales.

Los resultados obtenidos respecto a la determinación de lípidos en heces fueron también muy favorables para el lote que consumió la tortilla de aguacate y nopal deshidratado. Se puede observar un aumento del 56% en la dieta de la tortilla de aguacate y nopal deshidratado con respecto a la dieta control, y un 947% en la dieta control con respecto a la dieta de referencia.

Esto debido a la presencia de fibra soluble, tanto del aguacate como del nopal, ya que tienen la capacidad de entrar en contacto con el agua formando un retículo, y originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de las acciones sobre el metabolismo lipídico, ya que pueden

atrapar moléculas de lípidos y colesterol en su estructura, evitando así su absorción y favoreciendo la excreción por las heces de las grasas que quedan atrapadas en la estructura viscosa y también a las grasas mono y poliinsaturadas del aguacate.

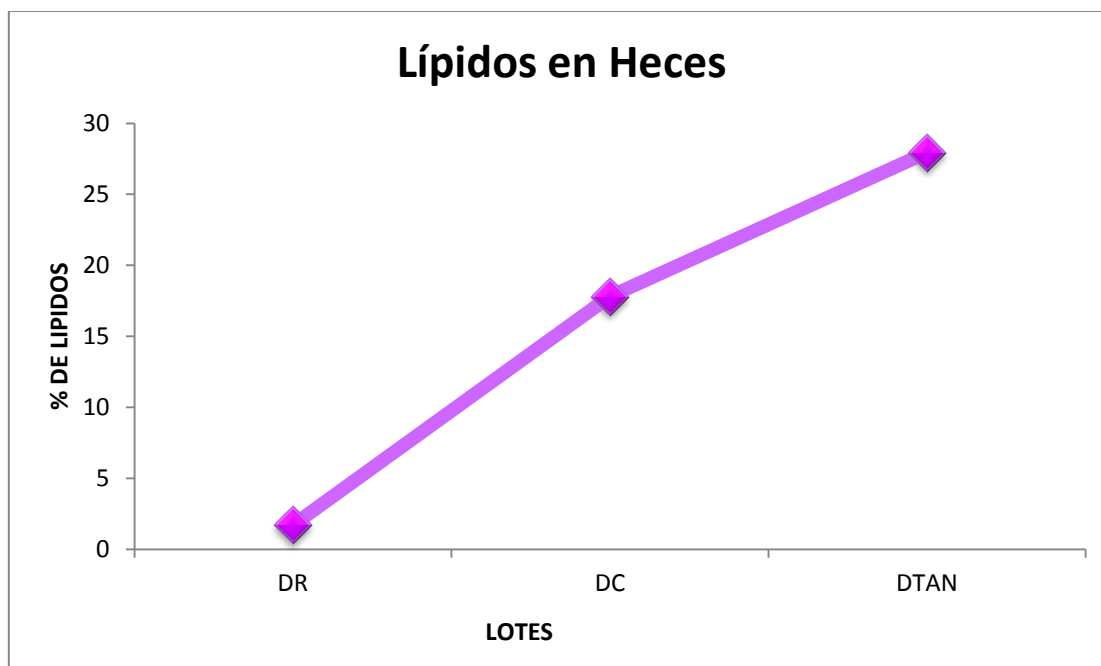


Figura 30. Porcentaje de Lípidos en heces fecales

VII. CONCLUSIONES

Siguiendo la estructura del trabajo y con base a los objetivos planteados se puede concluir que:

Se formuló una tortilla a partir de masa de maíz, aguacate en polvo liofilizado, y polvo de nopal. La formulación final contuvo 100 g de masa de maíz, 2.5 gramos de aguacate en polvo, 2.5 gramos de nopal en polvo, y 10 ml de agua. La composición química de la tortilla de aguacate y nopal deshidratado mostró un incremento en las concentraciones de lípidos y fibra, pero una disminución de proteínas, comparado con una tortilla normal de maíz.

La tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal actúa disminuyendo las concentraciones sanguíneas de colesterol total, triglicéridos, y colesterol LDL, y evaluado usando animales ratas Wistar en un bioterio. Los animales fueron inducidos a un cuadro de hipercolesteremia e hiperlipidemia y posteriormente se evaluó el efecto de dicha tortilla. También se comprobó una disminución en las concentraciones de urea, creatinina y glucosa.

