



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA  
COMPLEJO REGIONAL SUR

FACULTAD DE MEDICINA

Licenciatura en Nutrición Clínica



# TESIS

**VALORACIÓN DE LA RESPUESTA GLUCÉMICA EN SUJETOS CON  
IMC <25 y >25 DE UNA TORTILLA FUNCIONAL A BASE DE MAÍZ  
ADICIONADA CON NOPAL, AVENA, LINAZA Y ESPINACA.**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
**LICENCIADA EN NUTRICIÓN CLÍNICA**

PRESENTA

**TERESA DE JESÚS MATEOS RAMOS**

DIRECTOR EXPERTO

**D.C. HUMBERTO RAFAEL BRAVO DELGADO**

DIRECTOR METODOLÓGICO

**D.C. ADRIANA NIEVA VÁZQUEZ**

TEHUACÁN, PUEBLA

DICIEMBRE 2022

Un niño, un profesor,  
un libro y una pluma  
pueden cambiar el mundo.

La educación es la  
única solución.

**Malala Yousafzai**



**BUAP**

**VOTO APROBATORIO**

**MTRA. MARÍA DEYSI TAPIA ÁLVAREZ**  
**COORDINADOR DE TITULACIÓN Y EGRESO**  
**COMPLEJO REGIONAL SUR**  
**BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA**

**P R E S E N T E**

Por medio de la presente y con relación a la asignación como asesores del pasante: **TERESA DE JESÚS MATEOS RAMOS** con número de matrícula 201519199, quien suscribe manifiesto mi VOTO APROBATORIO para avalar la presente tesis, que al respecto se titula: "VALORACIÓN DE LA RESPUESTA GLÚCEMICA EN SUJETOS CON IMC <25 y >25 DE UNA TORTILLA FUNCIONAL A BASE DE MAÍZ ADICIONADA CON NOPAL, AVENA, LINAZA Y ESPINACA" ya que se considero reúne los lineamientos necesarios para tal efecto.

Agradeciendo la atención prestada a la presente quedo de usted como su atenta servidora.

**A T E N T A M E N T E**  
**"PENSAR BIEN, PARA VIVIR MEJOR"**

Tehuacán, Puebla a 8 de Septiembre 2022

**DIRECTOR DE TESIS**

**DRA. EN C. ADRIANA NIEVA VÁZQUEZ**

## AGRADECIMIENTOS

Desde que tengo memoria mi madre siempre inculcó en mí el agradecimiento. Principalmente a Dios y a la Virgen María, no sólo por haberme dado la vida, sino por los momentos de alegría, buenas noticias, triunfos; y claro, también para los días que no eran tan buenos, tristezas y momentos difíciles. Hoy entiendo que siempre tuvo razón, Dios siempre ha estado a mi lado. Ahora que hago consciente cada oración de agradecimiento, me doy cuenta de que todos los sucesos pasados han ido forjando lo que soy. Cada segundo de la vida es una bendición, porque sigo viva y tengo la gracia de seguir cumpliendo mis sueños.

Es por eso, por lo que hoy agradezco. Ha sido la paciencia, constancia y lucha de cada día para ver esta investigación realizada, considero que es el inicio de un gran proyecto no sólo para mí, sino para muchas personas.

Gracias infinitas a mis directores de tesis Dra. Adriana Nieva y Dr. Rafael Bravo que más que eso, han sido mentores, guías y grandes impulsores en esta travesía. Son un ejemplo de éxito, constancia y disciplina.

Agradezco a mi familia tan maravillosa que siempre ha estado apoyándome. Las palabras alentadoras de mis hermanos. El apoyo económico, físico y moral incansable de mi madre, mi tía y mi padre.

Gracias infinitas a esta institución por mi formación, por ampliar mi panorama, y desarrollar habilidades que no sabía que tenía. Gracias a la Dra. Mariana Vaquero por el compromiso y apoyo incondicional en esta etapa tan importante de mi vida.

Gracias a Aldeas infantiles, Impact Hub y DHL por darme las herramientas estratégicas y el impulso económico de llevar a cabo este proyecto a la realidad.

Gracias a todas las personas y docentes que han puesto su granito de arena, que han apostado por este proyecto y que han creído en los múltiples beneficios que tiene para la salud de nuestra sociedad.

## **DEDICATORIA**

Mi alma, mi corazón y mi razón dedican este proyecto a todas las personas e instituciones que han colaborado en hacer realidad este sueño. Lo importante no es llegar más rápido, es disfrutar el proceso y aprender que en equipo somos más fuertes.

## RESUMEN

**Introducción:** En México, las prevalencias de obesidad han incrementado en los últimos años. El exceso de peso es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de padecimientos crónicos degenerativo, como obesidad, diabetes mellitus, hipertensión arterial, y enfermedades cardiovasculares (Shamah et al, 2006). Al observar un aumento de estos problemas de salud y malos hábitos alimentarios surge la necesidad de desarrollar productos con tendencia saludable, un producto ideal por su alto consumo en México, es la tortilla, mediante la elaboración de una tortilla rica en fibra y tener características físicas y organolépticas similares a la tortilla de maíz común, la introducción a la dieta diaria de los consumidores será de forma sencilla. Así mismo varios estudios reportan que comer alimentos ricos en fibra puede ayudar a controlar el peso corporal y evitar la obesidad, especialmente el exceso de grasa abdominal. De los efectos que ha demostrado la fibra dietaria es un aumento en la saciedad, así como una menor disponibilidad de calorías y una disminución de los niveles de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad en sangre. Debido a estos mecanismos resulta idóneo elaborar una tortilla a base de maíz nixtamalizada adicionada con fibra dietaria de nopal, avena, linaza y espinaca para mejorar la funcionalidad de esta y ofrecer una alternativa de consumo de tortilla que tenga un índice glucémico bajo. Por lo que el objetivo del presente estudio fue elaborar una tortilla funcional a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca, y determinar la respuesta e índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25.

**Material y métodos:** La nixtamalización del maíz se realizó de manera tradicional. Se coció el maíz en agua con CaOH al 3.5 % p/v. Una vez cocidos los granos de maíz se dejaron reposar durante 8 h aproximadamente hasta que la cáscara del maíz se separó para facilitar la molienda. Se enjuagó el maíz tres veces con agua purificada para eliminar el exceso de CaOH, finalmente se molió en un molino de martillos. La masa obtenida se utilizó de manera inmediata. Se ensayaron mezclas de nopal, linaza, avena y espinaca de acuerdo a un diseño de experimentos factorial 2k (K=4) siendo K el número de factores (contenido de nopal, linaza, avena y espinaca) con el software Minitab 17, donde se obtuvieron 31 formulaciones diferentes, manteniendo constante la temperatura de cocimiento. La tortilla de maíz adicionada con nopal espinaca, avena y linaza fue caracterizada mediante un análisis químico proximal evaluándose: humedad y proteínas de acuerdo con los métodos descritos por el AOAC, (1998) y determinación de antioxidantes. A los sujetos participantes se les determinó el IMC, clasificándolos en IMC<25 e IMC >25Kg/m<sup>2</sup> y se les determinó la respuesta glucémica tras el consumo de tortilla de funcional y tortilla tradicional. El índice glucémico se calculó con el incremento de área bajo la curva de la respuesta glucémica. El área se determinó por la suma de las áreas de los triángulos y trapecios.

**Conclusión:** Las tortillas funcionales en sujetos con IMC <25 y >25 tuvo una concentración de glucosa e índice glucémico menor que la tortilla normal, además, la tortilla funcional presenta una fuente importante de contenido de fibra debido a su formulación con nopal y linaza. La tortilla funcional es recomendable para disminuir el riesgo de sobrepeso, obesidad, resistencia a la insulina, diabetes, hipertensión sin limitar el consumo de un alimento básico en la cultura mexicana.

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>a</b>	
<b>ACC</b>	Acetil – CoA Carboxilasa
<b>ACC1</b>	Acetil – CoA Carboxilasa 1
<b>Acetil CoA</b>	Acetil coenzima A
<b>AGL</b>	Ácidos Grasos Libres
<b>ACL</b>	ATP - citrato liasa
<b>ADA</b>	American Diabetes Association / Asociación Americana de Diabetes
<b>A<sub>F</sub></b>	Absorbancia Final
<b>A<sub>I</sub></b>	Absorbancia Inicial
<b>ALA</b>	Ácido alfa-linolénico
<b>AOAC</b>	Association of Official Analytical Chemists / Asociación de Químicos Analíticos Oficiales
<b>arctan</b>	Arcotangente
<b>ATP</b>	Adenosine triphosphate / Adenosín trifosfato
<b>aw</b>	Actividad de agua
<b>b</b>	
<b>Ca(OH)<sub>2</sub></b>	Hidróxido de Calcio
<b>C</b>	Cenizas
<b>C*</b>	Cromaticidad
<b>CC</b>	Circunferencia de cintura
<b>CG</b>	Carga glucémica
<b>cm</b>	centímetros
<b>CODEX</b>	Código de alimentación
<b>Alimentarius</b>	
<b>CT</b>	Carbohidratos Totales
<b>dL</b>	Decilitros
<b>DPPH</b>	2,2-difenil-1-picrylhydrazyl / 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo
<b>EFSA</b>	European Food Safety Authority / Autoridad Europea de Seguridad Alimentaria
<b>Elovl - 6</b>	Elongation of very long chain fatty acids protein 6 / Elongasa de ácidos grasos de cadena larga tipo 6
<b>ENSANUT</b>	Encuesta Nacional de Nutrición y Salud
<b>EQ</b>	
<b>FAO</b>	Food and Agriculture Organization / Organización para la Alimentación y la Agricultura
<b>FAS</b>	Fatty Acid Synthase / Ácido graso sintetasa
<b>FOS</b>	Fructooligosacáridos
<b>g</b>	Gramos
<b>GOS</b>	Galactooligosacáridos
<b>h</b>	Horas
<b>h°</b>	Ángulo hue
<b>HbA1c</b>	Hemoglobina glicosilada

<b>HPLC</b>	High Performance Liquid Chromatography / cromatografía líquida de alta eficacia
<b>IDF</b>	International Diabetes Federation
<b>IMC</b>	Índice de Masa Corporal

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Cuadro 1</b>	Clasificación de la fibra
<b>Cuadro 2</b>	Composición química proximal de las partes anatómicas principales de los granos de maíz en base seca.
<b>Cuadro 3</b>	Formulación para la tortilla de maíz adicionada con nopal espinaca, avena y linaza, mediante un diseño factorial $2^K$ ( $K=4$ ) usando el software Minitab 17
<b>Cuadro 4</b>	Formulaciones propuestas
<b>Cuadro 5</b>	Resultados de la caracterización fisicoquímica y proximal de la tortilla funcional
<b>Cuadro 6</b>	Promedio y desviación estándar de la glucosa capilar y solución glucosada de los sujetos con IMC $<25$ y $>25$ .
<b>Cuadro 7</b>	Valor de la P y t de student de la concentración de glucosa entre la Tortilla de Maíz y Tortilla Funcional.
<b>Cuadro 8</b>	Promedio y desviación estándar del índice glucémico de sujetos con IMC $<25$
<b>Cuadro 9</b>	Promedio y desviación estándar del índice glucémico de sujetos con IMC $>25$
<b>Cuadro 10</b>	Valor de P y T student del Índice Glucémico entre IMC $<25$ y $>25$

## ÍNDICE DE FIGURAS

- Figura 1** Lipogénesis de *novo*
- Figura 2** Gráfica de la prueba hedónica
- Figura 3** Concentración de glucosa en sujetos con IMC <25 y >25
- Figura 4** Gráfica de Índice Glucémico de la tortilla funcional (TF) y la tortilla de maíz (TM) en sujetos con IMC <25 y >25.

# ÍNDICE

<b>AGRADECIMIENTOS</b>	<b>IV</b>
<b>DEDICATORIA</b>	<b>V</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS</b>	<b>VII</b>
<b>ÍNDICE DE CUADROS</b>	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b>	<b>X</b>
<b>CAPITULO I</b>	<b>1</b>
<b>1. ANTECEDENTES GENERALES</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Índice de masa corporal</b>	<b>1</b>
<b>1.2. Fisiopatogenia de la obesidad</b>	<b>2</b>
<b>1.3. Metabolismo de carbohidratos y su relación con la lipogénesis</b>	<b>4</b>
<b>1.4. Obesidad e intolerancia a la glucosa</b>	<b>7</b>
<b>2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS</b>	<b>7</b>
<b>2.1. Respuesta glucémica e Índice glucémico</b>	<b>7</b>
<b>2.2. Índice glucémico y su implicación metabólica</b>	<b>8</b>
<b>2.3. Fibra dietaria</b>	<b>9</b>
<b>2.4. Tipos de Fibra</b>	<b>9</b>
<b>2.5. Fibra y su implicación con la glucemia</b>	<b>13</b>
<b>2.6. La fibra dietética y los prebióticos en el microbioma intestinal</b>	<b>14</b>
<b>2.8. Maíz</b>	<b>15</b>
<b>2.9. Nopal</b>	<b>16</b>
<b>2.10. Avena</b>	<b>17</b>
<b>2.11. Linaza</b>	<b>18</b>
<b>2.12. Espinaca</b>	<b>18</b>
<b>2.13. Tortillas</b>	<b>19</b>
<b>2.14. Nixtamalización</b>	<b>20</b>
<b>2.15. Alimentos Funcionales</b>	<b>21</b>
<b>CAPITULO II</b>	<b>22</b>
<b>3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA</b>	<b>22</b>
<b>4. OBJETIVOS</b>	<b>23</b>
<b>OBJETIVO GENERAL</b>	<b>23</b>
<b>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</b>	<b>23</b>
<b>CAPITULO III</b>	<b>23</b>

<b>5. MATERIALES Y MÉTODOS</b>	<b>23</b>
<b>5.1. Etapa 1: Formulación de la tortilla funcional</b>	<b>23</b>
5.1.1. Nixtamalizado del maíz	23
5.1.2. Elaboración de la tortilla	25
5.1.3. Análisis sensorial	25
5.1.4. Caracterización fisicoquímica	25
5.1.4.1. Análisis químico proximal	25
5.2. Etapa 2: Valoración de la respuesta glucémica e índice glucémico en sujetos con IMC <25 y >25.	26
5.3. Inferencia estadística	27
<b>CAPÍTULO IV</b>	<b>28</b>
<b>6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>28</b>
6.1. Selección de la Formulación	28
6.2. Caracterización fisicoquímica	29
6.2.1. Capacidad antioxidante	30
6.3. Respuesta e índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25	30
6.3.1. Respuesta glucémica	30
6.3.2. Índice Glucémico	34
<b>7. CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
<b>CAPÍTULO V</b>	<b>37</b>
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>37</b>
<b>CAPÍTULO VI</b>	<b>44</b>
<b>9. ANEXOS</b>	<b>44</b>
9.1. Formato de la prueba hedónica	44
9.1. Formato del consentimiento informado	45

# CAPITULO I

## 1. ANTECEDENTES GENERALES

### 1.1. Índice de masa corporal

El Índice de Masa Corporal (IMC) es un índice antropométrico que fue descrito en 1832 por Lambert Adolphe-Jacques Quételet. Para su obtención, se divide el peso del sujeto en kilogramos (kg) entre el cuadrado de su talla en metros (m<sup>2</sup>) [IMC= Peso (kg)/ Talla (m)<sup>2</sup>= ... kg/m<sup>2</sup>]. De esta forma, se establece una relación de proporción del peso respecto a la estatura (talla), por medio de la cual es posible hacer un diagnóstico rápido del déficit o del exceso ponderal de la persona que estamos estudiando. En esto radica su importancia y lo hace tan práctico y accesible que ha sustituido a varias medidas antropométricas que evalúan el estado nutricional de las personas (José Hernández Rodríguez & Neraldo Orlandis González, 2020).

