

U.M.S.N.H.

ESCUELA DE QUÍMICO-FARMACOBIOLOGÍA



TESIS

**“ESTABLECIMIENTO DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-
QUÍMICAS DE LA FIBRA DIETÉTICA MEDIDAS *IN VITRO*
QUE PERMITAN PREDECIR SU POSIBLE
COMPORTAMIENTO FISIOLÓGICO *IN VIVO*”**

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICO FARMACOBIOLOGO

PRESENTA:

p.Q.F.B. MARÍA TRINIDAD MORA BEDOLLA

ASESOR:

D.C. HÉCTOR EDUARDO MARTÍNEZ FLORES

COASESORA:

M.C. LUZ ELENA ARÉVALO LEÓN

TESIS APOYADA POR EL CONSEJO ESTATAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA DEL ESTADO DE MICHOACÁN (COECYT).



AGOSTO 2010

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento especial a mi asesor de tesis el D.C. Héctor E. Martínez Flores por su gran apoyo, atención y dedicación a este proyecto, y por todos los conocimientos transmitidos.

A mi Coasesora la M.C. Luz Elena Arévalo León, por su apoyo y recomendaciones para el desarrollo de la tesis.

Al Consejo Estatal de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo económico otorgado y la oportunidad de presentar este trabajo en el 5° Congreso de Ciencia y Tecnología.

A todos y cada uno de mis maestros que contribuyeron en mi formación académica.

DEDICATORIAS

A mis papas:

José Mora y Raquel Bedolla, por guiarme durante mi vida, por brindarme su amor, confianza y apoyo.

A mis hermanos:

Pepo, Calín y Benja, por estar ahí para mí, por ofrecerme una palabra de aliento.

A Luis:

Por siempre hacerme sonreír, por apoyarme y hacerme saber que puedo llegar tan lejos como yo lo quiera.

A Teté y mi abuelita:

Por sus oraciones y su amor.

A mis amigos y compañeros de Laboratorio:

Especialmente a Mireya y Diana, por ayudarme y transmitirme sus conocimientos. A Jaime y Luis, por apoyarme en la realización de este proyecto.

ÍNDICE	PÁGINA
ÍNDICE	i
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	ii
ÍNDICE DE TABLAS.....	ii
RESUMEN.....	4
1. INTRODUCCIÓN.....	7
1.1. Fibra dietética	7
1.2. Componentes de la fibra dietética.....	8
1.3. Tipos de fibras dietéticas	9
1.3.1. Fibras Solubles	9
1.3.2. Fibras Insolubles.....	11
1.4. Propiedades de la Fibra Dietética	12
1.5. Efectos fisiológicos de la fibra.....	14
1.6. Metabolismo de Lípidos	14
1.7. Metabolismo de Colesterol	15
1.8. Metabolismo de Triglicéridos	16
1.9. Transporte de Lípidos	17
2. HIPÓTESIS	19
3. OBJETIVOS.....	20
3.1. General.....	20
3.2. Específicos.....	20
4. MATERIALES Y MÉTODOS.....	21
4.1. Material y Equipo	21
4.2. Materia Prima	21
4.3. Metodología.....	21
4.3.1. Análisis Químico	22
4.3.2. Análisis Físico-químico:.....	24
4.3.3. Ensayo Biológico.....	26
5. Análisis Estadístico.....	28
6. RESULTADOS	29
6.1. Análisis químico de las fibras comerciales:.....	29
6.2. Análisis Físicoquímico	30
6.2.1. Viscosidad	30
6.2.2. Capacidad de Absorción de Agua y Aceite	31
6.2.3. Diámetro Medio de Partícula.....	33
6.2.4. Índice de Retardo de Difusión de Glucosa	33
6.3. Ensayo Biológico.....	34
6.3.1. Ingesta de dieta:	34
6.3.2. Peso corporal de los animales.....	35
6.3.3. Contenido de Colesterol y Triglicéridos séricos.....	36
6.3.4. Peso de los hígados y extracto etéreo	38
6.3.5. Heces	40
7. DISCUSIÓN.....	44

8. CONCLUSIÓN	45
9. BIBLIOGRAFÍA	46

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	PÁGINA
Ilustración 1. Proceso de digestión de proteína.....	23
Ilustración 2. Equipo Micro-Kjeldhal. Proceso de destilación de Proteína.	23
Ilustración 3. Equipo Soxhlet, para determinación de extracto etéreo.....	24
Ilustración 4. Comparación del aspecto de los hígados	40

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁGINA
Figura 1 . Viscosidad de los diferentes productos.....	31
Figura 2. Capacidad de Absorción de agua.	32
Figura 3. Capacidad de Absorción de aceite.	32
Figura 4 Índice de Retardo de Difusión de Glucosa.	34
Figura 5. Ingesta de dieta.....	35
Figura 6. Contenido de Colesterol	37
Figura 7. Contenido de Triglicéridos.....	37
Figura 8. Peso de hígados	39
Figura 9. Extracto Etéreo en hígados.....	39
Figura 10. Peso en heces.....	42
Figura 11. Cantidad de agua fecal.....	42
Figura 12. Extracto Etéreo en heces	43

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA
Tabla 1. Composición de las dietas.....	27
Tabla 2. Composición química de los productos usados como fuente de fibra.	29
Tabla 3. Comparación del porcentaje de FI y FS contenida en la FDT.....	30
Tabla 4. Diámetro medio de partícula (DMP) de cada producto.....	33
Tabla 5. Glucosa (%) retenida en membrana de celulosa.....	33
Tabla 6. Ingesta total de dieta por los grupos de ratas alimentadas con las diferentes dietas experimentales.	34
Tabla 7. Ganancia de peso en los animales.	35
Tabla 8. Cantidad de Colesterol y Triglicéridos en suero	36
Tabla 10. Peso de hígados	38
Tabla 11. Extracto Etéreo en hígados.....	38
Tabla 12. Peso y Porcentaje de agua contenida en heces.....	41

Tabla 13. Extracto Etéreo en heces41

RESUMEN

Actualmente y después de treinta años de investigación, la fibra dietética (FD) forma parte de lo que se considera una dieta saludable. No existe una definición única que englobe los distintos componentes de la FD y sus funciones. Los componentes mayoritarios de la FD son los hidratos de carbono complejos y la lignina. Hoy en día se conoce que la FD ejerce acciones fisiológicas benéficas al ser humano, principalmente a través de todo el tracto digestivo. Dichos efectos benéficos de la FD dependen de sus características físico-químicas como son tamaño de partícula, capacidad de absorción de agua y aceite y la viscosidad que desarrolle, entre otras. El tipo de fibra también influye, ya que una es de tipo insoluble y otra soluble. De la combinación de varias de estas características físico-químicas de las fibras dependen el tipo de enfermedades que se puedan prevenir. Por ejemplo, fibras muy solubles con alta capacidad de absorción de agua y aceite, y por lo tanto, capaces de generar geles muy viscosos, pueden controlar los niveles de triglicéridos y colesterol, previniendo así algunas enfermedades cardiovasculares; esta combinación de características influye también en un bajo índice glicémico en los alimentos, lo cual es de importancia para los diabéticos, ya que presentan una baja absorción de glucosa. Por otro lado, fibras insolubles con una adecuada capacidad de absorción de agua, aumentan tanto la masa fecal como la motilidad intestinal, incrementando el peso y suavidad de las heces, previniendo así el cáncer de colon, disturbios intestinales como el estreñimiento. Los estudios que avalan dichos efectos fisiológicos de las fibras generalmente se realizan en diversos modelos experimentales con animales como ratas o hámsters. Por lo anterior, en el presente proyecto de investigación se estudió la caracterización de las diferentes propiedades físico-químicas de fibras dietéticas medidas *in vitro* y se hizo un estudio comparativo con el efecto fisiológico de las fibras dietéticas evaluadas en ratas. De tal forma que se podrán correlacionar los valores obtenidos en las pruebas *in vivo* con los parámetros físico-químicos medidos *in vitro*. De este modo, se podrán seleccionar aquellos parámetros de laboratorio que permitan hacer una simulación, y

particularmente, predecir el comportamiento fisiológico de las fibras dietéticas en el ser humano. Las fuentes de fibra dietética probadas fueron: Day-Night Cleaner; Nopal Penca, el ángel de tu salud; Nopalinaza Plus^{MR}. A las fuentes de FD se les realizó la medición de humedad, cenizas, extracto etéreo, proteína, fibra dietética soluble, insoluble y total. Las propiedades físico-químicas evaluadas fueron, viscosidad, capacidad de absorción de agua y de aceite, índice de retardo de la difusión de glucosa y diámetro medio de partícula. El ensayo biológico consistió en preparar cinco dietas (C-Control, H-hipercolesterolémica, HDN-adicionada con fibra Day-Night Cleaner, HN-adicionada con fibra Nopal Penca y HL-adicionada con fibra Nopalinaza Plus). Una vez formuladas las dietas, las ratas utilizadas para el ensayo biológico fueron distribuidas en 5 lotes de 6 animales y alimentadas durante 20 días con las dietas elaboradas. Al final del experimento se midieron los niveles séricos de triglicéridos, colesterol, así como el contenido de agua en heces y el número de evacuaciones. A los hígados y heces se les determinó extracto etéreo. En cuanto a los resultados *in vitro* se observó un alto contenido de extracto etéreo (37.15%) en el producto Nopalinaza Plus y de cenizas en el producto Nopal Penca (13.19%). El mayor contenido de Fibra Dietética Total (FDT) lo obtuvo el producto Day-Night Cleaner (78.32%), así como también obtuvo las mayores proporciones de Fibra Soluble (FS) e Insoluble (FI), 14.18% y 64.14%, respectivamente. El menor contenido de FD fue para el producto Nopal Penca (50.11%). La mayor viscosidad la presentó la fibra Day-Night Cleaner (14.43 cP). En cuanto a la capacidad de absorción de agua (CAA) y aceite (CAO), los mayores valores fueron presentados por la fibra Day-Night Cleaner, alcanzando valores de 20.48% y 3.25%, respectivamente. Los productos Nopalinaza y Nopal Penca tuvieron el mayor y el menor diámetro medio de partícula, siendo de 386.9 μ y 166.6 μ , respectivamente. En el ensayo biológico, como resultado se obtuvo que la mejor fuente de fibra para mantener controlados los niveles de colesterol y triglicéridos fue la Day-Night Cleaner, ya que ésta bajó un 18.9% y 29.6% respectivamente, en comparación con la dieta control cuya fuente de fibra fue celulosa. Mientras que las otras dos fuentes de fibra (Nopal Penca y Nopalinaza Plus^{MR}) lograron bajar un porcentaje considerable pero sólo en triglicéridos (25.1% y 22.2% respectivamente, en relación al control). El lote de ratas

