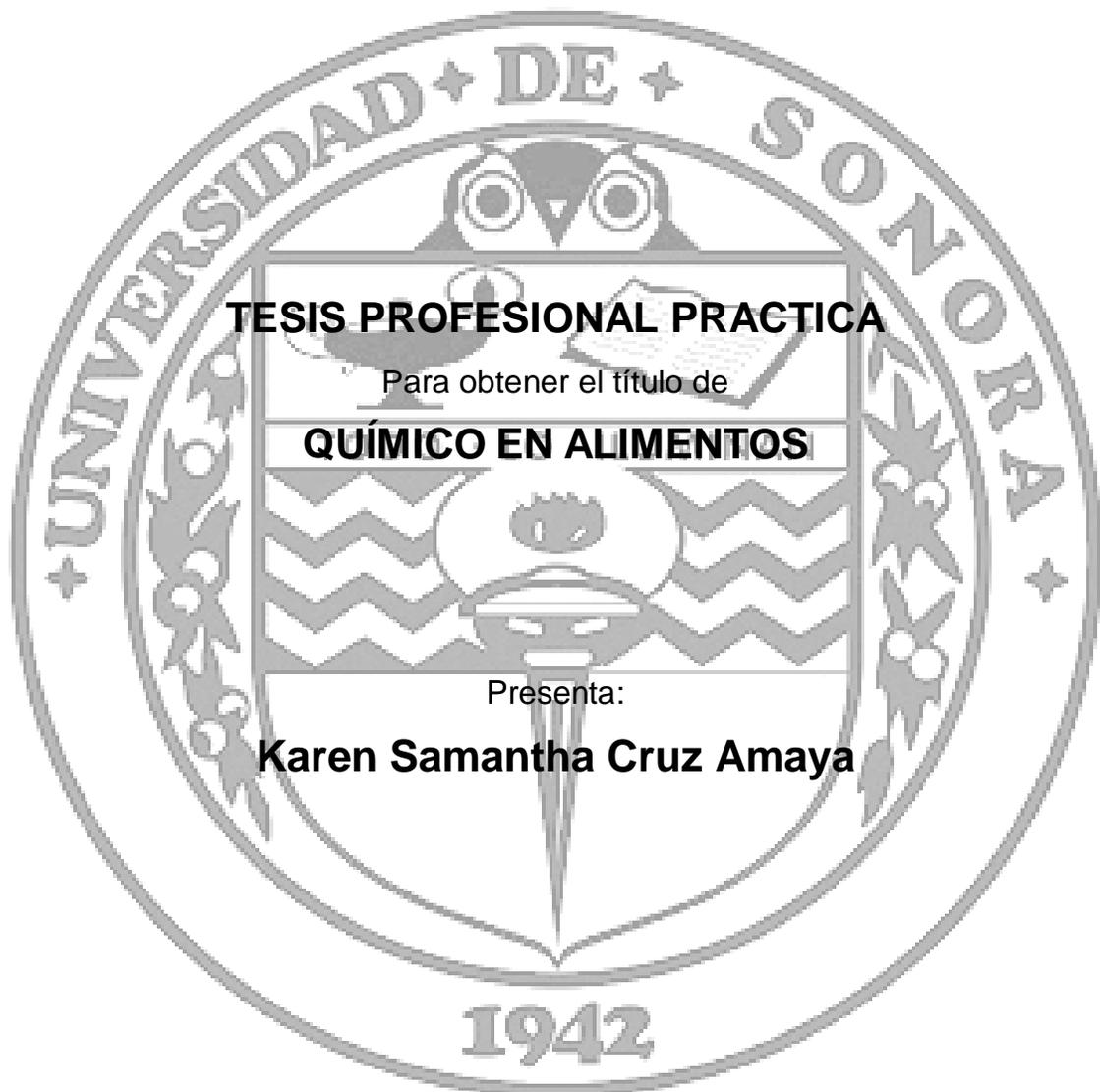


UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO-BIOLÓGICAS

**Efecto del Consumo de Inulina de Agave, Maltodextrina Resistente
y Celulosa en Dietas de Gluten sobre su Digestibilidad y
Utilización de Proteína Mediante Estudio *In Vivo***



TESIS PROFESIONAL PRACTICA

Para obtener el título de

QUÍMICO EN ALIMENTOS

Presenta:

Karen Samantha Cruz Amaya

Hermosillo, Sonora

Noviembre de 2018

Repositorio Institucional UNISON



**"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"**



Excepto si se señala otra cosa, la licencia del ítem se describe como openAccess



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA

DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE CIENCIAS QUÍMICO-BIOLÓGICAS

Título de tesis

Efecto del Consumo de Inulina de Agave, Maltodextrina Resistente y Celulosa en Dietas de Gluten sobre su Digestibilidad y Utilización de Proteína Mediante Estudio *In Vivo*

TESIS PROFESIONAL PRACTICA

Para obtener el título de

QUÍMICO EN ALIMENTOS

Presenta:

Karen Samantha Cruz Amaya

CARTA DE APROBACIÓN

Los miembros del jurado calificador del examen profesional de **Karen Samantha Cruz Amaya** hemos revisado detenidamente su trabajo escrito titulado

Efecto del Consumo de Inulina de Agave, Maltodextrina Resistente y Celulosa en Dietas de Gluten sobre su Digestibilidad y Utilización de Proteína Mediante Estudio *In Vivo*

y encontramos que cumple con los requisitos para la presentación de su examen profesional. Por tal motivo recomendamos se acepte dicho trabajo como requisito parcial para la obtención de título de **Químico en Alimentos**.

Atentamente

Dra. Yaeel Isbeth Cornejo Ramírez
Director de la tesis

M.C. Dalila Fernanda Canizales Rodriguez
Secretario

M.C. Rafael Canett Romero
Vocal

M.C. Mavet Madai Herrera Cadena
Suplente

Hermosillo, Sonora

Noviembre de 2018

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad de Sonora por brindarme los conocimientos necesarios para mi formación como química en alimentos, así como el profesionalismo que también fue necesario para la realización de este trabajo. Agradezco al Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos por el préstamo del laboratorio de experimentación animal (BIOTERIO) y los demás recursos brindados los cuales permitieron efectuar cada procedimiento de la metodología.

De manera personal agradezco a la Dra. María del Refugio Falcón Villa por brindarme la oportunidad de realizar este trabajo experimental, aportarme los conocimientos necesarios en el área de fibras dietéticas y alimentación, el cual se convirtió en el campo de interés como futura investigadora, pero sobre todo le agradezco por la confianza, amabilidad y por ser una persona digna de admiración, gracias.

Al M.C. Rafael Canett Romero ya que fue el primer profesor que me incentivo hacia la investigación al inculcar las bases tanto teóricas como experimentales de los bioensayos *In Vivo*, por darme libertad de elección en cada propuesta de investigación, por su confianza y apoyo, gracias.

A mi directora de tesis, la Dra. Yaeel Isbeth Cornejo Ramírez por ser un ejemplo a seguir como persona e investigadora profesional, por brindarme la asesoría necesaria, refinar mis conocimientos en el campo de investigación, por el empeño notorio que mostró en este trabajo para su mejora, su amabilidad y la excelente relación comunicativa, gracias.

A cada persona involucrada para la realización de este trabajo. Así como también a las personas que mostraron interés desde el inicio, transcurso y final de mi investigación, **muchas gracias.**

DEDICATORIA

A Dios por permitirme culminar con el trabajo a pesar de las fechas difíciles y las trabas presentes de este año, brindándome salud, bienestar y fuerza de superación.

A mis padres Elizabeth Amaya Ramirez y Roberto Cruz Encinas, que son mis ejemplos a seguir en todo momento, enseñándome su determinación, amabilidad y empatía, pero sobre todo lo que es ser correcto. Gracias por brindar su sincero amor, preocupación y mostrar su apoyo para cada decisión de mi vida. Algún día les devolveré un poco de todo lo que merecen.

A mis hermanas Jatzarely Cruz Amaya y Elizabeth Cruz Amaya que a pesar de las diferencias siempre mostraron el entendimiento y paciencia en mis días y noches de trabajo, y por brindar el cariño y las risas necesarias.

A mi abuela María Teresa Ramirez Villareal que en este año partió al cielo, que incluso en su tiempo de enfermedad me brindo su ánimo, apoyo, preocupación e interés constante sin los cuales yo no hubiera seguido el presente trabajo. Que en paz descanse.

A la familia Amaya por parte de mi madre, que gracias a su cariño, preocupación, apoyo e interés inclusive en los tiempos difíciles en familia, logré esforzarme y dedicarme más. Este trabajo lo dedico a ustedes. Así mismo a los familiares Cruz que mantuvieron interés en el transcurso, muchas gracias.

Le agradezco también a Isack Alejandro Padilla, por ser la primera persona que inculcó en mi el amor y el valor del estudio, por enseñarme a extender mis campos, así como mis metas, por estar siempre para mi, hasta acompañarme en mis noches de estudio en las bibliotecas, me brindaste un apoyo único. Gracias por ser un ejemplo a seguir y ser el mejor compañero de vida, pero sobre todo te agradezco el amarme siempre, te amo.

Gracias a mis suegros María del Socorro Esquet Moraga y Eduardo Padilla Valenzuela, por su interés constante, brindándome cariño y apoyo siempre, por motivarme y por ser ejemplos de vida a seguir, por su amabilidad y fortaleza como personas.

A mis amigos cercanos por apoyarme para seguir adelante y mostrarme siempre su interés. Gracias por darme esos días de felicidad y relajación cuando más lo necesitaba, siempre les desearé lo mejor.

Gracias a todos ustedes por enseñarme a dar lo mejor de mi en cada paso de mi vida.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE TABLAS	viii
LISTA DE FIGURAS	ix
ABREVIACIÓN.....	x
RESUMEN	1
INTRODUCCIÓN	2
OBJETIVOS	4
Objetivo General.....	4
Objetivos Específicos.....	4
ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS	5
Tendencias Alimentarias.....	5
Origen y Definición de Alimentos Funcionales.....	5
Características de alimentos funcionales.....	6
Importancia de incorporar fibra dietética en alimentos funcionales.....	6
Reologicamente.....	6
Nutricionalmente.....	7
Económicamente.....	7
Fibra Dietética.....	8
<i>Codex Alimentarius</i> 2009: Definición Actual.....	9
Clasificación por Solubilidad.....	9
Fibra dietética insoluble.....	10
Fibra dietética soluble.....	10
Fuentes de Fibra Dietética.....	10
Granos.....	11
Frutas y hortalizas.....	11
Fibra Dietética de Interés Industrial.....	12
Inulinas.....	12
Interés industrial.....	13
Inulina de origen agave.....	14
<i>Genero Tequilana weber azul</i>	16
Maltodextrina resistente.....	17
Celulosa.....	18
Propiedades de la Fibra Dietética.....	19
Propiedades funcionales.....	19
Efectos fisiológicos de la fibra dietética sobre parte del sistema digestivo	19
Sobre el estómago.....	19
Sobre el intestino delgado.....	19
Sobre el intestino grueso.....	19
Relación entre las propiedades funcionales y los efectos fisiológicos.....	20
Volumen fecal.....	20
Disminución en el tiempo de tránsito intestinal.....	20
Fermentación.....	20
Capacidad de retención de agua y viscosidad.....	21
Control de peso.....	21
Efectos de la Fibra Dietética Sobre el Metabolismo de Nutrientes.....	21
Metabolismo de carbohidratos.....	22
Metabolismo de lípidos.....	22
Metabolismo de minerales.....	23

Metabolismo de proteínas.....	23
Rol de la Fibra Dietética en la Seguridad Alimentaria.....	24
Recomendaciones de consumo.....	24
Estudios nacionales sobre ingesta de fibra.....	25
Alimentación Mexicana.....	26
Índice de Pobreza en México.....	26
Índice de Inseguridad Alimentaria en México.....	26
2 ^{do} . Objetivo de desarrollo sostenible: Hambre cero.....	27
Canasta básica alimentaria para México: Baja calidad proteica.....	27
Gluten de Trigo.....	28
Evaluación de Calidad Proteica.....	30
Métodos <i>In Vivo</i> con Ratas en Crecimiento.....	30
Indicadores Biológicos.....	31
Valor biológico de proteína (VB).....	31
Indicador Biológico para Digestibilidad de Dieta.....	31
Digestibilidad de materia seca (DMS).....	31
Indicador Biológico para Digestibilidad de Proteína.....	31
Digestibilidad de nitrógeno aparente (DNA).....	32
Digestibilidad de nitrógeno verdadero (DNV).....	32
Indicador Biológico para Utilización de Proteína.....	33
Razón neta de proteína (NPR).....	33
MATERIALES Y MÉTODOS.....	34
Materia Prima.....	34
Análisis Químico de la Materia Prima.....	34
Elaboración de Dietas.....	34
Bioensayo de Calidad Proteica.....	36
Características de Camada Animal.....	36
Distribución, Clasificación y Asignación.....	36
Periodo de Adaptación.....	36
Inicio de Prueba y Registro de Factores Experimentales.....	36
Consumo de alimento.....	37
Aumento en peso de ratas.....	37
Cantidad de heces.....	37
Análisis químico a heces.....	38
Obtención de Indicadores de Calidad Proteica.....	38
Digestibilidad de Materia Seca (DMS).....	38
Digestibilidad de Nitrógeno Aparente (DNA).....	38
Digestibilidad de Nitrógeno Verdadera (DNV).....	39
Razón Neta de Proteína (NPR).....	39
Diseño Experimental y Análisis Estadístico.....	39
HIPÓTESIS.....	40
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
Análisis Químico de Materia Prima.....	41
Análisis Químico de Fibra Dietética Total, Insoluble y Soluble de las Fuentes Comerciales de Fibra.....	41
Contenido de Proteína del Gluten de Trigo.....	42
Elaboración de Dietas.....	42
Composición de las Dietas Experimentales.....	42
Bioensayo de Calidad Proteica.....	44
Registro de Factores Experimentales.....	44
Consumo de alimento.....	45

Consumo de fibra.....	45
Aumento en peso.....	47
Cantidad de heces excretadas por las ratas.....	49
Consumo y excreción de nitrógeno por las ratas.....	51
Indicadores de Calidad proteica.....	52
Digestibilidad de materia seca (DMS).....	52
Digestibilidad de nitrógeno aparente (DNA).....	53
Digestibilidad de nitrógeno verdadero (DNV).....	53
Razón neta de proteína (NPR).....	54
CONCLUSIÓN	58
RECOMENDACIONES	59
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	60

LISTA DE TABLAS

Tabla		Página
1	Contenido de inulina y oligofructosa en alimentos consumidos por los americanos.....	15
2	Integración de los azúcares reductores totales contenidos en las diferentes fracciones de la planta de <i>A. tequilana azul</i>	16
3	Propiedades y convecciones asociadas con el estándar de aminoácidos.....	29
4	Composición porcentual de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales.....	35
5	Perfil del contenido de fibra de fuentes comerciales altos en fibra.....	41
6	Contenido de proteína total del gluten de trigo commercial.....	42
7	Composición de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína.....	43
8	Alimento consumido total, fibra consumida, aumento en peso total y peso de heces total de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control.....	44
9	Proteína consumida total, nitrógeno consumido total y nitrógeno excretado en heces total de las dietas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control.....	51
10	Digestibilidad de material seca, de nitrógeno aparente y de nitrógeno verdadera de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control.....	54
11	Aumento en peso total, proteína consumida y razón neta de proteína de las dietas experimentales basadas en gluten con diferentes fuentes de fibra y las dietas control.....	56

LISTA DE FIGURAS

Figura		Página
1	Molécula de inulina con terminal de glucosa y molécula de inulina con terminal de fructosa.....	13
2	Molécula de maltodextrina resistente marca Fibersol-2.....	17
3	Estructura molecular de fracción de celulosa.....	18
4	Alimento consumido por las ratas durante la fase experimental de 14 días...	46
5	Aumento de peso de las ratas durante la fase experimental de 14 días.....	48
6	Cantidad de heces excretadas por las ratas durante la fase experimental de 14 días.....	50
7	Esquematización gráfica entre los factores de proteína consumida y de aumento en peso para el cálculo de NPR.....	57

ABREVIACIÓN

Abreviación	Materia prima, indicador de calidad y dietas experimentales.
AF	Alimentos funcionales
CBA	Canasta básica alimentaria
FOS	Fructooligosacaridos
GP	Grado de polimerización
FD	Fibra dietética
FDT	Fibra dietética total
FDI	Fibra dietética insoluble
FDS	Fibra dietética soluble
INU	Fibra soluble de inulina de agave
MDR	Fibra soluble de maltodextrina resistente
CEL	Fibra insoluble de celulosa
SFD	Sin fibra dietética añadida
GLU	Proteína gluten de trigo
CAS	Proteína caseína
VB	Valor biológico
N ₂	Nitrógeno
NPR	Razón neta de proteína (<i>Por sus siglas en ingles: Net protein ratio</i>)
GLU-INU	Dieta gluten + fibra de inulina
GLU-MDR	Dieta gluten + fibra de maltodextrina resistente
GLU-CEL	Dieta gluten + fibra de celulosa
GLU-SFD	Dieta gluten sin fibra dietética añadida
CAS-CEL	Dieta caseína + fibra de celulosa
DLN-CEL	Dieta libre de nitrógeno + fibra de celulosa

RESUMEN

En los últimos años la tecnología alimentaria introdujo al mercado los alimentos funcionales y con ello el uso de fibras dietéticas. Aunque se desconocen algunas implicaciones en el bienestar humano por el consumo de fibras, existe un interés reciente en el uso de inulina de agave como prebiótico, sin embargo, la adición de fibras con diferentes grados de polimerización y solubilidad podría provocar un efecto adverso en la digestibilidad y la utilización de la proteína. El objetivo de este estudio fue evaluar el efecto de consumo de inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa sobre la calidad de la proteína de dietas de gluten mediante bioensayo *In Vivo*, empleando la rata *Sprague Dawley* como modelo experimental. Se prepararon tres dietas experimentales utilizando gluten como única fuente proteica con tres diferentes fuentes de fibras: inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa. Y tres dietas control para el cálculo de los indicadores de calidad: digestibilidad de materia seca (DMS), digestibilidad de nitrógeno aparente (DNA) y verdadera (DNV) y la razón neta de proteína (NPR). Los resultados fueron analizados por un programa estadístico con un 95% de significancia. La dieta de inulina mostró valores de DMS (96.2%) DNA (89.7%) DNV (93.7) NPR (1.7), la maltodextrina resistente DMS (95.2%) DNA (88.9%) DNV (92.9%) NPR (1.5) y, la celulosa DMS (92.3%) DNA (93.4%) DNV (96.8%) NPR (1.7). Los resultados demostraron que la adición del 5% de fibras dietéticas a dietas de 10% de proteína, no afectaron a la utilización de N₂ para el crecimiento, sin embargo, la adición de fibras dietéticas solubles sí afectaron de manera significativa la digestibilidad de N₂.

Palabras claves: alimentos funcionales, fibras dietéticas, indicador biológico de calidad proteica.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años, una nueva era en el área de las ciencias de los alimentos y de la nutrición se ha hecho presente con cada vez mayor intensidad: El área de la interacción alimentos-medicina cada vez más reconocida como la de los alimentos funcionales (AF), que acepta el papel de los componentes alimenticios como nutrientes esenciales para el mantenimiento de la salud (Flores, 2004).

Actualmente y después de 30 años de investigación, la fibra dietética (FD) es parte de lo que se considera una dieta saludable (Escudero y Gonzalez, 2006). El *Codex Alimentarius* en 2009 definió a la fibra dietética como polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades monoméricas, la cual no es hidrolizada por enzimas endógenas en el intestino delgado de humanos y es clasificada en dos principales categorías, insoluble (FDI) y soluble (FDS). Las FDS se disuelven en agua formando geles viscosos. Evitan la digestión en el intestino delgado y son fácilmente fermentados por la microflora del intestino grueso (Anderson y col., 2009). En el tracto gastrointestinal humano, las FDI no forman geles debido a su insolubilidad en agua y la fermentación es muy limitada (Kumar y Banerjee, 2010).

Dietas con alto contenido de fibra, como las ricas en cereales, frutas y vegetales tienen un efecto beneficioso en la salud (Anderson y col., 2009). Estos beneficios se atribuyen principalmente a la resistencia de la fibra a su digestión, su capacidad para absorber y retener agua, formando una red que ocluye y fija algunas sustancias orgánicas, tales como lípidos y carbohidratos (Wang y col., 2006).

Los productores de alimentos han respondido a la demanda de los consumidores por alimentos con mayor contenido de fibra, desarrollando productos altos en FDI, como la celulosa (Nelson, 2001). Pero es la FDS la que más se ha asociado a la disminución de los factores de riesgo (Bazzano y col., 2003; Fernández, 2010) usadas como sustituto de azúcar, reemplazante de las grasas (Coussement, 1995) pero principalmente ejercer un efecto prebiótico, como la maltodextrina (Marteau, 2010) y destacando, por un mayor crecimiento de bifidobacterias en métodos *in vitro*, la inulina de origen agave (Langlands y col., 2004; Allsopp y col., 2013; Gómez y col., 2010).

Sin embargo, Wong y Cheung (2003) reportaron que, efectivamente el consumo de fibra favorece algunos aspectos relacionados con la salud, pero sí la cantidad o fuente consumida de ésta en forma diaria no se cuida, ocasiona trastornos en el aprovechamiento correcto de algunos nutrientes, siendo las proteínas los elementos más afectados. Así mismo, se ha reportado que dietas altas en fibra incrementan la excreción en nitrógeno (N₂) fecal disminuyendo la digestibilidad de nitrógeno dietario tanto en humanos, como en animales de laboratorio (Mariotti y col., 2001; Frias y Sgarbieri, 1998; Shah y col., 1982; Jorgensen y col., 2003; Feddern y col., 2008). La afectación negativa del aprovechamiento correcto de la proteína, relacionado con el consumo de fibra, se ha atribuido a una reducción en la actividad de diversas enzimas digestivas presentes en el intestino (Rodríguez y Figueroa, 1995).

El creciente mercado de ingredientes altos en fibra empleados en la elaboración de productos con mayor nivel de fibra, podrían incrementar el consumo de fibra, como complemento de una sana alimentación, sin embargo aumentar la cantidad de fibra en la dieta puede también tener efectos adversos en la digestión, absorción y utilización de la proteína de los alimentos, afectando la calidad proteica absorbida por el cuerpo, por lo que en este trabajo se plantea evaluar el efecto del consumo de inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa en dietas de gluten sobre su digestibilidad y utilización de la proteína de ratas en crecimiento.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el efecto del consumo de inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa en dieta de gluten sobre su digestibilidad y utilización de la proteína mediante bioensayo *In Vivo* de ratas en crecimiento.

Objetivos Específicos

Evaluar la digestibilidad (de materia seca, de nitrógeno aparente y verdadero) de proteína en dietas de gluten con fibra de inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa mediante bioensayo *In Vivo* de ratas.

Evaluar la razón neta de proteína (NPR) en dietas de gluten con fibra de inulina de agave, maltodextrina y celulosa mediante bioensayo *In Vivo* de ratas.

ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Tendencias Alimentarias

Los consumidores, conscientes de sus necesidades buscan en el mercado aquellos productos que contribuyan a su salud y bienestar. Siguiendo esta tendencia, reciben abundante información sobre las propiedades saludables de los alimentos (Araya,2003).

En el estudio de tendencias y oportunidades para el sector de alimentos procesados del estado de México realizada por COMECYT (2015) se menciona que, al analizar los casos de estudios regionales, investigaciones realizadas por diferentes instituciones y consultorías especializadas, se identificaron cuatro tendencias de consumo en el sector de alimentos, salud y bienestar, convivencia, sofisticación y sensaciones, donde la considerada como la megatendencia es la encaminada a la salud y bienestar, la cual está constituida en su mayoría por los alimentos funcionales (AF).

Origen y Definición de Alimentos Funcionales

En 1984, un grupo de investigación especial en Japón comenzó un sistemático proyecto nacional bajo patrocinio del Ministerio de Educación, Ciencia y Cultura (MESC) para explorar la interfaz entre la alimentación y las ciencias médicas (Arai,1996). El término "alimento fisiológicamente funcional", primero apareció en noticias de la naturaleza en 1993 con el título 'Japón explora el límite entre comida y medicina' (Swinbanks y O'Brien, 1993) alcanzando el interés internacional.

Una acción concertada de la UE sobre Ciencia Funcional de Alimentos en Europa (FUFOSE) coordinada por ILSI Europa (International Life Sciences Institute) desarrolló y alcanzó un consenso sobre conceptos científicos de AF que se publicó en 1999 (Diplock y col., 1999). Este documento de consenso europeo propone la siguiente definición: "Un alimento puede considerarse funcional sí se demuestra satisfactoriamente que afecta beneficiosamente una o más funciones objetivo en el cuerpo, más allá de los efectos nutricionales adecuados, de una manera que sea relevante para cualquiera de las etapas mejoradas de salud y bienestar y / o reducción del riesgo de enfermedad" (Roberfroid, 2002). Hoy día continúa la investigación para

definir y obtener un mayor conocimiento de los alimentos, sus propiedades y efectos sobre las funciones fisiológicas del cuerpo humano (Cadaval y col., 2005).

Schaafsma (2004) menciona tres generaciones en el desarrollo de AF. La primera los coloca como alimentos fortificados, donde se informa al cliente del buen estatus nutricional. En la segunda, se desarrollan para reducir los riesgos a enfermedades crónicas (Diplock y col., 1999). La tercera, es la falta de biomarcadores validados para evaluar la eficacia y la seguridad de los ingredientes bioactivos.

En los últimos años, los estudios de actividad biológica y biodisponibilidad de los productos funcionales se han basado en investigaciones *in vitro*, seguidas de experimentos con animales y de ensayos de intervención dietética en humanos. Este tipo de estudios constituye un avance importante, aunque aún es insuficiente (Reglero, 2006).

Características de Alimentos Funcionales. Un alimento funcional puede ser natural o modificado. Además, puede ser para toda población o para grupos particulares de la población, definidos por sus características genéticas, por el sexo, por la edad o por otros factores (Salvador y Bultó, 2002). Complementan la función nutritiva y la prevención de ciertas enfermedades. La presentación de un alimento funcional tiene que ser como la de un alimento, sin modificar sus características. Nunca deben presentarse en forma de cápsulas o comprimidos (Cadaval y col., 2005).

Se conocen innumerables sustancias con actividad funcional: fibra soluble e insoluble, fitosteroles, fitoestrógenos, ácidos grasos monoinsaturados y poliinsaturados, derivados fenólicos, vitaminas y otros fitoquímicos (Rodríguez y col., 2003).