Además, se observó el efecto positivo que tiene la tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado sobre el hígado graso, ya que se observó un menor porcentaje de grasa en las ratas que lo consumieron. Así mismo se pudo observar la eliminación de lípidos en heces. Por lo que se puede decir que la absorción de los lípidos en hígado es menor y la tortilla favorece la eliminación de estos por vía deposiciones.

En conclusión, podemos decir que la tortilla de maíz adicionada con aguacate y nopal deshidratado puede utilizarse como alimento funcional ya que disminuye las concentraciones de glucosa, colesterol y triglicéridos. Además de que representa una perfecta opción para incluir en la dieta de pacientes que presentan síntomas de síndrome metabólico y también en personas sanas.

VIII. BIBLIOGRAFÍA

- Consejo Europeo de Informacion sobre Alimentación. (2015). *alimentos funcionales*. bruselas, belgica.
- Buena Salud. (2010). Recuperado el 11 de noviembre de 2015, de Beneficios del maiz : <http://www.buenasalud.net/2010/11/22/beneficios-del-maiz.html>
- A. Gullace, F., & D. Caturini, E. (2013). *El animal de laboratorio como reactivo biologico* . Buenos Aires : Universidad de Buenos Aires .
- Aguilar , C. (2007). "*Optimización del proceso de modificacion del almidón de maíz ceroso por extursion y el uso de mezclas de almidones modificados cn mucilago de nopal para la encapsulación de aceite eseencial de naranja emplenado el secado por aspersión*". Pachuca de soto: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo .
- Aguilera, C., Brberà, J., Diaz, L., Duarte de Prato, A., Gálvez, J., Gil, A., y otros. (2015). *Alimentos Funcionales*. Madrid: Direccion General de Salud Publica y Nutricion.
- Alvizouri Muñoz, M., & Rodriguez Barron , A. (2009). *Efectos medicos del aguacate* . Morelia, Mich: COVERSYL.
- Arambula Villa, G., Barron Avila, L., González Hernández, J., Moreno Martínez, E., & Luna Barcenas , G. (2001). Efecto del tiempo de cocimiento y reposo del grano de maíz (*Zea mayz* L.) nixtamalizado, sobre las características fisicoquímicas, reológicas, estructurales y texturales del grano, masa y tortillas de maíz. *Archivos Latinoamericanos de Nutricion Scielo*, v.51.
- Arambula Villa, G., De la Cruz Lazaro, E., Aparicio Trapala, M., & Jimenez Juarez, J. (2012). Característica del grano, masa y tortilla producida con diferentes genotipos de maíz del trópico mexicano. *Universidad y ciencia. Scielo*, Vol. 28 .
- Arroyo Hernández , A., & Villareal Díaz , L. (2014). *Estudios de preformulacion y formulacion de extracto de nopal (Opuntia ficus-indica) en polvo dispersable comotratamiento alternativo para la diabetes mellitus*. Mexico: FES ZARAGOZA.
- Asociacion Nacional de Cardiologos de Mexico . (2002). Consenso Mexicano sobre el tratamiento integral del Síndrome Metabólico . *Rvista Mexicana de Cardiologia* , 5.
- Azalia, A. N. (2014). *aAimentos Funcionales como Estrategia ante el SM y sus Complicaciones* . Mexico: Salud y Medicina .
- Basurto Santos , D., Lorenzana- Jimenez, M., & Magos Guerrero , G. A. (2007). *Utilidad del nopal para en control de la glucosa en la diabetes mellitus tipo 2*. Mexico : UNAM.
- Bautista-Justo, M., Pineda Torres , R. I., Camarena-Aguilar , E., Alanis-Guzman, G., Da Mota, V. M., & Barboza-Corona, J. E. (2010). *El Nopal Fresco como Fuente de Fibra y Calcio en panques* . Guanajuato : Universidad de Guanajuato.