con mayor número de evacuaciones fue aquel alimentado con la dieta HDN, evacuando un 62.1% más que el lote de celulosa, asimismo, el contenido de agua fecal en el lote de HDN fue de 58.3%, y el porcentaje de extracto etéreo fue el mayor con un 19.4%, lo cual indica que parte de la grasa ingerida fue excretada en las heces con ayuda de la fibra. Por lo tanto, las diferentes fuentes de fibra dietética evaluadas fueron efectivas en reducir particularmente los niveles de triglicéridos y la Day-Night Cleaner lo hizo además en colesterol. Los resultados obtenidos de las pruebas realizadas *in vitro* se relacionaron positivamente con los obtenidos en el experimento *in vivo*, ya que se observó una correlación entre las características físico-químicas de las diferentes fibras evaluadas y su comportamiento fisiológico en los animales de laboratorio. Finalmente, el producto Day-Night Cleaner, presentó los mayores valores de FDT y de FS, lo cual se correlacionó favorablemente con mayores valores de CAA, CAO y viscosidad.

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Fibra dietética

El gran interés por la fibra dietética (FD) se remonta a la década del setenta cuando investigadores como Trowell (1972), Burkitt (1974) y otros, basándose principalmente en estudios epidemiológicos, enunciaron la hipótesis de que la deficiencia de FD se relaciona con la existencia de una serie de enfermedades presentes en los países desarrollados con cultura occidental, como constipación, hemorroides, diverticulosis, cáncer de colon, diabetes, obesidad y enfermedad cardiovascular.

El término “Fibra Dietética” (FD) fue usado por primera vez por Hipsley en 1953, para describir a los componentes de la pared celular de los vegetales que no son digeridos por el ser humano (DeVries y col., 1999). Trowell y col. (1976) mencionaron como componentes de la FD a los polisacáridos indigeribles de la pared celular vegetal más la lignina que, aún cuando no es un hidrato de carbono, sino más bien una cadena de compuestos fenólicos, siempre se encuentra asociada a ellos y es un compuesto no digerible por el tracto digestivo del humano. Roberfroid y col. (1995) dieron un paso más en la búsqueda de una definición más fisiológica, FD es el concepto que hace referencia a diversos carbohidratos y la lignina, que resisten a la hidrólisis de las enzimas digestivas humanas, pero que pueden ser fermentados por la microflora colónica dando lugar a hidrógeno, metano, bióxido de carbono y a los ácidos grasos de cadena corta (AGCC), como el acético, propiónico y butírico, que se absorben rápidamente en el tracto gastrointestinal contribuyendo al balance energético del organismo.

Actualmente, existe una definición más exacta desarrollada por la American Association of Cereal Chemists (AACC, 2001), quien hace una clasificación más amplia del concepto de FD, denominándola fibra dietética total (FDT), en la que se abarca una caracterización completa de sus componentes, así como los efectos que ésta produce sobre el organismo humano. La definición propuesta es: “la FDT es la

parte comestible de vegetales y carbohidratos análogos, que son resistentes a la absorción y digestión en el intestino delgado humano, con una parcial o completa fermentación en el intestino grueso, e incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas a los vegetales. La FDT promueve efectos fisiológicos al ser humano benéficos como, poder laxativo, disminución del colesterol en la sangre, disminución de la glucosa sanguínea, entre otros.”

En el 2002, el Comité de Alimentos y Nutrición de la Academia Nacional de Ciencias de los Estados Unidos sugirió la siguiente definición: “La FD consiste de carbohidratos no digeribles y lignina que se encuentran en forma intrínseca e intactos en plantas. Y mencionaron que la fibra funcional consiste de carbohidratos no digeribles y lignina, aislados, que tienen efectos fisiológicos benéficos en humanos. Y sugirieron que la fibra total es la suma de la fibra dietética más la fibra funcional” (Martínez, 2008).

1.2. Componentes de la fibra dietética

Los principales componentes de la fibra son:

Polisacáridos no almidonosos: Los polisacáridos son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos veinte residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no almidonoso para aquellos que llegan al colon y poseen los efectos fisiológicos de la fibra. Se podrían clasificar en celulosa, β -glucanos, hemicelulosas, pectinas y análogos, gomas y mucílagos (Ha y col., 2000).

Oligosacáridos resistentes: Hidratos de carbono con un nivel de polimerización menor, tienen de tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en fructooligosacáridos (FOS) e inulina, galactooligosacáridos (GOS), xilooligosacáridos (XOS), isomaltooligosacáridos (IMOS) (Ha y col., 2000).

Ligninas: No es un polisacárido sino polímeros que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos; contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola

resistente a impactos y flexiones. La lignificación de los tejidos también permite mayor resistencia al ataque de los microorganismos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora colónica. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado (Ha y col., 2000).

Una clasificación de la FD bastante utilizada, es la que se basa en la solubilidad en agua que sus componentes tienen en el sistema digestivo humano, en realidad no es una solubilización total, sino una hidratación parcial. Por lo que, la FD puede dividirse en fibra soluble (FS) y en fibra insoluble (FI), las cuales muestran características químicas diferentes y muestran efectos fisiológicos distintos. Por lo que la acción fisiológica de la FD depende de sus propiedades físico-químicas. La fibra dietética total (FDT) se refiere a la suma de las fracciones de FS más FI.

1.3. Tipos de fibras dietéticas

1.3.1. Fibras Solubles

Los componentes de la FS son aquellos que son fermentados por la microflora colónica humana. En el intestino grueso de humanos se encuentran entre 10^{11} y 10^{12} bacterias anaeróbicas por cada gramo de contenido intestinal (Tungland y Meyer, 2002). López y col. (1997), indican que la FS es fermentada por las bacterias colónicas de los géneros *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium* y *Peptostreptococcus*. La degradación de los hidratos de carbono no disponibles en el intestino delgado es llevada a cabo principalmente por el género *Bacteroides*. La celulosa por acción de las celulasas microbianas libera el disacárido celobiosa, que es hidrolizado a glucosa 1-fosfato y glucosa libre. Los polímeros de hemicelulosa son hidrolizados por arabinasas y xiloxidasas liberándose pentosas, de las cuales la xilosa es el producto más abundante. Las pectinas son hidrolizadas por peptidilesterasas y poligalacturonidasas, liberándose ácido galacturónico el cual, posteriormente, es transformado a xilosa. Estos monosacáridos son utilizados por los microorganismos dando lugar a la producción de ácidos grasos de cadena corta

(AGCC), los cuales son los productos principales de la fermentación bacteriana de carbohidratos y proteínas (Nugent, 2005). Cuando llegan suficientes carbohidratos al colon, la fermentación proteica y de aminoácidos se reduce y, la mayor parte de la proteína es utilizada por la biomasa bacteriana, reduciéndose así los productos de fermentación proteica (amonio, compuestos fenólicos, etc.); algunos de los cuales son tóxicos para el individuo.

La FS al hidratarse forma un gel que retrasa tanto el vaciamiento gástrico como el tránsito intestinal. Los efectos derivados de la viscosidad de esta fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico.

En la FS se incluyen:

Pectinas. Comprenden un extenso número de polímeros vegetales, los cuales tienen como base moléculas del ácido D-galacturónico unidos entre sí, a través de enlaces glucosídicos α -D-(1,4) (Badui, 2006).

B-glucanos. Es un polímero de glucosa con enlaces glucosídicos mixtos β -1-3 y β -1-4. Los β -glucanos a menudo se refieren como gomas o mucílagos debido a su alta capacidad de hidratación. Consisten de una cadena lineal de β -D-glucopiranosil. Alrededor del 70% está unido con enlaces (1,4) y cerca del 30% con enlaces (1-3) (Martínez, 2008).

Inulina. Es un polímero lineal de fructosa, no contiene cadenas laterales ni tampoco grupos de ácidos urónicos (Nelson, 2001).

Mucílagos. Son polisacáridos poco ramificados que no forman parte de las células vegetales, sino que se encuentran en el interior de semillas y algas.

A la fibra soluble se le atribuyen en general efectos hipolipidémicos y un mejor control glicémico, lo que la hace una opción interesante para el tratamiento de la obesidad, hipercolesterolemia y diabetes (Escudero, 2006).