La definición de la OMS nos presenta al índice de masa corporal (IMC) como un indicador simple de la relación entre el peso y la talla que se utiliza normalmente para identificar el sobrepeso y la obesidad en los adultos. Un IMC igual o superior a 25 determina sobrepeso y un IMC igual o superior a 30 determina obesidad (Navarrete Mejía *et al.*, 2016).

El IMC es un buen instrumento poblacional, para evaluar el aumento de riesgo de otras enfermedades crónicas, pero a nivel individual, de consultorio, puede ser bastante deficiente (Consultation, 2000; Deurenberg *et al.*, 1998; Gallagher *et al.*, 1996; Jensen *et al.*, 2014; Kuller & Labarthe, 2002; Romero-Corral *et al.*, 2008). La acumulación excesiva de grasa, que figura en la definición, puede variar en dos individuos con el mismo IMC, tanto por composiciones corporales diferentes en porcentaje de grasa y músculo (ya que los individuos con bastante masa muscular pueden tener un IMC alto sin ningún aumento de grasa corporal) como por la propia distribución de la grasa, que puede tener patrones muy diferentes, con mayor concentración en la región visceral o subcutánea (II Consenso Latinoamericano de Obesidad, 2017).

## 1.2. Fisiopatogenia de la obesidad

El adipocito es la principal célula del tejido adiposo y está especializada en almacenar el exceso de energía en forma de triglicéridos en sus cuerpos lipídicos (siendo la única célula que no puede sufrir lipotoxicidad), y liberarlos en situaciones de necesidad energética. Además, desde su descubrimiento como célula endocrina sabemos que el adipocito desempeña un rol activo tanto en el equilibrio energético como en numerosos procesos fisiológicos y metabólicos (Frühbeck, 2008; Klöting & Blüher, 2014).

El tejido adiposo se compone de adipocitos y estroma (tejido conectivo reticular que confiere soporte a los adipocitos y a la vascularización e inervación), junto a numerosas células (macrófagos, células T, fibroblastos, preadipocitos, células mesenquimales, pericitos, etc.) que conforman el microambiente celular (Frühbeck, 2008). Las células inmunes del tejido adiposo también tienen capacidad de secretar factores relacionados con la inflamación, circunstancia que será esencial para determinar el rol que tengan las alteraciones en dicho microambiente en el concierto metabólico, pasando de un perfil anti-inflamatorio a inflamatorio (Schipper *et al.*, 2012). En este contexto observamos que en la obesidad la mayoría de citoquinas de perfil pro-inflamatorio son emitidas por macrófagos M1 o “clásicamente activados” del tejido adiposo, los cuales encuentran muy aumentado su número por infiltración de monocitos circulantes atraídos por quimio-atrayentes y por proliferación local (Mraz & Haluzik, 2014). Recientemente se ha sugerido que dicha proliferación local a partir de macrófagos residentes antecede a la infiltración, iniciando la acumulación de macrófagos en el tejido (Zheng *et al.*, 2016).

El adipocito puede desarrollarse mediante dos procesos: por hipertrofia (aumentando su tamaño) y por hiperplasia (aumentando su número a partir de una célula precursora que pasa por una serie de pasos hasta diferenciarse a su último estadio, desde preadipocito a adipocito maduro). Tradicionalmente se ha considerado que un momento determinado en el crecimiento de un adipocito, al ir aumentando su volumen de grasa (hipertrofia), alcanzará un umbral de tamaño crítico en el que se dará un proceso de hiperplasia, estimulando a una célula precursora y generando así, una nueva célula adiposa (Rosen, 2015). Actualmente se sabe que es un proceso fuertemente regulado por muchos factores y que la sola exposición a

una dieta alta en grasa hace que las células precursoras comienzan a proliferar a nivel visceral sin la necesidad de una señal de los adipocitos hipertrofiados (Rosen, 2015). Parece ser que una vez superado dicho tamaño umbral, el adipocito hipertrofiado presentará una disfunción en su actividad caracterizada por disminución de la sensibilidad a la insulina, hipoxia, aumento de los parámetros de estrés intracelular, aumento de la autofagia y la apoptosis, así como la inflamación de los tejidos (Klötting & Blüher, 2014). Así observamos que, la hipertrofia en grandes adipocitos se ha relacionado con un aumento de la emisión de factores inflamatorios o alteración de la sensibilidad a la insulina, tanto en modelos animales como humanos. A su vez la grasa visceral se ha relacionado con mayor fuerza con efectos adversos que la periférica o subcutánea (Klötting & Blüher, 2014).

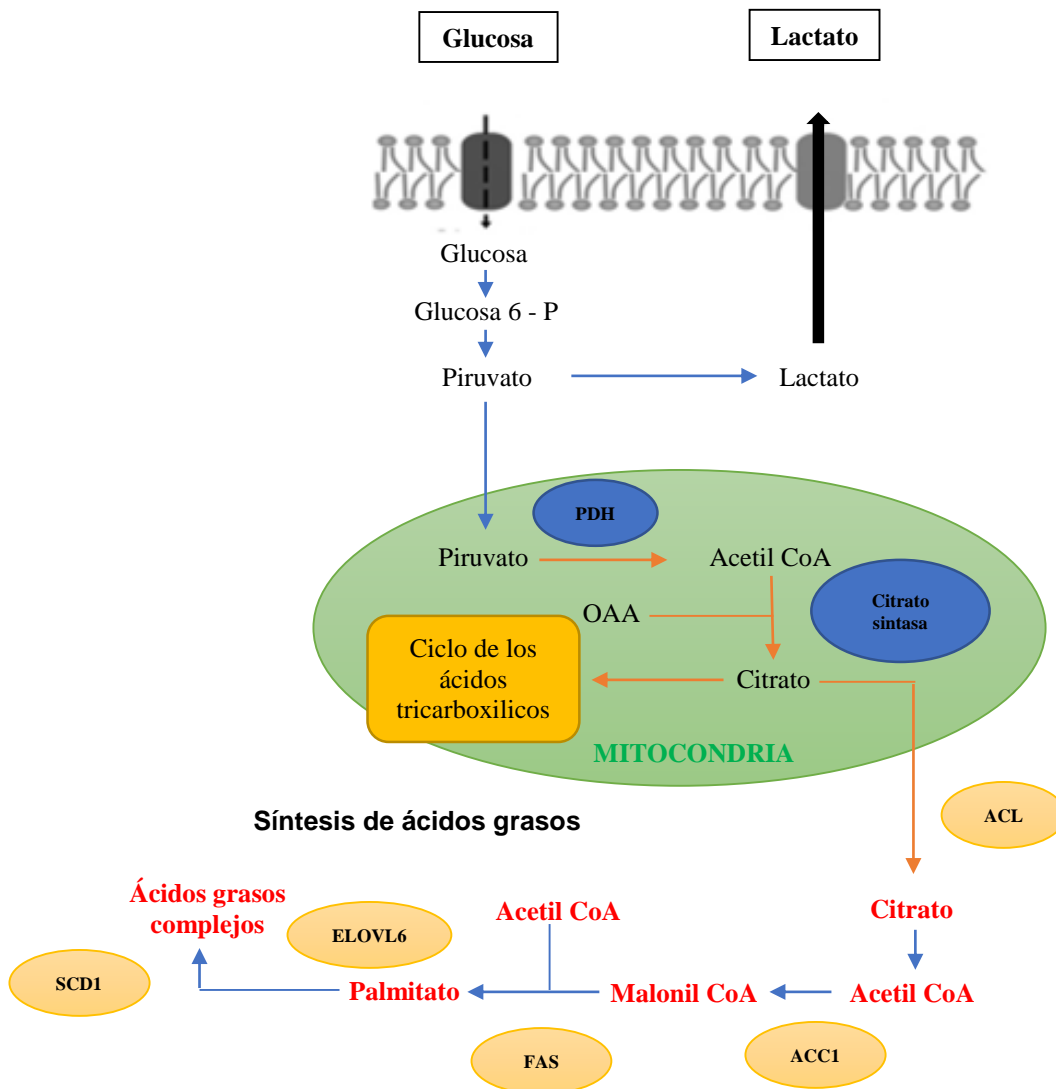
En un primer momento, en el desarrollo por hipertrofia se da un estado transitorio de inflamación que se considera necesario e incluso saludable (Wernstedt Asterholm et al., 2014). El problema surge al perpetuarse esta situación, ya que comprometería la integridad del adipocito, hipertrofiado en exceso, modificando tanto su comportamiento metabólico como generando adaptaciones en el tejido, e incluso, en última instancia, llevándolo a la apoptosis (Lafontan, 2014). En este momento se daría una infiltración de células inmunes de perfil proinflamatorio, alterando el microambiente celular, y generando un estado de inflamación tisular conocido como lipo-inflamación (Aller *et al.*, 2004; Hotamisligil *et al.*, 1993). Este fenómeno vertería a la circulación factores inflamatorios que pueden viajar a otros tejidos, generando a su vez alteraciones en los mismos y, dando lugar a una condición inflamatoria sistémica de bajo grado (León-Pedroza *et al.*, 2015). Junto a la alteración de la angiogénesis se dará una situación de hipoxia y alteración de la matriz extracelular (fibrosis), agravando aún más la situación inflamatoria del mismo (Buechler *et al.*, 2015; Trayhurn, 2013). Asimismo, encontramos que las células adiposas de los diferentes depósitos grasos presentarán un determinado tamaño promedio, una mayor o menor capacidad para la hipertrofia y/o hiperplasia, un perfil secretor diferenciado, y una mayor o menor relevancia a nivel local o sistémico, según donde se encuentren (Ouchi *et al.*, 2011). Este hecho es muy representativo, ya que se relaciona el acumulo de obesidad a nivel central como el mejor predictor de las enfermedades cardio-metabólicas asociadas a la obesidad (Suárez-Carmona *et al.*, 2017).

El mayor tamaño del adipocito, unido a un estado inflamatorio concomitante al mismo, condiciona su funcionamiento: a) alterando su perfil secretor con una mayor producción de leptina y menor de adiponectina (la cual inhibe su expresión por factores inflamatorios como el TNF $\alpha$ ), b) causando una menor sensibilidad a la insulina, c) dando lugar a una peor función mitocondrial y una mayor estrés del retículo endoplasmático, d) produciendo una mayor lipólisis basal, e) alterando el citoesqueleto celular, y f) ocasionando una menor lipogénesis de novo (Laforest *et al.*, 2015). “Este aumento de la lipólisis basal se conoce como “hipótesis del sobre flujo”, es decir, el adipocito ha saturado su capacidad para depositar triglicéridos y, éstos se dirigen a otros tejidos depositándose ectópicamente en los mismos, generando, de este modo, lipotoxicidad y resistencia a la insulina (Guilherme *et al.*, 2008). El aumento del flujo de ácidos grasos libres, unido a los factores inflamatorios, convierte una situación de resistencia a la insulina e inflamación local en un estado de resistencia a la insulina sistémico y de inflamación crónica de bajo grado (Choe *et al.*, 2016).

### **1.3. Metabolismo de carbohidratos y su relación con la lipogénesis**

La lipogénesis *de novo* es una ruta metabólica que sintetiza ácidos grasos cuando hay un exceso de carbohidratos. Estos ácidos grasos pueden ser incorporados a los triglicéridos para almacenar energía. La lipogénesis consta de una serie de reacciones mediante las cuales el acetil-CoA, producto intermediario del metabolismo de la glucosa, se convierte en ácidos grasos. Estas reacciones tienen lugar fuera de la mitocondria. El acetil-CoA es sintetizado en la mitocondria por descarboxilación oxidativa del piruvato y no puede atravesar la membrana mitocondrial. En su lugar, es el citrato el que atraviesa la membrana. Una vez en el citoplasma, la lipogénesis de novo se realiza por medio de dos sistemas enzimáticos ubicados en el citoplasma celular: la acetil-CoA carboxilasa (ACC), que convierte el acetil-CoA en malonil-CoA y la ácido graso sintetasa (FAS, del inglés “fatty acid synthase”), que cataliza la síntesis de palmitato a partir de una molécula de acetil-CoA y siete de malonil-CoA. El palmitato sintetizado de novo puede ser modificado por la elongasa Elovl-6 (Elovl-6, del inglés “elongation of very long-chain fatty acid family member 6”) y la esteaoril-CoA desaturasa-1 (SCD-1, del inglés “stearoyl-CoA desaturase-1”) para producir otras especies lipídicas. Elovl-6 cataliza la elongación de los ácidos grasos de 12, 14 o 16 carbonos, y para ello usa malonil-CoA como sustrato y NADPH como agente reductor. Mientras, la SCD-1 introduce un doble enlace en la posición  $\Delta 9$  del ácido graso saturado. Factores dietéticos

como la cantidad y el tipo de carbohidratos, el contenido de fibra y el tipo de grasas pueden influir sobre el efecto de los carbohidratos en los lípidos plasmáticos (Frayn & Kingman, 1995). Los niveles de glucosa en sangre pueden estimular la lipogénesis a través de varios mecanismos (Kersten, 2001). Uno de ellos es que el metabolismo de la glucosa a través de la ruta glucolítica aporta la fuente de carbono necesaria para la síntesis de ácidos grasos (Strable & Ntambi, 2010). Otro mecanismo es que la glucosa induce la expresión de los enzimas implicados en la ruta lipogénica (Kersten, 2001), uno de los motivos es porque induce la liberación de insulina, la cual ejerce su regulación sobre los genes lipogénicos a través de la activación de la proteína de unión a elementos regulados por esteroides-1 (SREBP-1, del inglés “sterol regulatory element-binding protein-1”) (Kersten, 2001; Strable & Ntambi, 2010).



**Figura 1.** Lipogénesis de *novo* (Gutiérrez Repiso, 2015).

PDH; *piruvato deshidrogenasa*, OOA; *oxalacetato*, ACL; *ATP citrato liasa*, ACC1; *acetil-CoA carboxilasa 1*, FAS; *ácido graso sintetasa*, Elov1-6; *elongasa de ácidos grasos de cadena larga tipo 6*, SCD-1; *esteoril-CoA desaturasa-1*.

## **1.4. Obesidad e intolerancia a la glucosa**

Se ha reportado que la obesidad sola aún sin cursar con intolerancia a la glucosa o diabetes mellitus tipo 2 puede incrementar la gluconeogénesis hepática, esto parecería ser la causa porque las personas obesas tienen un flujo aumentado de AGL en el hígado, que se acompaña de un incremento concomitante en el flujo del glicerol, del manejo de la oxidación de los ácidos grasos para soportar la síntesis de glucosa y por la acción del aumento de los ácidos grasos hepáticos que inducen resistencia a la insulina. Evidentemente la intensidad de la gluconeogénesis es menor en obesos, que en diabéticos tipo 2, los obesos inicialmente no producen hiperglucemia de ayuno, pero cuando los niveles de insulina inician su caída, incrementa la gluconeogénesis produciendo alteración en la glucosa de ayuno (Chassin *et al.*, 2007)

## **2. ANTECEDENTES ESPECÍFICOS**

### **2.1. Respuesta glucémica e Índice glucémico**

La respuesta glucémica se usa como una manera de clasificar a los alimentos según su potencial para aumentar la glucosa en sangre. Los alimentos con mayores velocidades de digestión y absorción de hidratos de carbono hacen que los niveles de glucosa en sangre aumenten con mayor rapidez que aquellos con una menor respuesta glucémica cuando la glucosa se libera a la sangre lentamente (Coto Hernández, 2019).