- Belitz, H., & Grosh, W. (1997). *Química de los Alimentos 2ª Edición*. Acribia S. A. : Zaragoza, España.
- Bermudez, W., & Narvaéz, G. (13 de 07 de 2011). *Ácidos Carboxílicos Naturales*. Recuperado el 05 de 06 de 2015, de <https://q-organicauce.wikispaces.com/file/view/ACIDOS+WAB+GN.pdf>
- Bernal E., J., & Díaz, D. (2005). *Tecnología para el cultivo del aguacate*. Colombia: Produmedios.
- Blanco Anesto, J. (2002). Consumir Azúcar con Moderación. *Revista Cubana Alimentos Nutricionales*, 142-144.
- Bravo Mendoza, M. (2011). *Liofilización a presión atmosférica y a vacío de pimientos Verdes Capsicum annum L.* Cuatitlán: UNAM.
- Bressani, R. (2009). *La composición química, Capacidad Antioxidativa, y Valor Nutritivo de la Semilla de Variedades de Aguacate*. Guatemala: Universidad de Guatemala.
- Carballo Flores, J. (2008). *Beneficios del Nopal en diversas enfermedades*. Ciencias Biológicas, Biomédicas y Químicas. Inv. Bibliográfica.
- Cardella Rosales, L. (2007). *Bioquímica Humana*. La Habana : Ciencias Médicas.
- Cardoza, C. G. (2006). *El maíz: origen, composición química y morfología*. MÉXICO : UNAM.
- Charles, D. (05 de Marzo de 2015). *FarmUpibi*. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de FarmUpibi: <http://farmupibi.blogspot.mx/2015/04/liofilizacion-de-una-guayaba.html>
- Cordova Aguilar, K., & Martínez Flores, H. (2015). *Beneficios a la Salud del aceite de Aguacate*. Morelia, Mich: Saber más.
- Cuevas, L. Z. (2005). *sabores y salud con aguacate*. Uruapan, Mich.
- Davila-Garza, M. A. (2010). *El nopal y su red de valor*. Nuevo León, México : Nopalea Industrias.
- Díaz Plascencia, D. (2015). *Metabolismo Celular*. Chihuahua : Facultad de zootecnia y ecología.
- Escalante- Aburto, A., Ramírez, B., Torres- Chavez, P., Barrón Hoyos, J. M., & Figueroa Cardenas, J. d. (2013). *LA NIXTAMALIZACIÓN Y SU EFECTO EN EL CONTENIDO DE ANTOCIANINAS DE MAICES PIGMENTADOS*. México: Rev, Fitotec.
- Escudero Alvares, E., & González Sánchez, P. (2006). La Fibra Dietética. *Nutrición Hospitalaria*, 61.72.
- Espejel García, M. (2012). *Caracterización del consumo de tortilla en el Estado de México*. Montecillo, Texcoco: Instituto de Enseñanzas e Investigación en Ciencias Agrícolas.

- Etimología del Nopal . (2001). *Boletín de la Sociedad Mexicana de Geografía y Estadística* .
- FAO. (2015). *MAIZ TRATADO CON CAL*. Departamento de agricultura.
- Fernández , M., Ñine , E., & McNamara, D. (1994). Prickly pear (*Opuntia* sp) pectin alters hepatic cholesterol metabolism without affecting cholesterol absorption in Guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. *PubMed*, 817-824.
- Fundacion semillas de vida. (2007). *semillas de vida*. Recuperado el 30 de 10 de 2015, de semillas de vida: <http://www.semillasdevida.org.mx/index.php/documentos/maiz/79-sobre-el-maiz/76-importancia-economica-del-maiz>
- Gerencia de Investigacion de mercados. (2011). *perfil economico del aguacate*. Centro de Exportacion e Inversion de la republica Dominicana.
- Gillingham, L., Harris-Janz, S., & Jones , P. (2011). Dietary monounsaturated fatty acids are protective against metabolic syndrome and cardiovascular disease risk factors. *PubMed*, 46 (3): 209-28.
- Godinez Martínez , L., & Manzanares Baltazar , Y. (2015). *Evaluacion del Efecto Sinérgico-humectate del Mucilago del Nopal Combinado con Otros Agentes Humectantes* . Estado de Mexico: UNAM.
- Gomez Perez, F., Franco, A., Olaiz, G., Rull, J., Sepulveda, J., Rojas , R., y otros. (2007). Síndrome metabólico: un concepto en evolucion. *Medigraphic*, 42-42.
- Guevara Arauza , J. C. (2009). Efectos bifuncionales del Nopal y la Tuna. *Revista Horticultura*, 1-9.
- Hernandez, G. (2005). *Efecto del aguacate sobre proteínas de alta densidad en ratas*. Mexico, DF: UNAM.
- Hernandez, S. (2009). *El modelo animal en investigaciones biomedicas*. Biomedicina .
- Hipp, A. (2004). *El maiz por dentro y por fuera* . New York : buenas leltas .
- Hoyos Serrano , M., & Rosales Calle, V. V. (2014). Lípidos: Características principales y su metabolismo. *Revistas Bolivianas*, v. 41.
- Ibañez, A. A. (2015). *Efectos del síndrome metabólico sobre actividad eléctrica del nodo seno auricular de corazón de rata* . Mexico DF: UNAM.
- Investigadores del grupo de Analisis y simulacion de Procesos agroalimentarios . (2012). Liofilización de alimentos. *Interempresas*.
- Lehninger, Nelson, D., & Cox, M. (2005). *Principios de Bioquímica*. Macmillan.
- Leon Goñi , A. C., Blanco , D., Peña , A., Ronda , M., Gonzalez, B., Arteaga, M., y otros. (2011). Valores Hemtológicos y Bioquímicos de las ratas Sprague Dawley, producidad en CENPALAB , Cenp:SPRD. *REDVET*, 6-8.
- Liu, X., Robinson, P. W., Madore, M. A., Witney, G. W., & Arpaia, M. L. (1999). "Hass" Avocado Carbohydrate Fluctuations. II. Fruit Growth and Ripening. *Journal of de American Society for Horticultural Science*, 676-681.