Importancia de Incorporar Fibra Dietética en Alimentos Funcionales. En las últimas décadas se han desarrollado estudios e investigaciones que señalan la asociación a nivel epidemiológico entre el bajo consumo de FD y la alta incidencia de enfermedades crónicas (Grossi y col., 2015)

Reologicamente. La importancia de las fibras alimenticias ha traído un desarrollo grande y potencial de mercado para productos e ingredientes ricos en fibra y, en los últimos años, hay una tendencia a encontrar nuevas fuentes de fibra dietética que puedan usarse (Chau y Huang 2003) en diversos AF, como panadería, bebidas y productos cárnicos. La influencia de los diferentes tratamientos de procesamiento altera las propiedades fisicoquímicas de la fibra dietética y mejora su funcionalidad. (Hesser 1994). En panes y productos horneados se utiliza la

FD para incrementar el contenido de fibra, bajar las calorías y aportar percepción de frescura, absorber agua, mejorador de textura y provoca un ablandamiento en la miga. En bebidas y lácteos aporta viscosidad, textura, estabilización del sistema, suspensión de partículas entre otros. También se adiciona a jaleas, frostings y productos de confitería para lubricar, emulsionar, gelar y producir sensación gustosa al paladar (Nelson, 2001)

Nutricionalmente. México se enfrenta a dos problemas simultáneos en relación con la nutrición de su población; por un lado, aún hay personas con problemas de desnutrición y por el otro, un importante segmento de su población tiene sobrepeso y obesidad (Programa Nacional de Salud, 2007-2012). Lo cierto es que nuestra dieta actual contiene muy poco o poco residuo de la necesaria fibra contenida en las legumbres; verduras y frutas. Esta carencia supone, un factor de riesgo que contribuye al desarrollo de numerosas enfermedades (Redondo y col., 2002)

La fibra dietética aislada fue inicialmente obtenida para el análisis de alimentación y traída a la nutrición humana alrededor de 1900. Su delimitación precisa ha sido objeto de mucha discusión y controversia (Asp, 1996; Asp 2001). Actualmente, es el principal ingrediente en AF (constituye más del 50% del total de ingredientes usados a nivel mundial) y se está incorporando progresivamente a todo tipo de alimentos y bebidas, como factor de calidad nutricional muy apreciado por los consumidores (Ransley y col., 2001).

Económicamente. En Estados Unidos, en el año 2004, 158 millones de personas consumieron AF, y el gasto en el área de suplementos alimenticios alcanzó los 20.500 millones de dólares (Burdock y col., 2006). En USA el mercado de AF fue valorado en más de 37 billones de dólares en 2009, representado cerca de 6% del total de alimentos y bebidas fabricadas (Reinhardt y col., 2011). Ello es un índice del interés que existe por mejorar la nutrición y la salud en el ámbito popular y comercial (Aswell, 2004). Además, en los estadounidenses, el consumo total de fibra dietética ha aumentado en más del 60% (Natural Marketing Institute, 2013) en la última década, lo que impulsa a los fabricantes a seguir desarrollando productos nuevos e innovadores que satisfagan las expectativas de los consumidores. De hecho, se pronosticó que el mercado mundial de alimentos integrales y altos en fibra llegaría a \$ 23.5 mil millones en 2017 (Global Industry Analysts Inc., 2016). Y se prevé que el mercado de fibras dietéticas crezca a una tasa compuesta anual del 11,6% de 2017 a 2022, para llegar a USD 6,50 mil millones para 2022. Los principales actores que se perfilan en el informe incluyen en su mayoría empresas de EE. UU., Irlanda, Francia, Alemania y Suiza (Markets y Markets, 2017).

Fibra Dietética

Es un acuerdo que el término fibra dietética se utilizó por primera vez en 1953 para describir los componentes de las paredes celulares de las plantas que no eran digeribles por humanos (DeVries y col., 1999).

La publicación de Garza (2004), fibra dietética: conceptos actuales y aplicaciones terapéuticas antecede a 1970, donde Denis Burkitt y Hugh Trowell, realizaban estudios epidemiológicos en Uganda y observaron que la gente prácticamente no sufría de constipación, diverticulosis colónica, hemorroides, diabetes, enfermedades cardiovasculares ni cáncer del intestino grueso, a diferencia de los países de occidente. Formularon entonces la hipótesis de que tal fenómeno se debía a la ausencia de alimentos refinados y procesados en la dieta, aunado a la ingesta de alimentos ricos en fibra. A este respecto, la fibra dietética puede ajustarse a la definición de alimento funcional por el hecho de que puede afectar una o más funciones específicas en el cuerpo de una manera positiva (Diplock y col., 1999).

Para 1981, la definición de Trowell et al. evolucionó a la siguiente: La fibra dietética consiste en los remanentes de células de plantas comestibles, polisacáridos, lignina y sustancias asociadas resistentes a la digestión por enzimas alimentarias de los humanos (DeVries, 2010). En noviembre de 1998, el presidente de la Asociación Estadounidense de Químicos de Cereales (AACC, por sus siglas en inglés) nombró un comité de revisión científica para actualizar la definición de fibra dietética, siendo delineada más claramente la composición, su funcionalidad fisiológica y relativamente pocos cambios en la metodología (AACC, 2001).

En 2002, el informe de ingesta dietética de referencia del comité de comida y nutrición (FNB) y el instituto de medicina (IOM) definieron otro concepto, la fibra funcional; constituida por carbohidratos no aislados y no digeribles que tienen efectos fisiológicos beneficiosos en los seres humanos (FNB/IOM, 2002).

Codex Alimentarius: Definición actual

Ha habido gran controversia en la definición de fibra dietética, ya que las definiciones encontradas en las diversas publicaciones no englobaban todos los compuestos presentes en este material (Hispley, 1953).

Sin embargo, el Comité del Codex sobre Nutrición y Alimentos para Regímenes Especiales (CCNFSDU) comenzó en el otoño del 2008 con la propuesta de delegación antes de la definición. Una vez completada la delegación, se determinó la siguiente definición (FAO, 2009):

“La fibra dietética consiste en polímeros de carbohidratos con diez o más unidades monoméricas, que no son hidrolizados por enzimas endógenas en el intestino delgado del ser humano y pertenecen a las siguientes categorías: Polímeros de carbohidratos comestibles que se encuentran naturalmente en los alimentos tal como se consumen; polímeros de carbohidratos que se han obtenido a partir de materia prima por medios físicos, enzimáticos o químicos y que se ha demostrado que tienen un efecto fisiológico de beneficio para la salud según lo demuestran las pruebas científicas generalmente aceptadas a las autoridades competentes, y; polímeros de carbohidratos sintéticos”.

Clasificación por Solubilidad

La clasificación más adecuada de la fibra dietética, desde el punto de vista nutricional, es la de solubilidad en agua (Calvo de mora, 2008). La solubilidad de las fibras no hace referencia a que es soluble en agua en el sentido molecular, pero sí forma suspensiones coloidales en agua. Las fibras solubles e insolubles presentan diferentes características químicas y diferentes efectos fisiológicos en el cuerpo humano. (Nelson, 2001). La mayoría de los alimentos que contienen fibra incluyen aproximadamente un tercio de fibra soluble e insoluble de dos tercios (Wong y Jenkins, 2007) y el total de fibra ingerida en la dieta, aproximadamente el 20% es soluble y el 80% insoluble (Fernández, 2010).

Fibra dietética insoluble. Las fuentes de este tipo de fibra (FDI) se pueden encontrar mayoritariamente en verduras, cereales, leguminosas y en frutas (Nelson,2001).

Capaces de retener el agua en su estructura formando mezclas de baja viscosidad (Kumar y Banerjee, 2010) y es escasamente fermentable (Grabitske y Slavin, 2009). En general las fibras insolubles incrementan el volumen fecal, disminuyen el tiempo de tránsito de materia desperdiciada en el colon, disminuyen el pH fecal, retrasa la absorción de glucosa y liga ciertos compuestos orgánicos causantes de enfermedades de colon (Nelson, 2001). Incluye la celulosa, algunas hemicelulosas, lignina y otros polifenoles. A diferencia de la fibra soluble, apenas es fermentada por las bacterias colónicas (Almaraz y col., 2015).

Fibra dietética soluble. La fibra soluble (FDS) forma una dispersión en agua; la cuál conlleva a la formación de geles viscosos en el tracto gastrointestinal, que tienen la propiedad de retardar la evacuación gástrica. Tienen una gran capacidad hidrofílica por la presencia de restos de azúcares con grupos polares libres (De la Llave, 2004; Rodríguez 1993). Y el grado de viscosidad depende de varios factores, como estructura, composición química, concentración y peso molecular (Dikeman y Fahey, 2006). Escapan de la digestión en el estómago y el intestino delgado, pero son rápidamente fermentadas (Nelson, 2001). De hecho, parece que las bacterias prefieren metabolizar los carbohidratos de tamaño pequeño (oligosacáridos) más que los de tamaño superior (polisacáridos) (Cummings y col., 2001). Mientras que la fibra insoluble es básicamente un componente de carga, algunas fibras solubles interfieren con la absorción de glucosa, grasa, colesterol, etc. y sirven como sustrato para la flora del colon, posiblemente en una función prebiótica (Guillon y Champ, 2000). Esta fibra se encuentra en altas concentraciones en frutas y algas marinas (Lajolo y col., 2001). Contiene mayoritariamente, polisacáridos no-celulósicos tales como la pectina, gomas, algunas hemicelulosas (Arabinoxilanos y Arabinogalactanos), mucilagos (Córdoba, 2005) betaglucanos y una amplia gama de oligosacáridos no digeribles que incluyen inulina (Meyer, 2004).

Fuentes de Fibra Dietética

La historia del consumo de fibra dietética se ha asociado estrechamente con la evolución de la dieta humana y que cambio de un régimen no purificado basado en plantas a una dieta purificada a base de pocos cereales (Lefranc y col., 2010) y la cantidad y la composición de las fibras difieren de un alimento a otro (Desmedt y Jacobs, 2001).

Recientemente, los fabricantes de alimentos han respondido a la demanda de los consumidores de alimentos con mayor contenido de fibra desarrollando productos en los que se utilizan ingredientes con alto contenido de fibra (Nelson, 2001). Se han presentado propuestas para considerar las porciones no digeribles de alimentos de origen animal como fibra dietética o más explícitamente, fibra comestible (Trowell y col., 1978) Sin embargo, la comunidad científica no ha dado seguimiento a estas propuestas, y una investigación significativa en fuentes no vegetales de carbohidratos resistentes a la digestión no se ha llevado a cabo. (AACC, 2001).

Granos. Contienen una combinación única de componentes bioactivos que incluyen almidones resistentes, vitaminas, minerales, fitoquímicos y antioxidantes. Como resultado, la investigación con respecto a sus posibles beneficios para la salud ha recibido considerable atención en las últimas décadas (Tucker y Thomas, 2009).

Alrededor del 65% al 85% de las vitaminas, minerales y micronutrientes en granos, son encontrados en el germen y el salvado. Algunas vitaminas y minerales son añadidos a los mismos granos refinados, pero la fibra y otros micronutrientes no son reintegrados Investigaciones realizadas, han mostrado que debemos consumir granos integrales ricos en fibra tales como trigo, maíz, avena, arroz, ya que son alimentos más completos si los comparamos con los productos de granos refinados, bajos en fibra (Miller y col., 2002; Jones, 2004).

Frutas y hortalizas. Se ha descubierto que los alimentos vegetales, especialmente frutas y verduras, son buenas fuentes de fibra (Kochar y Sharma, 1982). Los principales nutrientes que se cree proporcionan la protección que brindan las frutas y verduras son los antioxidantes y la fibra dietética (polisacáridos no amiláceos (Cadenas y packer, 1996; Kritchevsky y Bonfield, 1995).

Las fibras obtenidas a partir de frutas presentan una mejor calidad nutricional, mayores cantidades de fibra total y soluble, menos contenido calórico, mayor capacidad antioxidante y mayor grado de fermentabilidad y retención de agua (Grigelmo y Belloso, 1999; Larrauri y col., 1996; Saura-Calixto, 1998; Rodríguez y col., 2006) y aceite (Laurrauri y Saura, 1999). Esto ha motivado el incremento del consumo de productos de origen vegetal como frutas y verduras, así como recomendar a la industria de alimentos para que enriquezca sus productos con fibra alimentaria o con algunos componentes de ella (Guzmán, 2008; García y col., 2008). que presentan potencialidad como ingrediente en la elaboración de productos funcionales (Ulloa y col., 2010) como la obtención de fructooligosacáridos, inulinas, fructanos ramificados y neoseries de inulinas, por piñas y raíces de agaves (González, 2012) que se ha introducido al mercado recientemente y, que ha sido un factor de calidad muy apreciado por el consumidor.

Fibras Dietéticas de Interés Industrial

A mediados de la década de 1970, el interés en el papel de las fibras dietéticas en la salud y la nutrición ha dado lugar a una amplia gama de investigaciones y ha recibido considerable atención pública (Abdul-Hamid y Luan, 2000; Elleuch y col., 2011).

La adición de fibras contribuye a la modificación y mejora de la textura, características sensoriales y vida útil de los alimentos debido a su capacidad de unión al agua, capacidad gelificante, grasa mimética, antidesgaste, anticúmulo, texturización y efectos espesantes (Dello y col., 2001; Thebaudin y col., 1997). Amy L. Nelson (2001) en su libro *High Fiber Ingredients* afirma que, de todas las categorías de productos alimenticios, los productos enriquecidos con fibra más comunes son los productos de granos, horneados y extruidos; las bebidas y los productos lácteos también pueden ser fuentes de fibra en la dieta, además de otros como jaleas, mermeladas, helados, carnes hasta confitería.

Susan Sungsoo y Priscilla Samuel (2009) dos directoras expertas en el área de nutrición e industria presentan en su libro *High Fiber Ingredients: Food applications and health benefits*, los ingredientes en fibra más utilizados por la industria alimentaria, entre ellas se encuentran las 3 fibras dietéticas utilizadas para esta investigación.

Inulina. La inulina fue definida por Rose a principios de 1800 como la sustancia de carbohidratos que aisló de la raíz de *Inula helenium* (Rose, 1804). Es un hidrato de carbono de reserva de las plantas y muy en particular en las gramíneas (plantas herbáceas) y plantas compuestas (ajos, alcahofas, etc.) (Molina y Paz, 2007).

La inulina se clasifica como fibra dietética en todos los países europeos y en la mayoría de los demás países. También cumple con la definición de fibra dietética del Codex Alimentarius (Directrices del Codex sobre Etiquetado Nutricional CAC / GL 2-1985, Rev.1. 1993) (Coussement, 1999). La inulina es un fructosacárido y junto a los fructooligosacáridos (FOS) son solubles y fermentables, pero tienen una viscosidad muy baja. (Valenzuela y Maiz, 2006).

Se encuentran como carbohidratos de reserva en el 15% de plantas con flores como la achicoria y los agaves. También son producidas por microorganismos como *Bacillus subtilis*, *Leuconostoc mesenterides* y *L. citreum* (Muñoz y col., 2001). recientemente se reportan fructanos tipo inulina en hojas de *Agave tequilana weber azul* (Montañez y col., 2011)

Es un fructano con grado de polimerización (GP) 2-60 (Roberfroid, 2000) con enlaces β (2-1) (Van Loo y col., 1997) fructosil-fructosa (De bruyn y col., 1992) que constituyen en su estructura (cubre tanto inulina como levano), cuando se hace referencia a la definición de inulina, la primera unidad de la cadena (extremo no reductor) puede ser un grupo β -D-glucopiranosil o bien β -D-fructopiranosil (Lara y col., 2017). Estos enlaces evitan que la inulina se digiera como un carbohidrato típico y son responsables de su reducido valor calórico y los efectos de la fibra dietética (Niness, 1999).

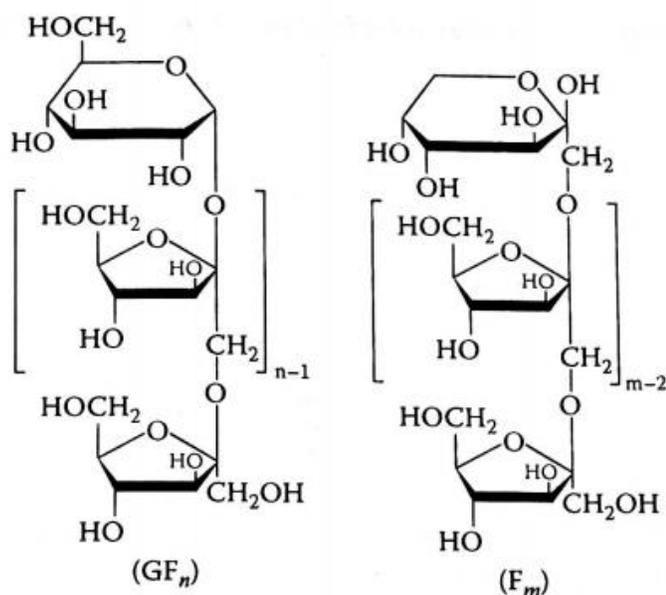


Figura 1. A la izquierda, inulina con molécula terminal de glucosa (β -D-glucopiranosil). Derecha, inulina con molécula terminal de fructosa (β -D-fructopiranosil). Fuente: Sungsoo y col., 2009.

Interés industrial. Las dos especies que se usan actualmente dentro de la industria para la obtención de inulina y fructooligosacáridos pertenecen a la familia *Asteraceae*, estas especies son alcachofa (*Helianthus tuberosus*) y achicoria (*Chicorium intibus*), siendo la última la más comúnmente utilizada (De bruyn y col., 1992).

En la actualidad la presencia de ciertas cantidades de inulina o sus derivados en la formulación de un producto alimenticio es condición suficiente para que dicho producto pueda ser considerado como “alimento funcional” (Roberfroid, 2005). Y se utiliza actualmente en diversas industrias agroalimentarias y en industrias lácteas y de quesos (Dysseler y Hoffman, 1995).

Castellanos y col. (2016) hacen mención de la investigación de Villegas (2008), dónde se evaluó la influencia de la inulina en bebidas lácteas; los resultados indicaron que el efecto de la concentración de inulina en el comportamiento de flujo y en la viscosidad y cremosidad de las bebidas fue diferente en función del grado de polimerización y del tipo de leche utilizado. Se comprobó que la inulina de cadena larga proporcionó los mayores incrementos en la viscosidad. La capacidad de formar gel es determinante en su uso como sustituto de grasas en untables, aderezos, salsas y otros productos (Franck, 2002). En el caso de los chocolates y derivados bajos en calorías, los compuestos de fibra como la inulina y la oligofructosa se utilizan como sustitutos del azúcar (Gonze y Van der Schueren, 1997).

La dosis máxima permitida para adicionar un alimento formulado con inulina es para dosis simple hasta 10 g/día y en dosis múltiples hasta 20 g/día. En dosis mayores a las permitidas puede provocar intolerancias (Davy y Melby, 2003).

Inulina origen de agave. México es considerado centro de origen y de diversidad de los agaves. Se considera que el 75% de todas las especies se encuentran en nuestro país y 55% crecen exclusivamente en México (CONABIO, 2005). Las especies comúnmente cultivadas incluyen *Agave americana L.*, *Agave attenuata* y *Agave tequilana*. El agave es el género más grande que identifica un grupo de plantas del desierto pertenecientes a la familia monocotiledónea llamada *Agaveceae* (Nobel, 1994).

La inulina de agave es un prebiótico que consiste en polímero de fructosas del tipo inulina-levano, pues están unidas por enlaces β -2,1 y β -2,6 con ramificaciones y glucosas terminales y un GP entre 25 y 34 (López y col., 2003; Toris y col., 2007).

Montañez (2010) y Gómez (2011) hacen mención de que en México las agaváceas tienen en base seca un promedio de 31.5% de inulina. En la tabla 1 se muestra el contenido de inulina en algunos alimentos consumidos por la población americana; donde la fuente más provechosa de inulina es la raíz de achicoria, justificando así que la cantidad de inulina presente en las piñas secas de agave puede ser otra fuente provechosa de inulina extraída de los residuos y, de interés para las industrias agaveras. Datos similares son reportados por Cotero (2016).

Tabla 1. Contenido de inulina y oligofruktosa en alimentos consumidos por los americanos					
	Inulina		Oligofruktosa		g / 100g
	Rango ¹	Media ²	Rango	Media	
Banano					
Crudo	0.3-0.7	0.5	0.3-0.7	0.5	
Crudo-seca	0.9-2.0	1.4	0.9-2.0	1.4	
Enlatado	0.1-0.3	0.2	0.1-0.3	0.2	
Espárragos					
Crudo	2.0-3.0	2.5	2.0-3.0	2.5	
Hervidos	1.4-2.0	1.7	1.4-2.0	1.7	
Raíz de Achicoria	35.7-47.6	41.6	19.6-26.2	22.9	
Diente de león					
Crudo	12.0-15.0	13.5	9.6-12.0	10.8	
Cocido	8.1-10.1	9.1	6.5-8.1	7.3	
Ajo					
Crudo	9.0-16.0	12.5	3.6-6.4	5.0	
Deshidratado	20.3-36.1	28.2	8.1-14.5	11.3	
Alcachofa (globo)	2.0-6.8	4.4	0.2-0.7	0.4	
Alcachofa (Jerusalem)	16.0-20.0	18.0	12.0-15.0	13.5	
Puerros Crudo	3.0-10.0	6.5	2.4-8.0	5.2	
Cebolla					
Crudo	1.1-7.5	4.3	1.1-7.5	4.3-	
Crudo-seco	4.7-31.9	18.3	4.7-31.9	18.3	
Cocido	0.8-5.3	3.0	0.8-5.3	3.0	
Trigo					
Grano crudo	1.0-4.0	2.5	1.0-4.0	2.5	
Harina-hornear	1.0-3.8	2.4	1.0-3.8	2.4	
Harina-hervir	0.2-0.6	0.4	0.2-0.6	0.4	
Cebada					
Crudo	0.5-1.0	0.8	0.5-1.0	0.8	
Cocinado	0.1-0.2	0.2	0.1-0.2	0.2	
Centeno Horneado	0.5-0.9	0.7	0.5-0.9	0.7	

¹ Fuente: Van Loo y col. (1995) y comunicación personal con Dr. Jan Van Loo, diciembre 1997.

² Calculado como un promedio del rango. ³ Calculado usando un enfoque de sólidos totales.

Género *Tequilana weber azul*. En 2013, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (INIFAP, 2013) reportó que “El Mante” es un municipio de Tamaulipas que ha registrado más de 7 mil hectáreas sembradas de agave azul (Uno de los principales cultivadores con denominación de origen), dónde se podría aprovechar la inulina en las cabezas, hojas e inclusive raíces de los residuos de piña de agave. Tomando en cuenta que la mayoría del agave sembrado no tiene salida comercial, se le da relevancia a la industria agavera como una opción económica y de desarrollo.

Existe total desconocimiento por parte de los productores de la región respecto a la producción de jarabes, inulina y otros subproductos a partir de la planta de agave azul, existiendo una gran diversificación en su procesamiento dentro de la industria (Vázquez y col., 2015).

Montañez y col. (2011) en su investigación titulada “Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del agave tequilana weber azul” reportaron el contenido de fibra dietética en diversas partes de agave tequilana weber azul; dónde el contenido de fibra soluble de inulina presentó un 43.24% en la cabeza del agave y en menores proporciones con diferencias significativas, en la punta y base de las hojas, 2.25% y 24.52% respectivamente; donde la fibra insoluble fue mayor en la punta de las hojas y disminuyó hacia la cabeza de la planta. La fibra soluble más la fibra insoluble conforman la fibra dietética total, la cual fue menor en las puntas de las hojas y se incrementó hacia la cabeza. Sus resultados se exponen en la tabla 2.

Tabla 2. Integración de los azúcares reductores totales contenidos en las diferentes fracciones de la planta de <i>A. Tequilana Azul</i> .				
Fracción	Componente (% base seca)			
	ARD	FOS	Inulina	ART
Punta de hoja	17,81 a	6,24 c	2,25 c	26,30 c
Base de hoja	18,18 a	13,66 b	24,52 b	56,36 b
Cabeza	12.,00 b	24,96 a	43,24 a	80,20 a

ARD: azúcares reductores directos, FOS: fructooligosácaridos, ART: azúcares reductores totales. Letras diferentes en la misma columna indican diferencias significativas según la prueba de Duncan ($P \leq 0.05$).

Fuente: Montañez-Soto y col., 2011.

Y aunque se desconocen algunas de las implicaciones en el bienestar humano, se están usando como adelgazantes, sustitutos de azúcar y principalmente como prebióticos, como se expuso anteriormente. Otro desconocimiento y que proporciona el pilar base innovador de la investigación es que no hay resultados que expliquen la digestibilidad y utilización

Maltodextrina resistente (Fibersol-2). Entre las variedades de fibras solubles precedentes del almidón resistente encontramos maltodextrinas resistentes a la digestión (MDR) (Birt y col., 2013) La maltodextrina resistente (Fibersol-2) consiste en una pequeña proporción de sacáridos que tienen un GP 1-9, y una gran cantidad de polisacáridos que pueden abarcar GP de 10 o más. La maltodextrina resistente también contiene (Hashizume y Okuma, 2009) enlaces glucosídicos α , 1-4 y α , 1-6 y enlaces α , 1-2 y α , 1-3 (Ohkuma y col., 1997) que explica su no digestibilidad. La maltodextrina resistente es una fuente soluble con un peso molecular promedio de 2,000 Dalton (Gordon, 2007).

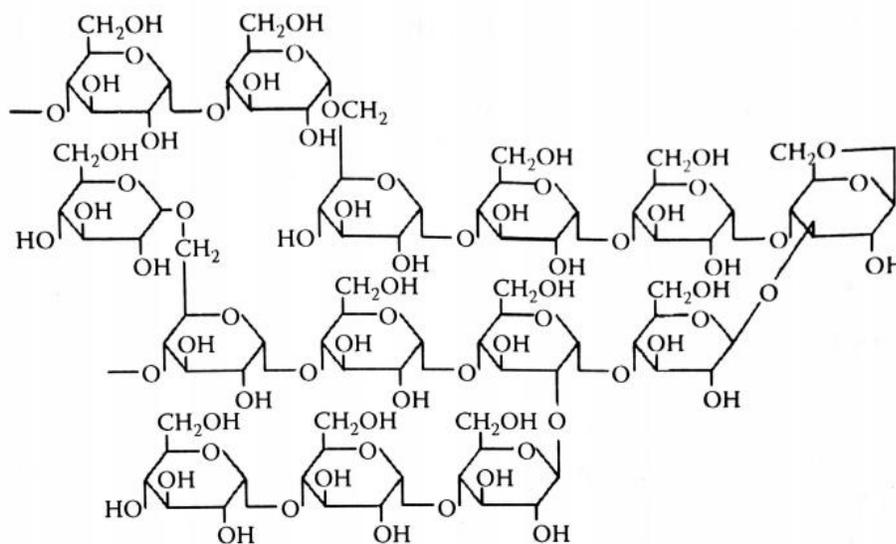


Figura 2. Molécula de maltodextrina resistente marca Fibersol-2.
Fuente: Hashizume y Okuma, 2009.

Celulosa. La celulosa es un componente principal de la pared celular de la mayoría de las plantas, por lo tanto, está presente en frutas, verduras y cereales. La celulosa es la cuarta parte de la fibra dietética de los cereales y frutas, y un tercio de los vegetales y nueces (Olagnero y col., 2007).