El concepto del índice glucémico (IG) se desarrolló en 1981 por el Dr. David Jenkins basándose en la hipótesis de Burkitt y Trowell, de 1977, quienes decían que los alimentos que son absorbidos más lentamente tenían beneficios metabólicos en los pacientes con diabetes, problemas cardiovasculares y padecimientos con exceso de adiposidad central con resistencia a la insulina (Esther Casanueva, Martha Kaufer-Horwitz, Ana Bertha Pérez-Lizaur, 2008; Jenkins *et al.*, 2002),

El IG es la respuesta glucémica de cierta cantidad de hidratos de carbono disponible en el alimento de prueba comparado con la respuesta glucémica con la misma cantidad de hidratos de carbono de un alimento estándar (Mahan, L.K. y Escott-Stump, 2009), como glucosa anhidra o pan blanco consumido por la misma persona. Los alimentos con IG bajo

son los que tienen un IG < 55, con IG moderado tienen 55-70, y con IG alto tienen > 70 (Esther Casanueva, Martha Kaufer-Horwitz, Ana Bertha Pérez-Lizaur, 2008).

## **2.2. Índice glucémico y su implicación metabólica**

Se sabe que dietas con alimentos con un IG alto provoca altas concentraciones de glucosa en sangre (Youn *et al.*, 2012), lo cual produce una estimulación pancreática mayor en comparación con el consumo de alimentos de IG bajo. Esta estimulación pancreática provoca una alta secreción de insulina, la cual después hará que las concentraciones de glucosa bajen más de lo normal y como respuesta a esto, el organismo liberará las hormonas cortisol y noradrenalina, responsables del incremento del apetito (Noriega, 2004; Román *et al.*, 2010). Asimismo, afectan el tejido cardíaco por el aumento de la glicación de proteínas, estrés oxidativo y variables hemostáticas; a su vez, aumenta el colesterol ligado a lipoproteínas de baja densidad (LDL), afectando la función endotelial (Radulian *et al.*, 2009). Otros estudios sugieren que los alimentos de IG bajo provocan una sensación de saciedad mayor, en comparación con los de IG alto, lo que permite a las personas consumir menor cantidad de alimentos o retrasar el tiempo entre una comida y otra (Jiménez-Cruz *et al.*, 2005). De tal manera que el consumo de alimentos con un IG bajo, favorece la prevención y el control de la obesidad abdominal y las enfermedades metabólicas asociadas (de Assis Costa & de Cássia Gonçalves Alfenas, 2012).

Por otra parte, estudios aleatorios publicados desde el 1 de enero de 1980 hasta el 31 de diciembre de 2010, que incluyeron un aumento en la ingesta de fibra dietética como intervención, evaluaron la HbA1c y / o la glucosa en sangre en ayunas como resultado, y utilizaron participantes humanos con diabetes tipo 2 conocida mellitus fueron seleccionados para su revisión. En general la intervención con fibra fue más efectiva que el placebo para reducir la glucosa en sangre en ayunas. La diferencia media general fue una reducción de la glucosa en sangre en ayunas por fibra de 0,85 mmol / L (IC del 95%, 0,46 a 1,25) más que la reducción del placebo. Esto es equivalente a una reducción con respecto al placebo de 15.32 mg / dL (IC 95%, 8.29–22.52) (Post *et al.*, 2012). El aumento medio de fibra en estos estudios incluidos fue de aproximadamente 18 g / día. Implementar esto en la dieta de uno incluiría comer un tazón de cereal rico en fibra y agregar algunas porciones más de vegetales al día (Post *et al.*, 2012).

### **2.3. Fibra dietaria**

Existe un consenso universal en la definición fisiológica de la fibra dietaria como un grupo de polímeros y oligómeros de carbohidratos que escapan a la digestión en el intestino delgado y pasan al intestino grueso, donde son fermentados en forma parcial o completa por la microbiota intestinal, con evidencias a favor de la salud. Sin embargo, desde el punto de vista químico; aún existen controversias relacionados con aquellas moléculas de 3 a 9 grados de polimerización, cuya inclusión fue propuesta por el CODEX Alimentarius y sin haber sido adoptado por la totalidad de sus países miembros. El método enzimático-gravimétrico adoptados por la AOAC con códigos de 2009.01 y 2011.25, son los que mejor se adaptan a la definición establecida por el CODEX Alimentarius (Vilcanqui-Pérez & Vélchez-Perales, 2017).

Las fibras solubles tienen mejores propiedades de hidratación que conducen a la formación de viscosidad, fermentación, y producción de AGCC que estimulan la producción de GLP1, PYY; hormonas que regulan el apetito y la saciedad; mecanismos importantes para la modulación del sobrepeso y la obesidad. En cambio, las fibras insolubles están relacionadas con el incremento de la masa y el volumen fecal, reducción del tiempo de tránsito intestinal con posibilidades del control del estreñimiento y el cáncer en el colon (Vilcanqui-Pérez & Vélchez-Perales, 2017)

### **2.4. Tipos de Fibra**

Las fibras dietéticas son heterogéneas y, por lo tanto, se utilizan diferentes clasificaciones para describirlas, incluido el origen, la composición química y las propiedades fisicoquímicas con una subcategorización adicional basada en el grado de polimerización (por ejemplo, la longitud de la cadena). Es importante destacar que cada una de estas propiedades también puede afectar la fermentación microbiana. Con respecto al origen, las fibras de origen vegetal se pueden separar en fibras derivadas de cereales y granos, frutas, verduras, nueces y legumbres. Sin embargo, es importante tener en cuenta que las fibras presentes en diferentes tipos de plantas también tendrán composiciones químicas variables, así como propiedades fisicoquímicas (Elleuch *et al.*, 2011; Rasane *et al.*, 2013; Schieber *et al.*, 2001). Por ejemplo, los plátanos contienen almidón resistente y fructanos de

tipo inulina, mientras que las manzanas son una fuente de pectina. Por lo tanto, las dietas ricas en alimentos de origen vegetal proporcionan muchos tipos diferentes de fibras dietéticas, lo que respalda una composición de microbiota más diversa (Bourquin *et al.*, 1993).

La fibra se clasifica en función de su comportamiento en contacto con el agua (fibra soluble e insoluble) y de su fermentabilidad (fibras no fermentables, fibras parcialmente fermentables, fibras fermentables). También, podemos dividir la fibra según su estructura en carbohidratos de cadena larga o de cadena corta como se observa en el Cuadro 1. (Eswaran *et al.*, 2013).

### **Cuadro 1. Clasificación de la fibra**

---

**a) Carbohidratos de cadena corta: solubles y altamente fermentables**

Fructooligosacáridos.

Galactooligosacáridos: rafinosa, esteaquinosa.

Fuentes: legumbres, nueces, semillas, trigo, centeno, ajo, alcachofa.

---

**b) Carbohidratos de cadena larga:**

**b1) fibra soluble y altamente fermentable:**

Almidón resistente.

Goma guar, goma de carauba o de algarrobo, goma arábica, goma tragacanto.

Glucomanano.

Pectina.

Inulina.

Dextrina de trigo.

Fuentes: legumbres, centeno, cebada, bananas, trigo sarraceno, mijo, avena, patata, arroz, pasta cocida y enfriada.

**b2) Fibra soluble y medianamente fermentable:**

Psyllium/ispagula (*Plantago ovata*).

Avena (betaglucano).

Fuentes: Semillas de la planta *Plantago ovata* y avena.

**b3) Fibra insoluble y escasamente fermentable:**

Salvado de trigo.

Lignina.

Fuentes: muchos vegetales y frutas, salvado de trigo, centeno, arroz integral, pasta integral, quinoa, semillas de lino.

**b4) Fibra insoluble y no fermentable:**

Celulosa

Metilcelulosa

Goma estercúlea

Fuentes: granos y cereales, nueces, semillas. Piel de frutas y vegetales.

---

Fuente: Almaraz *et al.*, 2015

De forma clásica, la fibra se ha clasificado en función de su condición de solubilidad. Así, distinguimos entre fibra soluble y fibra insoluble (Mataix Verdú, 2009). La fibra soluble incluye el almidón resistente, pectinas, gomas, mucílagos, algunas hemicelulosas y polisacáridos no amiláceos de reserva de la planta. Son compuestos muy hidratables que forman geles en el tracto digestivo. A esta característica se deben muchos de sus efectos fisiológicos como son el retraso en el vaciamiento gástrico o el enlentecimiento y disminución de la absorción de ciertos nutrientes en el intestino delgado. Al llegar al colon, sufren un proceso de fermentación por las bacterias allí presentes, produciéndose ácidos grasos de cadena corta (acetato, propionato, butirato). El butirato es utilizado por las células del epitelio intestinal colónico como principal fuente de energía, mientras que el propionato y el acetato son metabolizados en el hígado, pudiendo ser transportados hasta los tejidos periféricos siendo allí utilizados como fuente de energía (Almaraz *et al.*, 2015).

La fibra insoluble incluye la celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles. A diferencia de la fibra soluble, apenas es fermentada por las bacterias colónicas. Presenta un importante papel en la formación y el tránsito intestinal del bolo fecal,

aumentando el volumen de este y disminuyendo su tiempo de tránsito. Sin embargo, se sabe que algunas fibras insolubles son rápidamente fermentadas y ciertas fibras solubles no afectan a la absorción de glucosa. Por lo que la clasificación de los tipos de fibra se considera más compleja y actualmente no se recomienda utilizar esta terminología (Almaraz *et al.*, 2015).

Las características fisicoquímicas de las fibras incluyen fermentabilidad, solubilidad y viscosidad, y estas propiedades influyen no solo en la fermentación, sino también en los efectos terapéuticos del consumo (Mcorrie & Fahey, 2013). Las fibras insolubles, como la celulosa, generalmente están mal fermentadas por los microbios intestinales, pero su presencia en la dieta aumenta la tasa de tránsito intestinal y, por lo tanto, reduce la cantidad de tiempo disponible para la fermentación bacteriana colónica de alimentos no digeridos (Titgemeyer *et al.*, 1991). El psyllium es también una fibra no fermentable; sin embargo, su alta solubilidad y viscosidad produce efectos terapéuticos únicos que incluyen un mejor control glucémico y niveles reducidos de colesterol en la sangre (Mcorrie, 2015; Mcorrie & Fahey, 2013). Las fibras que son altamente fermentables a la vez que poseen alta solubilidad y viscosidad incluyen  $\beta$ -glucano y pectinas (Mcorrie & Fahey, 2013). Estas fibras se encuentran naturalmente en la dieta en granos enteros como la avena y la cebada ( $\beta$ -glucano) y frutas como las manzanas (pectina)” (Elleuch *et al.*, 2011; Schieber *et al.*, 2001). La absorción lenta de glucosa y la unión de los ácidos biliares, los mecanismos subyacentes a los beneficios fisiológicos del psyllium, los  $\beta$ -glucanos y la pectina, también se supone que afectan la microbiota gastrointestinal. Las fibras solubles no viscosas que se fermentan fácilmente mediante microbiota gastrointestinal incluyen inulina, maltodextrinas resistentes, almidón resistente, polidextrosa y fibra de maíz soluble” (Holscher *et al.*, 2015; Martínez *et al.*, 2010). Los fructanos de tipo inulina se encuentran naturalmente en el agave, alcachofas, espárragos, plátanos, raíz de achicoria, ajo, cebolla, puerros y trigo (Moshfegh *et al.*, 1999). Si bien se ha demostrado que los orígenes botánicos variables y el grado de polimerización de los fructanos de tipo inulina impactan los perfiles de fermentación en humanos, (Holscher, Bauer, et al., 2015). La evidencia de los beneficios fisiológicos de los fructanos de tipo inulina en los estudios clínicos es limitada. Sin embargo, los estudios con roedores han demostrado que el consumo de fibras de tipo inulina reduce de manera diferencial el peso corporal, el colesterol en sangre y las concentraciones de glucosa en sangre (Márquez-Aguirre *et al.*, 2013). La

Asociación Americana de Dietética (ADA) establece el consumo recomendado de fibra en adultos en 25-30 g/día, o 10-13 g de fibra por cada 1000 kcal consumidas. Además, la proporción insoluble/soluble debe ser 3/1” (Almaraz *et al.*, 2015).

## **2.5. Fibra y su implicación con la glucemia**

La ingesta de fibra puede mejorar la pérdida de peso, (Anderson *et al.*, 2009; Babio *et al.*, 2010; Saltzman *et al.*, 2001) glucemia y resistencia a la insulina (Aller *et al.*, 2004; Jang *et al.*, 2001; A. L. Jenkins *et al.*, 2010; Willis *et al.*, 2010). La obesidad es un factor de riesgo cardiovascular muy significativo, y los alimentos ricos en fibra generalmente tienen un bajo contenido de energía. Por lo tanto, el consumo de fibra constituye un mecanismo de dilución de calorías. Los alimentos ricos en fibra necesitan además ser masticado por más tiempo y, como resultado, se produce más saliva, conduciendo a un aumento en el tiempo necesario para comer la comida y en la sensación de saciedad. Es importante tener en cuenta que los efectos de la fibra dietética pueden estar relacionada con diferentes hormonas intestinales, que regulan la saciedad, la ingesta de energía y / o las funciones pancreáticas (Aleixandre & Miguel, 2008).

Además, en el intestino, la incorporación de fibra puede complicar la unión entre las enzimas digestivas y sus sustratos, lo que ralentiza la absorción de nutrientes. La fibra soluble atenúa, en particular, la velocidad de absorción de carbohidratos, disminuyendo la glucemia posprandial y respuestas insulinémicas durante la digestión, corrientes ondulantes causado por contracciones de los músculos intestinales que llevan nutrientes a la superficie de la pared intestinal para su absorción. Sin embargo, después de que la fibra soluble se disuelve en agua, atrapa los nutrientes dentro de su gel gomoso y se ralentiza considerablemente mientras se mueve a través del tracto digestivo. Dentro del gel, los nutrientes están protegidos de las enzimas digestivas y es menos probable que lleguen a la pared de los intestinos. De hecho, la fibra dietética puede retrasar el acceso enzimático almidón y puede impedir la difusión masiva de los productos de la digestión luminal a la superficie de la mucosa. También es cierto que para que los nutrientes sean absorbidos por los intestinos, primero deben cruzar una capa de agua sin agitar que cubra la superficie de los intestinos, y la fibra soluble engrosa esta capa, haciéndola más resistente al movimiento de nutrientes difundiéndose en el cuerpo. Esto explica por qué los niveles de glucosa en sangre aumentan más lentamente cuando se

consumen con fibra soluble (Aleixandre & Miguel, 2016). En conclusión, la fibra dietética convierte el intestino delgado en un órgano de almacenamiento para la liberación lenta de glucosa a la circulación portal y, en consecuencia, el azúcar se absorbe en la sangre más lentamente, amortiguando el pico agudo de glucosa en sangre típicamente experimentado por pacientes diabéticos después de una comida. Menos picos en la glucosa en sangre, a su vez, conducen a una mayor sensibilidad a la acción de la insulina (Aleixandre & Miguel, 2008).

## **2.6. La fibra dietética y los prebióticos en el microbioma intestinal**

No todas las fibras pueden clasificarse como prebióticas; Sin embargo, la mayoría de los prebióticos se pueden clasificar como fibras dietéticas” (Slavin, 2013). Los prebióticos se definen como "ingredientes fermentados selectivamente que resultan en cambios específicos, en la composición y / o actividad de la microbiota gastrointestinal, lo que confiere beneficios a la salud del huésped (Gibson *et al.*, 2010).