- Lopez , R. (2015). *Evaluacion del Efecto Antihiper glucemiante y Antioxidante del Nopal en Pacientes con Diabetes Mellitus tipo 2*. Mexico : UNAM.
- Lopez Alborno, R., & Perez Rodrigo, I. (2012). Nutricion y sindrome metabolico. *Nutricion Clinica y dietetica hospitalaria*, 32(3):92-97.
- Lopez, M. A. (2015). *Estudio del efecto de un portafolio dietario (Nopal, chia, soya, avena e inulina) sobre parametros del sindrome metabólico*. Mexico, DF: UNAM.
- Maria. (27 de Septiembre de 2014). *BLOGMEDICINA*. Recuperado el 29 de Marzo de 2016, de *BLOGMEDICINA* : <http://blogmedicina.com/consecuencias-del-exceso-de-grasa/>
- Montoya, M. G. (2012). *“Estudio de la composicion química y efecto hipocolesterolemico e hipolipidemico in vivo de aguacate liofilizado*. Morelia, Michoacán: UMSNH.
- Muñoz, L., Díaz, Y., González , C., Medina, E., & Cardona , E. (2014). Efecto de la administración oral de nopal deshidratado sobre el perfil de lípidos en individuos con dislipidemia y sobrepeso/obesidad. *Revista Iberoamericana de ciencias* , vol.1 150-156.
- Muñoz-Ledo, E. C. (2015). desarrollo de una botana funcinal horneada y enchilada, adicionando harina de nopal . Cuautitlan Iztalli , estado de Mexico , Mexico : Universidad Nacional Autonoma de Meico .
- Muñoz-Ledo, E. C. (2015). *Desarrollo de una Botana Funcional Horneada y Enchilada Adicionado con harina de nopal*. Estado de Mexico: Tesiunam.
- Ortega Tovar , M. (2003). *Valor Nutrimental de la Fruta Fresca de Aguacatee Hass*. Mexico : Secretaria de Desarrollo Agropecuario del Estado de Mihoacan .
- Ortega, I. S. (2014). *Maiz I (Zea Mays)*. Madrid : Universidad Complutense de Madrid .
- Ortiz Prudencio, S. (2006). *Determinación de la composición química proximal y fibra dietaria de 43 variedades criollas de maiz en 7 municipios del sureste del estado de Hidalgo*. . Pachuca: Universidad Autónoma del estado de Hidalgo.
- Ozuna , L. (2001). *La Liofilizacion como Metodo de Conservacion de los Alimentos* . Mexico : UNAM.
- Pamplona Roger, J. (2006). *Nuevo estilo de vida*. Sofeliz: California .
- Panorama Agroalimentario. (2016). *Maiz 2015*. Mexico: FIRA.
- Parzanese, M. (2015). *Liofilización de Alimentos* . Argentina : Alimentos Argentinos .
- Pavas Tavares, C. A. (2015). *Organización de cadena productiva del Aguacate* . Colombia : Minagricultura .
- Perez Rosales, R., Villanueva Rodriguez, S., & Cosio Ramirez, R. (2005). el aceite de aguacate y sus propiedades nutricionales. *e-Gnosis*.
- Perez Rosales, R., Villanueva Rodriguez, S., & Cosio Ramirez, R. (2005). *El aceite de Aguacate y sus Propiedades Nutricionales* . Guadalajara: e-Gnosis .