Es un polímero lineal de unidades de D-anhidroglucopiranosas (Cowling, 1974) no ramificada (Gray, 2006), formada por la unión de monosacáridos de glucosa mediante enlaces glicosídicos β -D-1,4 (Nelson, 2001) con un GP entre 15 a 10,000-14,000 unidades (Cowling, 1974; Gray, 2006). Las moléculas lineales se encuentran estrechamente agrupadas como fibras largas (Gray, 2006). Las microfibrillas se componen de la asociación de cadenas de celulosa paralelas, retenidas por enlaces de hidrógeno intermoleculares y fuerzas de van der Waals (Earls & Vanderhat, 1981).

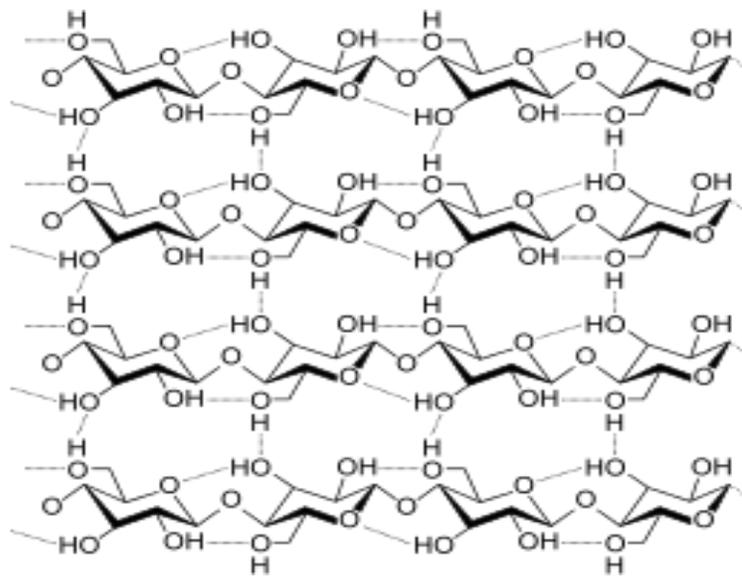


Figura 3. Estructura molecular de fracción de celulosa.
Fuente: Laghi, 2013.

Propiedades de la Fibra Dietética

Propiedades funcionales. Las propiedades fisicoquímicas o funcionales de la fibra dietética se pueden agrupar en cuatro grupos: a) Propiedad de hidratación (solubilidad, hinchamiento, capacidad de retención y absorción de agua, viscosidad y gelación). b) Capacidad de intercambio catiónico. c) Tamaño de partícula, densidad y características de superficie (porosidad y capacidad de adsorción de grasa). d) Adsorción de moléculas orgánicas (López y col., 1997). Por lo que la fibra en los alimentos puede cambiar su consistencia, textura, comportamiento reológico (García y col., 2005; Lario y col., 2004) y características sensoriales de los productos finales. (Guillon y Champ, 2000).

Efectos fisiológicos de la fibra dietética sobre el sistema digestivo. El significado fisiológico de la fibra se obtuvo en 1971 cuando Burkitt recomendó un mayor consumo de fibra dietética para mejorar la función intestinal, basado en estudios comparativos entre África y el Reino Unido (INSK, 2009). En la actualidad, numerosos estudios científicos siguen mostrando los beneficios del consumo de fibra para nuestro organismo.

Sobre el estómago. 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 (Escudero y González, 2006). Determinados tipos de FD retrasan la evacuación gástrica de líquidos y aceleran los sólidos.

Sobre el intestino delgado. 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 (Cherbut, 1998).

Además, la fracción insoluble aumenta los movimientos peristálticos y favorece el vaciamiento gástrico, minimizando de esta manera la exposición de agentes cancerígenos al lumen intestinal (Meir y Gassull, 2004; Rubio, 2002).

Sobre el intestino grueso. La dieta rica en fibra tanto soluble como insoluble, llega al colon sin degradarse y ya estando en éste es fermentada por las bacterias pertenecientes a los géneros *Bacteroides*, *Eubacterium*, *Bifidobacterium*, *Peptostreptococcus* (Asano y McLeod, 2008).

Acelera el tránsito al aumentar la masa fecal que, a su vez, estimula los movimientos de propulsión, como consecuencia la absorción de líquidos disminuye y las heces adquieren mayor volumen y consistencia pastosa (Redondo, 1999). El gas producido dilata el ciego actuando como bomba de impulsión sobre la masa fecal, o la acción detergente de los ácidos grasos de cadena larga y los ácidos biliares secuestrados por la fibra dietética especialmente la soluble (Read 1998).

Relación entre las propiedades fisiológicas y funcionales sobre el sistema digestivo

Volumen fecal. Gracias a su capacidad hidrofílica, la FD retiene agua y nutrientes hidrosolubles, como los azúcares, fijan ácidos biliares y minerales, y aumentan la viscosidad y el volumen del contenido intestinal (Cherbut, 1998). Disminuye la distensión durante la defecación, lo que constituye un factor importante en la prevención de las hemorroides. También al reducir la presión intraluminal se previene o alivia la diverticulosis (Pank, 2000). Los efectos mecánicos sobre el bolo fecal y el tránsito intestinal están dados por la fibra insoluble, la cual incrementa el tamaño del bolo fecal, por atrapamiento de agua y bacterias, a lo largo del tracto intestinal (Páez, 2009).

Disminución de tiempo de tránsito intestinal. Matos y Chambilla (2010) citan una función de la FD postulada por Molina y Paz (2007), donde sus componentes no hidrosolubles aumentan la velocidad del tránsito intestinal, por aumento de la masa fecal. Esto es la base para utilizar la 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 (FAO/WHO, 1997).

Fermentación. En términos generales los distintos tipos de fibra tienen las características comunes de ser inatacables por los fermentos y enzimas digestivas, aunque parcialmente si lo son por las bacterias del colon (Bijlani, 1985). Es fermentada produciendo energía, hidrógeno, dióxido de carbono, metano, lactato y ácidos grasos de cadena corta, predominantemente acetato, propionato y butirato (Cummings, 1981). Al producirse la fermentación, la flora intestinal anaerobia presente en el colon utiliza la fibra dietética para su propia nutrición y crecimiento (Redondo, 1999).

Capacidad de retención de agua y viscosidad. Los polisacáridos solubles tienen una gran capacidad hidrofílica por la presencia de restos de azúcares con grupos polares libres. En comparación, las fibras insolubles como la celulosa, con gran cantidad de enlaces intermoleculares β -D-1,4, tiene poca capacidad de retención de agua (Rodríguez 1993) en su matriz estructural (Escudero y Gonzales, 2006). Esta característica influirá en su propiedad para formar soluciones viscosas, fermentadas por las bacterias intestinales y su efectividad en aumentar la masa fecal (Mateu, 2004). Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico, hidrocarbonado y en parte su potencial anti carcinogénico (Escudero y Gonzales, 2006) y dado el aumento de acumulación de materia fecal y la viscosidad, hay menos tiempo de contacto entre los carcinógenos potenciales y las células de la mucosa (Adlercreutz y col., 1987) esto se limita al cáncer de colon (Eastwood, 1987) y, una menor absorción de otros macronutrientes (Lattimer y Haub, 2010) donde el papel del aumento de la viscosidad se establece más claramente para la absorción retardada de glucosa e insulina (índice glucémico más bajo) que para la reducción del colesterol (Chandalia y col., 2000; Guillon y Champ, 2000; Mälkki,2004; Wood,2000,2002; Würsch y Pi-Sunyer, 1997)

Control de peso. Los alimentos altos en fibra contienen menos calorías que los alimentos bajos en fibra en un peso equivalente; es decir, tienen menor densidad energética (INKS, 2009). La dieta baja en grasa, sobre todo las saturadas, y alta en fibra dietética se indica para disminuir el peso corporal en las personas obesas (Schulz y col., 2005). Productos con fibra y suplementos, han estado en el mercado por mucho tiempo y han llegado a ser muy populares como parte de los programas para perder peso. Sin embargo, el uso excesivo de suplementos con fibra puede ocasionar serios problemas digestivos (Rayas y Romero, 2008) sobre todo la soluble (Maté y col.,1996).

Efectos de la Fibra Dietética Sobre el Metabolismo de Nutrientes

La presencia de fibra en la dieta tiene una importante influencia sobre los procesos de digestión y absorción de nutrientes (Sastre, 2003). La fibra dietética es única, ya que se constituye como una verdadera "escoba intestinal" (Rojas y col., 2010) que puede afectar a la absorción de nutrientes en el intestino delgado.

Por el momento no hay una explicación definitiva para este hecho, si bien, parece que algunos efectos derivados del incremento de la viscosidad intestinal podrían estar implicados en la reducción de la digestibilidad (Classen, 1996; Smits y Annisson, 1996). La importancia relativa de estos efectos es incierta debido a que la fibra es heterogénea, también es probable que diferentes tipos actúen por diferentes mecanismos (McIntyre y col., 1992).

Metabolismo de Carbohidratos. Como la definición del *codex,2009* lo estipula, la fibra dietética no es hidrolizada por enzimas endógenas del intestino (FAO, 2009) por lo que ninguna de sus moléculas (glucosas, fructosas, ramnosas, etc..) que los conforman aparecen en la sangre, dejando el índice glucémico relativamente intacto (Banerjee y Rimm, 2003).

La fibra retrasa el paso del alimento desde el estómago al duodeno y aumenta la viscosidad del contenido intestinal, lo que conlleva un enlentecimiento en el proceso digestivo y en la absorción de carbohidratos (Aleixandre y Miguel, 2008) y disminuye la absorción de glucosa al quedar atrapada por la viscosidad de la fibra (Escudero y González, 2006). entre los factores dietéticos, una dieta alta en fibra y alimentos con un índice glucémico bajo no elevan rápidamente los niveles sanguíneos y están asociados con un menor riesgo de diabetes (Sugsoo y samuel, 2009). Valenzuela y Maiz (2006) hacen mención de las investigaciones de Kiehm y col. (1976) y Jenkins y col. (1976), dónde demostraron la utilidad de la fibra en el tratamiento de la diabetes mellitus, documentando que disminuía la glicemia postprandial y aumentaba la sensibilidad a la insulina.

Metabolismo de lípidos. Se ha investigado la capacidad de la fibra soluble para reducir las concentraciones plasmáticas de colesterol, sin embargo, los estudios clínicos realizados no son directamente adecuados ni bien controlados para demostrar el efecto de la viscosidad de las fibras en los lípidos de sangre (Wood, 2007). El mecanismo de acción se debe a la propiedad que tiene la fibra de ligar los ácidos biliares y disminuir la absorción del colesterol, incrementando la desviación de este hacia la síntesis de ácidos biliares (Páez, 2009). Y existen las siguientes otras hipótesis sobre el metabolismo lipídico reducido causado por la ingesta de fibra dietética. La fibra soluble aumenta la viscosidad de la digestión y aumenta el grosor de la capa no agitada en el intestino delgado. Por lo tanto, podría esperarse que inhibiera la absorción de colesterol y ácidos biliares (Gee y col., 1983). Gunness y Gidley (2010) mencionan otras 3 posibles causas: La fibra dietética interactúa con lipasas reduciendo su actividad. La fibra interactúa con micelas, enlazando sales biliares y colesterol. La fibra forma una membrana protectora en gotas de lípidos y pared intestinal.

Metabolismo de minerales. Bastas investigaciones en animales han demostrado que las fibras insolubles especialmente la inulina provoca un aumento significativo en la absorción de minerales, principalmente Ca^{++} y Mg^{++} (Demigne y col., 1989; Levrat y col., 1991; Delzenne y col., 1995; Ohta y col., 1995), donde la disminución del pH en el colon causada por la FD lleva a un aumento de la biodisponibilidad de los minerales (Meyer, 2004). Desafortunadamente, se dispone de información limitada para humanos (Trinidad y col., 1993, 1996). Sin embargo, una de las primeras investigaciones se realizó por Coudray y col. (1997) donde se reportó el consumo de fibra de inulina y fibra de remolacha, en 9 hombres jóvenes; resultó un aumento significativo en la ingesta y el equilibrio de Ca^{++} , sin modificación su absorción aparente. La absorción aparente y el equilibrio de Mg^{++} , Fe^{++} , Zn^{++} y K^{+++} no se alteraron significativamente por la ingestión de cualquiera de las fibras experimentales.

Metabolismo de proteína. Algunos estudios han reportado que la fibra dietética disminuye la utilización de nutrientes, incluyendo proteína (Wong y Cheung, 2003). Dietas altas en fibra han mostrado que incrementan la excreción en nitrógeno fecal, disminuyendo la digestibilidad de nitrógeno dietario en humanos y en animales de laboratorio (Shah y col., 1982; Mariotti y col., 2001; Frias y Sgarbieri, 1998).

En las primeras investigaciones Nyman y Asp (1982) estudiaron la fermentación y digestibilidad de nitrógeno proteico de caseína de diversas fuentes de fibras. Se reportó que la excreción de nitrógeno fecal aumentó con la adición de cualquiera de las preparaciones de fibra dietética estudiadas, lo que resultó en una disminución de los valores de digestibilidad verdadera y aparente de la proteína. Posteriormente Flemming y col., (1993) investigaron el efecto de la viscosidad de la fibra dietética sobre la excreción de nitrógeno y aminoácidos endógenos del intestino delgado de ratas. A medida que la viscosidad de la fibra dietética aumentó, hubo un aumento lineal significativo en el flujo de nitrógeno endógeno y sus componentes aminoacídicos, donde parecía que la digestión y absorción de estos se inhibió a medida que aumentaba la viscosidad de la fibra dietética. Otras investigaciones (Marriotti y col., 2001; Jørgensen y col., 2003) también presentaron los efectos de la fibra en relación con la viscosidad en el lumen intestinal y los efectos en la digestibilidad y utilización de proteína, mostrando resultados similares.

Rodríguez y col. (2006) concuerdan con lo postulado por Eggum (1992). Después de investigar los efectos de la FD sobre la digestibilidad de los componentes de los alimentos en animales (ratas y cerdos) y humanos, informó que la FD tuvo una influencia negativa en la

digestión y la asimilación de las proteínas. Los resultados de este trabajo fueron más precisos y reproducibles en animales de experimentación que en humanos, pero se puede establecer una conclusión general de que la influencia de FD en el metabolismo de proteínas depende en gran medida de la estructura y composición química de la fibra.

En su publicación Yangilar (2013) menciona que se ha observado un interés excesivo en los últimos años en nutrientes fibrosos en los países desarrollados (por ejemplo, EE. UU. Y varias partes de Europa). Por ello las investigaciones actuales se han enfocado a fuentes de fibras con interés industrial y en productos añadidos en fibra dietética en relación con la digestibilidad y utilización de proteína como las reportadas por Domínguez (2012) y Falcón (2015) donde la adición de fibra dietética sí afecta la calidad de la proteica de las dietas.

Aún no se ha probado que la FD provoque disminución de los niveles de amoníaco fecal, de los fenoles y de los compuestos nitrosos que dañan la mucosa del colon (Meyer, 2004). Se necesitan estudios comparativos, en los que se prueben las mismas preparaciones de fibra dietética en experimentos de balance de ratas y humanos.

Rol de la Fibra Dietética en la Seguridad Alimentaria en México

Ahora hay una evidencia abrumadora de que las fibras dietéticas son un componente necesario de las dietas humanas y animales y desempeñan un papel significativo en la salud humana (Briel y col., 1995). A su vez, la industria busca nuevos ingredientes que puedan cumplir las demandas del mercado de consumo que quiere productos con calidad sensorial y nutricional asociada a los beneficios para la salud (Bower y Whitten, 2000).

Recomendaciones de consumo. Los nutricionistas y diferentes organizaciones sanitarias, incluyendo la OMS, fijan un consumo mínimo de 30 g de fibra por persona al día, de la cual al menos un 30% debe ser soluble (Valencia y Roman, 2004; Valencia, 2006). Para el mantenimiento del equilibrio intestinal, es preciso que en el colon se fermenten diariamente 60 g de fracción indigerible de los alimentos. Dado que la ingesta media de fibra está alrededor de 20 g, nos encontramos con un déficit de 40 gr (Saura, 1997). Una cucharada de un producto a base de fibra o suplemento nos proporciona aproximadamente 10 gramos de fibra dietaria adicional (Rayas y Romero, 2008).

Estudios nacionales sobre ingesta de fibra. Un descuido en factores como hábito, cantidad y disponibilidad de una dieta, pueden ser riesgo clave para la desnutrición, por ello organizaciones enfocadas a la salud y nutrición del gobierno mexicano, se dan la tarea de reportar las incidencias y cuadros de los mexicanos en estas áreas, como en septiembre del 2016 que se publicó un análisis de datos de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición (ENSANUT) 2012, que consta de 10 artículos que caracterizan la dieta de la población mexicana (INSP, 2017).

Uno de los diez artículos más relevantes fue el de Rivera y col. (2016). En su publicación sobre "Descripción general de las ingestas dietéticas de la población mexicana: resultados de la Encuesta Nacional de Salud y Nutrición 2012" reportan los datos del 2005 del Instituto de Medicina, dónde más del 80% de los niños, el 75% de los adolescentes y el 65% de los adultos tenían ingestas de fibra por debajo de la ingesta adecuada establecida por el IOM de acuerdo con el sexo y la edad. A nivel nacional, el consumo promedio estimado de fibra está por debajo del Consumo adecuado para todos los subgrupos de población, lo que sugiere deficiencias (López y col., 2016). En nuestro país, para niños se observó que los estados del norte y la Ciudad de México reportan el mayor consumo de grasa en la dieta y el menor consumo de fibra. Por el contrario, los niños en el sur, así como los de origen indígena y los de menor estrato socioeconómico, alcanzaron mayor nivel de consumo de fibra y carbohidratos y el menor consumo de grasa (Barquera y col., 2003).

Alimentación Mexicana

Entre los grupos de alimentos básicos, la mayor contribución de energía dietética vino de cereales no procesados o mínimamente procesados (33%), seguido de carne y productos de origen animal (14%), grasas y aceites (8.5%), frutas y vegetales (5.7%) y legumbres (3.8%) (Aburto y col., 2016; Bonvecchio y col., 2015). En un estudio reciente de consumo de alimentos, muestran que el pan es la principal fuente de fibra para los niños, siendo el pan blanco el suplemento que proporciona la mitad del consumo de fibra diaria. El pan integral te proporciona 2 a más gramos de fibra dietaria por rebanada y el pan blanco te proporciona 0.5 gramos por rebanada. (Council, 2007). Las dietas típicas del México rural y de muchos países en desarrollo contienen una cantidad considerable de fibra dietética que puede afectar la disponibilidad de varios nutrientes, incluida la energía (Calloway y Kretsch, 1978; Kelsay y col., 1978), proteína (Southgate y Durnin, 1970; Kelsay y col., 1978; Kies y Fox, 1978; Cornin y Delpeuch, 1981 Nyman y Asp, 1982; Falcón y col., 2011; Domínguez, 2012; Falcón, 2015), lípidos (Southgate y Durnin, 1970; Prynne y Southgate, 1979; Kelsay y col., 1981; Gallaher y Schneeman, 1985; Guinness y Gidley, 2010), carbohidratos (Wolever y col., 1973; Chapman y col., 1985; Mälkki, 2001) y minerales (Reinhold y col., 1975, Kelsay y col., 1979; Behall y otros, 1987; Roberfroid, 2002).

Índice de Pobreza en México

De acuerdo con las cifras publicadas por el CONEVAL (2016) en México poco más de la mitad de la población nacional se encontraba en pobreza, representando el 43.6% pobreza común (53.4 millones de personas) y el 7.6% pobreza extrema (9.4 millones de personas).

Índice de Inseguridad Alimentaria en México

El derecho a la alimentación es un derecho humano universal que permite que las personas tengan acceso a una alimentación adecuada y a los recursos necesarios para tener en forma sostenible seguridad alimentaria (FAO, 2012). De acuerdo con la Ensanut 2012, en México 7 de cada 10 hogares presentan algún grado de inseguridad alimentaria (41.6% IA leve, 17.7% IA moderada y 10.5% IA severa) (Shamah y col., 2014).

La población más afectada por la inseguridad alimentaria (IA), habitaba en zonas rurales (80.8%) y en la región Sur del país (76.2%), se ubicaba en el quintil más bajo de condiciones de bienestar (86.0%) o eran hablantes de alguna lengua indígena (83.9%) (Mundo y col., 2013). La

diversidad de la dieta disminuye conforme aumenta el nivel de IA en el hogar. En un estudio de Cuevas y col. (2018) titulado "Tendencias de la mala nutrición en menores de cinco años en México, 1988-2016: análisis de cinco encuestas nacionales" mencionan que la prevalencia de desnutrición crónica en niños menores de cinco años en las localidades rurales continúa siendo mayor (12%) en comparación con las urbanas (9%). Con respecto a las diferentes regiones del país, el Sur mantiene la prevalencia de desnutrición crónica más alta (13.4%), seguida de la región Norte del país (11.4%).

La pobreza alimentaria, es decir, la incapacidad de un individuo de comprar la canasta básica (Smith y Hadden, 2000) se considera que no es un problema de disponibilidad, sino de acceso físico y económico (FAOSTAT, 2002).

2º Objetivo del desarrollo sostenible: Hambre cero. De los 17 objetivos planteados por la FAO, el segundo objetivo busca terminar con todas las formas de hambre y desnutrición para 2030 (FAO, 2015). México en su constitución política de 1917, reconoce el derecho a la alimentación, al decir en su artículo cuarto que "toda persona tiene derecho a la alimentación nutritiva, suficiente y de calidad" (PSAN, 2018). Por lo que los programas de combate a la pobreza surgen en los años setenta (Ordoñez y Ortega, 2006) dónde el autor Martínez Rivera (2001) en su tesis "La Canasta Básica Alimentaria en México, 1980-1998: Contenido y Determinantes" menciona que los programas funcionan para abastecer a la población pobre con canastas básicas alimentarias de forma gratuita y obligada desde el punto de vista normativo, ya que es necesario que los trabajadores y sus familias puedan tener completo acceso al mínimo recomendable alimentario.

Canasta básica alimentaria para México: Baja calidad proteica. El Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social, CONEVAL (2017) reportó \$1,053.08 como valor de la canasta básica urbana mensual y, rural \$1,482.54. Dónde el salario mínimo mexicano publicado por la Comisión Nacional de Salarios Mínimos (2017) es de \$88.36; lo cual implicaría que gastamos poco más de la mitad del salario mínimo en los requerimientos alimentarios estimados por el gobierno mexicano, sin embargo, dichos gramos consumidos de la canasta básica alimentaria (CBA) convergen con los recomendados por instituciones de salud, lo cual podría explicar la actual inestabilidad alimentaria.

El consumo de Kcal y proteínas está relacionado con el tipo, la cantidad y la calidad de alimentación diaria de las familias; su deficiencia se refleja en diversos grados de desnutrición y/o malnutrición (Torres, 2002). Dentro de la canasta básica alimentaria, los granos básicos son los de mayor consumo nacional, especialmente por la población de ingresos bajos; entre ellos se encuentra el trigo (Martínez, 2001) y dónde la CBA provee en su mayoría productos elaborados a base de trigo, lo que correspondería a obtener proteínas de origen vegetal y de poca calidad proteínica como el gluten.

Gluten de Trigo

Las fuentes proteicas alternativas están siendo bastante estudiadas, principalmente las de origen vegetal, siendo proteína de bajo costo y, por lo tanto, accesible a todos (Gómez, 2003). Mientras que muchos grupos de la población prefieren consumir dietas ricas en proteína animal, el alto costo y la disponibilidad limitada de estas proteínas obligan a la mayoría de las naciones del tercer mundo al uso de proteína vegetal (Souza y col., 2000; Roe, 1992).

El trigo sigue siendo una de las fuentes de alimentos más importantes en el mundo que contribuyen al 50% de las calorías en los países industrializados y en desarrollo (Alexandratos, 2006) y es el segundo cereal más consumido en México (Martínez y Villezca, 2005). Las características únicas del trigo se deben principalmente a la proteína del gluten (Van y col., 1997). El gluten representa entre un 80-85 % del total de las proteínas del trigo (Shewry y Halford, 2002) y debido a la ausencia de aminoácidos esenciales (Daniel y Triboi, 2000) y por ser ricas en glutamina y prolina, cuya digestión en el tracto gastrointestinal es más difícil en comparación con otros péptidos de su composición, al gluten se le considera proteína de bajo valor nutritivo (Shan y col., 2002).

Entre las proteínas del gluten se supone que hay gran cantidad de puentes de hidrógeno debido a la alta proporción de glutamina y prolina (Hoseney, 1994). Por su alto contenido en prolina (14% del total de aminoácidos), no posee una conformación helicoidal, favoreciendo que los grupos amida de la glutamina (37% del total de aminoácidos) formen puentes de hidrógeno intra e intermoleculares (Wieser, 2007; Kamal y col., 2009). En el intestino, la afinidad del gluten a moléculas de agua o su formación de puentes de hidrógeno pudiese explicarse por el índice de hidropatía por la composición mayoritaria de sus aminoácidos no esenciales (Tabla 3).

Tabla 3. Propiedades y convenciones asociados con el estándar de aminoácidos

Aminoácido	Abrev.	M _t	Valores de pK			pI	Índice de Hidropatía	Ocurrencia en proteínas (%)
			pK ₁ (-COOH)	pK ₂ (NH ₃)	pK _R (R group)			
Grupos R alifáticos no polares								
Glicina	Gly G	75	2.34	9.60		5.97	-0.4	7.2
Alanina	Ala A	89	2.34	9.69		6.01	1.8	7.8
Valina	Val V	117	2.32	9.62		5.97	4.2	6.6
Leucina	Leu L	131	2.36	9.60		5.98	3.8	9.1
Isoleucina	Ile I	131	2.36	9.68		6.02	4.5	5.3
Metionina	Met M	149	2.28	9.21		5.74	1.9	2.3
Grupos R aromáticos								
Fenilalanina	Phe F	165	1.83	9.13		5.48	2.8	3.9
Tirosina	Tyr Y	181	2.20	9.11	10.07	5.65	-1.3	3.2
Triptófano	Trp W	204	2.38	9.39		5.89	-0.9	1.4
Grupos R no cargados polares								
Serina	Ser S	105	2.21	9.15		5.68	-0.8	6.8
Prolina	Pro P	115	1.99	10.96		6.48	1.6	5.2
Treonina	Thr T	119	2.11	9.62		5.87	-0.7	5.9
Cisteína	Cys C	121	1.96	10.28	8.18	5.07	2.5	1.9
Asparagina	Asn N	132	2.02	8.80		5.41	-3.5	4.3
Glutamina	Gln Q	146	2.17	9.13		5.65	-3.5	4.2
Grupos R cargados positivamente								
Lisina	Lys K	146	2.18	8.95	10.53	9.74	-3.9	5.9
Histidina	His H	155	1.82	9.17	6.00	7.59	-3.2	2.3
Arginina	Arg R	174	2.17	9.04	12.48	10.7	-4.5	5.1
Grupos R cargados negativamente								
Aspartato	Asp D	133	1.88	9.60	3.65	2.77	-3.5	5.3
Glutamato	Glu E	147	2.19	9.67	4.25	3.22	-3.5	6.3

Fuente: Lehninger, 2009.