1.3.2. Fibras Insolubles

Sus componentes no se digieren en el intestino delgado y se fermentan en una proporción mínima por la acción de las bacterias colónicas, por lo que se excretan prácticamente íntegras por las heces. Además de que poseen la capacidad de retener agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad, esto produce un aumento de la masa fecal, incrementando la motilidad intestinal, y aumentando el peso y suavidad de las heces. Por otra parte, también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon.

En la FI se incluyen:

Celulosa. Principal componente de la pared celular de las plantas. Es un polisacárido lineal, constituido por la unión de entre 300 y 15,000 unidades de glucosa, mediante enlaces glucosídicos β -1,4. Las propiedades más importantes de la celulosa se relacionan con la susceptibilidad de la molécula a la hidrólisis y con su capacidad de absorber agua (Nelson, 2001).

Hemicelulosa. Su estructura es más compleja y variada que la de la celulosa. Es un polisacárido formado por la unión de distintos azúcares (glucosa, xilosa, sacarosa, manosa o arabinosa) unidos mediante enlaces glucosídicos β -1,4. La longitud de la cadena de los polímeros de la hemicelulosa puede tener un rango de entre 200 a 500 unidades de monosacáridos. La cadena lateral de sus polímeros puede contener ácidos urónicos como el murámico, el galacturónico y el glucurónico (Nelson, 2001).

Lignina. Polímero aromático estructural, no carbohidrato, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (Nelson, 2001).

Almidón Resistente. Aquella porción del almidón que no es atacado por las enzimas del sistema digestivo por lo que no se digiere en el intestino delgado y pasa al intestino grueso para ser fermentado por la microflora del colon. Por su resistencia a la digestión y por ser un sustrato disponible para la fermentación, es considerado como parte de la FD (Martínez, 2008).

1.4. Propiedades de la Fibra Dietética

La caracterización de las propiedades físico-químicas de la FD resulta fundamental para comprender los mecanismos complejos por los que ésta desarrolla sus efectos fisiológicos en el tracto gastrointestinal. López y col. (1997) las describen como propiedades de hidratación, viscosidad y capacidad de absorción de aceite.

Aunque se considera que deben desaparecer de la nomenclatura sobre fibra términos como soluble/insoluble, fermentable/no fermentable y viscosa/no viscosa, estas propiedades son la base de sus beneficios fisiológicos por lo que desde un punto de vista práctico sería una clasificación apropiada (García y col., 2000).

El grado de solubilidad en agua es muy variable para las distintas fibras. Las fibras solubles en contacto con el agua forman un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad. Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado (Martínez, 2008).

Las fibras insolubles o poco solubles son capaces de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal, lo cual es la base para utilizar fibra insoluble en el tratamiento y prevención de la constipación crónica. Por otra parte también contribuye a disminuir la concentración y el tiempo de contacto de potenciales carcinogénicos con la mucosa del colon. Parece que también el tamaño de partícula de la fibra puede influir en su capacidad de captar agua (Kin, 2000).

La FD llega al intestino grueso de forma inalterada y aquí las bacterias colónicas, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. Este proceso de digestión se produce en condiciones anaerobias, por lo que se denomina fermentación (Zarzuelo, 2005).

Los principales productos de la fermentación de la fibra son: ácidos grasos de cadena corta (AGCC), gases (hidrógeno, anhídrido carbónico y metano) y energía. Los polímeros de glucosa son hidrolizados a monómeros por acción de las enzimas extracelulares de las bacterias del colon. El metabolismo continúa en la bacteria hasta la obtención de piruvato, a partir de la glucosa, en la vía metabólica de Embden-Meyerhoff. Este piruvato es convertido en ácidos grasos de cadena corta (AGCC): acetato, propionato y butirato (Campbell, 2005).

La fermentación proteolítica produce varios derivados nitrogenados como aminas, amonio y compuestos fenólicos algunos de los cuales son carcinogénicos. Como ya se mencionó, los ácidos grasos de cadena corta son los productos principales de la fermentación de los carbohidratos y proteínas. Cuando llegan suficientes carbohidratos al colon, la fermentación proteica y de aminoácidos se reduce y la mayor parte de la proteína es utilizada por la biomasa bacteriana, reduciéndose así los productos de fermentación proteica (amonio, compuestos fenólicos, etc.), algunos de los cuales son tóxicos para el individuo (Gallego, 2003; García, 2002).

Más del 50% de la fibra consumida es degradada en el colon, el resto es eliminado por las heces. Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentadas por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. Por otra parte, la propia fibra, los gases y los AGCC generados durante su fermentación, son capaces de estimular el crecimiento del número de microorganismos del colon (Gibson, 1995).

1.5. Efectos fisiológicos de la fibra

La fibra juega un papel en todas las funciones del sistema digestivo desde la masticación hasta a evacuación de las heces. Las dietas con un contenido en fibra elevado requieren más tiempo de masticación por lo que enlentecen la velocidad de deglución y esto implica una mayor salivación que va a repercutir en la mejora de la higiene bucal y a nivel del estómago las fibras solubles, como consecuencia de su viscosidad, enlentecen el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión prolongando la sensación de saciedad. En el intestino delgado la fibra soluble, nuevamente por la formación de soluciones viscosas, enlentece el tiempo de tránsito. También aumenta el espesor de la capa de agua que han de traspasar los solutos para alcanzar la membrana del enterocito, lo que provoca una disminución en la absorción de glucosa, lípidos y aminoácidos. Asimismo, se produce una disminución en la absorción de los ácidos biliares ya que éstos se unen a los residuos fenólicos y urónicos en la matriz de los polisacáridos. Esto puede alterar la formación de micelas y la absorción de las grasas. Como consecuencia de la disminución en la absorción de ácidos biliares pueden disminuir los niveles de colesterol, al utilizarse éste en la síntesis de *novo* de nuevos ácidos biliares (Escudero, 2006).

1.6. Metabolismo de Lípidos

La palabra lípido proviene del griego *lipos*, que significa grasa. Los lípidos son un grupo de compuestos constituidos por carbono, hidrógeno y oxígeno que integran cadenas hidrocarbonadas alifáticas o aromáticas, aunque también contienen fósforo y nitrógeno y son insolubles en agua. (Badui, 2006).

Digestión

A. Lípidos de la dieta:

*Triglicéridos: Son el tipo de lípidos que predominan en la dieta.

*Ácidos linoleico y linolénico: también llamados ácidos grasos esenciales, omega 6 y 3, respectivamente.

*Colesterol. También se encuentra en cantidades significativas en alimentos de origen animal.

B. Emulsificación:

La digestión de los lípidos comienza en el duodeno, el estímulo para la secreción de las hormonas secretina y colecistoquinina activan la producción y salida de jugo pancreático, además la colecistoquinina induce la contracción y vaciamiento de la vesícula biliar, donde la bilis entra al duodeno por el conducto biliar. La bilis contribuye a la digestión de los lípidos por medio de los ácidos biliares y el jugo pancreático a través de las enzimas específicas. Los ácidos biliares actúan como detergentes en el duodeno (emulsificación) y al dispersarlos facilitan la interacción de las enzimas sobre sus sustratos, el colesterol, los triglicéridos y fosfolípidos. (Campbell, 2005)

C. Hidrólisis:

Existen tres enzimas específicas de lípidos que se activan al contacto con los ácidos biliares:

- a. Lipasa pancreática: rompe los triglicéridos para dar ácidos grasos más glicerol.
- b. Colesterol esterasa: hidroliza a los ésteres de colesterol para dar colesterol libre y ácidos grasos.
- c. Fosfolipasa: que hidroliza a los fosfolípidos.

D. Absorción:

El colesterol libre, los ácidos grasos y el glicerol difunden pasivamente a través de las células epiteliales de la mucosa intestinal, en estas células ocurre la reesterificación y la formación de los quilomicrones, absorbiéndose después en los vasos linfáticos. (Campbell, 2005).

1.7. Metabolismo de Colesterol

El colesterol es sintetizado en numerosos tejidos a partir de acetil coenzima A y eliminado del cuerpo en la bilis como colesterol o como ácidos biliares. Su principal

función en los procesos patológicos es como un factor en la génesis de aterosclerosis de las arterias vitales, causando enfermedad cerebrovascular coronaria y vascular periférica.

En el ser humano, el colesterol plasmático es de hasta 200 mg/dL, y se eleva con la edad aunque hay variaciones entre individuos. Es transportado en las lipoproteínas del plasma y la mayor proporción de colesterol se encuentra en las LDL (lipoproteínas de baja densidad). El colesterol de la dieta y el sintetizado en el hígado se equilibran y transfieren con facilidad entre las membranas celulares, lipoproteínas plasmáticas y membranas eritrocitarias.

Todo el colesterol debe entrar al hígado y se excreta en la bilis como ácidos biliares. Aproximadamente un gramo de colesterol es eliminado del cuerpo por día. De los lípidos séricos, el colesterol es señalado como el principal agente comprometido en la enfermedad cardíaca coronaria y la aterosclerosis. (Shils, 1999).

1.8. Metabolismo de Triglicéridos

La grasa en forma de triglicéridos es la forma principal de almacenamiento de energía en los seres humanos. Un mecanismo metabólico en épocas de aporte abundante de alimentos, consiste en convertir el exceso en grasa debido a la ilimitada capacidad de almacenamiento en los depósitos del tejido adiposo.

Después de ingerir alimentos, las micelas de lípidos están constituidas principalmente por triglicéridos y son liberados a la linfa en forma de quilomicrones, éstos pasan a la sangre venosa para ser aprovechados por los tejidos o son depositados en el hígado y tejido adiposo. (Shils, 1999)

1.9. Transporte de Lípidos

Los lípidos en plasma circulan en partículas de *lipoproteínas*, esto debido a su insolubilidad en soluciones acuosas y por lo tanto, los lípidos no podrían circular solos.