- Perez, M. (2001). *Cambios Fisicoquimicos y Microbiológicos en Nopal Irradiado con Rayos Gamma de Cobalto 60*. Mexico, DF: UNAM.
- Reeves, Philip, G., Nielsen, Forrest, H., Fahey, & C. Jr., G. (1993). *AIN-93 purified diets for laboratory rodents: final report of the American Institute of Nutrition ad hoc writing committee on the reformulation of the AIN-76A rodent diet*. Journal of nutrition.
- Restrepo Suarez , A. (2012). *Alternativas para la conservación de aguacate (Persea americana Mill, Variedad Hass) en la inhibición del pardeamiento Enzimático*. Mexico: Corporación Universitaria Lasallista .
- Rodriguez Porto , A. L., Sanchez Leon , M., & Martinez Valdes, L. (2002). Síndrome Metabólico. *Scielo Rev. Cubana Endocrinol*, 13 (3):238.52.
- Rosas Snell, A., & Zuñiga Contreras , J. (2010). *Estadística Descriptiva e Inferencial I*. Colegio Bachilleres.
- Sagarpa. (01 de Enero de 2012). *El aguacate, joya Mexicana*. Recuperado el 06 de Julio de 2016, de siaprendes : <http://www.siap.gob.mx/siaprendes/acerca.html>
- SAGARPA. (2015). *MICHOACÁN APORTA EL 85.9% DEL AGUACATE EN EL PAÍS*. Morelia, Mich.
- SAGARPA. (16 de Junio de 2016). *Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación*. Recuperado el 07 de Julio de 2016, de Secretaría de Agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación.: <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-estado/>
- Salvador, R. J. (2001). *Maíz. chapingo*, Mexico.
- Sanchez, S. (2014). *Manual de prácticas de Laboratorio de Bioquímica*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Sanginés, L. (2008). Aguacate en alimentación Humana y Animal. *Revista Computarizada de Producción Porcina*, 213.
- Santos, D. B., & Marte Lorenzana-Jimene, G. A. (s.f.). *Utilidad del nopal para el control de glucosa en la diabetes mellitus tipo 2*. escuela de medicina tominagua makamoto, UNAM.
- Scacchi Bernasconi, P. (2012). *Síndrome metabólico y melatonina: estudio de dos modelos experimentales en ratas* . Argentina: UCA.
- SFA. (2011). *AGUACATE* . SAGARPA.
- Shamah Levy, T., Avila Curiel , A., Cuevas Nasu , L., Chavez Villsana, A., Avila Arcos , M., & Fernandez Mendoza, C. (2003). El subsidio a la tortilla en México: ¿un programa nutricional o económico? *Archivos Latinoamericanos de nutrición*, v.53 5-13.
- Sierra-Macias , M., Palafox-Caballero, A., Vazquez-Carrillo, G., Rodriguez- Montalvo, F., & Espinosa-Calderon, A. (2010). Caracterización Agronómica, Calidad industrial y Nutricional de maíz para el trópico mexicano. *Agronomía Mesoamericana*, 21 (1): 21-29.

- Silveira Rodriguez , M. B., Monereo Megias , S., & Molina Baena , B. (2003). Alimentos funcionales y nutrición Optima. *REvista Española de Salud Pública*, vol. 77 pp.317-331.
- Tesorero, M. N. (2002). *Modernización industrial del sistema-maíz-masa-tortilla*. ESTADO DE MEXICO: UNAM.
- Universidad de Granada . (2012). *Secado por liofilización*. España: ciencias UGR.
- USDA. (30 de Noviembre de 2015). *National Nutrient Database for Standard Reference*. Recuperado el 30 de Marzo de 2016, de National Nutrient Database for Standard Reference: <https://ndb.nal.usda.gov/>
- Valeria, A. (09 de Julio de 2010). *ÈAlimentaciòn*. Recuperado el 20 de Abril de 2016, de ÈAlimentaciòn: <http://www.alimentacion.enfasis.com/articulos/17024-control-del-sindrome-metabolico>
- Vazquez Anderson, H. E., Cabrera, S., Lozano , R., & Gonzalez Inciarte, L. (2009). Efecto del consumo de aguacate (Persea Americana Mill) sobre el perfil lipídico en adultos con dislipidemia. *Scielo*, vol.22 84-89.