La conversión microbiana de polisacáridos complejos en monosacáridos implica varias vías bioquímicas, que están mediadas por las actividades enzimáticas de los microbios. Los principales productos finales fermentativos bacterianos de los carbohidratos complejos son los SCFA (Ácidos Grasos de Cadena Corta, por sus siglas en ingles), a saber, acetato, propionato y butirato, y gases (H<sub>2</sub> y CO<sub>2</sub>). Los SCFA son un indicador importante de la fermentación bacteriana en el colon. La concentración de SCFAs cambia a lo largo del tracto gastrointestinal, con las concentraciones más altas en el colon proximal y concentraciones decrecientes en el colon distal, la región del tracto gastrointestinal con la mayor densidad de microbios (Cummings *et al.*, 1987).

Entre los SCFA, el butirato es la fuente de energía clave para los colonocitos y los enterocitos. El propionato también puede utilizarse localmente mediante la conversión en glucosa por gluconeogénesis intestinal (de Vadder *et al.*, 2014). o difundirse en la vena porta para ser utilizado como sustrato para la gluconeogénesis hepática (Cummings *et al.*, 1987). Entre el 90 y el 99% de los SCFA se absorben en el intestino o son utilizados por la microbiota (Ruppin *et al.*, 1980). Sin embargo, una pequeña cantidad de SCFA, principalmente propionato y acetato, se encuentran en la circulación periférica. El acetato es el SCFA más abundante que se encuentra en circulación y se ha demostrado que cruza la

barrera hematoencefálica (Frost *et al.*, 2014; Perry *et al.*, 2016). “SCFAs influyen en la integridad de las células epiteliales gastrointestinales, la homeostasis de la glucosa, el metabolismo de los lípidos, la regulación del apetito y la función inmune (Koh *et al.*, 2016).

## **2.8. Maíz**

Desde los inicios de la civilización en América, el maíz (*Zea mays L.*) ha jugado un papel importante en la vida de los habitantes de América. En la época precolombina era la base de la alimentación entre los diversos pueblos autóctonos de México y Centroamérica, junto con el frijol, el chile y la calabaza. Existen evidencias que la existencia más antigua del maíz se remonta a unos 7,000 años de antigüedad. Se han encontrado por arqueólogos rastros de maíz en el valle de Tehuacán, Puebla. Este cereal era un alimento esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; ambos pueblos incluso afirmaban que la carne y la sangre estaban formadas por maíz (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

Químicamente, las diferentes partes anatómicas del grano difieren en su composición (Cuadro 2). El pericarpio contiene aproximadamente 87% de fibra cruda, constituida por hemicelulosa (67%), celulosa (23%) y lignina (0.1%). El endospermo, en cambio, presenta un nivel elevado de almidón (87%), aproximadamente 8% de proteína y un contenido de lípidos relativamente bajo. El germen se caracteriza por su elevado contenido de lípidos crudos (33% en promedio), además de un nivel de proteína alrededor al 20% y minerales (Serna-Saldivar *et al.*, 1990).

El componente principal del grano de maíz es el almidón, al que corresponde hasta el 73% del peso del grano, conteniendo otros carbohidratos como glucosa, sacarosa y fructosa en cantidades que van del 1 al 3% del grano, según la variedad (Rodríguez, 2013).

**Cuadro 2.** Composición química proximal de las partes anatómicas principales de los granos de maíz en base seca.

<b>Componente químico</b>	<b>Pericarpio (%)</b>	<b>Endospermo (%)</b>	<b>Germen (%)</b>
<b>Proteína</b>	3.7	8.0	18.4
<b>Extracto etéreo</b>	1.0	0.8	33.2
<b>Fibra cruda</b>	86.7	2.7	8.8
<b>Cenizas</b>	0.8	0.3	10.5
<b>Almidón</b>	7.3	87.6	8.3
<b>Azúcar</b>	0.34	0.62	10.8

Fuente: Watson, 1987.

La fibra en el grano de maíz se encuentra principalmente en el pericarpio y la capa terminal; el restante está en las paredes celulares del endospermo y en menor medida, en las del germen. El salvado de maíz está formado por un 75% de hemicelulosa, 24.9% de celulosa y 0.1% de lignina en base seca (Serna-Saldivar et al., 1990).

## **2.9. Nopal**

El interés del ser humano por los nopales (*Opuntia ficus-indica*) data de miles de años. Su origen e historia están íntimamente relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura Azteca. Existen evidencias arqueológicas que permiten afirmar que fueron las poblaciones indígenas asentadas en las zonas semiáridas de Mesoamérica las que iniciaron su cultivo de modo formal (Sáenz, 2004).

Los nopales están ligados de modo particular a la historia de México y Mesoamérica, su centro de origen genético. La evidencia del conocimiento y uso del nopal por los primeros pobladores mexicanos se encuentra en las excavaciones de Tamaulipas y Tehuacán, Puebla, donde se encontraron fosilizadas semillas y cáscaras de tuna, así como fibras de pencas de nopal, de una antigüedad de 7,000 años (Flores-Valdez, 2003).

Los nopales, al igual que otras verduras, contribuyen con una alta proporción de agua a la dieta y son altamente cotizados por su contenido en fibra. Al igual que otras hortalizas, los nopales como verdura tienen un alto contenido de agua (90,1%), bajo contenido de lípidos

(0.3%), hidratos de carbono (5.6%) y proteínas (1.7%) y alto contenido de fibra (3,5%) (Muñoz de Chávez *et al.*, 1995). El nopal presenta tanto fibra insoluble (celulosa, lignina, principalmente) como cantidades considerables de fibra soluble (pectina, mucílagos y derivados), que aportan un valor adicional al producto. Este producto, en forma de harina, presenta 43% de fibra dietética total, de la cual 28,45% es fibra insoluble y el 14,54% es soluble” (Saenz *et al.*, 1997) El efecto fisiológico de la fibra dietética de nopal ha sido comprobado en estudios clínicos tanto con ratas hipercolesterolémicas (Cárdenas, 1996) como con humanos con síndrome metabólico (Lecareux, 2008), en donde se han obtenido resultados positivos en la reducción de peso, colesterol total y colesterol asociado a lipoproteínas de baja densidad (LDL), observando un mayor efecto en los tratamientos que usaban nopal crudo y/o en forma de harina, comparado con el uso del nopal cocido (Cárdenas, 1996; Leceraux, 2008).

Además del alto contenido de fibra dietética, su contenido de minerales también es alto, principalmente de Calcio y el Potasio (93 y 166 mg/100 g, respectivamente), y tienen bajo contenido de Sodio (2 mg/100 g), lo que es una ventaja para la salud humana. Su alto contenido en Calcio, los hacen muy interesantes por la importancia de este mineral en el mantenimiento de la estructura ósea del cuerpo, pero es un problema que debe ser más investigado. En un estudio efectuado en nopales señalan que el Calcio en los nopales presente no estaría disponible para la utilización por el cuerpo humano, ya que se encuentra bajo forma de cristales de Oxalato de Calcio (McConn y Nakata, 2004). Contiene, además, cantidades moderadas de carotenoides (30 µg/100 g) y de vitamina C (11 mg/100 g) (Sáenz, 2004).

## **2.10. Avena**

La avena ha sido consumida como alimento desde la antigüedad, su nombre es *Avena Sativa* y pertenece a la familia *Poaceae*. Es un cereal mayormente cultivado en Europa y Norteamérica. Su cultivo necesita un clima húmedo y fresco; los principales países productores son Rusia, Canadá, Estado Unidos, Finlandia y Polonia. Su consumo se ha visto ha incrementado en los últimos años (Varma *et al.*, 2016).

La avena es un cereal cuyo grano completo tiene un elevado contenido en fibra dietética soluble, en la que se incluye el beta-glucano, aportando también proteínas, lípidos, vitaminas, minerales y polifenoles, como las avenantramidas (Clemens & van Klinken, 2014;

Singh *et al.*, 2013). Por su contenido en fibra y fitoquímicos, principalmente, diversos estudios clínicos han evaluado la eficacia del consumo de los cereales de grano completo, en la prevención y control de la enfermedad cardiovascular, diabetes, regulación de la presión arterial, control de peso, salud gastrointestinal, e incluso el cáncer (Butt *et al.*, 2008; Ortega *et al.*, 2015)

### **2.11. Linaza**

La linaza corresponde a la semilla del lino (*Linum usitatissimum L.*) y se ha utilizado tradicionalmente como oleaginosa. En las últimas décadas ha surgido un gran interés por ella debido al reconocimiento de que algunos de sus componentes ofrecen potenciales beneficios para a la mantención de la salud y la prevención de algunas enfermedades crónicas no transmisibles. Entre estos compuestos con actividad biológica destacan, el ácido alfa linolénico, los lignanos y la fibra dietética. Para el mejor aprovechamiento de dichos componentes la semilla debe molerse, de manera de aumentar su bio-disponibilidad (Figuerola *et al.*, 2008).

La linaza tiene alrededor de 40% de lípidos, 30% de fibra dietética y 20 % de proteína. La composición proximal varía considerablemente entre las variedades y de acuerdo con las condiciones ambientales en las que haya crecido la planta. En los cotiledones se encuentra el 87% de los lípidos y el 76% de la proteína de la semilla, en tanto que en el endosperma está sólo el 17% de los lípidos y el 16% de la proteína (Babu y Wiesenfeld, 2003; Daun *et al.*, 2003; Oomah, 2003).

La linaza es una semilla oleaginosa, fuente importante de ácidos grasos omega 3, especialmente  $\alpha$  linolénico (ALA) que puede constituir hasta el 52% del total de ácidos grasos; de compuestos fenólicos conocidos como lignanos; de una goma coloidal y de proteína de buena calidad. Estos compuestos, aunque están ubicados en diferentes partes de la semilla, interactúan entre si durante la extracción y el procesamiento, lo que plantea grandes desafíos para su utilización (Oomah, 2001; Oomah, 2003; Hall *et al.*, 2006).

### **2.12. Espinaca**

La espinaca (*Spinacea oleracea L* y sus variedades) es un alimento bajo en calorías (31 cal en 100 g), con bajo contenido de grasas (0.3 g en 100 g), relativamente bajo en proteínas (2.6 g en 100 g) y buen aportador de fibra y micronutrientes como vitamina C (30

mg en 100 g), vitamina A (542  $\mu$  en 100 g) y minerales, especialmente hierro (4 mg en 100 g) (Favell, 1998; Moreiras et al., 2016; Toledo *et al.*, 2003)

La espinaca es uno de los vegetales de hoja más económico, por su aporte de vitamina K participa en la formación de la protrombina, necesaria en la coagulación de la sangre, aporta hierro mineral que es el constituyente esencial de la hemoglobina y mioglobina, forma parte de algunos procesos enzimáticos y es importante en el transporte de oxígeno. Otro nutriente importante que contiene la espinaca es el ácido fólico (140  $\mu$  en 100 g), vitamina hidrosoluble que cumple una función importante en el desarrollo del material genético, formación del tubo neural en las primeras ocho semanas de gestación de la mujer, participación en la producción de células sanguíneas y reparación de músculos. Este aporte a la salud, a través de la dieta, es tal vez la propiedad nutraceútica más importante de la espinaca (Jiménez et al., 2010; Moreiras *et al.*, 2016).

### **2.13. Tortillas**

La tortilla es un disco aplanado de masa de maíz nixtamalizado, cuya dimensión varía entre 12 y 18 centímetros de diámetro y de uno a dos milímetros de espesor. Se cuece sobre un comal, que es una superficie caliente (260-280 °C) generalmente metálica (Cruz y Verdalet 2007).

Se denomina tortilla al producto elaborado con masa que puede ser mezclada con ingredientes opcionales, sometidos a cocción. Mientras que la masa es el producto obtenido de la molienda húmeda de granos de harina nixtamalizado o pasta que se forma a partir de harina de maíz nixtamalizado, harina de trigo, harinas integrales o sus combinaciones y agua. Pudiendo estar mezclada con ingredientes opcionales y aditivos permitidos para alimentos”(NOM-187, 2016).

La tortilla es considerada como un alimento de primera necesidad para el 94% de la población mexicana, principalmente en las zonas rurales, donde su consumo es de 328 g diarios per cápita y provee el 70% del total de calorías, 50% de las proteínas y 49% del calcio (Cruz y Verdalet, 2007). Esto hace que los mexicanos sean los principales consumidores de tortilla en el mundo, con una producción y consumo cercano a los 12 millones de toneladas de tortillas por año (González-Cortés *et al.*, 2017).

## 2.14. Nixtamalización

La nixtamalización es un proceso antiguo que data de la época prehispánica, que consistía en el cocimiento de este cereal en cenizas de leña, y que al mezclar con el agua se convertía en una lejía alcalina que modificaba las propiedades físicas, químicas y sensoriales del grano cocido. Actualmente este proceso continúa siendo utilizado, a nivel artesanal o industrial, sustituyendo las cenizas de leña por la cal apagada o  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Este proceso, consiste en el cocimiento del grano de maíz en una solución alcalina a temperaturas que oscilan de 80-100 °C por 30-45 minutos, para posteriormente dejar en reposo el grano en soluciones acuosas de hidróxido de calcio  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , por tiempos largos de 8-24 horas. La solución de cocción o nejayote es drenada y el grano es lavado, posteriormente el grano nixtamalizado es sometido a una molienda y secado para la producción de harina para la elaboración de tortilla y productos derivados como frituras, totopos, tostadas, etc. (Serna *et al.*, 1993). A partir de este proceso, se pueden obtener una amplia gama de productos, según la variedad y el empleo del grano utilizado para el proceso, así como variaciones en el proceso. Dentro de los productos más comunes podemos mencionar la harina, masa y tortilla de maíz nixtamalizado (Rodríguez, 2013).

Las principales características de la tortilla son: consistencia, flexibilidad, firmeza, uniformidad de su estructura, color, aspecto higiénico, vida de anaquel y características sensoriales como sabor, aroma, textura (INEGI, 2005; San Vicente, 1996).

La transformación del maíz en tortillas requiere un proceso de nixtamalización. Estos tres elementos influyen en la composición química del grano de maíz procesado, dando lugar a modificaciones físicas y químicas en la estructura del mismo, afectando pericarpio, endospermo y germen. Los cambios se deben a las pérdidas materiales de grano y a las pérdidas químicas, que pueden derivar de la destrucción de algunos elementos nutritivos y de la transformación química de otros (Bressani, 1990).

Dentro de los cambios más significativos es el cambio del valor nutricional de la proteína. Se ha reportado que la zeína, proteína principal del grano y nutricionalmente pobre, disminuye su solubilidad” (Watson, 1987; Vivas *et al.*, 1987), mientras que la glutelina, con mejor balance aminoacídico, aumenta su solubilidad (Trejo *et al.*, 1982; Vivas *et al.*, 1987),

aumentando la disponibilidad de aminoácidos esenciales en el grano como lisina (2.8 veces), triptófano, la relación isoleucina-leucina (1.8 veces).

Otros efectos importantes son la liberación de niacina, el aumento en la cantidad y disponibilidad del calcio (Bressani *et al.*, 1958; Cuevas *et al.*, 2006; FAO 2009; Tonella *et al.*, 1983; Watson, 1987) y la pérdida de cantidades importantes de fibra dietética, debido a la pérdida de la mayoría del pericarpio en el proceso de nixtamalización (Serna Saldivar *et al.*, 1991).