Aunque se sabe que la prolina es un aminoácido no esencial polar, su alto índice de hidropatía (1.6) lo hace hidrofóbico, sin embargo, como se mencionó anteriormente el gluten en su mayoría está formado por glutamina, un aminoácido no esencial de carácter polar que sí puede formar puentes de hidrógeno por su índice de hidropatía bajo (-3.5) que lo vuelve hidrofílico.

Se estima que la ingestión de gluten en un individuo que sigue una dieta occidental es de 10-20 g al día que es una cantidad muy elevada (Van y col., 1997). Entonces, si se considera una dieta con baja calidad proteica como la del gluten y un incremento en la adición de FD, la amplia capacidad de ligar agua por los puentes de H₂ para ambos casos, podría suceder una ligación entre el gluten y la FD, donde esta interacción podría afectar (e inclusive agravar dependiendo de la fuente de FD) la digestibilidad de la proteína.

Evaluación de Calidad Proteica

Muchos profesionales del sector de la salud y nutrición humana coinciden en mencionar que "el valor alimenticio de un producto se aprecia no solo por la proporción y cantidad de sus nutrientes, sino también por su calidad, su grado de digestibilidad y utilización posterior por el organismo" (Rojas y col., 2010).

La calidad nutritiva de una proteína se define como la capacidad de esta o de una mezcla de ellas para cubrir los requerimientos de un individuo (Pérez y col., 2004) depende fundamentalmente de la composición de aminoácidos y de la biodisponibilidad de estos (Olza y col., 2006). La determinación de la calidad de una proteína se determina mediante la evaluación de su composición de aminoácidos esenciales, la digestibilidad y la biodisponibilidad de aminoácidos (FAO/WHO, 1990) conocido también como valor biológico. También se determina mediante el cálculo de la cantidad de la proteína, que realmente utiliza un organismo (González y col., 2007) conocido como la utilización de proteína.

Método *In Vivo* con Ratas en Crecimiento

El ensayo *In Vivo*, dependiendo de la especie animal, permite una medida potencialmente mucho más realista (Denayer y col., 2014). Durante muchos años, los bioensayos, principalmente con ratas, fueron los métodos de elección para evaluar el valor nutricional de las proteínas

(Schaafsma, 2000). Las habilidades de las ratas y los humanos para digerir una variedad de proteínas alimentarias parecen ser similares (Satterlee y col., 1981). Igualmente, la FAO de 1989 observó similitudes en la capacidad de los humanos y las ratas para digerir alimentos y concluyó que la verdadera digestibilidad de la proteína cruda es una aproximación razonable de la verdadera digestibilidad de la mayoría de los aminoácidos en dietas (FAO, 2011). Como se discutió en otra parte (Jansen, 1978) los métodos de crecimiento de la rata son buenos predictores de la calidad de la proteína. Actualmente la digestibilidad *In Vivo* en ratas es un método muy utilizado para determinar la calidad de los alimentos de uso humano (Córdova, 1993).

Indicadores Biológicos

Valor biológico de proteína (VB). Es el porcentaje utilizado por el organismo, depende de su capacidad para proporcionar los aminoácidos indispensables en la proporción que el cuerpo los necesita (Scrimshaw y Young, 1979). Mide la calidad de la proteína calculando el nitrógeno utilizado para la formación del tejido dividido por el nitrógeno absorbido de los alimentos. Un alimento con un alto valor se correlaciona con un alto suministro de los aminoácidos esenciales (Hoffman y Falvo, 2004). El aspecto más importante de una proteína, desde el punto de vista nutricional, es su composición en aminoácidos, aunque otras características estructurales como la solubilidad y la glicosilación pueden afectar su digestibilidad y en consecuencia su valor nutricional (Martínez y De victoria, 2006).

Indicador Biológico para Digestibilidad de Dieta

Digestibilidad de materia seca (DMS). La digestibilidad de materia seca se obtiene de la relación del alimento total consumido menos el peso de las heces excretadas con respecto al alimento total consumido (Church y Pond, 1974). Proporciona la cantidad total de todos los nutrientes de la dieta que fueron digeridos.

Indicador Biológico para Digestibilidad de proteína.

El primer índice de calidad de una proteína es su utilización digestiva, juzgada por el coeficiente de digestibilidad que establece el porcentaje de proteína (o nitrógeno) absorbida respecto a la digerida (Gil, 2010). En general, este parámetro es más elevado en las proteínas animales y menor para los vegetales (hasta el 85% para las proteínas del trigo) (Mamani y Molina, 2016). La digestibilidad es la base de las metodologías de evaluación de los alimentos, por definición, es la fracción de alimento consumido que no aparece en las heces y por lo tanto se absorbe en el tracto gastrointestinal (Stein y col., 2007). La digestibilidad sirve como una medida para determinar la calidad de la dieta y de las materias primas utilizadas en ella, la disponibilidad de los nutrientes que las constituyen además sirve como soporte para el cálculo de los requerimientos nutricionales (Harmon, 2007). Se puede determinar por varios métodos, entre ellos, la digestibilidad *In Vivo* ya sea aparente o verdadera, directa o indirecta (FAO/WHO, 1992).

Digestibilidad de nitrógeno aparente (DNA). La proporción de una dieta o de un alimento que desaparece durante su paso a través del tracto digestivo, o digestibilidad aparente, suele medirse y emplearse como un indicador del valor nutritivo (Tobal, 1999). La digestibilidad será igual a 100 cuando el nitrógeno ingerido sea totalmente absorbido (Crim y Munro, 1988) sin embargo existen interferencias metabólicas que tienen su importancia ya que las proteínas alimentarias están acompañadas de otros componentes que pueden afectar su disponibilidad, de forma verdadera o aparente, esta última afectando el desarrollo de los ensayos (Gilani, 2005).

Normalmente los valores de digestibilidad que se obtienen son valores aparentes, es decir, incluyen en las heces los aportes metabólicos y endógenos provenientes de enzimas, células epiteliales, células microbiales, metabolitos, entre otros, que llegan a la luz intestinal (Maynard, 1986; Stein y col., 2007), y que no fueron ofrecidos en el alimento (Osorio y col., 2012).

Digestibilidad de nitrógeno verdadera (DNV). Es el que mide más exactamente la digestibilidad de un alimento (Tobal, 1999). Para determinar este parámetro se utilizan dietas exentas de proteína, para alimentar un grupo de individuos y determinar, así, la cantidad de proteína residual que no procede de la dieta (la proteína fecal metabólica), corrigiendo con esto la excreción total, obteniéndose un valor denominado digestibilidad verdadera de la proteína o de nitrógeno (DNV) (Canett y Robles, 1992). Al tomar en cuenta la proteína fecal metabólica, el valor de digestibilidad verdadera de nitrógeno, siempre es mayor que el valor de digestibilidad aparente de nitrógeno (Hopkins, 1981).

Indicador Biológico para Utilización de Proteína

Razón neta de proteína (NPR). Este método fue propuesto por los investigadores Bender y Doell (1957) que observaron algunas fallas en la metodología del bioensayo “Razón de Eficiencia Proteica” (PER), el cual dura 28 días y utiliza caseína ANRC como proteína de referencia usando el 10% de proteína y representa la cantidad del aumento en peso (o peso ganado) en gramos, relativa a la cantidad de proteína consumida, en gramos (Bodwell, 1977). Bender y Doell (1957) sugirieron la inclusión en cada prueba de un grupo de animales alimentados con una dieta libre de proteínas y recomendando períodos de crecimiento de 10 y 14 días. Así, la NPR considera una dieta libre de nitrógeno (cero por ciento de proteína) ya que no toda la proteína que se consume se destina al peso del animal (crecimiento), parte de ella se va a utilizar para mantener el balance cero (balance de nitrógeno corporal) (Falcón, 2015). Dan valores que son proporcionales a la calidad de la proteína dentro de límites aceptables (Happich y col., 1984; Sarwar, 1984). Se fundamenta en que existe una relación lineal para el incremento de peso del animal en función de la calidad de la proteína consumida (Falcón y col., 2006). Este indicador arroja el aumento promedio del peso del animal por gramo de proteína consumida y se calcula como la diferencia en ganancia (ganancia en peso del grupo de prueba menos la ganancia en peso de un grupo sin proteína consumida) entre la proteína ingerida del grupo de prueba y el resultado multiplicarlo por cien para obtener el porcentaje de nitrógeno usado para el crecimiento o ganancia en peso del animal (Bender y Doell, 1957).

MATERIALES Y MÉTODOS

Materia Prima

Se utilizaron 3 fuentes de fibra obtenidas de forma comercial, siendo la inulina de origen agave tequiliana *weber azul* (Yasin) el ingrediente innovador de fibra soluble y, funcionando como fibras dietéticas de comparación se usó maltodextrina resistente (Fibersol-2) como fibra de fuente soluble y, celulosa (SolkaFloc, utilizada normalmente para bioensayos en ratas) como fibra insoluble. Además, como fuente de proteína se utilizó gluten de trigo (Marca Zazueta).

Análisis Químico de la Materia Prima

Se determinó el contenido de humedad basado en el método 950.02 de la AOAC (1998), el contenido de proteína por el método de micro Kjeldahl 46-1 de la AOAC/AACC (1961) y el método que se empleó para la determinación de fibra es el propuesto por Prosky y col. (1987) publicado como el 985.29 de la AOAC (1997), como análisis químico proximal a la materia prima, realizándose 3 repeticiones por materia para cada determinación. Las determinaciones químicas fueron llevadas a cabo en el laboratorio de análisis generales del departamento de investigación de posgrado en alimentos (DIPA).

Elaboración de Dietas

Para este estudio se elaboraron tres dietas experimentales con diferente fuente de fibra y una única fuente de proteína, siguiendo la metodología propuesta por la AOAC (1990) para bioensayos de calidad proteica en digestibilidad de ratas. Haciendo numeración, la dieta número uno se elaboró con fibra soluble de inulina de agave y gluten de trigo (GLU-INU). La segunda, con fibra soluble de maltodextrina resistente y gluten de trigo (GLU-MDR) y para la dieta tres se utilizó fibra insoluble de celulosa y gluten de trigo como fuente de proteína (GLU-CEL). Todas las dietas experimentales fueron elaboradas basándose en el contenido de nitrógeno total de la fuente de proteína, realizándose los ajustes para que estas dietas obtuvieran un 10% de proteína como base (Hackler, 1978) ya que es el porcentaje medido y necesario para que el metabolismo de la rata lo utilice en su crecimiento (Falcon, 2015). Siguiendo los parámetros establecidos por la AOAC (1990) se utilizó una cantidad del 5% de fibra (Tomando en cuenta que el animal pudiera tolerar la cantidad, sin ocasionar problemas secundarios como diarreas y afectar la consistencia

de sus heces) y, para complementar la dieta se utilizó sacarosa como fuente de carbohidratos (12%), aceite como fuente de lípidos (8%), mezcla de vitaminas (2.5%), minerales (3.5%) y almidón de maíz para completar el cien por ciento de la dieta. Además, se elaboraron tres dietas control, necesarias para el cálculo de los indicadores de calidad proteica siguiendo la misma metodología propuesta por la AOAC (1990). La primera dieta control se elaboró sin fibra dietética añadida (GLU-SFD), la segunda dieta control, sin proteína añadida o libre de nitrógeno con fibra de celulosa por “default” (DLN-CEL), y una tercera se elaboró a base de proteína de caseína y fibra de celulosa por “default” (CAS-CEL). En la tabla 4 se muestran los porcentajes de los nutrimentos utilizados para las dietas. Para la homogenización de la materia se utilizó una mezcladora mecánica (Hobart Corp., modelo A5 2001), elaborándose alrededor de 1.2 Kg para cada dieta, que posteriormente se almacenarían en bolsas de polietileno y colocadas en refrigeración (4°C aprox.). La elaboración de dietas y almacenado fueron realizados en el departamento de investigación y posgrado en alimentos (DIPA) de la universidad de Sonora.

Tabla 4. Composición porcentual de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales empleadas en los bioensayos de calidad proteica¹.

Dietas	Componentes (%)							
	Caseína	Gluten	Fibra	Sacarosa	Aceite	Minerales	Vitaminas	Almidón
GLU-INU	--	10%	5%	12%	8%	3.5%	2.5%	59%
GLU-MDR	--	10%	5%	12%	8%	3.5%	2.5%	59%
GLU-CEL	--	10%	5%	12%	8%	3.5%	2.5%	59%
GLU-SFD	--	10%	--	12%	8%	3.5%	2.5%	64%
CAS-CEL	10%	--	5%	12%	8%	3.5%	2.5%	59%
DLN-CEL	--	--	5%	12%	8%	3.5%	2.5%	69%

GLU-INU: Dieta de gluten con fibra de inulina. GLU-MDR: Dieta de gluten con fibra de maltodextrina resistente. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-SFD: Dieta de gluten sin fibra. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. DLN-CEL: Dieta libre de nitrógeno con fibra de celulosa. ¹ Estos porcentajes están propuestos como metodología de bioensayos de calidad proteica de la FAO, 1989 y AOAC, 1990.

Bioensayo de Calidad Proteica

Animal de Experimentación

Se utilizaron 24 ratas (12 machos y 12 hembras) de la especie *Sprague dawley*, todas en crecimiento con un periodo de edad entre 21-23 días recién destetadas y con variación de peso entre 45g-55g.

Para la formación de los grupos de estudio se procedió a pesar las ratas y separarlas de acuerdo al sexo. Se formaron grupos experimentales de 4 ratas por cada dieta experimental. Cada grupo constaba de dos ratas hembras y dos ratas machos, además, se considero que no debe existir una diferencia de peso de más de 1.0 g entre el peso promedio de las ratas de cada grupo experimental. Una vez formados los seis grupos experimentales necesarios, se asignó cada grupo a una respectiva dieta por distribución al azar y, se realizó una codificación individual para la identificación de cada rata.

Condiciones de Bioensayo

Para realizar los bioensayos cada rata se colocó en una jaula individual de acero inoxidable (debidamente etiquetada) con comedero y bebedero para una alimentación *ad libitum* (Consumo a placer, a voluntad), además de una charola de papel estraza colocada debajo de la jaula para la recolección de heces y orina.

Formados los grupos experimentales se mantuvieron bajo condiciones de humedad y temperatura controladas, así como ciclos de luz-oscuridad 12 horas cada uno, en el Laboratorio de Experimentación Animal (BIOTERIO) del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la universidad de Sonora. Se contó con 2 días de acondicionamiento para observar la reacción de las ratas a la dieta y a su ambiente, considerando la humedad relativa (60-80%), iluminación (12 h luz) y temperatura (25°C).

Inicio de Prueba y Registro de Factores Experimentales

La prueba experimental duró 14 días y se llevó a cabo en el Laboratorio de Experimentación Animal (BIOTERIO) del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos (DIPA) de la Universidad de Sonora. Se llevó a cabo un registro de tres factores para la medición de digestibilidad y utilización de proteína: consumo de alimento, peso de ratas y recolección de heces. Estos registros se realizaron cada tercer día para su uso posterior.

Consumo de alimento. El alimento fue proporcionado a los sujetos de experimentación de manera *ad libitum*, llevando un registro en su consumo, de tal manera que los comederos se mantuvieron a un nivel adecuado de dieta que permitiera asegurar el libre acceso a ésta

Aumento en peso. Para relacionar la cantidad de proteína utilizada con el crecimiento del animal fue necesario conocer la ganancia en peso, para ello se registraba cada tres días el peso de cada rata con ayuda de una balanza analítica. La ganancia en peso se obtuvo por diferencia del peso final, obtenido al terminar el estudio, menos el peso de cada individuo al inicio del experimento.

Recolección de heces. Las heces fueron un factor determinante para la determinación de nitrógeno dentro de los análisis de digestibilidad de nitrógeno (endógeno y no endógeno), mediante el cual se puede estimar el nitrógeno utilizado por el metabolismo basal del animal. La consistencia, color y cantidad permitía una discusión más general sobre las dietas. Cada tres días se recolectaba el material fecal de cada dieta experimental retenido en las charolas estrazas, para después colocar dichas charolas en una estufa de convección de aire (55-60°C/ 12-24 h). Una vez secadas las heces se colocaban en bolsas y se pasaban a refrigeración (5°C) para poder ser molidas con un Braun modelo KSM 2.

Análisis químico a heces. Al final del periodo de recolección y preparadas las muestras de heces se tomó una muestra representativa de cada dieta y se les determinó humedad basado en el método 950.02 de la AOAC (1998) y contenido de proteína por el método de Kjeldahl 46-1 de la AOAC/AACC (1961).

Obtención de Indicadores de Calidad Proteica

En este estudio metabólico se buscó evaluar el efecto entre la cantidad de tres diferentes fuentes de fibra y la digestibilidad como también la utilización de una fuente de proteína. Para ello se calcularon indicadores de digestibilidad (DMS, DNA, DNV), entendiéndose como la forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias absorbibles y útiles para la nutrición. Y un indicador para calcular la utilización (NPR), el cual hace referencia al potencial que tiene la proteína para el crecimiento y mantenimiento del individuo o animal prueba. Se relacionan con la calidad de la proteína (Giraldo y col., 2008).

Digestibilidad de Materia Seca (DMS). Para calcular el porcentaje de digestibilidad de materia seca para cada dieta (O grupo experimental), es necesaria la diferencia entre el total de alimento consumido en gramos menos el total de peso de las heces en gramos, dividiendo el resultado sobre el total de alimento consumido en gramos y esto multiplicado por cien.

$$\% \text{ DMS} = \frac{\text{Alimento consumido (g)} - \text{Peso de las heces (g)}}{\text{Alimento consumido (g)}} \times 100$$

(Church y Pond, 1974)

Digestibilidad de Nitrógeno Aparente (DNA). Para calcular el porcentaje de digestibilidad de nitrógeno aparente de cada dieta, es necesario conocer el nitrógeno consumido y restar el nitrógeno excretado en las heces, y al resultado dividirlo entre el nitrógeno consumido y multiplicar por cien para obtener el porcentaje. Esta ecuación nos permite conocer la relación entre el nitrógeno total que es asimilado (endógeno y no endógeno) y el que es excretado.

$$\% \text{ DNA} = \frac{\text{N}_2 \text{ consumido (g)} - \text{N}_2 \text{ excretado heces (g)}}{\text{N}_2 \text{ consumido (g)}} \times 100$$

(Bodwell y col., 1981)

Digestibilidad de Nitrógeno Verdadera (DNV). La digestibilidad de nitrógeno verdadera es la medida "real" del nitrógeno proveniente de la dieta experimental que es asimilado por el metabolismo animal, ya que a partir de una dieta libre de nitrógeno se puede conocer la cantidad de nitrógeno endógeno no proveído por la dieta. Para conocer el porcentaje de nitrógeno verdadera es necesario sacar el cálculo del nitrógeno consumido en la dieta experimental menos, la diferencia entre el nitrógeno excretado en las heces y el nitrógeno excretado en las heces de los animales alimentados con DLN, el resultado será dividido entre el nitrógeno consumido de la dieta experimental y multiplicado por cien para sacar el porcentaje.

$$\% \text{ DNV} = \frac{\text{N}_2 \text{ consumido(g)} - ((\text{N}_2 \text{ excretado en heces(g)} - \text{N}_2 \text{ excretado en heces de DLN(g)))}{\text{N}_2 \text{ consumido (g)}} \times 100$$

(Bodwell y col., 1981)

Razón Neta de Proteína (NPR). La determinación del valor de NPR considera el nitrógeno corporal utilizado para mantener el balance basal al requerir calcular el cambio en peso del animal bajo una dieta libre de nitrógeno según lo propuesto por los investigadores Bender y Doell (1957). De esta manera, el NPR es un indicador del aumento promedio del peso del animal por gramo de proteína consumida y se determina su valor mediante la siguiente fórmula:

$$\text{NPR} = \frac{\text{Ganancia en peso (g)} - \text{Ganancia en peso (g) DLN}}{\text{Proteína consumida (g)}}$$

(Bender y Doell,1957)

Diseño Experimental y Análisis Estadístico

Para el experimento se utilizó un diseño completamente al azar. Para los análisis estadísticos de los factores de prueba (Consumo de alimento, peso de ratas y cantidad de heces), digestibilidades y la utilización de proteína, se realizó un análisis de varianza (ANOVA) de una vía completamente al azar con un nivel de significancia del 95% para determinar si existían diferencias significativas entre bloques. Además de una comparación de medias por el método de Tukey ($\alpha=0.05$), utilizando para ambos análisis el programa JMP versión 14.0 de SAS (2018).

Para el diseño de gráficas se utilizó el programa SigmaPlot versión 14.0 de SYSTAT (2018).

HIPÓTESIS

El consumo de inulina de agave, maltodextrina resistente y celulosa en una dieta de gluten provoca un efecto adverso en la digestibilidad y utilización de proteína demostrado mediante bioensayos de ratas en crecimiento.

RESULTADOS Y DISCUSIONES

Análisis Químico de Materia Prima

Análisis de Fibra Dietética Total, Insoluble y Soluble de las Fuentes Comerciales de Fibra

Las fibras utilizadas para esta investigación fueron obtenidas de manera comercial. Para conocer la cantidad real de FDT, FDI y FDS de cada cada fuente de fibra, se realizó un análisis de fibra. En la tabla 5 se presentan los resultados de perfil de fibra de las tres fuentes utilizadas para la investigación. La fibra de inulina de agave mostró un contenido de FDT significativamente ($p \leq 0.05$) más bajo (15%) con cantidades trazas (0.37%) de FDI en su composición y su contenido de FDS representó la gran mayoría (14.63%). La maltodextrina resistente presentó un 50% de FDT en su composición, representado en su mayoría por FDS (49.75%) con impureza de FDI en cantidades traza (0.25%). La fibra de celulosa mostró en su composición el mayor contenido ($p \leq 0.05$) FDT (98%) en la que se observó una pureza del 100% de contenido de FDI.

Tabla 5. Perfil del contenido de fibra de fuentes comerciales altos en fibra¹.

Ingrediente comercial alto en fibra	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)
Fibra soluble (Inulina)	0.37 ± 0.02	85.34 ± 0.03	85.71 ± 0.02
Fibra soluble (Maltodextrinas)	0.25 ± 0.06	89.75 ± 0.20	90.00 ± 0.10
Fibra insoluble (Celulosa)	98.0 ± 0.01	ND	98.00 ± 0.01

¹ Los valores corresponden a las medias ± desviación estándar de tres mediciones.

ND = No detectado

Contenido de Proteína del Gluten de Trigo

Conocer la cantidad de proteína contenida en la fuente de proteína fue primordial para la elaboración de las dietas ya que la base de su elaboración es un contenido proteico del 10%. Por lo que fue necesario determinar el contenido proteico del gluten de trigo. El resultado se muestra en la tabla 6. Se encontró un contenido proteico del 78% en la composición de gluten de trigo de la marca comercial Zazueta.

Tabla 6. Contenido de proteína total del gluten de trigo comercial¹.

Ingrediente comercial alto en proteína	Proteína en base seca (%)
Gluten de trigo (Zazueta)	78.0 ± 0.05

¹ El valor corresponde a la media ± desviación estándar de tres mediciones.

Elaboración de Dietas

Composición de las Dietas Experimentales

Una vez conocido el porcentaje de fibra de cada una de las fuentes y el contenido de proteína del gluten de trigo fue posible moldear la cantidad necesaria de cada uno de los nutrientes necesarios para la elaboración de las dietas experimentales, con la finalidad de que las dietas contuvieran el 10% de proteína y 5% de fibra en base a la metodología propuesta por la AOAC (1990). El contenido de los nutrientes se expresó en gramos por contenido de 1000 gramos de dieta experimental (Tabla 7). Se observa que en las dietas experimentales (GLU-INU, GLU-MDR, GLU-CEL) se utilizó la misma cantidad de nutrientes, sin embargo, para las dietas control (GLU-SFD, CAS-CEL y DLN-CEL) el contenido de nutrientes sí cambio, ya que cada dieta control sería utilizada para un determinado cálculo de indicador de calidad proteico.

Tabla 7. Composición de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína¹.

Dietas	Componentes (g/1000)							
	Caseína	Gluten	Fibra	Sacarosa	Aceite	Minerales	Vitaminas	Almidón
GLU-INU	--	128.2	50	120	80	35	25	561.8
GLU-MDR	--	128.2	50	120	80	35	25	561.8
GLU-CEL	--	128.2	50	120	80	35	25	561.8
GLU-SFD	--	128.2	--	120	80	35	25	611.8
CAS-CEL	112.5	--	50	120	80	35	25	577.5
DLN-CEL	--	--	50	120	80	35	25	690

¹ GLU-INU: Dieta de gluten con fibra de inulina. GLU-MDR: Dieta de gluten con fibra de maltodextrina resistente. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-SFD: Dieta de gluten sin fibra dietética. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. DLN-CEL: Dieta libre de nitrógeno con fibra de celulosa.

Bioensayo de Calidad Proteica

Registro de Factores Experimentales

El registro de los factores experimentales de alimento consumido, peso de heces y aumento en peso, sentaron la base para la determinación de la digestibilidad y utilización de la proteína, además de proporcionar un control que permitiría la evaluación del animal en cada una de sus etapas de alimentación que, posteriormente servirían como discusión para los indicadores de calidad proteicos (DMS, DNA, DNV y NPR). En la tabla 8 se adjuntan los resultados de los factores experimentales evaluados para obtener el cálculo de los indicadores de calidad proteica, también se adjunta la cantidad de fibra consumida obtenida del alimento consumido total.

Tabla 8. Alimento consumido total, fibra consumida, aumento en peso total y peso de heces total de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control¹.

Dietas	Alimento consumido (g)	Fibra consumida (g)	Aumento en peso (g)	Peso de heces (g)
GLU-INU	89.92 ± 13.26 ^b	3.85 ± 0.56 ^c	6.27 ± 2.38 ^b	3.37 ± 0.45 ^{cd}
GLU-MDR	93.17 ± 10.36 ^b	4.19 ± 0.46 ^{bc}	5.55 ± 1.23 ^b	4.37 ± 0.28 ^c
GLU-CEL	105.25 ± 13.88 ^b	5.15 ± 0.68 ^b	8.32 ± 1.20 ^b	8.0 ± 0.74 ^b
GLU-SFD	101.12 ± 10.56 ^b	ND	6.15 ± 2.53 ^b	2.65 ± 0.34 ^d
CAS-CEL	157.95 ± 11.21 ^a	7.73 ± 0.54 ^a	49.7 ± 6.49 ^a	11.25 ± 1.46 ^a
DLN-CEL	51.40 ± 1.19 ^c	2.51 ± 0.05 ^d	-8.35 ± 1.37 ^c	3.55 ± 0.44 ^{cd}

¹ Los valores corresponden a las medias ± desviación estándar de cuatro mediciones. Letra diferente en la misma columna indica diferencia significativa ($P \leq 0.05$). GLU: Dietas de Gluten. GLU-INU con inulina. GLU-MDR con maltodextrina resistente. GLU-CEL con celulosa. GLU-SFD sin fibra dietética. CAS-CEL dieta de caseína con celulosa. DLN-CEL dieta libre de nitrógeno con fibra de celulosa.

ND= No detectado.

En su respectiva subsección, se describe el comportamiento de cada factor durante los 14 días de experimentación y se presenta su registro en forma gráfica.