Las lipoproteínas del plasma son partículas esféricas con un núcleo de triglicéridos y colesterol. La cubierta externa se compone de colesterol, fosfolípidos y proteínas. Estas partículas estabilizan e imparten solubilidad a las lipoproteínas y facilitan la entrada y salida de los lípidos en las células.

Los lípidos deben ser transportados desde la sangre hasta los diferentes tejidos. Este transporte de lípidos debe servir para tres propósitos:

- 1) Los lípidos de la dieta deben ser transportados desde el intestino hasta otros tejidos del organismo.
- 2) Los lípidos formados en el hígado deben ser secretados y almacenados en el tejido adiposo.
- 3) Finalmente, los lípidos almacenados como triglicéridos en el tejido adiposo deben ser aprovechados por otros tejidos.

Las principales lipoproteínas generalmente se clasifican de acuerdo a su densidad en cuatro grupos principales: (Shils 1999)

1. Quilomicrones
2. Lipoproteínas de muy baja densidad VLDL
3. Lipoproteínas de baja densidad LDL
4. Lipoproteínas de alta densidad HDL

Clase de lipoproteínas: composición y tamaño

	Quilomicrones	VLDL	LDL	HDL
Densidad	< 0.095	0.095–1.006	1.019 – 1.063	1.063 –1.210
Tamaño nm (diámetro)	75–1200	3 – 80	20	7 – 10
% Composición Proteínas	5	10	25	50
TGL	85	60	10	5
Colesterol	5	12	50	20
Fosfolípidos	5	18	15	25

La función de las lipoproteínas es la siguiente:

- Los quilomicrones son los que transportan los TGL de origen exógeno (dieta).
- Las VLDL transportan sobre todo TGL de origen endógeno (sintetizadas por el propio organismo).
- Las LDL transportan sobre todo colesterol de origen endógeno y exógeno.
- Las HDL son producto del metabolismo de las VLDL y de los quilomicrones.

Los quilomicrones son las primeras moléculas en formarse después de ingerir alimentos. Las fracciones VLDL y LDL son conocidas como colesterol “malo” ya que éstas moléculas son aterogénicas, es decir, que se adhieren a las arterias, dado que contienen un mayor porcentaje de TGL y colesterol en su composición, comparados con la HDL. La fracción HDL, también llamada colesterol “bueno” ya que tienen el menor porcentaje de TGL y colesterol en su composición. (Shils, 1999)

2. HIPÓTESIS

Las fuentes de fibra dietética podrán tener diferentes contenidos de fibra dietética con base en sus propiedades físico-químicas evaluadas *in vitro* y podrán correlacionarse con la disminución de los niveles de colesterol y triglicéridos medidas en modelo animal.

3. OBJETIVOS

3.1. General

Realizar las pruebas físico-químicas *in vitro* a las diferentes fuentes de fibra dietética y correlacionarlas con los resultados obtenidos en el ensayo biológico para predecir su posible efecto fisiológico en el tracto gastrointestinal de seres vivos.

3.2. Específicos

1. Caracterizar químicamente las fuentes de fibra dietética a ser usadas en el presente estudio.
2. Realizar pruebas físico-químicas en las tres fuentes de fibra dietética, como son capacidades de absorción de agua y aceite, viscosidad, determinación del diámetro medio de partícula, y capacidad de retención de glucosa.
3. Realizar un ensayo biológico para evaluar el efecto de las diferentes fuentes de fibra dietética sobre la disminución de colesterol y triglicéridos evaluados en ratas Wistar.

4. MATERIALES Y MÉTODOS

4.1. Material y Equipo

Para la realización de la presente investigación se usaron los siguientes equipos:

- Balanza Analítica marca STARTORIUS modelo BL 120-S, Alemania
- Micro-Kjeldhal marca NOVATECH
- Equipo Soxhlet marca TAURO
- Estufa de secado digital FELISA, modelo FE-291D, Guadalajara, Jal.
- Placa de Calentamiento marca LINDBERG, modelo 53066, México, D.F.
- Mufla marca FELISA modelo FE-260
- Viscosímetro marca Brookfield modelo LVD-II
- Espectrofotómetro UV/Vis Samartec Plus marca Bio-Rad
- Centrífuga marca HERMLE, modelo Z 400 K
- Baño María marca FELISA termo-baño modelo FE-375
- Bomba de vacío
- Tamices DAIGGER, U.S. estándar del no. 20, 40, 60, 80, 100 y 120. U.S.A.
- Rotap-shaker
- Balanza granataria Triple Beam Balance, Ohaus^R, U.S.A

4.2. Materia Prima

Se emplearon tres fuentes de fibra adquiridas en locales comerciales en la ciudad de Morelia, Mich., los cuales fueron:

- ✓ Nopalinaza Plus^{MR} –Linaza Canadiense-
- ✓ Nopal Penca en polvo y deshidratado, El ángel de tu salud
- ✓ Day-Night Cleaner

4.3. Metodología

La materia prima fue analizada en su composición química y se le hicieron diferentes pruebas físico-químicas, las cuales se describen a continuación:

4.3.1. Análisis Químico

4.3.1.1. Humedad, Cenizas, Extracto Etéreo y Proteína

Los análisis de humedad, cenizas, extracto etéreo y proteína fueron realizados usando los métodos 44.19, 08.01 y 30.25, respectivamente, de la AACC (2000). En las ilustraciones 1 a la 3 se muestran los equipos utilizados para la medición de proteína y extracto etéreo.

4.3.1.2. Fibra Dietética

La fibra dietética se determinó de acuerdo al método de Prosky y col. (1988). El cual se basa en la digestión enzimática de los materiales proteicos y amiláceos que interfieren en la cuantificación de la fibra. Para la digestión enzimática se utilizó proteasa y amiloglucosidasa para hidrolizar la proteína y el almidón. Seguido de esto, la fibra dietética soluble se precipitó con alcohol al 78% y 96% y acetona, el extracto seco fue determinado y en dos de los triplicados se determinó proteína y en el triplicado restante se destinó para determinar cenizas. La fibra dietética total se calculó como el peso del residuo menos el peso de la proteína y de las cenizas.



Ilustración 1. Proceso de digestión de proteína.



Ilustración 2. Equipo Micro-Kjeldhal. Proceso de destilación de Proteína.



Ilustración 3. Equipo Soxhlet, para determinación de extracto etéreo.

4.3.2. Análisis Físico-químico:

4.3.2.1. Capacidad de Absorción de Agua

La capacidad de absorción de agua (CAA) fue medida de acuerdo con el método propuesto por Sosulski (1962). Un gramo de cada una de las muestras fue colocado en un tubo de centrifuga de 50 ml previamente pesado. Se le agregaron 10 ml de agua destilada, se dejó reposar 30 min con agitación cada 30 s, posterior a esto se centrifugó a 2500 rpm por 10 min a temperatura de 22 °C. El sobrenadante fue descartado y el residuo se pesó junto con el tubo de centrifuga. El valor de la Capacidad de Absorción de Agua se obtuvo de la siguiente fórmula:

Capacidad de Absorción de Agua = (peso del tubo + sedimento) – (peso del tubo + 1g de muestra) / 1 g de muestra.

4.3.2.2. Capacidad de Absorción de Aceite

Se utilizó el mismo método (Sosulski, 1962). Se le agregó 1 g de muestra con 10 ml de aceite de maíz, se dejó reposar 30 min con agitación con agitación cada 30 seg, posteriormente se centrifugó a 2500 rpm por 10 min a temperatura de 22 °C. Se desechó el sobrenadante y se pesó. El valor de la Capacidad de Absorción de Aceite se obtuvo con la siguiente fórmula:

$$\text{Capacidad de Absorción de Aceite} = (\text{peso del tubo} + \text{sedimento}) - (\text{peso del tubo} + 1\text{g de muestra}) / 1\text{ g de muestra.}$$

4.3.2.3. Viscosidad

Para la determinación de la viscosidad, los productos fueron medidos en soluciones al 3% de sólidos para lo cual se utilizó un viscosímetro rotatorio Brookfield, modelo LVD-II a 100 rpm.

4.3.2.4. Diámetro medio de Partícula

Para la determinación del diámetro medio de partícula 50 g de la muestra fueron colocados en una serie de tamices U.S. estándar del no. 20, 40, 60, 80, 100 y 120 colocados en un equipo Rotap-shaker por 30 min. Las partículas retenidas en cada criba fueron pesadas y el diámetro medio de partícula (DMP) fue determinada usando la siguiente fórmula:

$$\text{DMP} = (W1D1+W2D2+W3D3+W4D4+W5D5+W6D6) / \text{TS}$$

Donde:

W1-6 = corresponden al peso de las partículas retenidas en cada criba.

D1-6 = corresponde al diámetro de cada una de las mallas

TS = peso total de la muestra

4.3.2.5. Índice de Retardo de Difusión de Glucosa (IRDG)

Para esta prueba se utilizó el método de Shiyi y col. (2001). Diez mililitros de una solución de glucosa 50 mmol conteniendo 0.2 g de cada fuente fibra fue colocada en una bolsa de diálisis de glucosa de 11 cm de longitud. La muestra fue previamente hidratada en la solución de glucosa y agitada durante 30–45 min. La bolsa de diálisis se selló y se suspendió en 100 ml de agua destilada, y fue colocada en un baño con agitación constante a 37 °C por 4 h. Se tomaron alícuotas de 2 ml a los tiempos 0, 10, 20, 30, 60, 120, 140, 160, 180, 210 y 240 min. Se determinó el contenido de glucosa residual mediante el método de la glucosa oxidasa utilizando un kit de RANDOX, leyendo a una absorbancia de 500 nm. Las determinaciones se hicieron por triplicado, utilizando una muestra control en la que no se le adicionó fibra. (Adiotomre y col., 1990).