### **2.15. Alimentos Funcionales**

Un alimento funcional es aquel que además de presentar un carácter nutritivo básico y características organolépticas agradables para el consumidor, proporciona también un efecto favorable para la salud, ya sea modificado o potenciando las propiedades beneficiosas de alguno de sus componentes. El International Life Science Institute (ILSI) Define a los alimentos funcionales como aquellos que contienen un componente, nutriente o no nutriente, con efecto selectivo sobre una o varias funciones del organismo, con un efecto añadido por encima de su valor nutricional y cuyos efectos positivos justifiquen que pueda presentarse como producto funcional o incluso saludable (Gil Hernández & Aranceta Batrina, 2010).

## CAPITULO II

### 3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En México, las prevalencias de obesidad han incrementado en los últimos años. En el año 2018 a nivel nacional, la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición reportó que el porcentaje de adultos de 20 años y más con sobrepeso y obesidad fue de 75.2% comparado al reportado en el año 2012 que fue de 71.3% (Secretaría de Salud, Instituto Nacional de Salud Pública & Estadística y Geografía, 2018). El exceso de peso es uno de los principales factores de riesgo para el desarrollo de padecimientos crónicos degenerativo, como obesidad, diabetes mellitus, hipertensión arterial, y enfermedades cardiovasculares (Shamah *et al*, 2006).

Al observar un aumento de estos problemas de salud y malos hábitos alimentarios surge la necesidad de desarrollar productos con tendencia saludable, que ayuden hacer frente a esta situación en la que se encuentra la población actual, un producto ideal por su alto consumo en México, es la tortilla, mediante la elaboración de una tortilla rica en fibra y tener características físicas y organolépticas similares a la tortilla de maíz común, la introducción a la dieta diaria de los consumidores será de forma sencilla.

Así mismo varios estudios reportan que comer alimentos ricos en fibra puede ayudar a controlar el peso corporal y evitar la obesidad, especialmente el exceso de grasa abdominal. De los efectos que ha demostrado la fibra dietaria es un aumento en la saciedad, así como una menor disponibilidad de calorías y una disminución de los niveles de colesterol y de lipoproteínas de baja densidad en sangre (Vilcanqui-Pérez & Vélchez-Perales, 2017). Debido a estos mecanismos resulta idóneo elaborar una tortilla a base de maíz nixtamalizada adicionada con fibra dietaria de nopal, avena, linaza y espinaca para mejorar la funcionalidad de esta y ofrecer una alternativa de consumo de tortilla que tenga un índice glucémico bajo, lo cual permitiría ser un alimento que puede consumirse a cualquier hora del día y en mayor cantidad en comparación a la tortilla tradicional de maíz para alimentar a niños, jóvenes, adultos que padezcan sobrepeso u obesidad.

## **4. OBJETIVOS**

### **OBJETIVO GENERAL**

Elaborar una tortilla funcional a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca, y determinar la respuesta e índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el diseño de experimentos para desarrollar la mejor formulación de la tortilla funcional.
- Caracterizar la tortilla funcional mediante el análisis químico proximal, proteínas, capacidad antioxidante y humedad.
- Determinar la respuesta e índice glucémicos de la tortilla de maíz adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca y compararla con la tortilla de maíz normal en sujetos con IMC <25 y >25.

## **CAPITULO III**

## **5. MATERIALES Y MÉTODOS**

El presente trabajo se desarrolló en dos etapas; en la primera etapa se realizó un diseño experimental mediante un diseño factorial  $2^k$  para la elaboración y caracterización de la tortilla funcional, a base de maíz, nopal, espinaca, avena y linaza. La segunda etapa consistió en la valoración de la respuesta glicémica en sujetos con IMC <25 y >25.

### **5.1. Etapa 1: Formulación de la tortilla funcional**

#### **5.1.1. Nixtamalizado del maíz**

Los ingredientes fueron obtenidos en el mercado La Purísima con una madurez comercial apta para el consumo humano, en la región de Tehuacán, Puebla.

La nixtamalización del maíz se realizó de manera tradicional. Se coció el maíz en agua con CaOH al 3.5 % p/v. Una vez cocidos los granos de maíz se dejaron reposar durante 8 h aproximadamente hasta que la cáscara del maíz se separó para facilitar la molienda. Se

enjuagó el maíz tres veces con agua purificada para eliminar el exceso de CaOH, finalmente se molió en un molino de martillos. La masa obtenida se utilizó de manera inmediata.

Se ensayaron mezclas de nopal, linaza, avena y espinaca de acuerdo a un diseño de experimentos factorial  $2^k$  (K=4) siendo K el número de factores (contenido de nopal, linaza, avena y espinaca) con el software Minitab 17, donde se obtuvieron 31 formulaciones diferentes, manteniendo constante la temperatura de cocimiento (ver cuadro 3).

**Cuadro 3.** Formulación para la tortilla de maíz adicionada con nopal espinaca, avena y linaza, mediante un diseño factorial  $2^K$  (K=4) usando el software Minitab 17.

RunOrder	Nopal (%)	Linaza (%)	Avena (%)	Espinaca (%)
1	17.0	1	3	0.50
2	17.0	3	3	3.50
3	6.5	2	2	0.75
4	13.5	2	2	0.75
5	15.0	4	4	5.00
6	17.0	3	3	1.00
7	17.0	3	1	0.50
8	13.5	4	2	0.75
9	10.0	1	3	1.00
10	10.0	1	1	0.50
11	20.5	2	2	0.75
12	13.5	2	2	0.25
13	17.0	1	3	4.00
14	13.5	2	2	0.75
15	17.0	3	1	1.00
16	13.5	0	2	0.75
17	17.0	1	1	0.50
18	10.0	1	3	0.50
19	10.0	3	1	0.50
20	13.5	2	2	0.75
21	13.5	2	2	0.75
22	13.5	2	2	1.25
23	13.5	2	4	0.75
24	13.5	2	2	0.75
25	13.5	2	0	0.75
26	10.0	1	1	3.00
27	10.0	3	1	1.00
28	17.0	1	1	1.00
29	10.0	3	3	0.50
30	13.5	2	2	0.75
31	13.5	2	2	0.75

Las mejores formulaciones fueron seleccionadas con base a las características del producto como; análisis de preferencia hedónica, capacidad antioxidante y propiedades fisicoquímicas.

**Cuadro 4.** Formulaciones propuestas.

Ingrediente	T1 g/100 g	T2 g/100 g
Nopal	6.5	15
Avena	2	4
Linaza	2	4
Espinaca	0.75	5

Donde: T1=Tortilla 1 y T2 =Tortilla 2

### **5.1.2. Elaboración de la tortilla**

Se utilizó la masa previamente nixtamalizada, el nopal licuado con la espinaca, linaza y avena triturada con las proporciones de las formulaciones sugeridas para T1 y T2. Se mezclaron los ingredientes realizando el amasado tradicional por 10 min aproximadamente, hasta obtener una consistencia uniforme e hidratada. Se formaron porciones de 30 g, las cuales se prensaron y se colocaron en un comal a 200 °C. Se cocieron en un tiempo de 1 minuto aproximado por cada lado, y se almacenaron en refrigeración a 4° C hasta su consumo.

### **5.1.3. Análisis sensorial**

Se realizó una prueba hedónica de preferencias por escalas a 50 sujetos con edades entre 18-50 años. Se proporcionaron a los panelistas dos productos con formulaciones distintas, siendo T1 (Tortilla 1) la primera formulación y T2 (Tortilla 2) la segunda formulación respecto al cuadro 4 y fueron codificados aleatoriamente. Los panelistas calificaron los productos en una escala del 1 al 7, siendo la escala 1 “me gusta muchísimo” y la escala 7 “me disgusta muchísimo” (ver anexo 1).

### **5.1.4. Caracterización fisicoquímica**

#### **5.1.4.1. Análisis químico proximal**

La tortilla de maíz adicionada con nopal espinaca, avena y linaza será caracterizada mediante un análisis químico proximal evaluándose: humedad por tratamiento térmico de acuerdo con la NOM-116-SSA1-1994; fibra dietética total mediante la NOM-086-SSA1-

1994; proteínas con el método Kjeldahl NMX-F-608-NORMEX-2011; cenizas totales a 550°C mediante NMX-F-607-NORMEX-2020; grasas por hidrólisis ácida de acuerdo con la NOM-086-SSA1-1994 y carbohidratos disponibles por cálculo.

## **5.2. Etapa 2: Valoración de la respuesta glucémica e índice glucémico en sujetos con IMC <25 y >25.**

Los sujetos fueron reclutados mediante una invitación personal. En este estudio se incluyeron 12 sujetos sanos (seis mujeres y seis hombres) entre 19 a 50 años. Tres hombres y tres mujeres presentaron un IMC <25 y tres mujeres y cuatro hombres presentaron un IMC >25. Los criterios de inclusión y exclusión que se tomaron en cuenta se presentan a continuación:

Criterios de inclusión:

Firma de carta de consentimiento informado (ver anexo 2)

Edad de 19 a 50 años

Sujeto con IMC <25 y >25 Kg/m<sup>2</sup>

Sujetos que radiquen en la ciudad de Tehuacán

Criterios de exclusión:

Sujetos con Diabetes Mellitus o enfermedades crónicas no transmisibles

Mujeres embarazadas o en lactancia

Sujetos con alguna capacidad física diferente que impida obtener los parámetros antropométricos.

Sujetos que abandonaron el estudio

Los sujetos fueron medidos mediante la técnica ISAK por una servidora certificada como Técnico Antropométrista en nivel 1. Las mediciones se realizaron con un antropómetro Slim Guide, plicómetro Harpenden, cinta Lufkin, estadiómetro BAME y báscula Tanita BC-545F.

Las mediciones que se realizaron fueron peso, estatura, circunferencia de cintura, circunferencia de cadera. Los parámetros que se midieron en la báscula además del peso fueron % grasa, % agua, masa muscular, IMC, densidad ósea y edad metabólica.

Los sujetos se presentaron con un ayuno nocturno mínimo de 8 horas durante tres semanas mediante el siguiente esquema:

La primera semana se les administró vía oral 25 g de dextrosa anhidra diluida en 125 ml de agua. Se realizó la primera toma de muestra de glucosa capilar antes de tomar la dilución, la segunda a los 60 minutos y la tercera a los 120 minutos.

La segunda semana se administraron vía oral 55.14 g de tortilla de maíz convencional equivalente a 25 g de hidratos de carbono de la tortilla de maíz registrado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Se realizó la toma de muestra de glucosa capilar antes de comer la tortilla, al minuto 60 y al minuto 120.

La tercera semana se administraron vía oral 131.6 g de tortilla funcional equivalente a 25 g de hidratos de carbono de la tortilla de nopal registrado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes. Se realizó la toma de muestra de glucosa capilar antes de comer la tortilla, al minuto 60 y al minuto 120.

Debido a las diferencias en el peso y metabolismo, la respuesta de glucosa en sangre al mismo alimento puede variar de persona a persona (Torres *et al.*, 2006). Por lo tanto, se llevarán a cabo un duplicado de las mediciones en diferentes días.

La determinación de la respuesta glucémica se realizó obteniendo los promedios y desviaciones estándar de los sujetos con un IMC <25 y >25 a los tiempos 0, 60 y 120 min.

La determinación del IG se calculó con el incremento de área bajo la curva de la respuesta glucémica. El área se determinó por la suma de las áreas de los triángulos y trapecios.

### **5.3. Inferencia estadística**

Se usó la prueba de hipótesis para este estudio tanto para la respuesta glucémica como para el índice glucémico, y se consideraron dos variables:

- a) La diferencia (x) entre la tortilla de maíz (TM) y la tortilla funcional (TF)
- b) La diferencia (y) entre sujetos con IMC <25 y sujetos con IMC >25

Es decir,  $x$  y  $y$  en sus respectivas poblaciones tienen una distribución normal con media  $\mu_x$  y  $\mu_y$ , respectivamente.

La hipótesis nula ( $H_0$ ), nos dice que no hay diferencia entre las medias de las poblaciones:

$$H_0: \mu_x - \mu_y = C$$

Dónde  $C$  es cualquier número real.

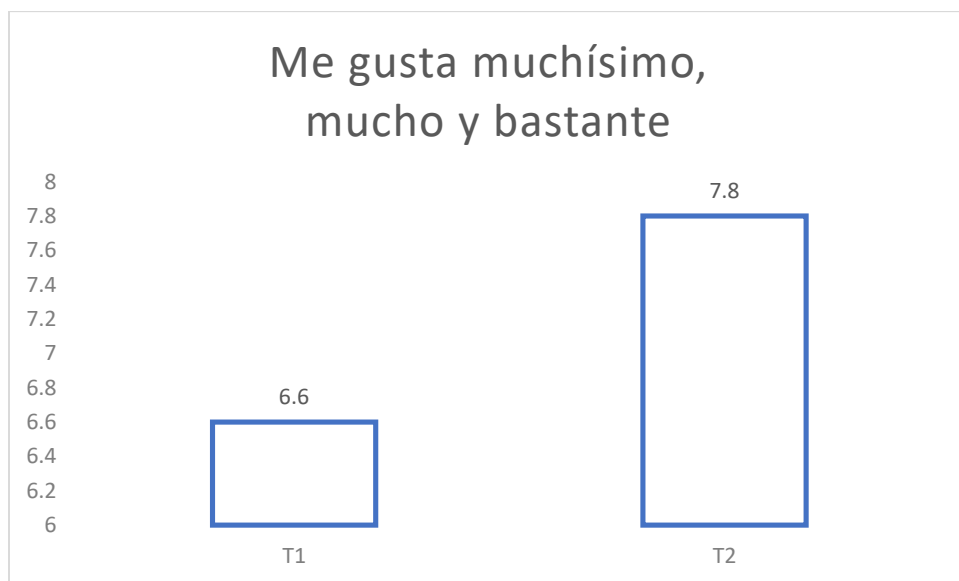
Se usó una prueba estadística  $t$  de student como prueba de contraste a partir de los datos recolectados. El nivel de significancia es de  $\alpha=0.05$ . Como regla para este estudio, se rechaza  $H_0$  si: el valor de  $P$  es menor al valor de significancia de  $\alpha$ .

## CAPÍTULO IV

### 6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 6.1. Selección de la Formulación

Se puede observar en la figura 2 que las sumatorias de las escalas me gusta muchísimo, me gusta mucho y me gusta bastante, la T2 (Tortilla 2) obtuvo mayor preferencia que la T1 (Tortilla 1).



**Figura 2.** Gráfica de la prueba hedónica

## 6.2. Caracterización fisicoquímica

En el Cuadro 5 se puede observar la composición fisicoquímica y proximal de la tortilla funcional seleccionada.

El % humedad de la tortilla funcional fue de 39.52 % que es menor a lo reportado por Soriano *et al.*, 2016 con 59.5% de una tortilla de harina de maíz nixtamalizado adicionado con harina de avena. Esto representa una menor probabilidad de crecimiento de hongos y bacterias, así como también, mayor vida de anaquel de la tortilla.

El % de cenizas totales en la tortilla funcional fue de 1.12% que es similar al valor presentado por Soriano *et al.*, 2016 que fue de 1.9 % al realizar tortillas con harina de maíz nixtamalizado adicionado con harina de avena, esto representa la cantidad de minerales totales en la tortilla funcional.