Consumo de alimento

En la tabla 8 se presenta el promedio del total de alimento consumido *ad libitum* por las ratas de las dietas experimentales y de control durante los 14 días del bioensayo. A pesar de las diferentes cantidades de consumo en las dietas, no se presentó diferencia significativa entre dietas experimentales y la dieta control de GLU-SFD. La figura 4 muestra el comportamiento del consumo de alimento promedio por cada tercer día de cada dieta (experimental y de control) durante los 14 días experimentales, y a su derecha el promedio de alimento consumido final. Cada día la rata se adaptaba más a la dieta promoviendo el aumento en su consumo; el día 12 se presentó el mayor consumo de alimento para todas las dietas, descartando el último día de experimental ya que solo se contó con 2 días para su evaluación. La dieta de GLU-INU contenía FDS de origen de agave, donde el consumo de alimento total promedio resultó de 89.9 g, representando el consumo más bajo de las dietas experimentales, sin presentar diferencia significativa. La adición de esta FDS a la dieta pudiera ser la explicación para su bajo consumo, ya que la única diferencia entre las dietas era la fuente de fibra, por lo que fue la dieta menos apreciada por las ratas, además presentó un comportamiento de consumo uniforme hasta el día 12. La dieta de GLU-MDR contenía la segunda FDS, su consumo de alimento total promedio fue de 93.1 g, representando entre las dietas experimentales un consumo medianamente apreciado por las ratas. La dieta con GLU-CEL contenía FDI, su consumo de alimento total promedio fue 105.2 g, representó el valor más alto entre dietas experimentales. La dieta de GLU-SFD mostró el comportamiento de la proteína consumida sin la presencia de FD para evaluar el contraste que tenía una dieta SFD añadida con respecto a las dietas experimentales que sí contenían diferentes fuentes de FD. Su consumo de alimento total promedio fue de 101.1 g, y no mostró diferencia significativa con las dietas experimentales. El grupo CAS-CEL contenía proteína de alta calidad y mostró el mayor consumo ($P \leq 0.05$) de alimento de todas las dietas (157.9 g). La DLN-CEL presentó el menor consumo ($P \leq 0.05$) de alimento de todas las dietas (51.4 g) en el que se deduce que la falta de proteína debilitó al animal y su ánimo de ingesta.

Consumo de fibra

El consumo de fibra por las ratas presentó una relación concomitante con el alimento consumido (Tabla 8) atribuido a la preferencia de las respectivas dietas, en la que puede influir el sabor y la textura que proporcionan el tipo de proteína y fibra adicionada en cada una de las dietas. El grupo control CAS-CEL mostró el mayor consumo ($P \leq 0.05$) de FD (7.73 g). Seguido en forma descendente de los grupos LGU-CEL (5.15 g), LGU-MDR (4.19 g) y GLU-INU (3.85). La DLN-

CAS consumió la menor cantidad ($P \leq 0.05$) de fibra (2.51 g). Entre las dietas experimentales resultó una mayor tendencia de consumo de fibra en la dieta adicionada con FDI que de las dietas adicionadas con fuente de FDS.

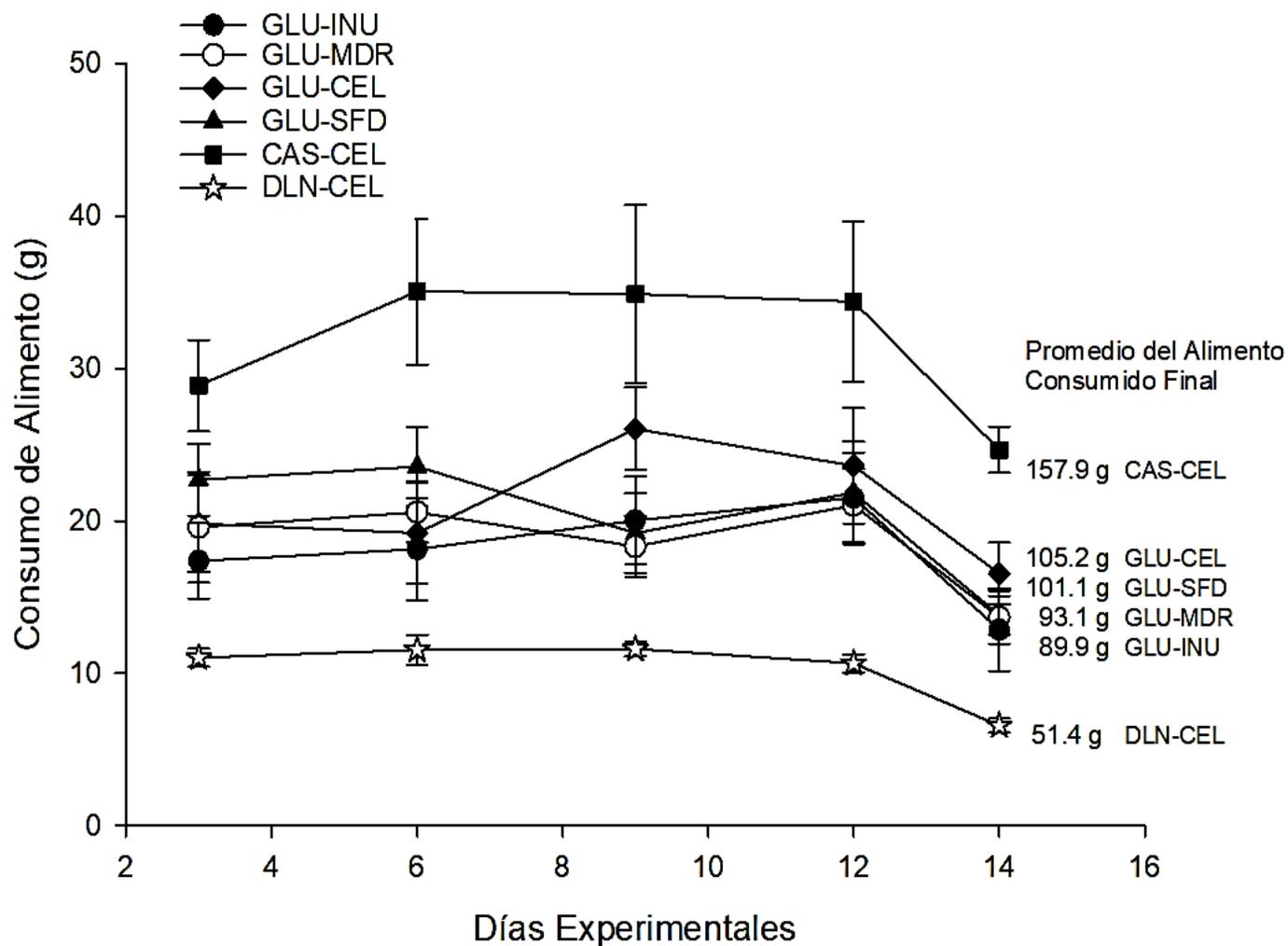


Figura 4. Alimento consumido por las ratas durante la fase experimental de 14 días.

Aumento en peso

Un segundo factor determinante para el bioensayo fue el registro de la ganancia en peso de las ratas, ya que permite el cálculo de la utilización de proteína (NPR), traducida como la cantidad de nitrógeno digerido y destinado solo para el crecimiento del animal, después de considerar el nitrógeno utilizado para el metabolismo basal con el cambio en peso de las ratas de la DLN. Con este factor es posible relacionar si la cantidad y la fuente de FD afecta de manera significativa o no, al aumento en peso y por consecuencia a la utilización de nitrógeno de la dieta destinado para el crecimiento. En la tabla 8 se presenta el promedio del total de aumento en peso por las ratas de las dietas experimentales y de control durante los 14 días del bioensayo. Entre las dietas experimentales y el grupo de GLU-SFD no se presentaron diferencias significativas para el aumento en peso; con este resultado se puede descartar el hecho donde la cantidad del 5% así como la fuente de FD utilizadas en esta prueba afecten al crecimiento del animal. En la figura 5 se muestra el comportamiento del aumento en peso promedio por cada tercer día de cada dieta (Experimental y de control) durante los 14 días experimentales, y a su derecha el promedio de aumento en peso total de dichos días experimentales. Cada día se observó un aumento de peso de forma lineal (Relacionado al alimento consumido) a excepción del grupo DLN-CEL, en el que decayó el peso de una forma lineal y progresiva al pasar los días experimentales. El mayor promedio ($P \leq 0.05$) de aumento en peso lo obtuvo el grupo con la dieta CAS-CEL (49.7 g), lo que indica que la CAS fue una fuente de nitrógeno muy viable destinado para al crecimiento. En contra parte la DLN-CEL al no contener una fuente de proteína el promedio de cambio en peso fue negativo debido a la pérdida de peso (-8.3 g) por la falta de nitrógeno que ayudará a mantener el metabolismo basal y al crecimiento. El tercer grupo control GLU-SFD no presentó diferencias significativas con las dietas experimentales y reportó un promedio de aumento en peso de 101.1 g, con lo cual se observó que la falta de fibra en la dieta no afectó de manera significativa el crecimiento de las ratas. Ya que se detectó que la presencia y el tipo de fuente proteica en la dieta afecta en mayor medida el cambio en el peso de las ratas durante su crecimiento. El grupo de ratas que consumió las dietas experimentales con gluten de trigo como fuente proteica y diferentes fuentes de fibra presentaron un aumento en peso similar. De las dietas experimentales el promedio mayor de aumento en peso lo mostró el grupo GLU-CEL (105.2 g) el cuál contenía FDI, seguido de los grupos con FDS. De las cuales, el mayor promedio de aumento en peso lo presentó el grupo de GLU-INU (6.27 g), seguido del grupo con la dieta GLU-MDR (5.5 g).

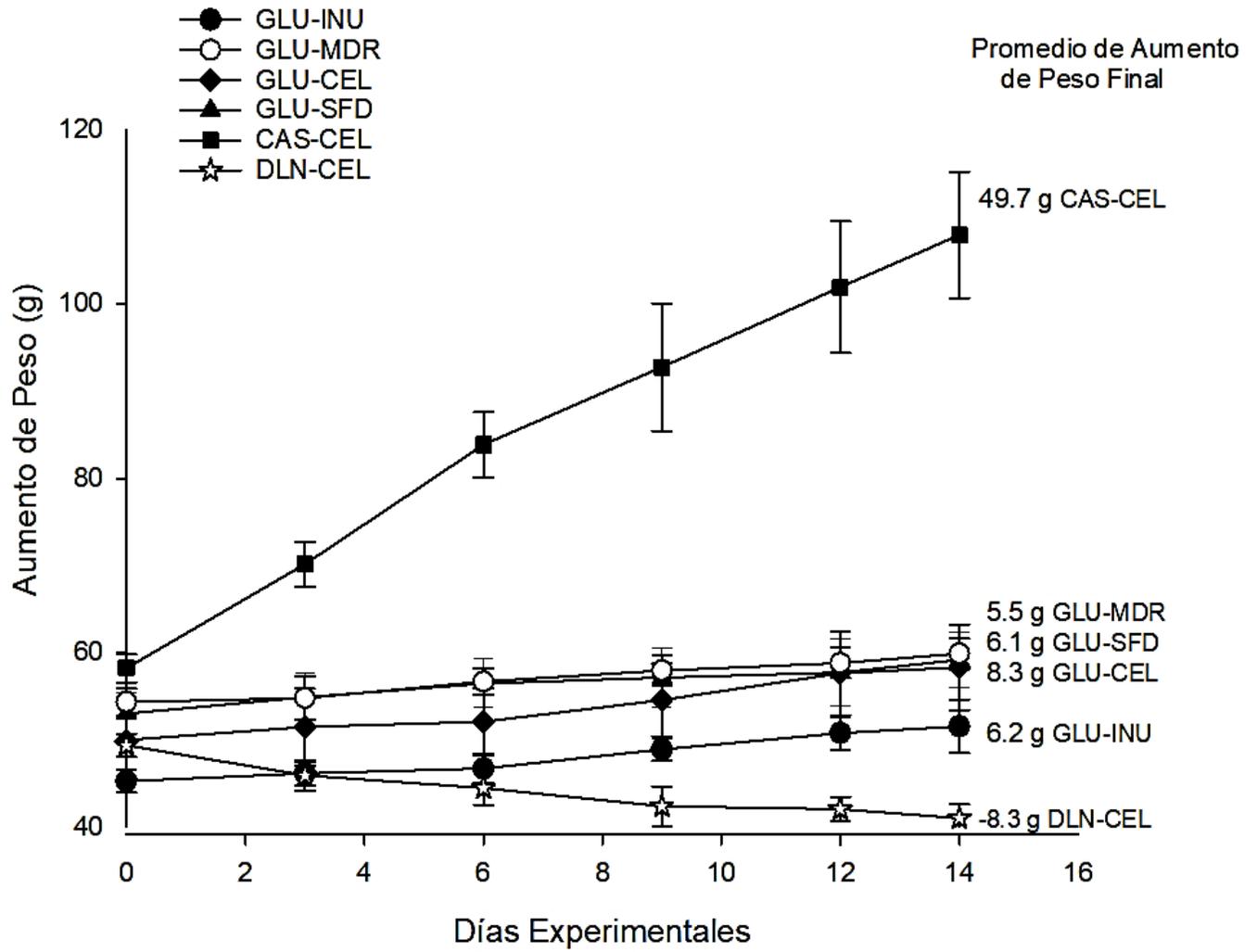


Figura 5. Aumento de peso de las ratas durante la fase experimental de 14 días.

Cantidad de heces excretadas por las ratas

El factor de cantidad de heces es necesario para el cálculo de la DMS, además de que la materia fecal es el medio de obtención de nitrógeno excretado, necesario para calcular los indicadores de calidad proteica evaluados. Cada tres días se recolectó y registró el peso de la materia fecal. En la figura 6 se puede observar el perfil del comportamiento de la cantidad promedio de excreción de materia fecal de cada día, detectándose variación en la excreción de heces. En la tabla 8 se presentan las cantidades promedio de heces totales recolectadas de los 14 días del bioensayo, y donde se puede observar una incidencia mayoritaria en el promedio del peso en heces total para las dietas que contenían CEL (Mostrando diferencias significativas entre ellas), con excepción de la DLN-CEL y el menor peso fecal ($P \leq 0.05$) obtenido por el grupo libre de FD. Se reportan los siguientes valores promedio de materia fecal excretada de forma descendente: CAS-CEL (11.2 g), GLU-CEL (8 g), GLU-MDR (4.37 g), DLN-CEL (3.5 g), GLU-INU (3.3 g) y GLU-SFD (2.6 g).

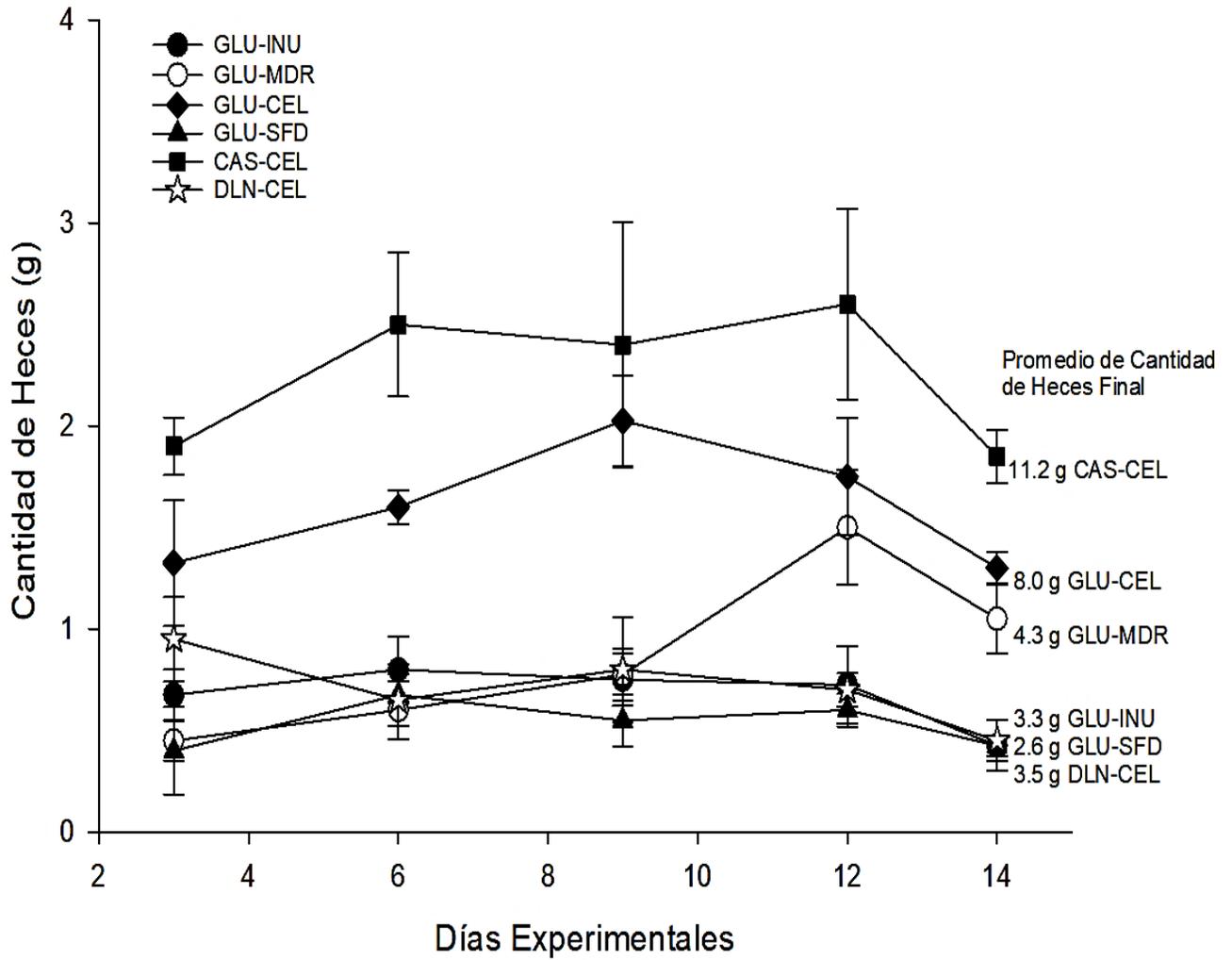


Figura 6. Cantidad de heces excretadas por las ratas durante la fase experimental de 14 días.

Consumo y excreción de nitrógeno por las ratas

Para conocer la digestibilidad de nitrógeno se determinó la cantidad de proteína consumida, la cantidad de nitrógeno consumido y la cantidad de nitrógeno que fue excretado en las heces (endógeno y no endógeno). Dichos valores se muestran en la tabla 9.

Se observó que las ratas de los grupos experimentales GLU-INU, GLU-MDR y GLU-CEL, y las del grupo con la dieta GLU-SFD consumieron una cantidad similar proteína y por ende de nitrógeno. En cambio, el grupo de ratas con la dieta CAS-CEL consumió una cantidad significativamente mayor. En lo que respecta al nitrógeno excretado, los valores fueron pequeños comparados con el nitrógeno consumido, lo cual nos permite tener una idea preliminar de que el nitrógeno ingerido fue absorbido en una cantidad alta. Además, la cantidad de nitrógeno excretado presentó igual relación con la cantidad de nitrógeno consumido. En cuanto al grupo de ratas con la dieta DLN-CEL, se encontró un consumo de proteína muy bajo y significativamente menor ($P \leq 0.05$) que el resto de los grupos, que puede deberse a cantidades trazas de proteína por alguno de los ingredientes en la dieta. Los resultados encontrados tienen una correspondencia concomitante con el consumo de alimento y la cantidad de heces excretadas por cada grupo de ratas.

Tabla 9. Proteína consumida total, nitrógeno consumido total y nitrógeno excretado total de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control¹.

Dietas	Proteína consumida (g)	Nitrógeno consumido (g)	Nitrógeno excretado (g)
GLU-INU	9.51 ± 1.40 ^b	1.62 ± 0.22 ^b	0.15 ± 0.02 ^{bc}
GLU-MDR	10.28 ± 1.07 ^b	1.49 ± 0.16 ^b	0.16 ± 0.01 ^b
GLU-CEL	10.72 ± 1.41 ^b	1.74 ± 0.23 ^b	0.12 ± 0.01 ^{bc}
GLU-SFD	10.70 ± 1.11 ^b	1.71 ± 0.17 ^b	0.11 ± 0.01 ^c
CAS-CEL	15.20 ± 1.47 ^a	2.44 ± 0.17 ^a	0.25 ± 0.03 ^a
DLN-CEL	0.10 ± 0.00 ^c	ND	0.05 ± 0.00 ^d

¹ Los valores corresponden a las medias ± desviación estándar de cuatro mediciones. Letra diferente en la misma columna indica diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

ND = No detectado

Indicadores de Calidad Proteica

En los apartados anteriores se presentan los resultados arrojados por los indicadores de calidad evaluados durante este bioensayo que de manera individual indican preferencias de consumo de las dietas y su influencia en el cambio en peso de las ratas ofreciendo una visión general. En conjunto, los indicadores de calidad permitieron evaluar tanto la digestibilidad como la utilización para el crecimiento del animal que proporcionaba la proteína de gluten, que a su vez podía ser afectada por la fuente y solubilidad de la FD.

Como forma de resumen se observó que la ausencia de FD en la dieta ayudo a una mejor asimilación de los nutrientes y del nitrógeno incorporado en la dieta. En cuanto a las dietas en la que se incorporó gluten como fuente de proteína se observó que la FDS (INU y MDR) presentó un mejor efecto en la asimilación de nutrientes (DMS), sin embargo, un mayor efecto en la disminución de la asimilación de nitrógeno en la dieta (DNA y DNV) comparado con la adición de FDI (CEL), que en el caso de DNA y DNV, el consumo de la dieta GLU-CEL no mostró diferencia significativa en los valores observados por los grupos con consumo de la dieta SFD. A pesar de las diferencias en los valores de digestibilidad en NPR resultó concluyente que la adición de FD no afectan a la utilización de la proteína. Con respecto a las dietas a base de caseína se observó que a pesar de la adición de FD los valores de digestibilidad y NPR no se vieron afectados debido a la alta calidad de esta proteína.

Digestibilidad de materia seca (DMS)

La digestibilidad de materia seca representa el porcentaje de la cantidad de nutrientes de la dieta que el animal logró amilar en sus capilares sanguíneos al atravesar las células que recubren el intestino delgado (Goodman, 2010). Los factores involucrados en la determinación de este indicador de calidad proteica son el alimento consumido y peso en heces (Tabla 8). Los resultados de DMS (Tabla 10) mostraron que la dieta SFD añadida (GLU-SFD) presentó la mayor digestibilidad (97.37%) para todos los nutrientes. Se podría interpretar el hecho de que la ausencia de FD en la dieta de gluten no afecta a la digestibilidad de los demás nutrientes de la dieta en comparación a los demás grupos evaluados. La DMS se vió disminuida en el grupo que consumió la dieta GLU-INU (96.23%) sin presentar diferencia significativa con la dieta SFD añadida, seguido del grupo con GLU-MDR (95.27%). Las dietas con FDS no presentaron diferencias significativas entre ellas, sin embargo, se observó que la adición de FDS de menos GP (Inulina de agave) proporcionó una mejor respuesta en la DMS. La DMS resultó significativamente menor en las dietas con adición de la FDI celulosa (Alrededor de 93%),

independientemente de la fuente proteica adicionada (Caseína o gluten) o la ausencia de proteína en la dieta. Los resultados de DMS para las dietas de GLU-MDR, GLU-CEL, así como las tres dietas control coinciden con los resultados publicados por Domínguez (2012) y Falcón (2015).

La digestibilidad de los nutrientes que proporciona una dieta se ve afectada por la cantidad y tipo de nutrientes presentes, la adición de fibra beneficia el sistema digestivo y ayuda en la prevención de enfermedades, sin embargo, la digestibilidad de los nutrientes de la dieta puede verse afectada por el tipo de FD, una elevada cantidad y/o un mayor GP de la FD adicionada. La respuesta que brinda el organismo de las ratas en la asimilación de nutrientes debido a la formulación de las dietas ofrecidas para su consumo, se vio más afectada por la presencia de FDI que por la presencia de FDS.

Digestibilidad de nitrógeno aparente (DNA)

La DNA es un indicador de la cantidad de nitrógeno que es absorbido durante su paso a través del tracto digestivo sin que se afecte su biodisponibilidad (Tobal, 1999; Gilani, 2005). La DNA (Tabla 10) se obtuvo de la relación entre el nitrógeno consumido y excretado (Tabla 9) por el grupo de ratas que consumieron cada dieta. Entre las dietas que contienen proteína en su formulación, los grupos que consumieron las dietas de GLU-SFD (93.56%) y GLU-CEL (93.40%) presentaron el mayor porcentaje ($P \leq 0.05$) de nitrógeno asimilado y mostraron diferencia significativa con las dietas de GLU-MDR (88.92%), CAS-CEL (89.80%) y LGU-INU (89.72%). Los resultados de DNA para las dietas de GLU-MDR, GLU-CEL, así como las tres dietas control coinciden con los resultados publicados por Domínguez (2012) y Falcón (2015).

Digestibilidad de nitrógeno verdadera (DNV)

La DNV determina con mayor exactitud la digestibilidad de un alimento (Tobal, 1999) al utilizar dietas exentas de proteína y determinar la cantidad de proteína fecal metabólica (Canett y Robles, 1992). La DNV (Tabla 10) se obtuvo de la relación entre el nitrógeno consumido y excretado por las dietas que consumieron la DLN (Tabla 9), que se asume que corresponde a la cantidad de nitrógeno metabólico. Los resultados de DNV son mayores que los DNA debido a la corrección realizada con la DLN, sin embargo, los resultados muestran la misma tendencia con una pequeña variación no significativa en la posición que ocupa el valor de DNV de la dieta GLU-INU. Entre las dietas que contienen proteína en su formulación, los grupos que consumieron las dietas de GLU-SFD (97.08%) y GLU-CEL (96.82%) presentaron el mayor porcentaje ($P \leq 0.05$) de nitrógeno verdadero asimilado y mostraron diferencia significativa con las dietas de GLU-INU

(93.74%), GLU-MDR (92.98%) y CAS-CEL (92.06%). Considerando solo las dietas experimentales se entiende que la adición de celulosa (como fuente de FDI) a dietas de gluten, afecta en menor porcentaje a la DNV que la adición de FDS, debido a que hubo mayor consumo de la dieta GLU-CEL por una mayor preferencia al consumo, aunque no significativa, y resultó ser la FD con menor interferencia en la asimilación de nitrógeno. De manera no significativa, la inulina que es una FDS con menor GP y mayor viscosidad afectó en menor grado el porcentaje de digestibilidad comparada con la MDR (FDS de GP mayor). Los resultados de DNV para las dietas con fuente de FD coinciden con los resultados publicados por Domínguez (2012) y Falcón (2015).

Tabla 10. Digestibilidad de materia seca, de nitrógeno aparente y de nitrógeno verdadera de las dietas elaboradas a base de gluten con fibras dietéticas comerciales y dietas control¹.