Para calcular el IARDG se utilizó la siguiente fórmula (Chau y col., 2004):

$$\text{IRDG} = 100 - \left[\frac{\text{contenido de glucosa en el dializado con la adición de la fibra}}{\text{contenido de glucosa en el dializado de la muestra control}} \times 100 \right]$$

4.3.3. Ensayo Biológico

- Ratas Macho de la cepa Wistar
- Jaulas metabólicas
- Kit LDL- Randox Laboratories

4.3.3.4. Elaboración de dietas

Se formularon las dietas experimentales en concordancia a la Dieta AIN–93M la cual está establecida para el mantenimiento de ratas adultas (Reeves, 1997); su formulación se observa en la Tabla 1. Obteniéndose las siguientes 5 dietas: i) C - control no colesterolémica; ii) H – dieta hipercolesterolémica adicionada con 2% de colesterol y 10% de manteca de cerdo; iii) HDN – dieta H adicionada con fibra Day-Night Cleaner; iv) HN – dieta H adicionada con fibra Nopal Penca, el ángel de tu salud; v) HL – dieta H adicionada con fibra Nopalinaza Plus^{MR}. Las dietas HDN, HN y HL fueron elaboradas en base al análisis bromatológico de las 3 diferentes fuentes

de fibra dietética. La dieta H será utilizada como control. La dieta C, fue elaborada para comprobar que las dietas tuvieran los nutrientes necesarios en las proporciones correctas y que los animales no padecieran desnutrición, un signo de esto es la apariencia del pelo (hirsuto y opaco) y la pérdida de pelo en los animales.

Tabla 1. Composición de las dietas.

Componentes	C	H	HDN	HN	HL
Almidón	42.95	30.95	28.16	20.96	28.22
Sacarosa	10	10	10	10	10
Caseína	20	20	18.77	19.04	16.01
Celulosa	15	15	0	0	0
Minerales	3.5	3.5	2.97	0	2.22
Vitaminas	1	1	1	1	1
Cistina	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Colina	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3
Aceite de soya	7	7	6.55	6.45	0
Colesterol	0	2	2	2	2
Manteca de cerdo	0	10	10	10	10
Fuente de fibra	0	0	20	30	30
TOTAL (g)	100.05	100.05	100.05	100.05	100.05

4.3.3.5. Distribución y manejo de los animales de experimentación

Para este ensayo fueron utilizadas 30 ratas macho de la cepa Wistar de 12 semanas de edad, y un peso aproximado de 400 ± 20 g. Los animales fueron colocados en jaulas individuales por un periodo de adaptación de 7 días, en ambiente con temperatura de 24 °C y ciclos de luz/oscuridad de 12 h, con alimento comercial y agua *ad libitum*. Posteriormente, las ratas fueron distribuidas en 5 lotes de 6 animales por lote y alimentadas durante 20 días con las dietas experimentales correspondientes, suministrándoles 20 g/día del alimento y agua *ad libitum*. El consumo de alimento se determinó pesando la dieta consumida, la dieta sobrante y la dieta tirada durante todo el ensayo.

Las heces de cada lote fueron recolectadas a los 10 días de experimentación, se pesaron en fresco, posteriormente fueron secadas al sol y pesadas nuevamente, para determinar la cantidad de agua en las heces.

4.3.3.6. Sacrificio y obtención de las muestras biológicas

Al final del experimento se sacrificaron los animales mediante dislocación cervical. A cada animal se le extrajo muestra de sangre por punción cardíaca y los hígados de dos de los ejemplares de cada grupo. La sangre se separó mediante centrifugación a 3500 rpm durante 10 min, separando el suero y reservándolo para su posterior análisis. Los hígados se lavaron con agua destilada y se almacenaron a una temperatura de -70 °C para su posterior análisis.

Se midieron los niveles séricos de triglicéridos y colesterol, el contenido de lípidos y agua en heces, así como el número de evacuaciones. A los hígados y heces se les determinó extracto etéreo por el método de la AACC (2000).

5. Análisis Estadístico

Para realizar el análisis estadístico, se utilizó la prueba de “t de student” en el programa Graph Pad Prism versión 3.0.

6. RESULTADOS

6.1. Análisis químico de las fibras comerciales:

En la Tabla 2 se muestran los resultados obtenidos de la composición química de los diferentes productos utilizados en este estudio. Se destaca el alto contenido de extracto etéreo (lípidos) en el producto Nopalinaza Plus^{MR}, razón por la que tuvo que ser sometida a un proceso de desgrasado, ya que su alto contenido en lípidos interfería con la determinación de fibra dietética. También es importante hacer notar que el contenido de cenizas del producto Nopal Penca (13.19%) fue alto con respecto a las otras dos fuentes de fibra, por lo que puede ser fuente importante de algunos minerales. Se puede observar el gran contenido de FDT en el producto Day-Night Cleaner (78.32g), siendo además poseedor del mayor porcentaje de FI (64.14g). Los otros dos productos, Nopal Penca y Nopalinaza son muy parecidos en su contenido de FDT así como en la de FI y FS. En cuanto a proteína total, el producto Nopalinaza Plus obtuvo el más alto contenido (13.29%).

Tabla 2. Composición química de los productos usados como fuente de fibra.

Determinación	Day-Night Cleaner	Nopal Penca	Nopalinaza Plus
Cenizas (%)	2.67	13.19	4.26
Extracto Etéreo (%)	2.26	1.84	37.15
Fibra Total de la cual:	78.32	50.11	50.72
Fibra Insoluble (g)	64.14	37.27	38.62
Fibra Soluble (g)	14.18	12.84	12.1
Proteína (%)	6.16	3.21	13.29
*E.L.N. (%)	10.59	31.65	0

*E.L.N. (Extracto Libre de Nitrógeno).

La ingesta recomendada de FDT corresponde a 70% de FI y 30% de FS. En la Tabla 3 se puede observar el porcentaje correspondiente de FI y FS de cada fuente de fibra. El producto Day-Night Cleaner aporta 81.89% de FI y por tanto un bajo porcentaje de FS (18.1%). Siendo el producto de Nopal Penca el que más se acerca a las recomendaciones, este producto aporta un 74.37% de FI y 25.62% de FS.

Tabla 3. Comparación del porcentaje de FI y FS contenida en la FDT.

Producto	FDT (g)	FDT (%)	FI (g)	FI (%)	FS (g)	FS (%)
Day-Night Cleaner	78.32	100	64.14	81.89	14.18	18.1
Nopalinaza Plus	50.72	100	38.62	76.14	12.1	23.85
Nopal Penca	50.11	100	37.27	74.37	12.84	25.62

6.2. Análisis Físicoquímico

6.2.1. Viscosidad

En cuanto a la viscosidad en el Gráfico 1 se puede apreciar que el producto Day-Night Cleaner presentó la mayor viscosidad (14.43 cP) comparado con las muestras de Nopal Penca y la Nopalinaza Plus^{MR} las cuales obtuvieron, 2.05 cP y 1.13 cP, respectivamente.

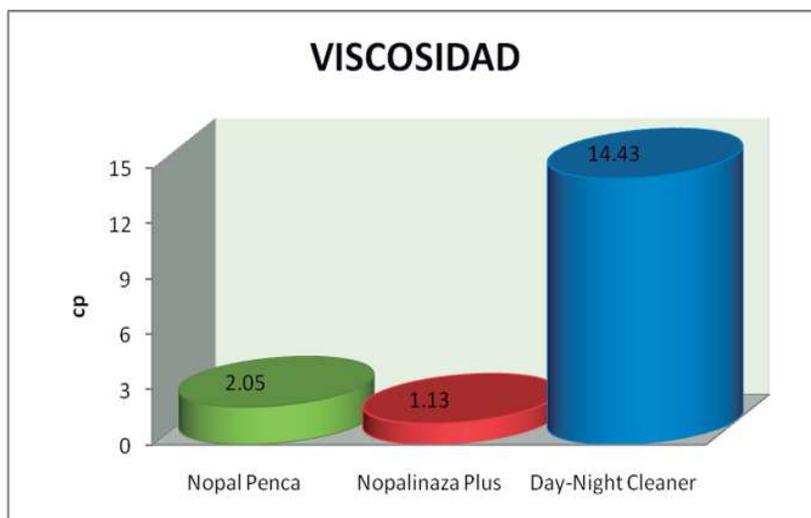


Figura 1 . Viscosidad de los diferentes productos.

6.2.2. Capacidad de Absorción de Agua y Aceite

En cuanto a la absorción de agua (Figura 1), el mayor valor fue obtenido en la fibra Day-Night Cleaner, alcanzando 20.48%, mientras que para Nopal Penca y Nopalinaza Plus fueron de 5.9% y 3.04% respectivamente. La fuente de fibra Day-Night Cleaner también obtuvo el mayor valor en cuanto a la capacidad de absorción de aceite (Figura 2) siendo de 3.25%, comparado con 2.03% y 1.87% para los productos Nopal Penca y Nopalinaza Plus respectivamente.