**Cuadro 5.** Resultados de la caracterización fisicoquímica y proximal de la tortilla funcional

Parámetro	Contenido
%Humedad	39.52%
%Cenizas totales	1.12%
Proteínas (g/100g)	7 g
Grasas totales (g/100g)	6 g
Grasas saturadas (g/100g)	1 g
Grasas monoinsaturadas (g/100g)	2 g
Grasas poliinsaturadas (g/100g)	3 g
Grasas trans (g/100g)	0 g
Hidratos de carbono disponibles (g/100g)	34 g
Azúcares añadidos (g/100g)	0 g
Fibra dietética (g/100g)	10 g
Sodio (mg/100g)	20 mg

La cantidad de proteínas en la tortilla funcional fue de 7 g en 100 g de tortilla. Esto es mayor en comparación con la tortilla de nopal reportada en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes 5ta edición con 4.63 g en 100 g de tortilla.

Octavio Rodiles-López *et al.*, 2019 elaboró una tortilla de maíz a partir de 90 g de masa con 2.5g de harina de nopal y 2.5g de aguacate liofilizado y reportó 5.59 g de proteína en 100 g de tortilla la cual es mayor que lo reportado en esta investigación.

El contenido de grasas totales, saturadas, monoinsaturadas y poliinsaturadas de la tortilla funcional, se muestran en el cuadro 5. Estos valores son más altos que los reportados

en la tortilla de nopal del Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes 5ta edición con 0.14 g de grasas saturadas, 0.43 g de grasas monoinsaturadas y 0.89 g de poliinsaturadas en 100 g de tortilla funcional respectivamente. Con esto se demuestra que la adición de linaza representa una buena fuente de grasas insaturadas con las cuales se obtienen mayores beneficios cardiovasculares y antiinflamatorios.

La cantidad de fibra dietética en la tortilla funcional fue de 10 g en 100 g de producto. Esto representa una cantidad similar a lo reportado en el Sistema Mexicano de Alimentos Equivalentes 5ta edición para la tortilla de nopal con 13 g en 100 g de producto. (Octavio Rodiles-López et al., 2019) reportaron en su tortilla de maíz a partir de 90 g de masa con 2.5g de harina de nopal y 2.5g de aguacate liofilizado; 12.77 g de fibra en 100 g de producto. Se tiene un buen aporte de fibra dietética y mayor saciedad en la alimentación.

### **6.2.1. Capacidad antioxidante**

La capacidad antioxidante de la tortilla funcional propuesta fue de  $219.7 \pm 10.8$   $\mu\text{mol}$  Trolox (ET)/g de la muestra y el porcentaje de inhibición fue de  $35.27 \% \pm 1.6$ . Esto es mayor a los reportados por Rojas Benites et al., 2017 en tomate de árbol (*Cyphomandra betacea*) con un contenido de 9,81 equivalentes de Trolox/g de fruta fresca. Esta propiedad indica la presencia de compuestos bioactivos en su composición, que poseen actividad antioxidante y contribuyen beneficios a la defensa del organismo.

## **6.3. Respuesta e índice glucémicos en sujetos con IMC <25 y >25**

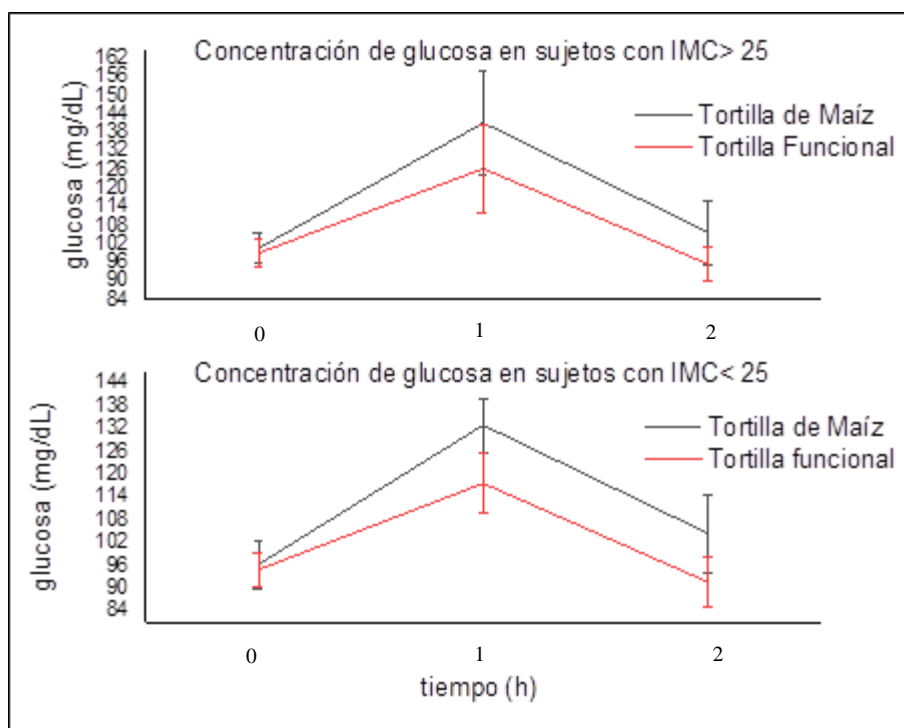
### **6.3.1. Respuesta glucémica**

De acuerdo con los resultados obtenidos de las glucosas capilares de 6 sujetos con IMC <25 y 7 sujetos con IMC >25, se pudo observar que el promedio de glucosas tanto en la tortilla de maíz, tortilla funcional y solución glucosada son mayores en sujetos con IMC >25 que los sujetos que tienen un IMC <25.

**Cuadro 6.** Promedio y desviación estándar de la glucosa capilar por tortilla y solución glucosada de los sujetos con IMC <25 y >25.

Tortilla maíz						
IMC	T0		T1		T2	
	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL
<25	96.25	6.11	133	6.81	104.42	9.80
>25	101	4.74	142.64	16.17	105.21	10.05
Tortilla funcional						
	T0		T1		T2	
	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL
<25	94.83	4.30	117.67	7.60	91.58	6.37
>25	99.86	4.14	127.21	13.83	96	5.08
Solución glucosada						
	T0		T1		T2	
	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL	Promedio mg/dL	DE mg/dL
<25	93.33	4.77	151.83	10.84	93.25	5.34
>25	100.86	5.25	161.43	13.70	97.71	5.24

Las concentraciones de glucosa en sangre capilar se expresaron como promedio  $\pm$  error estándar de la media. En promedio la concentración de glucosa capilar de todos los sujetos con IMC > 25 después del consumo de la tortilla normal presentó un pico de glucosa a los 60 minutos de 141.16 mg/dl  $\pm$  16.78 en comparación con el consumo de tortilla funcional que presentó un pico de glucosa de 126.41 mg/dl  $\pm$  14.34. Los sujetos con IMC < 25 después del consumo de tortilla normal presentaron un pico de glucosa 133 mg/dl  $\pm$  7.10 en comparación con el consumo de tortilla funcional con un pico de glucosa de 117  $\pm$  7.93 mg/dl como se muestra en la figura 3.



**Figura 3.** Concentración de glucosa en sujetos con IMC <25 y >25

Padilla Pavón & Secchi, 2019, determinaron el promedio de glucemias, IG y CG cada 15 min por 2 horas en tostadas de maíz elaboradas con el método de nixtamalización ecológica, al respecto, en este estudio, se obtuvo una concentración de glucosa capilar de 114 mg/dl al minuto 60 y de 98 mg/dl a los 120 min, datos que reflejan una concentración similar a los obtenidos con la tortilla funcional que fue de 117 mg/dl al minuto 90 y de 91 mg/dl a los 120 min de la ingesta. La concentración glucémica baja que se obtuvo en este estudio se debe al contenido de fibra del nopal, avena, espinaca y linaza que se usaron para esta formulación de la tortilla funcional.

En el presente trabajo se encontró en el grupo de sujetos con IMC > 25, que la concentración de glucosa de la tortilla funcional (TF) fue menor que en la tortilla de maíz (TM), como tal, se encontró diferencia estadísticamente significativa entre las tortillas con un valor P 0.000663.

En el Cuadro 6 se observa que existe diferencia significativa en la concentración de glucosa entre las tortillas TF y TM en sujetos con IMC <25 y en sujetos >25 en el tiempo

postprandial. En sujetos con IMC >25 se observó mayor diferencia significativa a los 120 y 180 min entre la TM y la TF.

**Cuadro 7.** Valor de P y t student de la concentración de glucosa entre Tortilla de Maíz y Tortilla Funcional.

	P	T-student
T0 IMC<25	0.0875	-1.8755
T1 IMC<25	0.000663	4.68709
T2 IMC<25	0.00256	3.88055
T0 IMC>25	0.40559	0.85959
T1 IMC>25	6.0739E-5	5.80999
T2 IMC>25	0.013	2.87586

Nota: T1=Tiempo 1 T2=Tiempo 2 T3=Tiempo 3 IMC=índice de Masa Corporal

### 6.3.2. Índice Glucémico

En el índice glucémico de los sujetos con IMC <25 se pudo observar que el promedio de la TF tiene valores más bajos que la TM al igual que los sujetos con IMC >25.

**Cuadro 8.** Promedio y desviación estándar del índice glucémico de sujetos con IMC <25

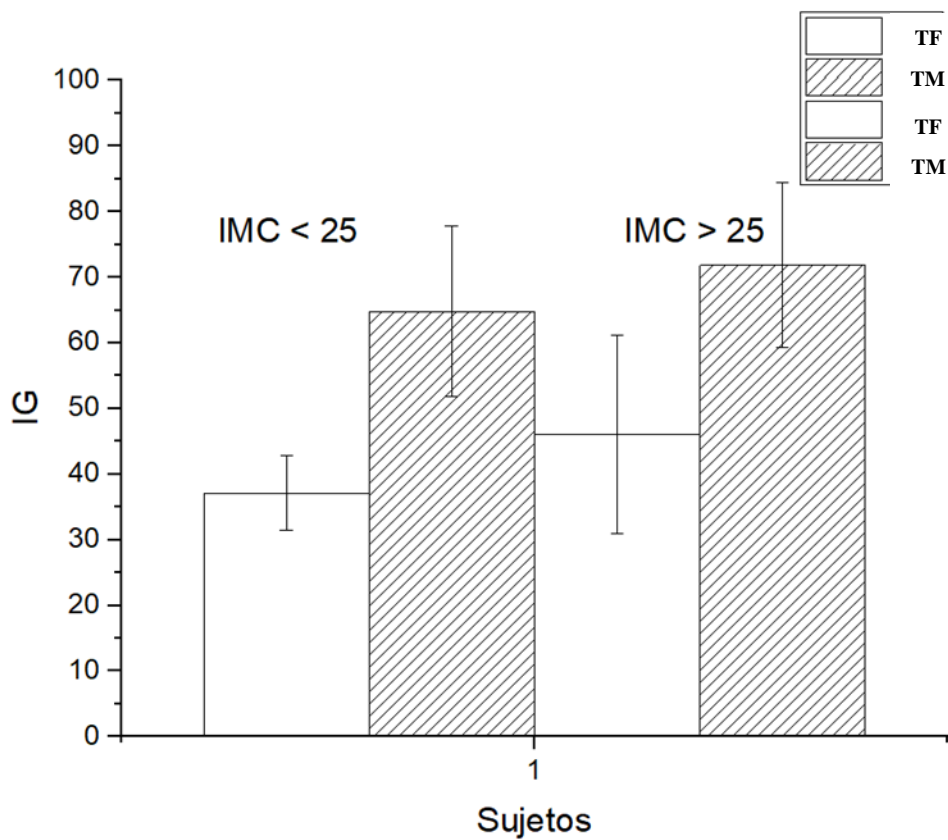
	SUJETOS	PROMEDIO	DE
TF	6	37.1 <sup>a</sup>	5.66
TN	6	64.8 <sup>b</sup>	13

Letras a y b indican diferencia estadísticamente significativa con n=6

**Cuadro 9.** Promedio y desviación estándar del índice glucémico de sujetos con IMC >25

	SUJETOS	PROMEDIO	DE
TF	7	46.09 <sup>a</sup>	15.1
TN	7	71.8 <sup>b</sup>	19.59

Letras a y b indican diferencia estadísticamente significativa con n=6



**Figura 4.** Gráfica de índice Glucémico de la tortilla funcional (TF) y tortilla de maíz (TM) en sujetos con IMC < 25 y >25.

En sujetos con un IMC <25 existe una diferencia estadísticamente significativa entre las tortillas TF y TM con un valor P 0.002. Estos resultados coinciden con la carga glucémica en sujetos con IMC <25, sugiriendo que esta tortilla funcional es recomendable para consumo de personas con problemas en la ingesta de carbohidratos.

La tortilla funcional en sujetos con IMC >25 obtuvo un índice glucémico menor en comparación con la TM. La diferencia fue estadísticamente significativa con un valor P 0.001, (ver cuadro 9) siendo recomendable para consumo en sujetos con sobrepeso y obesidad como un alimento de bajo riesgo en el desarrollo de la resistencia a la insulina e hipertensión generados por el exceso de hidratos de carbono simples.

**Cuadro 10.** Valor de P y T student del índice glucémico entre IMC <25 y >25

	P	T student
IMC <25	0.002	-5.79
IMC >25	0.001	-5.91

De acuerdo con Padilla Pavón & Secchi, 2019 se encontró que las tostadas de maíz con nixtamalización ecológica tuvieron un índice glucémico de 53 puntos, argumentando que la tostada tuvo un índice glucémico bajo. La tortilla funcional en este trabajo tuvo un índice glucémico de 37 a 46 puntos, que de acuerdo con Padilla Pavón & Secchi, 2019 se considera una tortilla con bajo índice glucémico.

## 7. CONCLUSIONES

La adición del grano entero de avena, en la elaboración de tortillas, favoreció el contenido de proteína y fibra. La adición de linaza elevó el contenido de grasas insaturadas. Aunado a esto la capacidad antioxidante de la tortilla funcional contribuye en la defensa del organismo y evita la muerte celular prematura.

Las Tortillas funcionales en sujetos con IMC <25 y >25 tuvo una concentración de glucosa e índice glucémico menor que la tortilla de maíz normal, además, la tortilla funcional presenta una fuente importante de contenido de fibra debido a su formulación con espinaca nopal, avena y linaza.

. Por todos estos motivos la tortilla funcional propuesta es una opción viable para disminuir el riesgo de sobrepeso, obesidad, resistencia a la insulina, diabetes, hipertensión, enfermedades cardiovasculares sin limitar el consumo de un alimento básico en la cultura mexicana.