Dietas	DMS (%)	DNA (%)	DNV (%)
GLU-INU	96.23 ± 0.28 ^{ab}	89.72 ± 0.79 ^b	93.74 ± 0.73 ^b
GLU-MDR	95.27 ± 0.37 ^b	88.92 ± 1.55 ^b	92.98 ± 1.25 ^b
GLU-CEL	92.36 ± 0.35 ^c	93.40 ± 0.30 ^a	96.82 ± 0.24 ^a
GLU-SFD	97.37 ± 0.21 ^a	93.56 ± 1.19 ^a	97.08 ± 1.14 ^a
CAS-CEL	92.89 ± 0.49 ^c	89.80 ± 0.87 ^b	92.06 ± 1.01 ^b
DLN-CEL	93.07 ± 1.01 ^c	ND	ND

¹ Los valores corresponden a las medias ± desviación estándar de cuatro mediciones. Letra diferente en la misma columna indica diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

Razón neta de proteína (NPR)

El resultado de NPR y los parámetros necesarios para su determinación se muestran en la tabla 12. Los valores de NPR fueron normalizados en relación a los valores estándar (NPRc). La dieta CAS-CEL mostró el valor más alto de aprovechamiento de proteína para un mayor crecimiento (4.34), presentando diferencias estadísticamente significativas en relación al resto de las dietas. Las tres dietas experimentales y la dieta control GLU-SFD no mostraron diferencia significativa entre ellas, esto significa que el efecto de adición de FD en dietas de gluten no afecta a la utilización de proteína ya que presenta relativamente el mismo valor de utilización arrojado por la dieta SFD. Si los resultados se tabulan de forma descendente se observa que la dieta con gluten

con mayor aprovechamiento resultó en la dieta GLU-CEL (1.7), después la dieta GLU-INU (1.7), GLU-SFD (1.5) y finalmente la dieta de GLU-MDR (1.53 g) sin encontrarse diferencias significativas.

Se deduce que, en las dietas experimentales elaboradas con gluten como fuente de proteína, la incorporación de FDI provocó un efecto menor en la utilización de la proteína en comparación de la adición con FDS. Sin embargo, los resultados entre las dietas experimentales y la dieta SFD no mostraron ser significativamente diferentes entre ellas, por lo que se considera que la adición de distintas fuentes de fibra, así como la cantidad de FD usadas en el experimento, no afecta a la utilización (NPR) de proteína de gluten. Los resultados de NPR para las dietas de GLU-MDR, GLU-CEL, así como dietas control coinciden con los resultados publicados por Domínguez (2012) y Falcón (2015).

En la figura 7 se presenta la esquematización de los factores de aumento en peso y de consumo de alimento, para el cálculo de NPR. Se puede observar que los animales alimentados con la dieta de caseína presentaron el mejor aumento en peso, así como un mayor consumo de nitrógeno, generando valores más altos de NPR. El gluten es una proteína de menor calidad que la caseína, sin embargo, es un ingrediente añadido en muchos de los alimentos en la vida cotidiana, de ahí la importancia de su estudio frente a la agregación de fibra en las formulaciones dietarias. De manera general, no se observan diferencias significativas por la adición o ausencia de FD en las dietas en cuanto al aprovechamiento de N_2 y aumento en peso de las ratas, de tal forma que el valor NPR en estas dietas es similar. Estadísticamente la adición de FD en las cantidades incorporadas en las dietas de este experimento no tuvo un efecto negativo en la utilización de la proteína en la dieta, incluyendo la FD de inulina de origen agave que es de interés reciente como prebiótico por su alto crecimiento de bifidobacterias en métodos *In vitro* (Langlands y col., 2004; Allsopp y col., 2013; Gómez y col., 2010).

Tabla 11. Aumento en peso total, proteína consumida total y razón neta de proteína de las dietas experimentales basadas en gluten con diferentes fuentes de fibra y las dietas control¹.

Dietas	Aumento en peso (g)	Proteína consumida (g)	NPRc ²
GLU-INU	6.27 ± 2.38 ^b	9.51 ± 1.40 ^b	1.75 ± 0.18 ^b
GLU-MDR	5.55 ± 1.23 ^b	10.28 ± 1.07 ^b	1.50 ± 0.06 ^b
GLU-CEL	8.32 ± 1.20 ^b	10.72 ± 1.41 ^b	1.78 ± 0.15 ^b
GLU-SFD	6.15 ± 2.53 ^b	10.70 ± 1.11 ^b	1.54 ± 0.15 ^b
CAS-CEL	49.7 ± 6.49 ^a	15.20 ± 1.47 ^a	4.34 ± 0.06 ^a
DLN-CEL	-8.35 ± 1.37 ^c	0.10 ± 0.00 ^c	ND

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estándar de cuatro mediciones. Letra diferente en la misma columna indica diferencia significativa ($P \leq 0.05$).

² NPRc: Razón neta de proteína corregida. Este valor se interpreta como la cantidad en gramos del crecimiento obtenido del animal por gramo de proteína experimental consumida. La corrección muestra el resultado comparado con caseína (Proteína de alta calidad y mayor VB).

ND = No detectado.

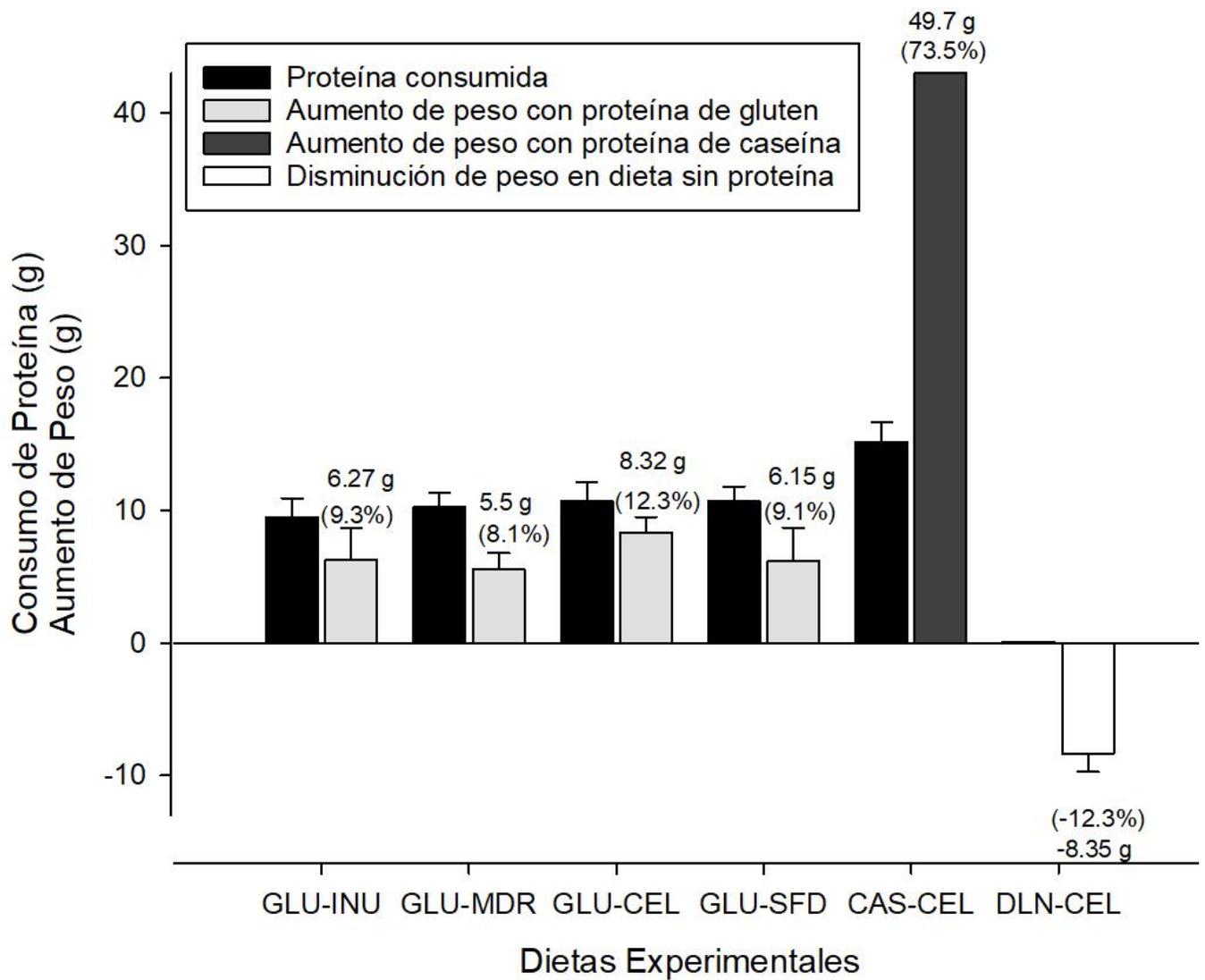


Figura 7. Esquematización gráfica entre los factores de proteína consumida y de aumento en peso para el cálculo de la NPR.

CONCLUSIONES

1. La adición del 5% de FDI (Celulosa) en dietas con 10% de proteína de baja de calidad como la del gluten, no tiene efecto adverso significativo en la digestibilidad y utilización de N₂ para el crecimiento de las ratas.
2. La adición del 5% de FDS (Inulina de agave *weber azul* y Maltodextrina resistente) en dietas con 10% de proteína de baja de calidad como la del gluten provocó un efecto adverso significativo en la digestibilidad de N₂, sin embargo, no afectó la utilización de N₂ para crecimiento.
3. La dieta elaborada con un nivel de 0% de fibra presentó alta capacidad de digerir el N₂, similar a la dieta de gluten con 5% de FDI (Celulosa), e igual potencial en la utilización de N₂ en dietas de gluten con 5% de FDI (Celulosa) y FDS (Inulina de agave *weber azul* y Maltodextrina resistente).

RECOMENDACIONES

1. En base a los resultados obtenidos se recomienda añadir al estudio *In vivo* una evaluación con FDS y FDI de similar GP junto con una determinación viscosimétrica para determinar si un mayor grado de solubilidad y viscosidad aumentan el efecto adverso en la digestibilidad y utilización de proteína.
2. Evaluar el efecto de diferentes fuentes de FD en ratas con diferentes edades y estado de salud.
3. Evaluar el efecto de mayores porcentajes de FD (soluble, insoluble y combinadas) con la finalidad de establecer una estimación de la máxima adición que permita una buena absorción y utilización de proteína.
4. Evaluar el efecto de mayores porcentajes de FD (soluble, insoluble y combinadas) a través de bioensayos (NPR y NPU) que contemplen un mayor tiempo de duración.
5. Evaluar el impacto de diferentes porcentajes de FD mediante otros indicadores nutricionales que generen más información sobre su consumo en productos comerciales y formulaciones dietarias. Así mismo, una evaluación de dicho efecto en experimentación humana.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [AACC] American Association of Cereal Chemists. 2001. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the American Association Of Cereal Chemists. 46 (3): 112.
- Abdul-Hamid A, Luan YS. 2000. Functional properties of dietary fiber prepared from defatted rice bran. En Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. Journal of food and nutrition research. 1(3): 16.
- Aburto TC, Pedraza LS, Sánchez PTG, Batis C, Rivera JA. 2016. Discretionary foods have a high contribution and fruit, vegetables, and legumes have a low contribution to the total energy intake of the Mexican population. En Rivera JA, Pedraza LS, Aburto TC, Batis C, Sanchez PTG, González CT, Lóez ON, Pedroza TA. (Eds). Overview of the Dietary Intakes of the Mexican Population: Results from the National Health and Nutrition Survey 2012. The journal of nutrition. 1853S. doi:10.3945/jn.115.221275
- Adlercreutz H, Hamalainen E, Gorbach SL, Goldin BR, Woods MN, Brunson LS, Dwyer JT. 1987. Association of Diet and Sex Hormones in Relation to Breast Cancer. In Lattimer JM, Haub MD. 2010. (Eds). Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. Journal nutrients. 2. 1267.
- Alexandratos N. 2006. World Agriculture: towards 2030/50, interim report. An FAO perspective. London, UK: Earthscan; Rome, Italy: FAO John Kearney (Eds). Food consumption trends and drivers. department of biological sciences, dublin institute of technology (DIT), Dublin, Eire (2010).
- Aleixandre A, Miguel M. 2008. Dietary fiber in the prevention and treatment of metabolic síndrome. En Fernández MC. 2010. (Eds). La fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular. Nutr. clín. diet. hosp. 30(2): 9.
- Almaraz SR, Fuentes MM, Milla PS, Plaza LB, López BL, Candela GC. 2015. Indicaciones de diferentes tipos de fibras en distintas patologías. Nutr Hosp. 31 (6): 2373.

- Allsopp P, Possemiers S, Campbell D, Oyarz AI, Gill C, Rowland I. 2013. An exploratory study into the putative prebiotic activity of fructans isolated from *Agave angustifolia* and the associated anticancer activity. *Anaerobe*. 22:38-44.
- Anderson JW, Baird P, Davis RH, Ferreri S, Knudtson M, Koraym A, Waters V, Williams CL. 2009. Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*. 67(4): 188-205.
- Arai S. 1996. Studies on functional foods in Japan. En Arai S. 2002. (Eds). Global view on functional foods: Asian perspectives. *British Journal of Nutrition*. 88(2): S139–S143
- Araya LH, Lutz RM. 2003. Alimentos Funcionales y Saludables. *Revista Chilena de Nutrición*. 30(1): 8-14.
- Asano TK, McLeod RS. 2008. Fibra dietética para la prevención de carcinomas y adenomas colorrectales.
- Ferreira RF, Casas CL, Rodríguez RJ. 2015. (Eds). La fibra de los alimentos en la disminución del riesgo de padecer cáncer colorrectal. Tesis de licenciatura de la Corporación Universitaria Lasallista. 16.
- Asp NG. 1996. Dietary carbohydrates: classification by chemistry and physiology. *Food chemistry*. 57: 9-14. En Van Der Kamp JW, Asp NG, Miller JJ, Schaafsma G. 2004. Dietary fibre bio-active carbohydrates for food and feed. Netherlands. Wageningen academic publishers. Cap I. 22 p.
- Asp NG. 2001. Development of dietary fibre methodology. In: Advance dietary fibre technology, edited by B.V. McCleary and L. Prosky, Blackwell Science, Oxford, UK, 77-88 p. En Van Der Kamp JW, Asp NG, Miller JJ, Schaafsma G. 2004. Dietary fibre bio-active carbohydrates for food and feed. Netherlands. Wageningen academic publishers. Cap 1. 22 p.
- Aswell M. 2004. Conceptos sobre Alimentos Funcionales. En Madrigal L, Sangroni E. 2007. (Eds) La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Sociedad latinoamericana de nutrición. 57 (4): 387.
- [AOAC] Association of official analytical chemists. Official methods of analysis. 1990. 15th edición. *Assoc Anal Chem*. En FAO/WHO. 1991. Protein quality evaluation: Report of joint FAO/WHO expert consultation. FAO food and nutrition Paper No 51. 27 p.

[AOAC] Official methods of analysis of AOAC. 1997. 16 th ed. Vol. 1, Sec. 12.1.07, Method 985.29

[AOAC] Official methods of analysis of AOAC. 1998. 16 th ed. Vol. 1, Sec. 4.1.02. Method 950.02

[AOAC/AACC] Official methods of analysis of AOAC/American association of cereal chemists. 1961. 16 th ed. Vol. 1, Sec 12.1.07. Method 960.52

Barquera S y col. 2003. Energy and nutrient intake in preschool and school age Mexican children: National Nutrition Survey 1999. En INSK. 2009. (Eds). Órgano Informativo del Instituto de Nutrición y Salud Kellogg's® sobre la Relación entre la Nutrición y la Salud. Rev Anual Dieta y Salud. 11.

Banerjee KP, Rimm EB. 2003. Whole grain consumption and weight gain: a review of the epidemiological evidence, potential mechanisms and opportunities for future research. En Fernández MC. 2010. (Eds). La fibra dietética en la prevención del riesgo cardiovascular. Nutr. clín. diet. hosp. 30(2): 9.

Bazzano LA, Orden LG, Loria CM, Whelton PK. 2003. Dietary fiber intake and reduced risk of coronary Heart disease in US men and women: the Nacional Health and Nutrition Examination Survey I Epidemiologic Follow-up Study. En Fernández MC. 2010. (Eds). Dietética y riesgo cardiovascular Fibra. Archivos Médicos. 2: 2-11

Behall KM, Schofield BS, Lee K, Powell AS, Moscr PB. 1987. Mineral balance in adult men: effect of four refined fibers. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

Bender AE, Doell BH. 1957. Biological evaluation of protein: A new concept. *British Journal of Nutrition*, 11, 140-148.

Bijlani RL. 1985. Dietary fibre: consensus and controversy. En López RJ, Martínez GA, Luque A, Pons MJ, Vargas AA, Iglesias JR, Hernández M, Villegas JA. 2008. (Eds). Efecto de la ingesta de un preparado lácteo con fibra dietética sobre el estreñimiento crónico primario idiopática. Nutr Hosp. 23(1): 13.

Birt DF, Boylston T, Hendrich S, Jane JL, Hollis J Li. 2013. Resistant Starch: Promise for Improving Human Health. En Ruíz AM. 2017. Eficacia de una maltodextrina resistente a la digestión sobre

el tiempo de tránsito colónico en sujetos sanos. Tesis de doctorado de la Universidad Católica de Murcia. 68.

Briel F, Achour L, Fourie B. 1995. Les fibres alimentaires. In Coudray C, Bellanger J, Delavaud CC, Rémésy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of clinical nutrition*. 57. 375

Bodwell CE, Adkins JS, Hopkins DT. 1981. *Protein Quality in Humans: Assessment and In Vitro Estimation*. Westport Connecticut: AVI Publishing Inc.

Bonvecchio AA, Fernández GC, Plazas BM, Kaufer HM, Pérez LAB, Rivera JA. 2015. Dietary and physical activity guidelines in the context of overweight and obesity in the Mexican population: position paper. En Rivera JA, Pedraza LS, Aburto TC, Batis C, Sanchez PTG, Gonzáles CT, Lóez ON, Pedroza TA. (Eds). *Overview of the Dietary Intakes of the Mexican Population: Results from the National Health and Nutrition Survey 2012*. *The journal of nutrition*. 1853S. doi:10.3945/jn.115.221275

Bower IA, Whitten R. 2000. Sensory characteristics and consumer liking for cereal bar snack foods. En Srebernick SM, Gonçalves SGM, Ormenese CRCS, Ruffi GCR. 2016. (Eds). *Physocp-chemical, sensory and nutritional characteristics of cereal bars with addition of acacia gum, inulin and sorbitol*. *Food science and technology*. <http://dx.doi.org/10.1590/1678-457X.05416>

Burdock G, Carabin I, Giffiths J. 2006 The importance of GRAS to the functional food and nutraceutical industries. En L, Sangronis E. 2007. (Eds) *La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales*. *Organo Oficial de la Sociedad Latinoamericana de Nutrición*. Caracas, Venezuela. 57 (4): 387-388.

Cadaval A, Artiach EB, Garín BU, Pérez RC, Aranceta J. 2005. *Alimentos funcionales para una alimentación más saludable*. *Sociedad Española de Nutrición Comunitaria (SENC)*. España. 1-46.

Calvo de Mora RRB. *Fibra dietética y salud*. 2008. En Arola L, Arroyo E, Baiges I, Bermejo M, Boada J, Belmonte S, Bellmunt M, Carracedo A, Corella D, Día S, Gerique J, González C,

- Gonzalo H, Herrera E, Jove M, Nus M, Alonso R, Ordovás J, Anta R, Martínez JA, Aliga M, Pamplona R, Otín M, Olga P, Salas AS, Calvo de mora B, Muñiz F, Vaquero M, Moreiras G, Gil C. 2008 . Genética, nutrición y enfermedad. Alsasua, Madrid. EDIMSA. Capítulo 12. 201 p.
- Cadenas E, Packer L. 1996. Handbook of antioxidants. En Eastwood MA. 1999. (Eds). Interaction of dietary antioxidants *In Vivo*: How fruit and vegetables prevent disease?. QJ Med. 92: 527
- Calloway DH, Kretsch MJ. 1978. Protein and energy utilization in men given a rural Guatemalan diet and egg formulas with and without added oat bran. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.
- Canett R., Robles S. 1992. Manual de técnicas nutricionales de calidad de proteína *In Vivo*. Departamento de investigación y posgrado en alimentos. Universidad de Sonora.
- Chandalia M, Garg A, Lutjohann D, von Bergmann K, Grundy SM, Brinkley LJ. 2000. Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.
- Chapman RW, Sillery JK, Graham MM, Saunders DR. 1985. Absorption of starch by healthy ileostomates : Effect of transit time and carbohydrate load. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.
- Chau CF, Huang YL. 2003. Comparison of the chemical composition and physicochemical properties of different fibres prepared from peel of the Citrus sinensis L. Cv. Liucheng. En Dhingra D, Mona M, Rajput H, Patil R. 2011. (Eds). Dietary fibre in foods: a review. J food sci technol. 49 (3). 256.
- Cherbut CH. 1998. Fibras alimentaires: que deviant l'hypothèse de Burkitt?. En Escudero EÁ, González SP. 2006. La fibra dietética. Nutr. Hosp. 21 (2): 67.
- Church DC, Pond WG. 1974. Basic animal nutrition and feeding. En Falcón VMR. 2015. (Eds).

Efecto de la Fibra Dietética y sus Fracciones Sobre la Calidad Proteica de Alimentos Basados en Cereales de Amplio Consumo y con Distintos Niveles de Proteína, Mediante Bioensayos de Calidad Proteica en Ratas. Tesis de doctorado de la Universidad de Sonora, México. 51.

Classen H.L. 1996. Anim. Feed Sci. Technol. 62. In Rodriguez PP, Garcia J, de Blas C. 1998. (Eds). Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: Enzimas y probióticos. XIV Curso de especialización: Avances en nutrición y alimentación animal. 13.

[COMECYT/ FUMECIT] Consejo mexiquense de ciencia y tecnología. 2015. Estudio de tendencias y oportunidades para el sector de alimentos procesados del estado de México.

[CONABIO] Comisión Nacional para el Conocimiento y Uso de la Biodiversidad. 2005. Mapa Mezcales y Diversidad. © Conabio, México. In Herrera GE, Méndez GS, Talavera MD. 2010. (Eds). El género agave spp. en México: principales usos de importancia socioeconómica y agroecológica. Revista Salud Pública y Nutrición. 5. 112.

[CONEVAL] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2016. Medición de la pobreza: Resultados de pobreza en México 2016 a nivel nacional y por entidades federativas. Coneval.org. Recuperado de: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/Paginas/PobrezalInicio.aspx>

[CONEVAL] Consejo Nacional de Evaluación de la Política de Desarrollo Social. 2017. Medición de la pobreza 2008-2016: Evolución de la canasta alimentaria. Coneval.org. Recuperado de: <https://www.coneval.org.mx/Medicion/MP/Paginas/Lineas-de-bienestar-y-canasta-basica.aspx>

Comisión Nacional de los Salarios Mínimos. 2017. Gob.mx. Recuperado de: <https://www.gob.mx/conasami/articulos/nuevo-salario-minimo-general-88-36-pesos-diaros?idiom=es>

Córdoba A. 2005. Caracterización relacionada con la textura de suspensiones de fibras alimentarias. Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia. En Garneró S, Sposetti P, Garneró J, Luengo F y Yafar E. 2017. (Eds). Pentosanos totales y solubles en la fracción harina de variedades de trigos argentinos. Universidad Tecnológica Nacional. Cordova, Argentina. 205. Recuperado de: <https://www.engormix.com/agricultura/articulos/pentosanos-totales-solubles-fraccion-t40662.htm>

- Córdova P. 1993. Alimentación animal. En Malca OS, Lucas AO, Arbaiza FT, Carcelén CF, San Martín HF. 2006. Comparación de dos técnicas para determinar la digestibilidad proteica de insumos y alimentos comerciales para caninos. *Rev inv vet.* 17(2): 97.
- Cornin A, Delpeuch F. 1981. Effect of fiber in sorghum on nitrogen digestibility. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. *British Journal of Nutrition.* 68. 45.
- Cotero AD. 2016. Elaboración de polímeros naturales injertados con compuestos antioxidantes y evaluación de sus propiedades funcionales. Tesis maestría de la Universidad Autónoma de México. 11.
- Coudray C, Bellanger J, Delavaud CC, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of clinical nutrition.* 57. 375.
- Council WF. 2007. Grains of Truth About Fiber. En Rayas DP, Romero BAL. 2008. (Eds). Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: Función de salud. *Revista mexicana de agronegocios.* 23 (1): 614.
- Coussement P. 1995. A new generation of dietary fibres. *European Dairy Magazine*; vol 3: 23.
- Coussement PA. 1999. Inulin and oligofructose: safe intakes and legal status. En Barbosa CG, Michael PD, Dreher M, Haertel WR, Juneja RL, Karel M, Labbe GR, Lund DB, Min BD, Nollet LL, Salminen S, Thorngate III HJ, Walstra P, Whitaker RJ, Yada YR. 2006. (Eds). *Food Polysaccharides and Their Applications.* Boca raton, FL. CRC Press. 2nd Ed. 336 p.
- Cowling EB. 1974. Biotechnol. and bioeng. En Lin WK, Ladisch RM, Schaefer MD, Noller HC, Lechtenberg V, Tsao TG. 1981. Review on effect of pretreatment on digestibility of cellulosic materials. *The American Institute of Chemical Engineers.* 77 (207): 102.
- Crim MC, Munro HN. 1988. Proteínas en Conocimientos Actuales en nutrición. Tomo I. En Suárez LMM, Kizlansky A, López LB. 2006. (Eds). Evaluación de la calidad de las proteínas en los alimentos calculando el score de aminoácidos corregido por digestibilidad. *Nutr Hosp.* 21(1):47-51.