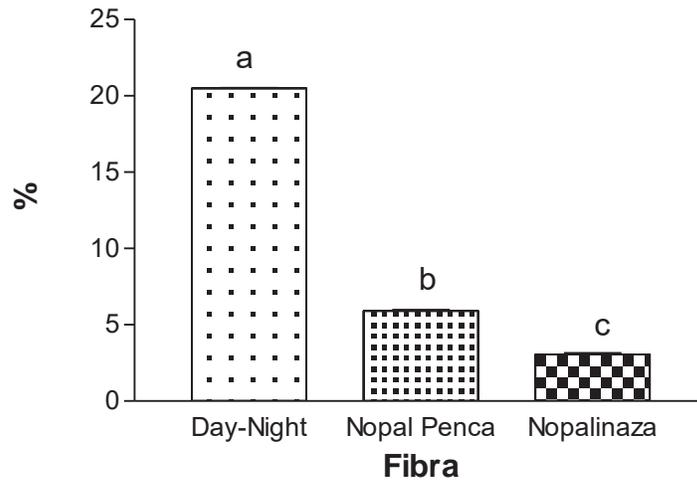


Figura 2. Capacidad de Absorción de agua.

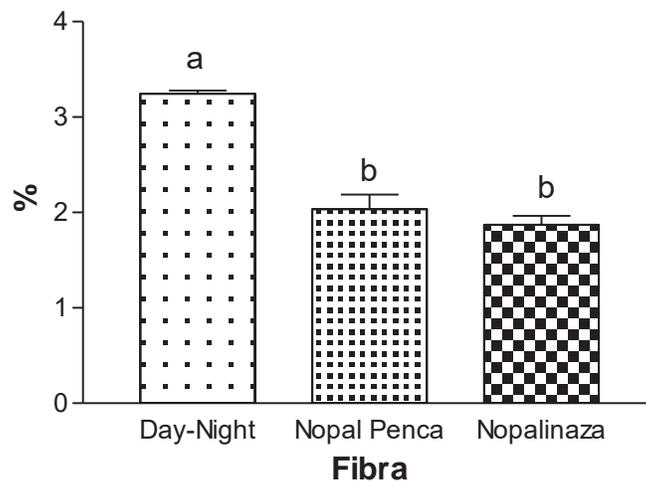


Figura 3. Capacidad de Absorción de aceite.

6.2.3. Diámetro Medio de Partícula

En la Tabla 4 se muestra el diámetro medio de partícula y se aprecia que los productos Nopalinaza y Nopal Penca tuvieron el mayor y el menor DMP (386.9 μm y 166.6 μm , respectivamente). Y la fibra Day-Night Cleaner tuvo un DMP de 356.3 μm

Tabla 4. Diámetro medio de partícula (DMP) de cada producto

Producto	DMP (μm)
Nopalinaza	386.9
Day Night Cleaner	356.3
Nopal Penca	166.6

6.2.4. Índice de Retardo de Difusión de Glucosa

En el Gráfico 2, se puede observar que la fibra Day-Night Cleaner es efectiva para retardar la difusión de la glucosa, resaltando la linealidad que ésta mantiene en el gráfico, ya que dicha fibra mantiene las concentraciones más bajas de glucosa a través del tiempo, mientras que Nopalinaza y Nopal Penca no son efectivas, ya que a los 30 min, se puede apreciar su poca habilidad para retener la glucosa dado que alcanzan concentraciones elevadas de glucosa con respecto a Day-Night Cleaner.

En la tabla 5 se muestra el porcentaje de glucosa retenida y difundida al término de los 240 minutos.

Tabla 5. Glucosa (%) retenida en membrana de celulosa.

Muestra	[mmol] de glucosa retenidos	[mmol] de glucosa difundidos
Day-Night	73.26%	26.74%
Nopal Penca	28.38%	71.62%
Nopalinaza	30.55%	69.45%

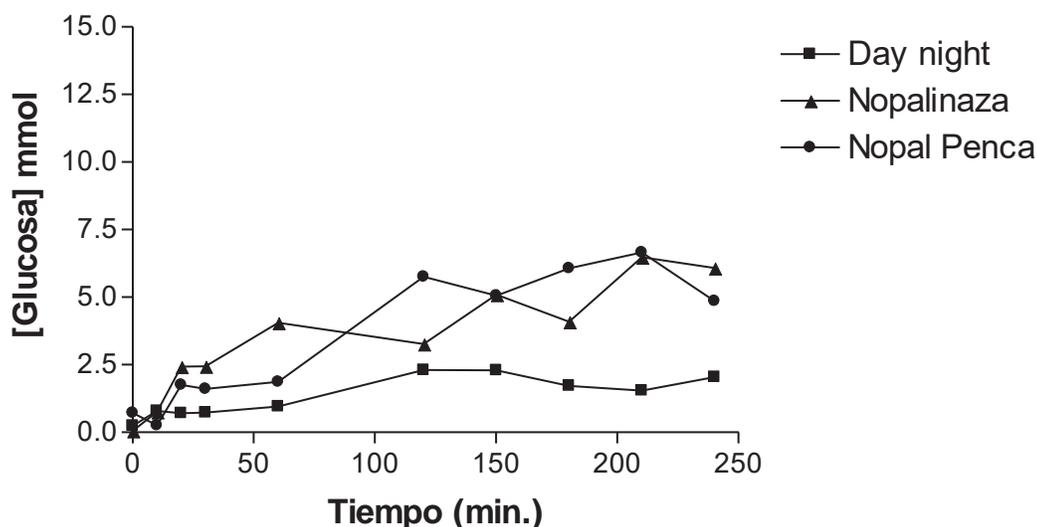


Figura 4 Índice de Retardo de Difusión de Glucosa.

6.3. Ensayo Biológico

6.3.1. Ingesta de dieta:

Los animales fueron abastecidos con dieta en cantidad conocida (20 g/día) durante 20 días y agua *ad libitum*. Diariamente se anotaron las so bras de alimento, calculando así las cantidades ingeridas, las cuales se muestran en la tabla 6. En la figura 5 se parecía que el lote HD N fue el que menor cantidad de alimento ingirió (336g).

Tabla 6. Ingesta total de alimento por los grupos de ratas alimentadas con las diferentes dietas experimentales.

Lote	Alimento Consumido (g)
H	384a
HDN	336b
HN	377a

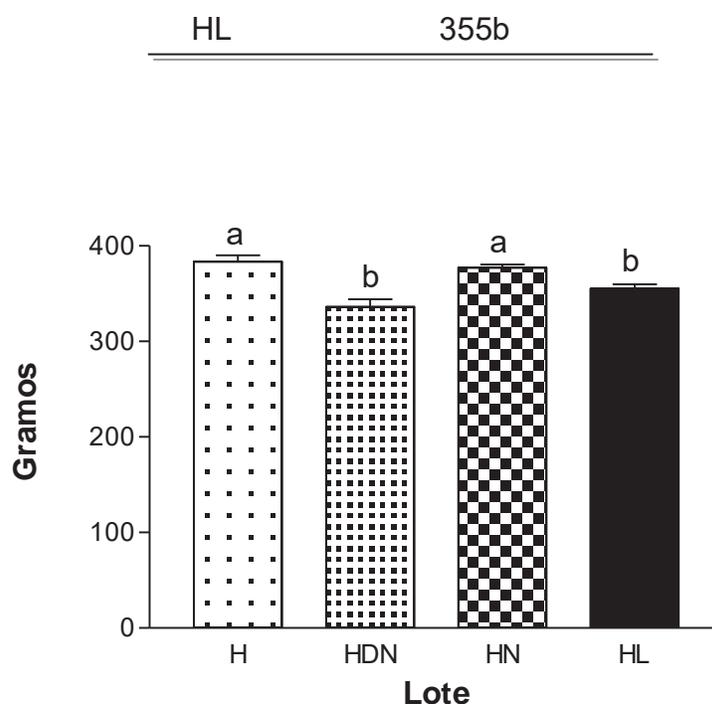


Figura 5. Ingesta de dieta

6.3.2. Peso corporal de los animales

La determinación del peso corporal fue realizada al principio y al final del experimento permitiendo evaluar la ganancia en el peso, los datos se muestran en la tabla 7 y se aprecia que el grupo HDN obtuvo la menor ganancia de peso (0.2g) comparado con los otros grupos experimentales.

Tabla 7. Ganancia de peso en los animales.

	H	HDN	HN	HL
Peso Inicial (g)	399	399.8	399.3	400.5
Peso Final (g)	459.3	400	447.8	441.5
Ganancia de Peso (g)	60.3	0.2	48.5	41.5
Ganancia de Peso (%)	13.1	0.3	10.8	9.4

6.3.3. Contenido de Colesterol y Triglicéridos séricos

Para la determinación del contenido de colesterol y triglicéridos los sueros fueron analizados en el laboratorio clínico de la Facultad de Químico Farmacobiología de la U.M.S.N.H.

Los contenidos de colesterol y triglicéridos séricos se muestran en la Tabla 8, así como en las Figuras 6 y 7 respectivamente. La fibra Day-Night Cleaner resultó ser la más efectiva para controlar los niveles de colesterol y triglicéridos ya que ésta disminuyó un 18.9% y 29.6%, respectivamente, en comparación con la dieta cuya fuente de fibra fue celulosa (H). Mientras que las otras dos fuentes de fibra (Nopal Penca y Nopalinaza Plus^{MR}) lograron reducir un porcentaje considerable aunque sólo en triglicéridos (25.1% y 22.2% respectivamente, en relación al control).