## CAPÍTULO V

### 8. BIBLIOGRAFÍA

- Aleixandre, A., & Miguel, M. (2008). Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic syndrome: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 48(10), 905–912. <https://doi.org/10.1080/10408390701761886>
- Aleixandre, A., & Miguel, M. (2016). Dietary fiber and blood pressure control. *Food and Function*, 7(4), 1864–1871. <https://doi.org/10.1039/c5fo00950b>
- Aller, R., de Luis, D. A., Izaola, O., la Calle, F., del Olmo, L., Fernandez, L., Arranz, T., & Gonzalez Hernandez, J. M. (2004). Effect of soluble fiber intake in lipid and glucose levels in healthy subjects: A randomized clinical trial. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 65(1), 7–11. <https://doi.org/10.1016/j.diabres.2003.11.005>
- Almaraz, R. S., Fuentes, M. M., Milla, S. P., Plaza, B. L., Bermejo López, L. M., & Candela, C. G. (2015). Indicaciones de diferentes tipos de fibra en distintas patologías. *Nutricion Hospitalaria*, 31(6), 2372–2383. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.31.6.9023>
- Anderson, J. W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C. L. (2009). Health benefits of dietary fiber. In *Nutrition Reviews* (Vol. 67, Issue 4, pp. 188–205). <https://doi.org/10.1111/j.1753-4887.2009.00189.x>
- Babio, N., Balanza, R., Basulto, J., Bulló, M., & Salas-Salvadó, J. (2010). Dietary fibre: influence on body weight, glycemic control and plasma cholesterol profile. *Nutricion Hospitalaria*, 25(3), 327–340. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20593113>
- Bourquin, L. D., Titgemeyer, E. C., & Fahey, G. C. (1993). Vegetable Fiber Fermentation by Human Fecal Bacteria: Cell Wall Polysaccharide Disappearance and Short-Chain Fatty Acid Production during In Vitro Fermentation and Water-Holding Capacity of Unfermented Residues. *The Journal of Nutrition*, 123(5), 860–869. <https://doi.org/10.1093/jn/123.5.860>
- Buechler, C., Krautbauer, S., & Eisinger, K. (2015). Adipose tissue fibrosis. *World Journal of Diabetes*, 6(4), 548. <https://doi.org/10.4239/wjd.v6.i4.548>
- Butt, M. S., Tahir-Nadeem, M., Khan, M. K. I., Shabir, R., & Butt, M. S. (2008). Oat: Unique among the cereals. *European Journal of Nutrition*, 47(2), 68–79. <https://doi.org/10.1007/s00394-008-0698-7>
- Chassin, Dr. O. A., Ramírez, Dr. J. L. O., & Montiel, Dra. I. D. (2007). *Obesidad*. [http://www.facmed.unam.mx/sms/seam2k1/2007/may\\_01\\_ponencia.html](http://www.facmed.unam.mx/sms/seam2k1/2007/may_01_ponencia.html)
- Choe, S. S., Huh, J. Y., Hwang, I. J., Kim, J. I., & Kim, J. B. (2016). Adipose tissue remodeling: Its role in energy metabolism and metabolic disorders. *Frontiers in Endocrinology*, 7(APR), 30. <https://doi.org/10.3389/fendo.2016.00030>
- Clemens, R., & van Klinken, B. J. W. (2014). Oats, more than just a whole grain: An introduction. *British Journal of Nutrition*, 112, S1–S3. <https://doi.org/10.1017/S0007114514002712>
- Consultation, W. (2000). *OBESITY: PREVENTING AND MANAGING THE GLOBAL EPIDEMIC*.
- Coto Hernández, E. M. (2019). Determinación de la respuesta glucémica en ratones experimentales entre tres tipos de chocolate. *ALERTA Revista Científica Del Instituto Nacional de Salud*, 2(2), 117–124. <https://doi.org/10.5377/alerta.v2i2.8054>

- Cummings, J. H., Pomare, E. W., Branch, H. W. J., Naylor, C. P. E., & MacFarlane, G. T. (1987). Short chain fatty acids in human large intestine, portal, hepatic and venous blood. *Gut*, *28*(10), 1221–1227. <https://doi.org/10.1136/gut.28.10.1221>
- de Assis Costa, J., & de Cássia Gonçalves Alfenas, J. (2012). El consumo de comidas poco glucémicas reduce la obesidad abdominal en los individuos con exceso de peso corporal. *Nutricion Hospitalaria*, *27*(4), 1178–1183. <https://doi.org/10.3305/nh.2012.27.4.5845>
- de Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., Goncalves, D., Vinera, J., Zitoun, C., Duchampt, A., Bäckhed, F., & Mithieux, G. (2014). Microbiota-generated metabolites promote metabolic benefits via gut-brain neural circuits. *Cell*, *156*(1–2), 84–96. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2013.12.016>
- Deurenberg, P., Yap, M., & van Staveren, W. A. (1998). Body mass index and percent body fat: A meta analysis among different ethnic groups. *International Journal of Obesity*, *22*(12), 1164–1171. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0800741>
- Elleuch, M., Bedigian, D., Roiseux, O., Besbes, S., Blecker, C., & Attia, H. (2011). Dietary fibre and fibre-rich by-products of food processing: Characterisation, technological functionality and commercial applications: A review. *Food Chemistry*, *124*(2), 411–421. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2010.06.077>
- Esther Casanueva, Martha Kaufer-Horwitz, Ana Bertha Pérez-Lizaur, P. A. (2008). *Nutriología médica* (3a ed.). Médica Panamericana y Fundación Mexicana para la Salud.
- Eswaran, S., Muir, J., & Chey, W. D. (2013). Fiber and functional gastrointestinal disorders. *American Journal of Gastroenterology*, *108*(5), 718–727. <https://doi.org/10.1038/ajg.2013.63>
- Favell, D. J. (1998). A comparison of the vitamin C content of fresh and frozen vegetables. *Food Chemistry*, *62*(1), 59–64. [https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(97\)00165-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(97)00165-9)
- Figuerola, F., Muñoz, O., & Estévez, A. M. (2008). La Linaza Como Fuente De Compuestos Bioactivos Para La Elaboración De Alimentos. *Agro Sur*, *36*(2), 49–58. <https://doi.org/10.4206/agrosur.2008.v36n2-01>
- Flores-Valdez, C. 2003. Importancia del nopal. pp. 1-18. In: C. A. Flores Valdez, ed. Nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización. 1<sup>a</sup> Ed. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM. México.
- Frayn, K. N., & Kingman, S. M. (1995). Dietary sugars and lipid metabolism in humans. *The American Journal of Clinical Nutrition*, *62*(1 Suppl). <https://doi.org/10.1093/AJCN/62.1.250S>
- Frost, G., Sleeth, M. L., Sahuri-Arisoylu, M., Lizarbe, B., Cerdan, S., Brody, L., Anastasovska, J., Ghourab, S., Hankir, M., Zhang, S., Carling, D., Swann, J. R., Gibson, G., Viardot, A., Morrison, D., Thomas, E. L., & Bell, J. D. (2014). The short-chain fatty acid acetate reduces appetite via a central homeostatic mechanism. *Nature Communications*, *5*. <https://doi.org/10.1038/ncomms4611>
- Frühbeck, G. (2008). Overview of adipose tissue and its role in obesity and metabolic disorders. *Methods in Molecular Biology*, *456*, 1–22. [https://doi.org/10.1007/978-1-59745-245-8\\_1](https://doi.org/10.1007/978-1-59745-245-8_1)
- Gallagher, D., Visser, M., Sepúlveda, D., Pierson, R. N., Harris, T., & Heymsfield, S. B. (1996). How useful is body mass index for comparison of body fatness across age, sex, and ethnic groups? *American Journal of Epidemiology*, *143*(3), 228–239. <https://doi.org/10.1093/oxfordjournals.aje.a008733>

- Gibson, G. R., Scott, K. P., Rastall, R. A., Tuohy, K. M., Hotchkiss, A., Dubert-Ferrandon, A., Gareau, M., Murphy, E. F., Saulnier, D., Loh, G., Macfarlane, S., Delzenne, N., Ringel, Y., Kozianowski, G., Dickmann, R., Lenoir-Wijnkoop, I., Walker, C., & Buddington, R. (2010). Dietary prebiotics: current status and new definition. *Food Science & Technology Bulletin: Functional Foods*, 7(1), 1–19. <https://doi.org/10.1616/1476-2137.15880>
- Gil Hernández, Á., & Aranceta Batrina, J. (2010). *ALIMENTOS FUNCIONALES Y SALUD EN LAS ETAPAS INFANTIL Y JUVENIL*. Editorial Panamericana.
- González-Cortés, N., Silos-Espino, H., Estrada Cabral, J. C., Chávez-Muñoz, J. A., & Tejero Jiménez, L. (2017). Características y propiedades del maíz (*Zea mays* L.) criollo cultivado en Aguascalientes, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7(3), 669. <https://doi.org/10.29312/remexca.v7i3.326>
- Guilherme, A., Virbasius, J. v., Puri, V., & Czech, M. P. (2008). Adipocyte dysfunctions linking obesity to insulin resistance and type 2 diabetes. *Nature Reviews Molecular Cell Biology*, 9(5), 367–377. <https://doi.org/10.1038/nrm2391>
- Holscher, H. D., Bauer, L. L., Gourineni, V., Pelkman, C. L., Fahey, G. C., & Swanson, K. S. (2015). Agave Inulin Supplementation Affects the Fecal Microbiota of Healthy Adults Participating in a Randomized, Double-Blind, Placebo-Controlled, Crossover Trial. *The Journal of Nutrition*, 145(9), 2025–2032. <https://doi.org/10.3945/jn.115.217331>
- Holscher, H. D., Gregory Caporaso, J., Hooda, S., Brulc, J. M., Fahey, G. C., & Swanson, K. S. (2015). Fiber supplementation influences phylogenetic structure and functional capacity of the human intestinal microbiome: Follow-up of a randomized controlled trial. *American Journal of Clinical Nutrition*, 101(1), 55–64. <https://doi.org/10.3945/ajcn.114.092064>
- Hotamisligil, G. S., Shargill, N. S., & Spiegelman, B. M. (1993). Adipose expression of tumor necrosis factor- $\alpha$ : Direct role in obesity-linked insulin resistance. *Science*, 259(5091), 87–91. <https://doi.org/10.1126/science.7678183>
- II Consenso Latinoamericano de Obesidad. (2017). Federación Latinoamericana de Sociedades de Obesidad. In *FLASO* (Vol. 2). <http://www.administracion.usmp.edu.pe/institutoconsumo/wp-content/uploads/LIBRO-II-CONSENSO-LATINOAMERICANO-DE-OBESIDAD-2017.pdf>
- Jang, Y., Jong, H. L., Oh, Y. K., Hyun, Y. P., & Sang, Y. L. (2001). Consumption of whole grain and legume powder reduces insulin demand, lipid peroxidation, and plasma homocysteine concentrations in patients with coronary artery disease: Randomized controlled clinical trial. *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*, 21(12), 2065–2071. <https://doi.org/10.1161/hq1201.100258>
- Jenkins, A. L., Kacinik, V., Lyon, M., & Wolever, T. M. S. (2010). Effect of adding the novel fiber, PGX®, to commonly consumed foods on glycemic response, glycemic index and GRIP: A simple and effective strategy for reducing post prandial blood glucose levels - A randomized, controlled trial. *Nutrition Journal*, 9(1), 58. <https://doi.org/10.1186/1475-2891-9-58>
- Jenkins, D. J. A., Kendall, C. W. C., Augustin, L. S. A., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A. L., & Axelsen, M. (2002). Glycemic index: Overview of implications in health and disease. *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(1). <https://doi.org/10.1093/ajcn/76.1.266s>

- Jensen, M. D., Ryan, D. H., Apovian, C. M., Ard, J. D., Comuzzie, A. G., Donato, K. A., Hu, F. B., Hubbard, V. S., Jakicic, J. M., Kushner, R. F., Loria, C. M., Millen, B. E., Nonas, C. A., Pi-Sunyer, F. X., Stevens, J., Stevens, V. J., Wadden, T. A., Wolfe, B. M., & Yanovski, S. Z. (2014). 2013 AHA/ACC/TOS guideline for the management of overweight and obesity in adults: A report of the American College of cardiology/American Heart Association task force on practice guidelines and the obesity society. In *Circulation* (Vol. 129, Issue 25 SUPPL. 1). Lippincott Williams and Wilkins. <https://doi.org/10.1161/01.cir.0000437739.71477.ee>
- Jiménez, J., Arias, L., Espinosa, L., Fuentes, L., Garzón, C., Gil, R., Niño, N., & Rodríguez, M. (2010). El cultivo de la espinaca en Colombia (Spinacia oleracea L.) y su manejo fitosanitario en Colombia. In *Universidad de Bogotá Jorge Tadeo Lozano*.
- Jiménez-Cruz, A., Gutiérrez-González, A. N., & Bacardi-Gascon, M. (2005). Low glycemic index lunch on satiety in overweight and obese people with type 2 diabetes. *Nutricion Hospitalaria*, 20(5), 348–350. <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/16229403>
- José Hernández Rodríguez, & Neraldo Orlandis González. (2020). Índice de masa corporal elevado y la predicción de disglucemia. *Revista Cubana de Endocrinología.*, 31(222). <https://orcid.org/0000-0001-5811-5896>
- Kersten, S. (2001). Mechanisms of nutritional and hormonal regulation of lipogenesis. *EMBO Reports*, 2(4), 282–286. <https://doi.org/10.1093/EMBO-REPORTS/KVE071>
- Klötting, N., & Blüher, M. (2014). Adipocyte dysfunction, inflammation and metabolic syndrome. *Reviews in Endocrine and Metabolic Disorders*, 15(4), 277–287. <https://doi.org/10.1007/s11154-014-9301-0>
- Koh, A., de Vadder, F., Kovatcheva-Datchary, P., & Bäckhed, F. (2016). From dietary fiber to host physiology: Short-chain fatty acids as key bacterial metabolites. In *Cell* (Vol. 165, Issue 6, pp. 1332–1345). Cell Press. <https://doi.org/10.1016/j.cell.2016.05.041>
- Kuller, L., & Labarthe, D. R. (2002). Epidemiology and Prevention of Cardiovascular Diseases: A Global Challenge. *Journal of Public Health Policy*, 23(3), 364. <https://doi.org/10.2307/3343231>
- Lafontan, M. (2014). Adipose tissue and adipocyte dysregulation. *Diabetes and Metabolism*, 40(1), 16–28. <https://doi.org/10.1016/j.diabet.2013.08.002>
- Laforest, S., Labrecque, J., Michaud, A., Cianflone, K., & Tchernof, A. (2015). Adipocyte size as a determinant of metabolic disease and adipose tissue dysfunction. *Critical Reviews in Clinical Laboratory Sciences*, 52(6), 301–313. <https://doi.org/10.3109/10408363.2015.1041582>
- León-Pedroza, J. I., González-Tapia, L. A., del Olmo-Gil, E., Castellanos-Rodríguez, D., Escobedo, G., & González-Chávez, A. (2015). Inflamación sistémica de grado bajo y su relación con el desarrollo de enfermedades metabólicas: de la evidencia molecular a la aplicación clínica. *Cirugía y Cirujanos*, 83(6), 543–551. <https://doi.org/10.1016/j.circir.2015.05.041>
- Mahan, L.K. y Escott-Stump, S. (2009). *Dietoterapia de Krause* (12a ed). Elsevier-Masson.
- Márquez-Aguirre, A. L., Camacho-Ruiz, R. M., Arriaga-Alba, M., Padilla-Camberos, E., Kirchmayr, M. R., Blasco, J. L., & González-Avila, M. (2013). Effects of Agave tequilana fructans with different degree of polymerization profiles on the body weight, blood lipids and count of fecal Lactobacilli/Bifidobacteria in obese mice. *Food and Function*, 4(8), 1237–1244. <https://doi.org/10.1039/c3fo60083a>