- Cuevas NL, Shamah LT, Hernández CSL, González CLD, Gómez HIM, Ávila AMA, Rivera DJA. 2018. Tendencias de la mala nutrición en menores de cinco años en México, 1988-2016: análisis de cinco encuestas nacionales. *Salud Publica Mex.* 60: 283-290. <https://doi.org/10.21149/8846>
- Cummings JH. 1981. Short chain fatty acids in the human colon. En McIntyre A, Gibson PR, Young GP. (Eds). Butyrate production from dietary fibre and protection against large bowel cancer in a rat model. *Gut* 34: 386.
- Cummings JH, MacFarlane GT, Englyst HN. 2001. Prebiotic digestion and fermentation. En Peris GP, Gimeno VC. 2007. (Eds). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutr Hosp.* 22 (2): 24.
- Daniel C, Triboi E. 2002. Effect of temperatura and nitrogen nutrition on the grain composition of Winter wheat effects on gliadin content and composition. En Juárez ZN, Bárcenas PME, Hernández LR. 2013. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas selectos de ingeniería de alimentos* 8 (1): 79-93.
- Davy B, Melby C. 2003. The effect of fiber-rich carbohydrates on features of Syndrome X. En Olagnero G, Abad A, Bendersky S, Genevois C, Granzella L, Montonati M. 2007.
- De bruyn A, Álvarez AP, Sandra P, De Leenheer L. 1992. Isolation and identification of β -D-fructofuranosyl-(2,1)-D-fructose, a product of the enzymatic hydrolysis of the inulin from *Cichorium intybus*. En Urías SJ. 2008. (Eds). Efecto prebiótico de los fructanos de Agaves y Dasyliion y su implicación en el metabolismo de glucosa y lípidos en ratones. Tesis de doctorado del Centro de investigación y de estudios avanzados del Instituto Politécnico Nacional. 28.
- De La Llave A. 2004. Efecto de la adición de fibra soluble sobre las características fisicoquímicas y sensoriales en un producto de panificación. Tesis en Licenciatura de Ingeniería de Alimentos. En Chamorro MA, Mamani CE. 2010. (Eds). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos.* 1 (1): 5.
- Dello SM, Bertola N, Martino M, Bevilacqua A. 2004. Influence of Dietary fiber addition on sensory and rheological properties of yogurt. En Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in

- food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. *Journal of food and nutrition research*. 1(3): 17.
- Delzenne N, Aertssens J, Verplaetse H, Rocco M, Roberfroid M. 1995. Effect of fermentable fructooligosaccharides on mineral, nitrogen and energy digestive balance in the rat. En Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 51, 375.
- Demigne C, Levrat AM, Remesy C. 1989. Effect of feeding fermentable carbohydrates on cecal concentration of minerals and their oxes between the cecum and blood plasma in the rat. En Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 51, 375.
- Denayer T, Stöhr T, Van Roy M. 2014. Animal models in translational medicine: Validation and prediction. En Zwierzyna M, Overington JP.2017. (Eds). Classification and analysis of a large collection of *In Vivo* bioassay descriptions. *PLoS Comput Biol* 13(7):e1005641. <https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1005641>
- Desmedt A, Jacobs H. 2001. Soluble fibre In Guide to functional food ingredients. En Rodríguez R, Jiménez A, Fernández BJ, Guillén R, Heredia A. 2006. (Eds). Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. *Trends in Food Science & Technology*. 2006. 17: 8.
- DeVries JW. 2010. Validating official methodology commensurate with dietary fibre research and definitions. En Van Der Kamp JW, Jones J, McCleary B, Topping D. 2010. Dietary fibre new frontiers for food and health. Netherlands. Wageningen academic publishers. Parte 1. 31 p.
- DeVries JW, Prosky L, Li B, Chos S. 1999. A historical perspective on defining dietary fiber. *Cereal Foods World* 44: 367-369. En Nelson AL. 2001. High fiber ingredients. Minnesota, USA. Eagan press. Cap 1. 1 p.
- Diplock AT, Agget PJ, Ashwell M, Bornet F, Fern EB, Roberfroid R. 1999. Functional food science in Europe. En Gibson RG, Williams MC. 2000. Functional foods: Concept to product. 1st ed.

- Cambridge, England. CRC Press (Eds). Guillon F, Champ M, Thibault J-F.(Eds). Dietary fibre functional products. 315.
- Dikeman CL, Fahey GC. 2006. Viscosity as related to dietary fiber: a review. En Van Der Kamp JW, Jones J, McCleary B, Topping D. 2010. Dietary fibre new frontiers for food and health. Netherlands. Wageningen academic publishers. Parte 7. 556 p.
- Domínguez SMF. 2012. Efecto de la fuente de fibra insoluble comercial sobre la digestibilidad y utilización de dieta basadas en caseína, mediante bioensayos de calidad proteica en ratas. Tesis de maestría de la Universidad de Sonora. 1-77.
- Dysseler P, Hoffman D. 1995. Inulin, an alternative dietary fibre. Properties and quantitative analysis. En Coudray C, Bellanger J, Delavaud CC, Rémésy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. European Journal of clinical nutrition. 57. 375.
- Earl WL, VanderHart DL. 1981. Observations by high resolution carbon-13 nuclear magnetic resonance of cellulose I related to morphology and crystal structure. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 33 p.
- Eastwood MA. 1987. Dietary fiber and the risk of cancer. En Eastwood MA. 1999. (Eds). Interaction of dietary antioxidants *In Vivo*: How fruit and vegetables prevent disease?. QJ Med. 92: 528
- Eggum BO. 1992. The influence of dietary fibre on protein digestion and utilization. En Rodriguez R, Jiménez A, Fernandez BJ, Guillén R, Heredia A. 2006. Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients. Trends in food science & technology 17: 13-15.
- 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. En Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. Journal of food and nutrition research. 1(3): 16.
- Escudero AE, González SP. 2006. Dietary fibre. Nutrición Hospitalaria 21(2): 60-71.

Escudero EÁ, González P. 2006. La fibra dietética. In Navarro RJ. 2012. (Eds). Efecto del consumo de fibra en la dieta del paciente diabético. Revista médica de costa rica y centroamerica LXIX (600): 22, 23.

Escudero EÁ, González SP. 2006. La fibra dietética. Nutr. Hosp. 21 (2): 65, 67.

Falcón VMR, Yañez FGA, Barrón HJM. 2006. Efecto del sexo de la rata (Sprague dawley) sobre la digestibilidad y razón neta de proteína en alimentos de distinta calidad proteica. Rev Chil Nutr Vol.33(3).

Falcón VMR. 2015. Efecto de la Fibra Dietética y sus Fracciones Sobre la Calidad Proteica de Alimentos Basados en Cereales de Amplio Consumo y con Distintos Niveles de Proteína, Mediante Bioensayos de Calidad Proteica en Ratas. Tesis de doctorado de la Universidad de Sonora. 1-116.

[FAO/WHO] Food and Agriculture Organization/World Health Organization. 1990. Protein quality evaluation; report of the joint FAO/WHO expert consultation. Food and Nutrition Paper 52. En Hoffman JR, Falvo MJ. 2004. (Eds). Protein-wich is best?. Journal of Sports Science and Medicine. 3. 118-130.

[FAO/WHO]. Food and Agriculture Organization/World Health Organization. 1992. Informe de una consulta de expertos. Evaluación de la calidad de las proteínas

[FAO/WHO] Food and Agriculture Organization/World Health Organization. 1997. Los carbohidratos en nutrición humana. In Sastre GA. 2003. (Eds). Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. Gastroenterol Hepatol 26(1): 6-12.

[FAO] Food and Agriculture Organization. En Malca OS, Lucas AO, Arbaiza FT, Carcelén CF, San Martin HF. 2006. Comparación de dos técnicas para determinar la digestibilidad proteica de insumos y alimentos comerciales para caninos. Rev inv vet Perú 17(2): 97.

[FAO] Food and Agriculture Organization. 2009. Guidelines for the use of nutrition claims: Table of conditions for nutrient contents (part b) dietary fibre. ALINORM 09/32/26. Apendice II. 46 p. En Van Der Kamp JW, Jones J, McCleary B, Topping D. 2010. Dietary fibre new frontiers for food and health. Netherlands. Wageningen academic publishers. Parte 1. 43-44 p.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2011. Dietary protein quality

evaluation in human nutrition: Report of an FAO Expert Consultation. Auckland, New Zealand. Paper 92. Cap 3: 11 p.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2012. En Cerón VJA, Sergio Flores GS. (Eds). Análisis del bienestar y seguridad alimentaria: el caso de los comedores populares en la ciudad de México. 13(25): 26,27.

[FAO] Food and Agriculture Organization of the United Nations. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: La FAO y los 17 Objetivos de Desarrollo Sostenible. Página Web de la FAO. Recuperado de: www.fao.org/post-2015-mdg/es

[FAOSTAT] Food and Agriculture Organization of the United Nations Statistics Division. 2002. Página Web de la FAO. Base de datos estadísticos. En FAO. 2013. Perfiles nutricionales por países. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. 15 p.

Feddern V, Badiale FE, Souza SLA. 2008. Biological response to different diets of fermented and unfermented mixtures of flour and cereal brans. International Journal of Food Science and Technology. 43: 1945-1952.

Fernández MC. 2010. Fibra dietética y riesgo cardiovascular. Nutrición clínica y dietética hospitalaria. 30 (2): 5.

Fernández Miranda C. 2010. Fibra dietética y riesgo cardiovascular. Fibra. En Fernández MC. 2010. (Eds). Dietética y riesgo cardiovascular. Fibra. Archivos Médicos 2010; 2: 2-11.

Flemming ML, Moughan JP, Wilson MN. 1993. Dietary fiber viscosity and endogenous protein excretion at the terminal ileum of growing rats. The journal of nutrition. 123 (111): 1898-1904. <https://doi.org/10.1093/jn/123.11.1898>

Flores FR. 2004. Efecto de la incorporación de fibras dietéticas de diferentes fuentes sobre propiedades de textura y sensoriales de tortillas de maíz (*Zea mays L.*) I.P.N. Ciudad de México. 3 p.

[FNB/IOM] Food and Nutrition Board/ Institute Of Medicine. 2002. National academy of sciences. Dietary references intakes for energy, carbohydrate, fat, fatty acids, cholesterol, protein and amino acids. En Van Der Kamp JW, Jones J, McCleary B, Topping D. 2010. Dietary fibre new frontiers for food and health. Netherlands. Wageningen academic publishers. Parte 1. 42 p.

- Franck A. 2002. Technological functionality of inulin and oligofructose. En Madrigal L, Sangroni E. 2007. (Eds) La inulina y derivados como ingredientes claves en alimentos funcionales. Sociedad latinoamericana de nutrición. 57 (4): 393.
- Frias ACD, Sgarbieri VC. 1998. Guar gum effects on food intake, blood serum lipids and glucose levels of Wistar rats. *Plant Foods for Humans Nutrition*. 53: 15-28.
- Frias ACD, Sgarbieri VC. 1998. Guar gum effects on food intake, blood serum lipids and glucose levels of Wistar rats. En Falcón VMR. 2015. (Eds). Efecto de la Fibra Dietética y sus Fracciones Sobre la Calidad Proteica de Alimentos Basados en Cereales de Amplio Consumo y con Distintos Niveles de Proteína, Mediante Bioensayos de Calidad Proteica en Ratas. Tesis de doctorado de la Universidad de Sonora, México. 26.
- Gallaher D, Schneeman BO. 1985. Effect of dietary cellulose on site of lipid absorption. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. *British Journal of Nutrition*. 68. 45.
- García E, Infante B, Rivera C. 2008. Hacia una definición de fibra alimentaria. En Abarca D, Martínez R, Muñoz J, Torres M, Vargas G. 2010. (Eds). Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria. *Rev Tecnológica ESPOL*. 23(2): 64.
- García PF, Lario Y, Fernandez LJ, Sayas E, Pérez AJ, Sendra E. 2005. Effect of orange fiber addition on yogurt color during fermentation and cold storage. En Campoverde FCJ. 2014. Desarrollo de un ingrediente a base de la mezcla de subproductos de mango y guayaba como aporte de fibra. Tesis de licenciatura en ingeniería de la Universidad Católica de Loja. 4.
- Garza PA. 2004. Fibra dietética: conceptos actuales y aplicaciones terapéuticas. *Tecnológico de Monterrey revista de divulgación médico-científica*. 2 (4): 12
- Gee JM, Blackburn NA, Johnson IT. 1983. The influence of guar gum on intestinal cholesterol transport in the rat. En Evans AJ, Hood RL, Oakenfull DG, Sidhu GS. 1992 Relationship between structure and function of dietary fibre: a comparative study of the effects of three galactomannans on cholesterol metabolism in the rat. *British Journal of Nutrition*. 68. 217.
- Gil A. 2010. Composición y calidad nutritiva de los alimentos 2da ed. In Mamani DE, Molina TC. 2016. Calidad proteica y grado de satisfacción de la galleta elaborada a base de mezclas de

harina de tarwi, cushuco, cañihua y gluten. Tesis de licenciatura de la Universidad nacional del Altiplano.

Gilani GS, Cockell KA, Sepehr E. 2005. Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods. En Martínez AO, De Victoria ME. 2006. (Eds). Proteínas y péptidos en nutrición enteral. Nutr Hosp. 21 (2): 1-14.

Giraldo A, Velasco RJ, Villada HS. 2008. Digestibilidad aparente de una harina proveniente de hojas de yuca (*Manihot esculenta* Crantz). Información Tecnológica. 19(1): 11-18.

Global Industry Analysts, Inc. 2016. En Tate&Lyte. 2016. Market growth. Tate y lyte fibres: <http://www.tateandlytefibres.com/global-fibre-market/nutritional-fibre-market-growth>

Goodman B. 2010. Insights into digestion and absorption of major nutrients in humans. Adv Physiol Educ 34: 44–53. doi:10.1152/advan.00094.2009

Gomez E, Tuohy K, Gibson G, Klinder A, Costabile A. 2010. (Eds). In vitro evaluation of the fermentation properties and potential prebiotic activity of Agave fructans. Journal of Applied Microbiology.; 108:2114-2121.

Gomez E, Tuohy K, Gibson G, Klinder A, Costabile A. 2010. In vitro evaluation of the fermentation properties and potential prebiotic activity of Agave fructans. J Appl Microbiol. 108:2114–21.

Gómez MEDB. 2003. Modulação da composição de ácidos graxos poliinsaturados ômega-3 de ovos e tecidos de galinhas poedeiras, através da dieta. En Lenzi AKC, Spreafico FF, Teles BG, Guzmán SMA. 2008. (Eds). Efecto de la semilla de linaza (*linum usitatissimum*) en el crecimiento de ratas wistar. Rev Chil Nutr. 35(4): 444.

González FA. 2012. Caracterización de las propiedades funcionales de fructanos de agave para su uso como sustitutos de grasa en alimentos. Tesis de maestría del Instituto politécnico nacional. 1 p.

González TL, Téllez VA, Sampedro JG, Nájera H. 2007. Las proteínas en la nutrición. Rev salud pública y nutrición. 8(2).

Gonze M, Van der Schueren F. 1997. Sugar-free chocolate. Candy Industry. En Rodríguez R, Jiménez A, Bolaños FJ, Guillén R, Heredia A. 2006. (Eds). Dietary fibre from vegetables products as source of functional ingredients. Trends in food science & technology. 17. 9.

- Gordon DT. 2007. The effects of resistant maltodextrin on blood glucose, insulin and triacylglyceride levels, and fat accumulation after meal feeding in humans. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 303 p.
- Grabitske H, Slavin J. 2009. Gastrointestinal Effects of Low Digestible Carbohydrates. En Refugio Falcón VMR, Barrón HMJ, Romero BAL, Domínguez SMF. 2011. (Eds). Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de dietas con alto contenido de fibra dietaria. Rev Chil Nutr. 38 (3): 371.
- Gray J. 2006. Dietary Fibre: Definition, analysis, physiology and health. En Leyva MK. 2014. Fibras dietarias y su aplicación en el desarrollo tecnológico de productos alimentarios como alternativa de alimentos funcionales. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de México. 29.
- Grigelmo MN, Belloso OM. 1999. The quality of Peach jams stabilized with dietary fiber. En Yangilar F. 2013. (Eds). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. Journal of food and nutrition research. 1(3): 18.
- Grossi GV, Ohaco EH, De Michelis A. 2015. Determinación de fibra dietética total soluble e insoluble en hongos comestibles de cultivo *Pleurotus ostreatus*. Instituto de tecnología agropecuaria. 4
- Guillon F, Champ M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. En Campoverde FCJ. 2014. Desarrollo de un ingrediente a base de la mezcla de subproductos de mango y guayaba como aporte de fibra. Tesis de licenciatura en ingeniería de la Universidad Católica de Loja. 4.
- Guillon F, Champ M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.
- Guillon F, Champ M. 2000. Structural and physical properties of dietary fibres, and consequences of processing on human physiology. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.

- Gunness P, Gidley MJ. 2010. Mechanisms underlying the cholesterol-lowering properties of soluble fibre polysaccharides. *Food and function*. 1(2): 149-155.
- Guzmán CE. 2008. Fibra dietética. En Abarca D, Martínez R, Muñoz J, Torres M, Vargas G. 2010. (Eds). *Residuos de Café, Cacao y Cladodio de Tuna: Fuentes Promisorias de Fibra Dietaria*. *Rev Tecnológica ESPOL*. 23(2): 64.
- Hackler LR. 1978. An Overview of the AACC/ASNT Collaborative Study Protein Quality Evaluation. *Food Technology*, 12, 62-64
- Happich ML, Bodwell CE, Hackler LR, Phillips JG, Derse PH, Elliott JG, Hartnagle RE Jr, Hopkins DT, Kapiszka EL, Mitchell GV, Parsons GF, Prescher EE, Robaidek ES, Womack M. 1984. Net protein ratio data: AACC-ASTM collaborative study. En Sarwar G, Peace RW, Botting HG, Brule D. 1989. (Eds). *Relationship between amino acid scores and protein quality indices based on rat growth*. *Plant foods for human nutrition* 39: 33-44.
- Harmon D. 2007. Experimental approaches to study the nutritional value of foods ingredients for dogs and cats. En Osorio CE, Giraldo CJ, Narváez SW. 2012. *Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina*. *Vet.zootec*. 6(1): 87-97.
- Hashizume C, Okuma K. 2009. Fibersol-2 Resistant Maltodextrin: Functional dietary fiber ingredient. En Sungsoo CS, Samuel P. 2009. *High fiber ingredients: food applications and health benefits*. Boca Raton, USA. CRC press. 63 p.
- Hesser JM. 1994. Applications and usage of dietary fibre in the USA. En Dhingra D, Mona M, Rajput H, Patil R. 2011. (Eds). *Dietary fibre in foods: a review*. *J food sci technol*. 49 (3). 256.
- Hipsley EH. 1953. Dietary fibre and pregnancy toxemia. En Lajolo FM, Menezes EW. 2006. *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. Sao Paulo. Editora de Universidad de Sao Paulo. Cap 3. 81 p.
- Hoffman JR, Falvo MJ. 2004. Protein-wich is best?. *Journal of Sports Science and Medicine*. 3. 119-120.
- Hoseney RC. 1994. *Principles of Cereal Science and Technology, Second Edition*. American Association of Cereal Chemists. En Sciarini LS, Steffolani ME, León AE. 2016. (Eds). *El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan*.

Agriscientia. 33 (2): 61-74

[INIFAP] Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. 2007. Conocimiento y practicas agronómicas para la producción de Agave Tequilana Weber en la zona de denominación de origen del tequila. En Vázquez IG, Herrera AM, Mendoza DF. 2015. (Eds). Cadena de suministro: Inulina de Agave. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 4. <http://www.inifapcirne.gob.mx>

[INSP] Instituto Nacional de Salud Publica. 2017. La dieta de los mexicanos: resultados de la ENSANUT 2012. Gob.mx 2018: <https://www.insp.mx/suplemento-dieta.html>

[INSK] Instituto de Nutrición y Salud Kellogg's. 2009. Órgano Informativo del Instituto de Nutrición y Salud Kellogg's ® sobre la Relación entre la Nutrición y la Salud. Rev Anual Dieta y Salud. 5,13.

Jansen GR. 1978. Biological evaluation of protein quality. En Bodwell CE, Adkins JS, Hopkins DT. Protein quality in humans: Assessment and in vitro estimation. Westport, Connecticut. AVI publishing company. Parte 2. 136, 137 p. Jones JM. 2004. The Carbohydrate Conundrum. En Rayas DP, Romero BAL. 2008. (Eds). Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: Función de salud. Revista mexicana de agronegocios. 23 (1): 614.

Jenkins DJ, Goff DV, Leeds AR y Col. 1976. Unabsorbable carbohydrates and diabetes: decreased post-prandial hiperglycaemia. Lancet 2: 172-4.

Jorgensen H, Zhao XQ, Theil, PK, Gabert VM, Bachknudsen KE. 2003. Energy metabolism and protein balance in growing rats fed different levels of dietary fibre and protein. Archives of animal nutrition. 57(2): 83-89.

Jørgensen H, Zhaoa XQ, Theil PK, Gabert VM, Knudsen BKE. 2003. Energy metabolism and protein balance in growing rats fed different levels of dietary fibre and protein. Arch. Anim. Nutr. 57(2): 83-98. DOI:10.1080/0003942031000107280

Kamal AHM, Kim KH, Shin DH, Seo HS, Shin KH, Park CS, Heo HY, Woo SH. 2009. Proteomics profile of pre-harvest sprouting wheat by using MALDI-TOF mass spectrometry. En Juárez ZN, Bárcenas PME, Hernández LR. 2013. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. Temas selectos de ingeniería de alimentos 8 (1): 79-93.

Kelsay JL, Behall KM, Prather ES. 1978. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. I. Bowel transit time, number of defecations, fecal weight, urinary excretion of energy and nitrogen and apparent digestibilities of energy, nitrogen and fat. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

Kelsay JL, Behall KM, Prather ES. 1979. Effect of fiber from fruits and vegetables on metabolic responses of human subjects. 11. Calcium, magnesium, iron and silicon balances. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

Kelsay JL, Clark WM, Herbst BJ, Prather ES. 1981. Effect of fiber level on bowel function and trace mineral balances of human subjects. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

Kiehm TG, Anderson JW, Ward K. 1976. Beneficial effects of a high carbohydrates, high fiber diet in hyperglycemic men. Am J Clin Nutr. 29: 895-99.

Kies C, Fox HM. 1978. Fiber and protein nutritional status. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

Kochar GK, Sharma KK. 1982. Composition of dietary fibre of some common Indian foods. En Rani B, Kawatra A. 1994. (Eds). Fibre constituents of some foods. Plant Foods for Human Nutrition 45: 343.

Kritchevsky D, Bonfield C. 1995. Dietary fiber in health and disease. In Eastwood MA. 1999. (Eds). Interaction of dietary antioxidants *In Vivo*: How fruit and vegetables prevent disease?. QJ Med. 92: 527

Kumar VA, Banerjee R. 2010. Dietary fiber as functional ingredient in meat products: a novel approach for healthy living a review. Journal of Food Science and Technology. 47 (3): 247-257.

Laghi.I. 2013. Wikipedia la enciclopedia libre. Recuperado de:

https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Cellulose_strand.svg

- Lajolo M, Saura C, Witing P, Wenzel M. 2001. Fibra Dietética en Iberoamérica: Tecnología y salud. Obtención, caracterización, efecto fisiológico y aplicación en alimentos. En Ramírez TEE. 2012. (Eds). Obtención y caracterización de la fibra dietética a partir del bagazo de brócoli. Tesis de licenciatura. Universidad nacional del centro de Perú. Tarma, Perú. 42 p.
- Langlands SJ, Hopkins MJ, Coleman N. 2004. Prebiotic carbohydrates modify the mucosa associated microflora of human large bowel. *Gut*; 53:1610-1615.
- Lara FM, Lara GP, Caridad JM, Pérez MA, Benítez CI. 2017. Avances en la producción de inulina. 37(2): 354. p.
- Lario Y, Sendra E, García PJ, Fuentes C, Sayas BE, Fernández LJ, Pérez AJ. 2004 Preparation of high dietary fiber poder lemon juice by products. En Campoverde FCJ. 2014. Desarrollo de un ingrediente a base de la mezcla de subproductos de mango y guayaba como aporte de fibra. Tesis de licenciatura en ingeniería de la Universidad Católica de Loja. 4.
- Larrauri JA. 1999. New approaches in the preparation of high dietary fibre powders from fruit by product. En Yangilar F. 2013. (Eds). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. *Journal of food and nutrition research*. 1(3): 18.
- Lattimer JM, Haub MD. 2010. Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. *Journal nutrients*. 2. 1271.
- Larrauri JA, Saura-Calixto FD. 1999. Concentrado de fibra dietética antioxidante de uva y su procedimiento de extracción. En Cayo AE, Matos CA. (Eds). Obtención de fibra insoluble a partir de cáscaras de naranja (*Citrus sinensis*). *Revista de investigación universitaria* 1(1):26.
- Lefranc MC, Wils D, Deremaux L, Macioce V, Saniez DMH Roquette group. 2010. Nutriose more than just a soluble fiber. En Van Der Kamp JW, Jones J, McCleary B, Topping D. 2010. Dietary fibre new frontiers for food and health. Netherlands. Wageningen academic publishers. Parte 3. 296 p
- Lehninger Principles of Biochemistry. 5ª ed. Freeman, 2009. Cap 3
- Levrat AM, Remesy C, Demigne C. 1991. High propionic acid fermentations and mineral

- accumulation in the cecum of rats adapted to different levels of inulin. En Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 51, 375
- López G, Ros G, Rincón F, Periago MJ, Martínez C, Ortuño J. 1997. Propiedades funcionales de la fibra dietética. Mecanismos de acción en el tracto gastrointestinal. En Betancur AD, Pérez FV, Guerrero CL. 2003 (Eds). *Fibra dietética y sus beneficios en la alimentación*. Revista de la universidad autónoma de Yucatán. 227. 5.
- López MG, Mancilla MN, Mendoza DG. 2003. Molecular Structures of Fructans from Agave tequilana Weber variation azul. En Araiza SM, De la mora AM, Ogura FT. (Eds). Efecto prebiótico de dextrina modificada e inulina de agave en diferentes cepas de bifidobacterias. Universidad Autonoma de Guadalajara. 2.
- López MG, Mancilla MN, Mendoza DG. 2003. Molecular structures of fructans from Agave tequilana Weber var. azul. En Holscher DH, Bauer LL, Gourineni V, Pelkman LC, Fahey Jr.G, Swanson SK. 2015. (Eds). Agave inulin supplementation affects the fecal microbiota of healthy adults participating in a randomized, double-blind, placebo-controlled, crossover trial. *The journal of nutrition*. 2026.
- López ON, Carriquiry LA, Rodríguez RS, Ramírez SI, Espinosa MJ, Hernández BL, Campirano F, Martínez TB, Rivera JA. 2016. Usual intake of added sugars and saturated fats in high while dietary fiber is low in the mexican population. *The Journal of Nutrition* 146: 1856S. doi:10.3945/jn.115.218214
- Mälkki, Y. 2001. Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. *Cereal Food World*, 46, 196-199.
- Mälkki Y. 2004. Trends in dietary fibre research and development. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. *Dietary fiber components and functions*. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.
- Mamani DE, Molina TC. 2016. Calidad proteica y grado de satisfacción de la galleta elaborada a base de mezclas de harina de tarwi, cushucho, cañihua y gluten. Tesis de licenciatura de la Universidad nacional del Altiplano.