Tabla 8. Cantidad de Colesterol y Triglicéridos en suero

Lote	Colesterol (mg/dL)	TGL (mg/dL)
H	80.8 a	135.3 a
HDN	65.5 b	95.2 a
HN	87.3 a	105.3 a
HL	79.2 a	101.3 a

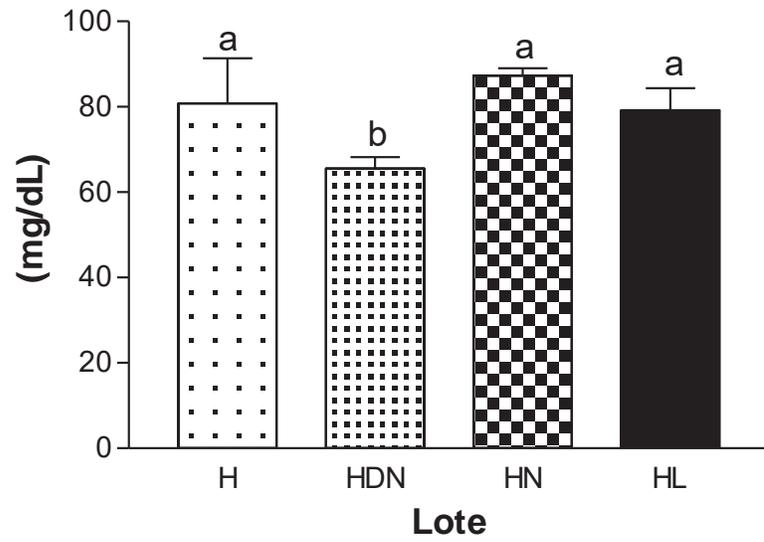


Figura 6. Contenido de Colesterol

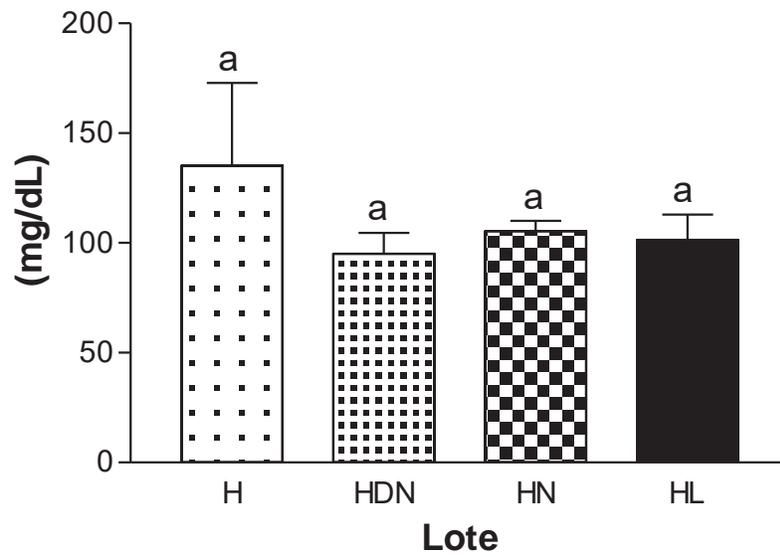


Figura 7. Contenido de Triglicéridos

6.3.4. Peso de los hígados y extracto etéreo

En las Tablas 10 y 11 se muestran los resultados del peso y contenido graso de los hígados de las ratas alimentadas con las diferentes dietas, en las Figuras 8 y 9 se muestran los resultados graficados. El Hígado con mayor peso fue el del lote H (16.7g), siendo un 26.9% más pesado que el del lote HDN, el cual fue el de menor peso (12.2 g). El hígado con mayor contenido graso fue el del lote H (49.9%), un 33.8% más graso que el del lote HDN.

Tabla 9. Peso de hígados

Lote	Peso hígado (g)
H	16.7 a
HDN	12.2 b
HN	14.1 b
HL	14.9 a

Tabla 10. Extracto Etéreo en hígados

Lote	% Extracto Etéreo en hígado
H	49.9 a
HDN	33.01 b
HN	39.32 b
HL	36.65 b

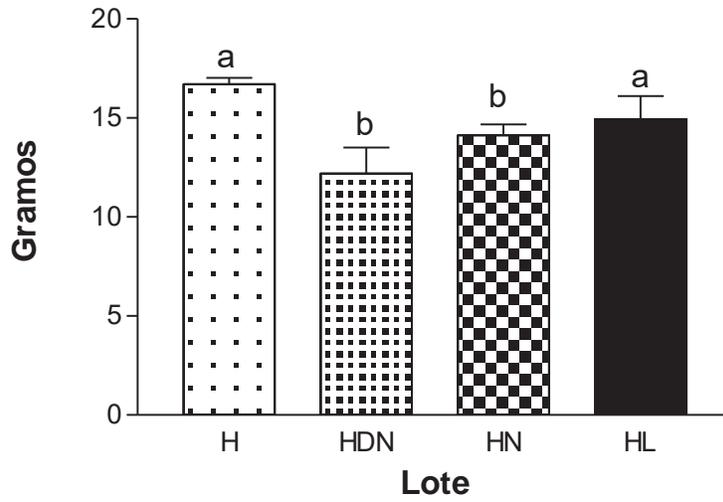


Figura 8. Peso de hígados

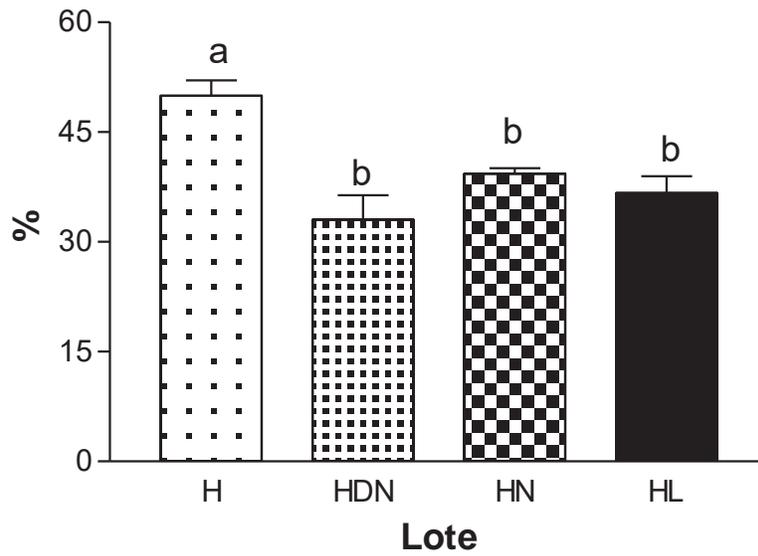


Figura 9. Extracto Etéreo en hígados

En la Ilustración 4, se muestra una fotografía de los hígados de las ratas, pertenecientes a los diferentes lotes. Nótese la apariencia totalmente grasa del hígado del lote H, cuya fuente de fibra fue la celulosa, en comparación con el hígado del lote HDN (fibra Day-Night Cleaner), el cual tiene un aspecto muy parecido al hígado del lote control (C), al cual no le fue adicionado colesterol.

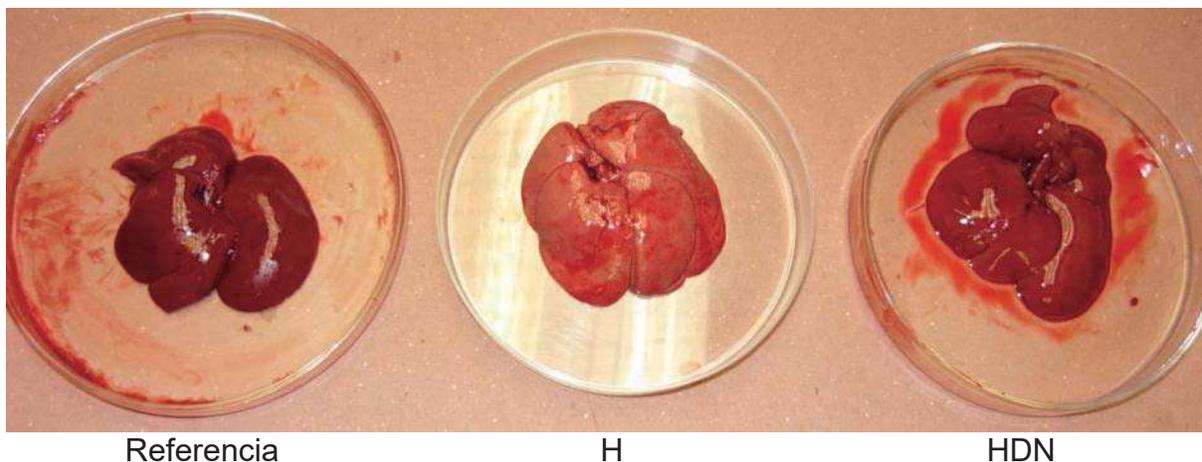


Ilustración 4. Comparación del aspecto de los hígados

6.3.5. Heces

Las heces eliminadas por los animales y retenidas en las jaulas metabólicas fueron recolectadas los días 10 y 11 del experimento, se pesaron en fresco, posteriormente fueron secadas y pesadas nuevamente para la determinación del contenido de agua fecal, a las heces secas se les hizo la determinación de extracto etéreo (AACC, 2000).

El lote con mayor número de evacuaciones fue el HDN con 73.9g, un 62% más evacuaciones que el lote de celulosa (H), un 42.9% más que el lote de HN y un 51.6% más que el de HL. La mayor cantidad de Agua Fecal la obtuvo el lote alimentado con la fibra Day-Night Cleaner (58.3%), así como también obtuvo el mayor porcentaje de extracto etéreo (19.4%), lo cual indica que la grasa ingerida fue

excretada en las heces con ayuda de la fibra, tal como se indic an en la T abla 12 y 13.