- Martínez, I., Kim, J., Duffy, P. R., Schlegel, V. L., & Walter, J. (2010). Resistant starches types 2 and 4 have differential effects on the composition of the fecal microbiota in human subjects. *PLoS ONE*, *5*(11). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0015046>
- Mataix Verdú, J. (2009). *Nutrición y alimentación humana* (2da ed.). Editorial Ergon.
- McCrorie, J. W. (2015). Psyllium is not fermented in the human gut. In *Neurogastroenterology and Motility* (Vol. 27, Issue 11, pp. 1681–1682). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1111/nmo.12649>
- McCrorie, J. W., & Fahey, G. C. (2013). A review of gastrointestinal physiology and the mechanisms underlying the health benefits of dietary fiber: Matching an effective fiber with specific patient needs. *Clinical Nursing Studies*, *1*(4). <https://doi.org/10.5430/cns.v1n4p82>
- Moreiras, O., Carbajal, A., Cabrera, L., & Cuadrado, C. (2016). Tablas De Composicion De Alimentos (Ciencia Y Tecnica). In *Ediciones Pirámide*. [https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-1-tablas\\_de\\_composicion\\_de\\_alimentos.pdf](https://catedraalimentacioninstitucional.files.wordpress.com/2014/09/3-1-tablas_de_composicion_de_alimentos.pdf)
- Moshfegh, A. J., Friday, J. E., Goldman, J. P., & Ahuja, J. K. C. (1999). Presence of Inulin and Oligofructose in the Diets of Americans. *The Journal of Nutrition*, *129*(7), 1407S-1411S. <https://doi.org/10.1093/jn/129.7.1407s>
- Mraz, M., & Haluzik, M. (2014). The role of adipose tissue immune cells in obesity and low-grade inflammation. *Journal of Endocrinology*, *222*(3), 113–127. <https://doi.org/10.1530/JOE-14-0283>
- Navarrete Mejía, P. J., Loayza Alarico, M. J., Velasco Guerrero, J. C., Huatuco Collantes, Z. A., & Abregú Meza, R. A. (2016). Índice de masa corporal y niveles séricos de lípidos. *Horizonte Médico (Lima)*, *16*(2), 13–18. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1727-558X2016000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1727-558X2016000200003&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- NOM-187. (2016). *NORMA Oficial Mexicana NOM-187-SSA1/SCFI-2002, Productos y servicios. Masa, tortillas, tostadas y harinas preparadas para su elaboración y establecimientos donde se procesan. Especificaciones sanitarias. Información comercial. Métodos de prueba*. Diario Oficial de la Federación. <http://www.salud.gob.mx/unidades/cdi/nom/187ssa1scfi02.html>
- Noriega. (2004). *El Índice Glucémico Segunda Parte. Cuad Nutr.*
- Octavio Rodiles-López, J., Eduardo Martínez-Flores, H., Patricia Arriaga-Martínez, L., Zamora-Vega, R., & María García-Martínez, R. (2019). Desarrollo de una tortilla adicionada con harinas de aguacate y nopal y su efecto en la reducción de colesterol, triglicéridos y glucosa en ratas. *Biocencia*, *21*(2), 71–77. <https://doi.org/10.18633/BIOTECNIA.V21I2.909>
- Ortega, R. M., Vizuete, A. A., Ortega, A. I. J., & Rodríguez, E. R. (2015). Cereales de grano completo y sus beneficios sanitarios. *Nutricion Hospitalaria*, *32*, 25–31. <https://doi.org/10.3305/nh.2015.32.sup1.9475>
- Ouchi, N., Parker, J. L., Lugus, J. J., & Walsh, K. (2011). Adipokines in inflammation and metabolic disease. *Nature Reviews Immunology*, *11*(2), 85–97. <https://doi.org/10.1038/nri2921>
- Perry, R. J., Peng, L., Barry, N. A., Cline, G. W., Zhang, D., Cardone, R. L., Petersen, K. F., Kibbey, R. G., Goodman, A. L., & Shulman, G. I. (2016). Acetate mediates a microbiome-brain- $\beta$ -cell axis to promote metabolic syndrome. *Nature*, *534*(7606), 213–217. <https://doi.org/10.1038/nature18309>

- Post, R. E., Mainous, A. G., King, D. E., & Simpson, K. N. (2012). Dietary fiber for the treatment of type 2 diabetes mellitus: A meta-analysis. *Journal of the American Board of Family Medicine*, 25(1), 16–23. <https://doi.org/10.3122/jabfm.2012.01.110148>
- Radulian, G., Rusu, E., Dragomir, A., & Posea, M. (2009). Metabolic effects of low glycaemic index diets. *Nutrition Journal*, 8(1). <https://doi.org/10.1186/1475-2891-8-5>
- Rasane, P., Jha, A., Sabikhi, L., Kumar, A., & Unnikrishnan, V. S. (2013). Nutritional advantages of oats and opportunities for its processing as value added foods - a review. *Journal of Food Science and Technology*, 52(2), 662–675. <https://doi.org/10.1007/s13197-013-1072-1>
- Rodríguez, J. A. V. (2013). *Desarrollo de tortillas de maíz fortificadas con fuentes de proteína y fibra y su efecto biológico en un modelo animal* [UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE NUEVO LEÓN]. <https://cd.dgb.uanl.mx/bitstream/handle/201504211/16585/21092.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Rojas Benites, D. S., Repo de Carrasco, R., & Encina Zelada, C. R. (2017). Determinación de la máxima retención de compuestos bioactivos y capacidad antioxidante en el néctar de tomate de árbol (*Solanum betaceum* Cav.). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, 83(2), 174–186. [http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1810-634X2017000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1810-634X2017000200004&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Román, D. A. de L., Guerrero, D. B., & Luna, P. P. G. (2010). *Dietoterapia, nutrición clínica y metabolismo* (D. A. de L. Román, D. B. Guerrero, & P. P. G. Luna, Eds.; 2a ed). Díaz de Santos.
- Romero-Corral, A., Somers, V. K., Sierra-Johnson, J., Thomas, R. J., Collazo-Clavell, M. L., Korinek, J., Allison, T. G., Batsis, J. A., Sert-Kuniyoshi, F. H., & Lopez-Jimenez, F. (2008). Accuracy of body mass index in diagnosing obesity in the adult general population. *International Journal of Obesity*, 32(6), 959–966. <https://doi.org/10.1038/ijo.2008.11>
- Rosen, E. D. (2015). Two paths to fat. *Nature Cell Biology*, 17(4), 360–361. <https://doi.org/10.1038/ncb3133>
- Ruppin, H., Bar-Meir, S., Soergel, K. H., Wood, C. M., & Schmitt, M. G. (1980). Absorption of short-chain fatty acids by the colon. *Gastroenterology*, 78(6), 1500–1507. [https://doi.org/10.1016/s0016-5085\(19\)30508-6](https://doi.org/10.1016/s0016-5085(19)30508-6)
- Saltzman, E., Das, S. K., Lichtenstein, A. H., Dallal, G. E., Corrales, A., Schaefer, E. J., Greenberg, A. S., & Roberts, S. B. (2001). An Oat-Containing Hypocaloric Diet Reduces Systolic Blood Pressure and Improves Lipid Profile beyond Effects of Weight Loss in Men and Women. *The Journal of Nutrition*, 131(5), 1465–1470. <https://doi.org/10.1093/jn/131.5.1465>
- Schieber, A., Stintzing, F. C., & Carle, R. (2001). By-products of plant food processing as a source of functional compounds - Recent developments. *Trends in Food Science and Technology*, 12(11), 401–413. [https://doi.org/10.1016/S0924-2244\(02\)00012-2](https://doi.org/10.1016/S0924-2244(02)00012-2)
- Schipper, H. S., Prakken, B., Kalkhoven, E., & Boes, M. (2012). Adipose tissue-resident immune cells: Key players in immunometabolism. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 23(8), 407–415. <https://doi.org/10.1016/j.tem.2012.05.011>
- Sáenz, C. 2004. Compuestos funcionales y alimentos derivados de *Opuntia* spp. p. 211-222. In: Esparza, G., Valdez, R. y Méndez, S. eds. *El Nopal, Tópicos de actualidad*. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

- Serna-Saldivar, Sergio., Gomez, M. H., & Rooney, L. W. (1990). Technology, chemistry, and nutritional value of alkaline-cooked corn products. *Advances in Cereal Science and Technology*, 10.
- Singh, R., De, S., & Belkheir, A. (2013). Avena sativa (Oat), A Potential Nutraceutical and Therapeutic Agent: An Overview. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 53(2), 126–144. <https://doi.org/10.1080/10408398.2010.526725>
- Slavin, J. (2013). Fiber and prebiotics: Mechanisms and health benefits. In *Nutrients* (Vol. 5, Issue 4, pp. 1417–1435). MDPI AG. <https://doi.org/10.3390/nu5041417>
- Soriano, M. C., Buendía González, I. ;, Ofelia, M., Rojas, P., Martínez Cruz, N. ;, Mir, V., Hortelano, E. ;, & Rosa, S. (2016). Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 7, 1715–1725. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=263149504018>
- Strable, M. S., & Ntambi, J. M. (2010). Genetic control of de novo lipogenesis: role in diet-induced obesity. *Critical Reviews in Biochemistry and Molecular Biology*, 45(3), 199–214. <https://doi.org/10.3109/10409231003667500>
- Suárez-Carmona, W., Sánchez-Oliver, A. J., & González-Jurado, J. A. (2017). Fisiopatología de la obesidad: Perspectiva actual. *Revista Chilena de Nutricion*, 44(3), 226–233. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182017000300226>
- Titgemeyer, E. C., Bourquin, L. D., Fahey, G. C., & Garleb, K. A. (1991). Fermentability of various fiber sources by human fecal bacteria in vitro. *American Journal of Clinical Nutrition*, 53(6), 1418–1424. <https://doi.org/10.1093/ajcn/53.6.1418>
- Toledo, M. E. A., Ueda, Y., Imahori, Y., & Ayaki, M. (2003). L-ascorbic acid metabolism in spinach (*Spinacia oleracea* L.) during postharvest storage in light and dark. *Postharvest Biology and Technology*, 28(1), 47–57. [https://doi.org/10.1016/S0925-5214\(02\)00121-7](https://doi.org/10.1016/S0925-5214(02)00121-7)
- Trayhurn, P. (2013). Hypoxia and adipose tissue function and dysfunction in obesity. *Physiological Reviews*, 93(1), 1–21. <https://doi.org/10.1152/physrev.00017.2012>
- Varma, P., Bhankharia, H., & Bhatia, S. (2016). Oats: A multi-functional grain. *Journal of Clinical and Preventive Cardiology*, 5(1), 9. <https://doi.org/10.4103/2250-3528.183984>
- Vilcanqui-Pérez, F., & Vílchez-Perales, C. (2017). Fibra dietaria: nuevas definiciones, propiedades funcionales y beneficios para la salud. Revisión. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 67(2), 146–156. [http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es](http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222017000200010&lng=es&nrm=iso&tlng=es)
- Wernstedt Asterholm, I., Tao, C., Morley, T. S., Wang, Q. A., Delgado-Lopez, F., Wang, Z. v., & Scherer, P. E. (2014). Adipocyte inflammation is essential for healthy adipose tissue expansion and remodeling. *Cell Metabolism*, 20(1), 103–118. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2014.05.005>
- Willis, H. J., Thomas, W., Eldridge, A. L., Harkness, L., Green, H., & Slavin, J. L. (2010). Increasing doses of fiber do not influence short-term satiety or food intake and are inconsistently linked to gut hormone levels. *Food and Nutrition Research*, 54. <https://doi.org/10.3402/fnr.v54i0.5135>
- Youn, S., Woo, H. D., Cho, Y. A., Shin, A., Chang, N., & Kim, J. (2012). Association between dietary carbohydrate, glycemic index, glycemic load, and the prevalence of obesity in Korean men and women. *Nutrition Research*, 32(3), 153–159. <https://doi.org/10.1016/j.nutres.2011.12.009>

Zheng, C., Yang, Q., Cao, J., Xie, N., Liu, K., Shou, P., Qian, F., Wang, Y., & Shi, Y. (2016). Local proliferation initiates macrophage accumulation in adipose tissue during obesity. *Cell Death and Disease*, 7(3), e2167. <https://doi.org/10.1038/cddis.2016.54>

## CAPÍTULO VI

### 9. ANEXOS

#### 9.1. Formato de la prueba hedónica

NOMBRE:		FECHA:
TIPO DE MUESTRA:		
INSTRUCCIONES: En el espacio indicado coloca el código de la muestra y de acuerdo a tu preferencia, marca con una X en el lugar que corresponda a su elección de cada muestra.		
Escala	Código 1_____	Código 2_____
Me gusta muchísimo		
Me gusta mucho		
Me gusta bastante		
Me gusta ligeramente		
Me disgusta bastante		
Me disgusta mucho		
Me disgusta muchísimo		
Observaciones:		

## 9.1. Formato del consentimiento informado

### CONSENTIMIENTO INFORMADO PARA PARTICIPAR EN UN ESTUDIO CLÍNICO DE INVESTIGACIÓN



BENEMERITA UNIVERSIDAD AUTONOMA DE PUEBLA  
FACULTAD DE MEDICINA/ FACULTAD DE NUTRICION CLINICA



Nombre: \_\_\_\_\_  
No. de Folio: \_\_\_\_\_ Fecha: / /

**PROYECTO:** VALORACIÓN DE LA RESPUESTA GLUCÉMICA EN SUJETOS CON IMC <25 y >25 DE UNA TORTILLA FUNCIONAL A BASE DE MAÍZ ADICIONADA CON NOPAL, AVENA, LINAZA Y ESPINACA.

**OBJETIVO GENERAL:** Elaborar una tortilla funcional a base de maíz nixtamalizado adicionada con nopal, avena, linaza y espinaca, y determinar el impacto del índice glucémico y carga glucémica en sujetos con obesidad.

**PARTICIPACIÓN:** Se me ha explicado que mi participación, para evaluar mi estado nutricional, cardiovascular y metabólico, implicara la realización de encuestas, seré sometido a toma de signos vitales, mediciones antropométricas, toma de muestras sanguíneas, por lo me presentare en tiempo y forma a las citas establecidas.

Declaro que se me ha informado ampliamente sobre los posibles riesgos, inconvenientes, beneficios derivados de mi participación en el estudio que son los siguientes el tiempo necesario para las mediciones que se realizaran.

Me comprometo a contestar con veracidad todas y cada una de las preguntas relacionadas con el protocolo de investigación.

Entiendo que, de no concluir el protocolo, o de establecerse algún criterio de eliminación durante mi participación seré eliminado del protocolo. El coordinador del proyecto me ha explicado que, de existir algún criterio de eliminación, que ponga en peligro mi salud, se me dará a conocer, de manera verbal, individual y en total confidencialidad; se me explicara la posible causa y se me orientara para búsqueda de ayuda profesional. con lo cual se dará por finalizada mi relación con el proyecto de investigación.

Entiendo que conservo el derecho de retirarme en cualquier momento en lo que considere conveniente. El coordinador del proyecto me ha dado seguridades de que no se me identificara en las presentaciones o publicaciones que deriven de este estudio y que los datos relacionados con mi privacidad serán manejados en forma confidencial. También se ha comprometido a proporcionarme la información actualizada que se obtenga durante el estudio, aunque esta pudiera hacerme cambiar de parecer a mi permanencia en el mismo.

**CONFIDENCIALIDAD:** Se garantiza a los pacientes la confidencialidad de la información que proporcionen; que los datos obtenidos de ellos, no podrán comunicarse, en ningún caso en forma nominativa o individualizada, pudiendo ser divulgados de esta manera en eventos científicos y en publicaciones.

Una vez concluida la sesión de preguntas y respuestas se procede a firmar el presente documento.

**CONSENTIMIENTO:**

Yo \_\_\_\_\_ he leído y comprendido la información anterior y mis preguntas han sido respondidas de manera satisfactorias. He sido informado y entiendo que los datos obtenidos en el estudio pueden ser publicados difundidos con fines científicos. Convengo a participar en este estudio de investigación. Recibiré una copia firmada y fechada de este consentimiento.

He explicado al sujeto de la investigación la naturaleza y los propósitos de la investigación, así como los riesgos y beneficios que implica su participación. He contestado a las preguntas en la medida de lo posible y he preguntado si tiene alguna duda. Acepto que he leído y conozco la normatividad correspondiente para realizar la presente investigación y me apego a ella.

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del paciente

\_\_\_\_\_  
Nombre y firma del testigo

D.C Adriana Nieva Vázquez  
Investigador responsable