- Mariotti F, Pueyo EM, Tomé D, Benamouzig R, Mahé S. 2001. Guar gum does not impair the absorption and utilization of dietary nitrogen but affects early endogenous urea kinetics in humans. *Am J Clin Nutr.* 74: 487-493.
- Markets and markets. 2017. Mercado de fibras dietéticas por tipo (soluble, insoluble), aplicación (alimentos y bebidas funcionales, productos farmacéuticos, alimentación animal), fuente (cereales y granos, frutas y verduras, leguminosas), y región - Pronóstico global hasta 2022. Top markets report: <https://www.marketsandmarkets.com/Market-Reports/novel-dietary-fibers-market-858.html>
- Marteau P. 2010. Prebiotic and probiotic for gastrointestinal health. *Clin Nutr*; 20(1) :S99-S106.
- Martínez AO, De Victoria ME. 2006. Proteínas y péptidos en nutrición enteral. *Nutr Hosp.* 21 (2): 1-14.
- Martínez JI, Villezca BP. 2005. La alimentación en México un estudio a partir de la encuesta nacional de ingresos y gastos de los hogares y de las hojas de balance alimenticio de la FAO. *Ciencia UANL.* 8(1): 200.
- Martínez RSE. 2001. La Canasta Básica Alimentaria en México, 1980-1998: Contenido y Determinantes. Tesis profesional de licenciatura de la Universidad Autónoma de México. 26-35.
- Maté J. y col. 1996. Fibra dietética en medicina. En Redondo ML. 1999. La fibra terapéutica. Barcelona, España. Ed. Glosa. 51 p.
- Mateu X. 2004. La fibra en la alimentación. In Matos CA, Chambilla ME. 2010. Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Rev Invest cienc tecnol aliment.* 1 (1): 7-8.
- Matos CA, Chambilla ME. 2010. Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Rev Invest cienc tecnol aliment.* 1 (1): 7-8.
- Maynard, L. 1986. Nutrición Animal. In Osorio CE, Giraldo CJ, Narváez SW. 2012. Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. *Vet.zootec.* 6(1): 87-97.

- McIntyre A, Gibson RP, Yolung PG. 1992. Butyrate production from dietary fibre and protection against large bowel cancer in a rat model. *Gut*. 34. 386.
- Meier R, Gassull MA. 2004. Consensus recommendations on the effects and benefits of fibre in clinical practice. En Ferreira RF, Casas CL, Rodríguez RJ. 2015. (Eds). *La fibra de los alimentos en la disminución del riesgo de padecer cáncer colorrectal*. Tesis de licenciatura de la Corporación Universitaria Lasallista. 16.
- Meyer PD. 2004. Nondigestible oligosaccharides as dietary fiber. En Rodríguez R, Jiménez A, Fernández BJ, Guillén R, Heredia A. 2006. (Eds). *Dietary fibre from vegetable products as source of functional ingredients*. *Trends in Food Science & Technology*. 2006. 17: 4.
- Meyer PD. 2004. Nondigestible oligosaccharides as dietary fiber. En Páez HG. 2009. *Beneficio de la fibra dietética en enfermedades crónico-degenerativas*. *Rev Med UV*. 33
- Miller G, Prakash A, Decker E. 2002. Whole grain micronutrients. En Rayas DP, Romero BAL. 2008. (Eds). *Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: Función de salud*. *Revista mexicana de agronegocios*. 23 (1): 616.
- Molina ME, Paz MI. 2007. *La fibra dietética procesada como alimento funcional*. *Ámbito farmacéutico nutrición*. Escuela andaluza de salud pública. consejería de salud. Junta de andalucía. Granada. 26 (1): 70-77.
- Montañez SJ, Venegas GJ, Vivas VM. 2011. Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en las cabezas y en las hojas del Agave Tequilana weber azul. En Arizmendi CD. 2016. (Eds). *Elaboración de polímeros naturales injertados con compuestos antioxidantes y evaluación de sus propiedades funcionales*. Tesis de maestría de la universidad autónoma del estado de México. 8 P.
- Montañez-Soto J., Venegas-González J., Vivar-Vera M, Ramos-Ramírez E. 2011. Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del Agave tequilana Weber azul. *Bioagro*. 23(3):199-206. En Alvarado LE, Orozco HR, Ruíz GI, Paredes IF, Fuentes H. 2017. (Eds). *El 2% de inulina de agave en el alimento del conejo afecta positivamente la digestibilidad y microbiota intestinal*. Universidad de Guadalajara, México.
- Montañez-Soto J., Venegas-González J., Vivar-Vera M, Ramos-Ramírez E. 2011. Extracción, caracterización y cuantificación de los fructanos contenidos en la cabeza y en las hojas del

Agave tequilana Weber azul. 203.

Mundo RV, Shamah LT, Rivera DJ. 2013. Epidemiología de la inseguridad alimentaria en México. En Mundo RV, Vizuet VNI, Martínez DJ, Morales RMC, Pérez ER, Shamah LT. 2018. Salud pública de México. 60(3): 310. <http://doi.org/10.21149/8809>

Muñoz GI, Rodríguez AM, López Mungia CA. 2001. Caracterización enzimática de fructanas. Cartel del XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Disponible en: <https://smbb.mx/congresos%20smbb/morelia07/TRABAJOS/Area_I/Carteles/CI-26.pdf>

Natural Marketing Institute. 2013. Compendio de Encuesta de Tendencia de Salud y Bienestar del Instituto de Marketing Natural:2013. In Tate&Lyte. 2016. Market growth. Tate y lyte fibres: <http://www.tateandlytefibres.com/global-fibre-market/nutritional-fibre-market-growth>

Nelson AJ. 2001. High-fiber ingredients. St. Paul, Minnesota, USA. Eagan Press Handbook Series. 1, 2, 27, 45, 63, 73, 83 pp.

Nelson AM. 2001. High fiber ingredients. En Zuñiga CM. 2005. (Eds). Caracterización de fibra dietaria en orujo y capacidad antioxidante en vino, hollejo y semilla de uva. Universidad de Chile. 20.

Niness KR. 1999. Inulin and oligofructose: what are they?. En Ranawana V. (Eds). Inulin: A Review of its Functional Properties in Relation to Calcium Absorption in Humans. Journal of food and agriculture, 2010. 26.

Nobel PS. 1994. Remarkable Agaves and Cacti. En Bouazi MA, Rassaoui R, Besbes S. 2014. (Eds). Chemical composition, functional properties, and effect of inulin from tunisian Agave americana L. leaves on textural qualities of pectin gel. Journal of chemistry. 1.

Nyman M, Asp NG. 1982. Fermentation of dietary fibre components in the rat intestinal tract. Br. J. Nutr. 47. 357-366.

Ohkuma K, Hanno Y, Inaba K, Matsuda I, Katsuda Y. 1997. Process for preparing dextrin containing food fiber. En Ruíz AM. 2017. Eficacia de una maltodextrina resistente a la digestión sobre el tiempo de tránsito colónico en sujetos sanos. Tesis de doctorado de la Universidad Católica de Murcia. 70.

Ohta A, Ohtsuki M, Baba S, Adachi T, Sakata T, Sakaguchi E. 1995. Calcium and Magnesium

- absorption from the colon and rectum are increased in rats fed fructooligosaccharides. En Coudray C, Bellanger J, Castiglia-Delavaud C, Remesy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. *European Journal of Clinical Nutrition* 51, 375
- Olagnero G, Abad A, Bendersky S, Genevis C, Granzella L. 2007. Alimentos Funcionales: fibras, prebióticos, probióticos y simbióticos. En Leyva MK. 2014. Fibras dietarias y su aplicación en el desarrollo tecnológico de productos alimentarios como alternativa de alimentos funcionales. Tesis de licenciatura de la Universidad Autónoma del Estado de México. 29.
- Ordoñez G, Ortega RS. 2006. Los retos de la política social en la frontera norte de México. En Días GE, Turner BE. 2012. (Eds). Pobreza y política social en México y estados de la frontera norte. *Análisis Económico*: 27(64): 25,26.
- Osorio CE, Giraldo CJ, Narváez SW. 2012. Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina. *Vet.zootec*. 6(1): 87-97.
- Páez HG. 2009. Beneficio de la fibra dietética en enfermedades crónico-degenerativas. *Rev Med UV*. 32, 33.
- Pak N. 2000. La fibra dietética en la alimentación humana, importancia en la salud. *Anales de la Universidad de Chile*. 6 (11): 119-130
- Pérez F, Larqué E, Zamora S. Calidad Nutritiva de los Alimentos. En: Gil A. Tratado de Nutrición. Tomo II. Capítulo 2.18. Grupo Acción Médica. 619-645, Madrid, 2004. In Olza MJ, Porres FJ, Urbano VG, Martínez VE, Gil HA. 2006. Evaluación biológica de la calidad de una mezcla de proteínas para uso en nutrición enteral. *Nutr Hosp*. 23(3): 206-211
- Programa Nacional de Salud 2007-2012. Por un México sano: construyendo alianzas para una mejor salud. Primera edición. 2007. Secretaría de Salud. In INSK. 2009. (Eds). Órgano Informativo del Instituto de Nutrición y Salud Kellogg's® sobre la Relación entre la Nutrición y la Salud. *Rev Anual Dieta y Salud*. 12.
- Prosky L, Asp NG, Schweizer TF, DeVries JW, Furda I. 1987. Determination of insoluble, soluble, and total dietary fiber in foods and food products: interlaboratory study. *Journal Association of Official Analytical Chemists*, 71(5), 1017-1023.

- Prynne CJ, Southgate DAT. 1979. The effects of a supplement of dietary fibre on fecal excretion by human subjects. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.
- PSAN, Plataforma De Seguridad Alimentaria Y Nutricional. 2018. El derecho a la alimentación en México: marco jurídico del derecho a la alimentación. Comunidad de Estados Latinoamericanos y Caribeños. Recuperado de: <https://plataformacelac.org/es/derecho-alimentacion/mex>
- Ransley JK, Donnelly JK, Read NW. 2001. Food and nutritional supplements. Ther role in health disease. Springer. Germany. En Lajolo FM, Menezes EW. 2006. Carbohidratos en alimentos regionals iberoamericanos. Sao Paulo. Editora de Universidad de Sao Paulo. Cap 10. 239 p.
- Rayas DP, Romero BAL. 2008. Fibra a base de frutas, vegetales y cereales: Función de salud. Revista mexicana de agronegocios. 23 (1): 616.
- Read NW. 1998. Laxative effects of undigestible plastic articles. En Redondo ML. 1999. La fibra terapéutica. Barcelona, España. Ed. Glosa. 54, 55 p.
- Redondo ML, Albert TR, Anguera VA, Martínez JJ, Tamarit LM. 2002. La fibra terapéutica 2da. Edición Barcelona, España. Editorial Carlos Manrubia. 22 p.
- Redondo ML. 1999. La fibra terapéutica. Barcelona, España. Ed. Glosa. 54 p.
- Reglero G. 2006. Alimentos funcionales: productos cárnicos. Alimentación nutrición y salud. 13 (3):62
- Reinhard W, Rahavi E, Childs N, White C. 2011. Functional foods: consumer attitudes, perceptions, and behaviors in a growing market. En Muñoz SA, Restrepo DA, Sepúlveda JU. 2012. (Eds) Inulina en algunos derivados cárnicos. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín, 65 (2): 2.
- Reinhold JG, Ismail-Beigi F, Faradji B. 1975. Fiber vs phytate as determinant of the availability of calcium, zinc and iron of breadstuffs. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. British Journal of Nutrition. 68. 45.

- Rivera AJ, Pedraza SL, Aburto CT, Batis C, Sánchez-Pimienta GT, González TC, López ON, Pedroza AT. 2016. Overview of the Dietary Intakes of the Mexican Population: Results from the National Health and Nutrition Survey 2012. *The Journal of Nutrition* 146(9): 1851S–1855S, <https://doi.org/10.3945/jn.115.221275>
- Roberfroid M. 2000. Chicory fructooligosaccharides and the gastrointestinal tract. En Segundo Álvaro Muñoz OSA, Restrepo MDA, Sepúlveda VJU. 2012. (Eds). Revisión: inulina en algunos derivados cárnicos. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*. 65(2): 1.
- Roberfroid BM. 2002. Functional foods: concepts and application to inulin and oligofructose. *British Journal of Nutrition*. 87(2): S139–S143
- Roberfroid M. 2005. Inulin type fructans: functional food ingredients. Boca Raton, USA: CRC Press. 370.
- Rodríguez M, Figueroa V. 1995. Evaluación de la fracción nitrogenada de diferentes alimentos fibrosos y su efecto en la digestibilidad in vitro. *Rev. Computadorizada de Producción Porcina*. 2: 45-49.
- Rodríguez M. 1993. Influencia del tratamiento térmico en la fibra alimentaria y azúcares solubles de productos vegetales. Tesis Doctoral. En Chamorro MA, Mamani CE. 2010. (Eds). Importancia de la fibra dietética, sus propiedades funcionales en la alimentación humana y en la industria alimentaria. *Revista de Investigación en Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 1 (1): 9.
- Rodríguez M. 1993. Influencia del tratamiento térmico en la fibra alimentaria y azúcares solubles de productos vegetales. En Matos CA, Chambilla ME. 2010. Importancia de la Fibra Dietética, sus Propiedades Funcionales en la Alimentación Humana y en la Industria Alimentaria. *Rev Invest cienc tecnol aliment*. 1 (1): 7-8.
- Rodríguez MB, Megías SM, Baena BM. 2003. Alimentos funcionales y nutrición óptima. ¿Cerca o lejos?. *Revista española salud pública*. 77 (3). 317.
- Rodríguez R, Jiménez A, Fernande BJ, Guillén R, Heredia A. 2006. Dietary fibre from vegetables products as source of functional ingredients. *Trends in food science & technology* 17: 13-15.
- Rodríguez RAJ, Fernández BJ, Guillén R, Heredia A. 2006. Dietary Fibre from Vegetable Products

- as a Source of Functional Ingredients. En Yangilar F. 2013. (Eds). The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. *Journal of food and nutrition research*. 1(3): 18.
- Roe DA. 1992. Effects of drugs on vitamin needs. En Lenzi AKC, Spreafico FF, Teles BG, Guzmán SMA. 2008. (Eds). Efecto de la semilla de linaza (*linum usitatissimum*) en el crecimiento de ratas wistar. *Rev Chil Nutr*. 35(4): 444.
- Rojas W, Soto JL, Pinto M, Jager M, Padulosi S. 2010. Granos Andinos: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. 161.
- Rojas W, Soto JL, Pinto M, Jäger M, Padulosi. 2010. Granos Andinos. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity International, Roma, Italia. Cap 12: 152 p.
- Rose. 1804. Neues Allgemeines. In Coussement AP. 1999. Inulin and Oligofructose: Safe Intakes and Legal Status. *J. Nutr*. 129. 1
- Rubio, M. A. (2002). Implicaciones de la fibra en distintas patologías. En Ferreira RF, Casas CL, Rodríguez RJ. 2015. (Eds). La fibra de los alimentos en la disminución del riesgo de padecer cáncer colorrectal. Tesis de licenciatura de la Corporación Universitaria Lasallista. 16.
- Salvador C. Gemma & Bultó S. Lucía 2002. Larousse de la dietética y la nutrición Barcelona, España. SPES editorial. 163 p.
- Sarwar G, Blair R, Friedman M, Gumbmann MR, Hackler LR, Pellett PL, Smith TK. 1984. Inter- and intra-laboratory variability in rat growth assays for estimating protein quality of foods. En Sarwar G, Peace RW, Botting HG, Brule D. 1989. (Eds). Relationship between amino acid scores and protein quality índices base don rat growth. *Plant foods for human nutrition* 39: 33-44.
- Sastre GA. 2003. (Eds). Fibra y prebióticos: conceptos y perspectivas. *Gastroenterol Hepatol* 26(1): 6-12
- Satterlee LD, Kendrick JG, Jewell DK, Browb WD. 1981. Estimating apparent protein digestibility from in vitro assays. En Sarwar G, Peace RW, Botting HG, Brule D. 1989. (Eds). Relationship

- between amino acid scores and protein quality indices based on rat growth. *Plant foods for human nutrition* 39: 33-44.
- Saura F. 1997. La fibra dietética en nutrición y salud. *Alim Nutri Salud*. En García PP y Velasco GC. 2007. (Eds). *Evolución en el conocimiento de la fibra*. *Nutr Hosp*. 22(2):21.
- Saura-Calixto F. 1998. Antioxidant dietary fiber product: A new concept and a potential food ingredient. En Yangilar F. 2013. (Eds). *The application of dietary fibre in food industry: structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review*. *Journal of food and nutrition research*. 1(3): 18.
- Schaafsma 2000. *Criteria and significance of dietary protein sources in humans: the protein digestibility corrected amino acid score*. Wageningen, the Netherlands. American Society for Nutritional Sciences.
- Schaafsma G. 2004. Health claims, options for dietary fibre. En Van Der Kamp JM, Asp NG, Miller J, Schaafsma G. 2004. (Eds.) *Dietary fibre: Bioactive carbohydrates for food and feed*. The Netherlands Wageningen Academic Publisher. 30-31 p.
- Schulz M, Nothlings U, Hoffmann K, Bergmann MM, Boeing H. 2005. Identification of a Food Pattern Characterized by High-Fiber and Low-Fat Food Choices Associated with Low Prospective Weight Change in the EPIC-Potsdam Cohort. Socarrás SM, Bolet AM. 2010. *Alimentación saludable y nutrición en las enfermedades cardiovasculares*. *Rev Cubana de investigaciones biomédicas*. 29(3): 359
- Scrimshaw NS, Young VR. 1979. Soy protein in adult human nutrition: a review with a new data. In Luna JA. 2007. *Composición y procesamiento de la soya para consumo humano*. *Investigación y ciencia* 37: 38.
- Shah N, Atallah MT, Mahoney RR, Pellett PL. 1982. Effect of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. *Journal of Nutrition*. 112: 658-66.
- Shah N, Atallah MT, Mahoney RR, Pellett PL. 1982. Effect of dietary fiber components on fecal nitrogen excretion and protein utilization in growing rats. En Falcón VMR. 2015. (Eds). *Efecto de la Fibra Dietética y sus Fracciones Sobre la Calidad Proteica de Alimentos Basados en Cereales de Amplio Consumo y con Distintos Niveles de Proteína, Mediante Bioensayos de Calidad Proteica en Ratas*. Tesis de doctorado de la Universidad de Sonora, México. 26.

- Shamah LT, Mundo RV, Rivera DJA. 2014. La magnitud de la inseguridad alimentaria en México: su relación con el estado de nutrición y con factores socioeconómicos. *Salud pública de México*. 56(1). S81.
- Shan L, Molberg O, Parrot I, Hausch F, Filiz F, Gray GM, y col. 2002. Structural basis for gluten intolerance in celiac sprue. En Parada A, Magdalena A. 2010 (Eds). *El gluten. Su historia y efectos en la enfermedad celíaca*. In *rev Med chile* 138: 1322.
- Shewry PR, Halford NG. 2002. Cereal seed storage proteins: Structures, properties and role in grain utilization. *Journal of Experimental Botany*, 53: 947-958.
- Smith LC, Hadden L. 2000. Explaining child malnutrition in developing countries, a cross-country analysis. En Ayala GEA, Durán HAD. 2015. (Eds). *Infraestructura, ingreso y desnutrición infantil en México*. *Salud pública de México*. 57(1): 23.
- Smits CHM, Annisson, G. 1996. *World Poultry Sci. J.* 52. En Rodriguez PP, Garcia J, de Blas C. 1998. (Eds). *Fibra soluble y su implicación en nutrición animal: Enzimas y probióticos*. XIV Curso de especialización: *Avances en nutrición y alimentación animal*. 13.
- Southgate DAT, Durnin JGVA. 1970. Calorie conversion factors: An experimental reassessment of the factors used in the calculation of the energy values of human diets. In *Human Health*. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). *Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets*. *British Journal of Nutrition*. 68. 45.
- Souza G, Valle JLE, Moreno I. 2000. Efeitos dos componentes da soja e seus derivados na alimentação humana. En Lenzi AKC, Spreafico FF, Teles BG, Guzmán SMA. 2008. (Eds). *Efecto de la semilla de linaza (linum usitatissimum) en el crecimiento de ratas wistar*. *Rev Chil Nutr*. 35(4): 444.
- Stein HH, Fuller MF, Moughan PJ y col. 2007. Definition of apparent, true, and standardized ileal digestibility of amino acids in pigs. In Osorio CE, Giraldo CJ, Narváez SW. 2012. *Metodologías para determinar la digestibilidad de los alimentos utilizados en la alimentación canina*. *Vet.zootec*. 6(1): 87-97.
- Sungsoo CS, Samuel P. 2009. *High fiber ingredients: food applications and health benefits*. Boca Raton, USA. CRC press. 19-41-263 p.

- Sungsoo S, Samuel P. 2009. Fiber ingredients: food applications and health benefits. Boca Raton, Florida, United States of America. CRC press. 4 p.
- Swinbanks D, O'Brien J. 1993. Japan explores the boundary between food and medicine. En Arai S. 2002. (Eds). Global view on functional foods: Asian perspectives. British Journal of Nutrition. 88(2): S139–S143.
- Thebaudin J, Lefebvre AC. 1997. Dietary fibre: Natural and technological interes: En Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. Journal of food and nutrition research. 1(3): 17
- Tobal CF. 1999. Evaluación de los alimentos a través de los diferentes métodos de digestibilidad. Universidad de la Pampa. 94-126.
- Toriz G, Delgado E, Zúñiga V. 2007 A proposed chemical structure for fructans from blue agave plant (Tequilana weber var. azul). En Araiza SM, De la mora AM, Ogura FT. (Eds). Efecto prebiótico de dextrina modificada e inulina de agave en diferentes cepas de bifidobacterias. Universidad Autónoma de Guadalajara. 2.
- Torres TF. 2002. Aspectos regionales de la seguridad alimentaria en México. Revista de información y análisis. 22. 20.
- Trinidad PT, Wolever TMS, Thompson LU. 1993. Interactive effects of Ca and SCVA on absorption in the distal colon of man. En Coudray C, Bellanger J, Delavaud CC, Rémésy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. European Journal of clinical nutrition. 57. 375.
- Trinidad PT, Wolever TMS, Thompson LU. 1996. Effect of acetate and propionate on calcium absorption from the rectum and distal colon of humans. En Coudray C, Bellanger J, Delavaud CC, Rémésy C, Vermorel M, Rayssiguier Y. 1997. (Eds). Effect of soluble or partly soluble dietary fibres supplementation on absorption and balance of calcium, magnesium, iron and zinc in healthy young men. European Journal of clinical nutrition. 57. 375.
- Trowell H, Godding E, Spiller G, Briggs G. 1978. Fibre bibliographies and terminology. In AACC. 2001. Report of the Dietary Fiber Definition Committee to the Board of Directors of the

- American Association Of Cereal Chemists. American Association Of Cereal Chemists. 46 (3): 112.
- Tucker LA, Thomas KS. 2009. Increasing total fiber intake reduces risk of weight and fat gains in women. En Lattimer JM, Haub MD. 2010. (Eds) Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health. Journal nutrients. 2. 1267.
- Ulloa JA, Espinosa AH, Cruz RG, Rosas UP, Ulloa RB, Ramírez RJ. 2010. Revista fuente. 5. 60.
- Valencia FE, Román MO. 2004. La fibra dietaria como alimento funcional. En Román MMO, Valencia GFE. 2006. Evaluación de galletas con fibra de cereales como alimento funcional. Revista de la facultad de química farmacéutica. 13(2): 37.
- Valencia FE. 2006. Evaluación de la capacidad fermentativa de diferentes fuentes de fibra dietaria. En Román MMO, Valencia GFE. 2006. Evaluación de galletas con fibra de cereales como alimento funcional. Revista de la facultad de química farmacéutica. 13(2): 37.
- Valenzuela B, Maiz GA. 2006. role of dietary fiber in enteral nutrition. Rev Chil Nutr. 33 (2): 342-311. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182006000400002>.
- Van Loo J, Coussement P, De Leenheer L, Hoebregs H, Smits G. 1995. Inulin and oligofructose in the western diets. En Ellegard L, Andersson H, Bosaeus I.1997. (Eds). Inulin and oligofructose do not influence the absorption of cholesterol, or the excretion of cholesterol, Ca, Mg, Zn, Fe, or bile acids but increases energy excretion in ileostomy subjects. European journal of clinical nutrition. 51. 1.
- Van OFM, Uil DIG, Mol IW, Köhler BL, Heymans HS, Mulder CJ. 1997. The daily gluten intake in relatives of patients with coeliac disease compared with that of the general Dutch population. En Caminero FA. 2013. Estudio de la actividad metabólica de la microbiota intestinal asociada al consumo de gluten en humanos. Tesis de doctorado de la Universidad de León. 4.
- Vázquez IG, Herrera AM, Mendoza DF. 2015. Cadena de suministro: Inulina de Agave. Universidad Autónoma de Tamaulipas. 4.
- Villegas B. 2008. Efecto de la adición de inulina en las características físicas y sensoriales de batidos lácteos. En Castellanos L, Murillo K, Ortega D, Velásquez I, Ramírez NJ. 2016. (Eds). Empleo de inulina en matrices alimentarias. La Alimentación Latinoamericana. 325. 66.

- Wang JF, Wan M, Lin DG, Jensen BB, Zhu YH. 2006. The effect of source of dietary fiber and starch on ileal and fecal amino acid digestibility in growing pigs. *Journal of Animal Science*. 19 (7): 1040 -1046.
- Wieser H. 2007. Chemistry of gluten protein. En Juárez ZN, Bárcenas PME, Hernández LR. 2013. El grano de trigo: características generales y algunas problemáticas y soluciones a su almacenamiento. *Temas selectos de ingeniería de alimentos* 8 (1): 79-93.
- Wolever TMS, Cohen Z, Thompson LU, Jenkins MJ, Prokipchuck EJ. & World Health Organization 1973. Trace Elements. In Human Health. En Rosado IJ, López P, Morales M, Muñoz E, Allen Lindsay. 1992. (Eds). Bioavailability of energy, nitrogen, fat, zinc, iron and calcium from rural and urban Mexican diets. *British Journal of Nutrition*. 68. 45.
- Wong JM, Jenkins DJ. 2007. Carbohydrate digestibility and metabolic effects. En Lattimer JM, Haub MD. 2010. (Eds). *Effects of Dietary Fiber and Its Components on Metabolic Health*. *Journal nutrients*. 2. 1270.
- Wong KH, Cheung PCK. 2003. Effect of fiber-rich brown seaweeds on protein bioavailability of casein in growing rats. *International Journal of Food Science and Nutrition*. 54(4): 269-279.
- Wong KH, Cheung PCK. 2003. Effect of fiber-rich brown seaweeds on protein bioavailability of casein in growing rats. En Falcón VMR, Barrón HJM, Romero BAL, Domínguez SMF. 2011. Efecto adverso en la calidad proteica de los alimentos de dietas con alto contenido de fibra dietaria. *Rev Chil Nutr Vol*. 38 (3): 369, 370.
- Wood PJ, Beer MU, Butler G. 2000. Evaluation of the role of concentration and molecular weight of oat β -glucan in determining effect of viscosity on plasma glucose and insulin following an oral glucose load. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. *Dietary fiber components and functions*. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.
- Wood PJ. 2002. Relationship between solution properties of cereal β -glucans and physiological effects. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. *Dietary fiber components and functions*. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.
- Wood PJ. 2007. Rheology and physiology of soluble fibers: what are the relationships and what use can be made of them? En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. *Dietary fiber components and functions*. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 113–126 p.

Würsch P, Pi-Sunyer FX. 1997. The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. A review with special emphasis on cereals rich in β -glucans. En Salovaara H, Gates F, Tenkanen M. 2007. Dietary fiber components and functions. Netherlands. Wageningen: Academic publishers. 92 p.

Yangilar F. 2013. The application of dietary fibre in food industry: Structural features, effects on health and definition, obtaining and analysis of dietary fibre: A review. Journal of food and nutrition research. 1(3): 13-23.