Tabla 11. Peso y Porcentaje de agua contenida en heces

Lote	Peso en Fresco (g)	Peso en Seco (g)	% de Agua contenida
H	28	23.5	15.7
HDN	73.9	30.9	58.3
HN	47.2	23.5	50.3
HL	35.8	17	52.2

Tabla 12. Extracto Etéreo en heces

Lote	% Extracto Etéreo Heces
H	11.4
HDN	19.4
HN	12.5
HL	19.4

En las Figuras 10, 11 y 12 se muestran graficados los datos de los pesos de las heces en fresco y seco, así como la cantidad de agua fecal y el extracto etéreo en heces, respectivamente.

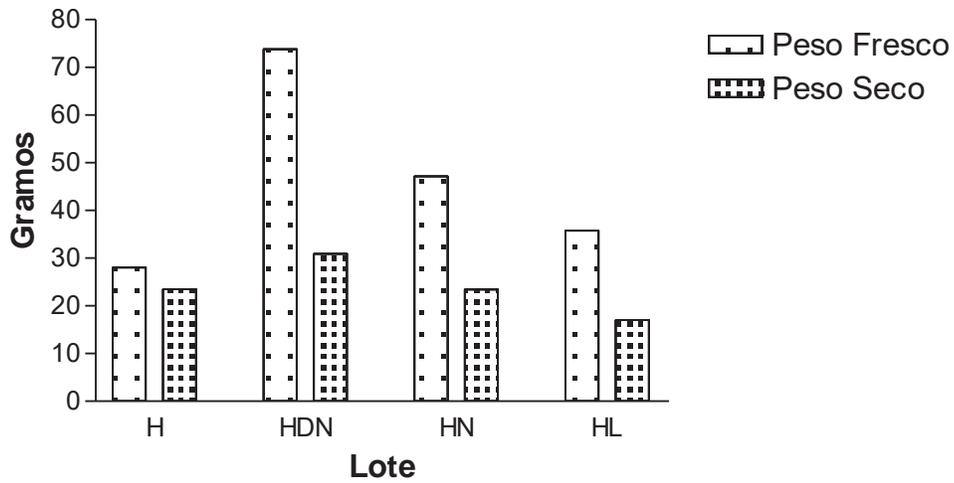


Figura 10. Peso en heces

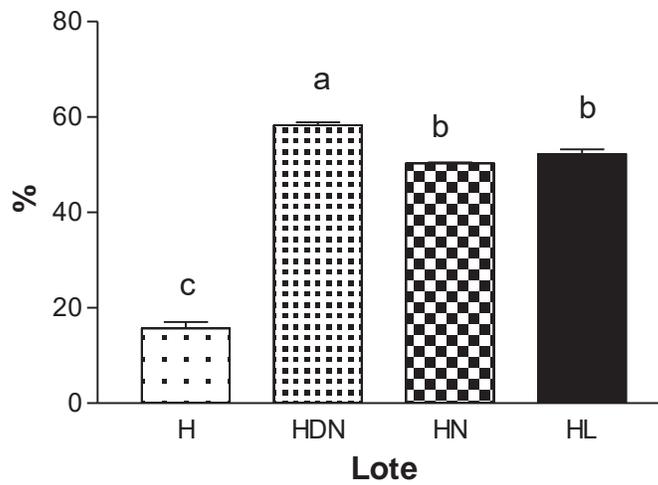


Figura 11. Cantidad de agua fecal

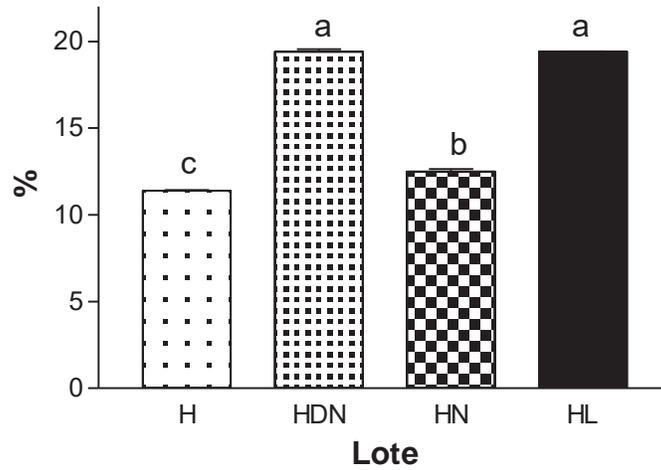


Figura 12. Extracto Etéreo en heces

7. DISCUSIÓN

Una mayor capacidad de absorción de agua implica que la fibra formará un gel en el cual podrán quedar atrapados algunos compuestos como el colesterol, lípidos, azúcares y ácido biliar. (Escudero, 2006).

Para este estudio la mayor capacidad de hidratación lo mostró la fibra Day Night, y lo que influyó fue su mayor contenido de fibra soluble.

Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra, son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico y hidrocarbonado (Escudero, 2006).

Un tamaño de partícula menor puede hacer que se aumente el área superficial de contacto entre los componentes químicos de la FS y el agua, habiendo una mayor captación de agua. (Martínez, 2008).

Las fibras solubles en contacto con el agua, forman un retículo donde queda atrapada, originándose soluciones de gran viscosidad.

Las diferentes fuentes de fibra evaluadas fueron efectivas en reducir los niveles de lípidos y la Day-Night Cleaner lo hizo además en colesterol. Así mismo, el gran número de evacuaciones del lote HDN se puede atribuir a la gran cantidad de fibra insoluble que la fibra Day-Night Cleaner contiene (64.14%) debido a su relativa capacidad para retener agua, aumentando tanto la masa fecal como la motilidad intestinal, incrementando el peso y suavidad de las heces.

8. CONCLUSIÓN

El comportamiento fisiológico en los animales pertenecientes a los diferentes lotes (H, HN, HDN y HL), se relacionó positivamente con los resultados físico-químicos medidos *in vitro* obtenidos de cada fuente de fibra evaluada con que se desarrollaron las dietas, por lo que se determina que conociendo las propiedades físico-químicas de fuentes de fibra dietética, se puede predecir el comportamiento fisiológico que ésta tendrá.

9. BIBLIOGRAFÍA

AACC. 2001. American Association of Cereal Chemists. AACC report. The definition of dietary fiber. *Cereal Foods World*, 46:112-129.

Badui, D.S. 2006. *Química de los Alimentos*. Longman de México Editores, S.A. de C.V. Pearson Educación. México.

Burkitt, D.P., Walker, A.R.P., Painter, N.S. (1974). Dietary fibre and disease. *JAMA*, 229:1068-1074.

DeVries, J.W., Prosky, L., Li. B., Cho, S. 1999. A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Foods World*, 44:367-369.

Escudero, A., González, P. 2006. La Fibra Dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21:61-72.

García Peris P, Álvarez de Frutos V. 2000. Fibra y salud. *Nutrición y obesidad*, 3:127-135.

García Peris P., Bretón Lesmes I., De la Cuerda Compes C., Camblor Álvarez M. 2002. Metabolismo colónico de la fibra. *Nutrición Hospitalaria*. 17:11-16.

Gibson, G.R., Roberfroid, M.B. 1995. Dietary Modulation of the human colonic microbiota: Introducing the concept of prebiotics. *Nutrición Hospitalaria*. 125:1401-1412.

Ha MA, Jarvis M.C., Mann, J.L. 2000. A definition of dietary fibre. *Eur Clin Nutr*, 54:861-864.

Hipsley, E.H. 1953. Dietary fibre and toxemia of pregnancy. *British Medical Journal* ii, 420-422.

Kin, Y-I. 2000. A technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence. *Gastroenterology*. 118:1235-1257.

López, G., Ros, G., Rincón, F., Perillago, M.J., Martínez, C., Ortuño, J. 1997. Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética. Mecanismos de Acción en el Tracto Gastrointestinal. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, 47(3):203-207.

Martínez, H.E., 2008. Temas Selectos en Alimentos, Nutrición y Salud. Capítulo II. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. DES Ciencias de la Salud.

Mataix, J., Gassull, M.A. 2002. Fibra alimentaria. Mataix, J. (ed.) *Nutrición y alimentación humana*. Ergon. Madrid, 119-137.

Nelson, A.L. 2001. High-Fiber Ingredients. Handbook series. American Association of Cereal Chemists.

Nugent, A.P. 2005. Health properties of resistant starch. British Nutrition Foundation, 30:27-54.

Prosky, L., Asp, N.G., Schweizer, T., Furda, I., Devries, J.W. 1988. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in food and products: interlaboratory study. J. Assoc. Anal. Chem., 71:1018-1023.

Reeves P.G. 1997. Components of the AIN-93 Diets as Improvements in the AIN-76A Diet. Journal of Nutrition 127(5):838S-841S.

Roberfroid, M.B., Bonnet, F., Bouley, C., Cummings, J.H. 1995. Colonic microflora: nutrition and health. Nutrition Reviews, 53(5):127-130.

Sastre Gallego A. 2003. Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. Gastroenterol Hepatol. 26:6-12.

Trowell, H., Sout hgate, D.A., Wolever, T.M.S., Lead, S.A.R., Gassul, M.A., Jenkins, D.J.A. (1976). Dietary fibre redefined. Lancet, i:967.

Trowell, H.C. 1972. Ischemic heart disease and dietary fiber. American Journal of Clinical Nutrition, 25:926-932.

Tunland, B.C., Meyer, D. 2002. Nondigestible oligo-and polysaccharides (fiber): their physiology and role in human health and food. Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety, 3:90-109.

Zarzuelo, A., Gálvez, J. 2005. Fibra dietética. Gil Hernández A. (ed.) Tratado de Nutrición. Acción Médica, 336-368.