



"El saber de mis hijos
hará mi grandeza"

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS
Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

**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

Como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

Presenta:

María del Refugio Falcón Villa

Universidad de Sonora

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

UNIVERSIDAD DE SONORA
DIVISIÓN DE CIENCIAS BIOLÓGICAS Y DE LA SALUD
DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO EN ALIMENTOS
Programa de Posgrado en Ciencias y Tecnología de Alimentos

Título de la tesis

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

Como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTOR EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS

Presenta:

María del Refugio Falcón Villa


APROBACIÓN

Título de la tesis

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

Autor

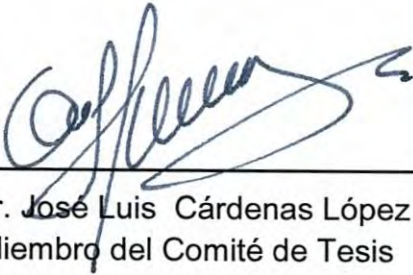

María del Refugio Falcón Villa



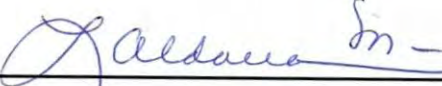
Dr. Jesús Manuel Barrón Hoyos
Director de Tesis



Dr. Francisco Javier Cinco Moroyoqui
Miembro del Comité de Tesis



Dr. José Luis Cárdenas López
Miembro del Comité de Tesis



Dra. María Lourdes Aldana Madrid
Miembro del Comité de Tesis

DERECHOS DE AUTOR

El presente trabajo de tesis se presenta como uno de los requisitos parciales para la obtención del grado de **Doctor en Ciencias de los Alimentos** de la Universidad de Sonora.

Se deposita en la biblioteca del Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos para ponerla a disposición de los interesados. Se permiten citas breves del material contenido en la tesis sin permiso del autor, siempre y cuando se otorgue el crédito correspondiente. Para reproducir, o en su caso referirse a este documento en forma parcial o total, se deberá solicitar la autorización al Coordinador del Programa del Posgrado.

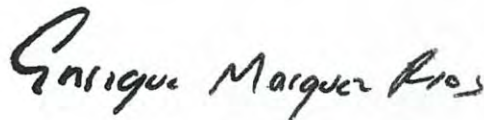
Bajo cualquier otra circunstancia se debe solicitar permiso directamente al autor.

Atentamente

Autor



María del Refugio Falcón Villa



Dr. Enrique Márquez Ríos
Coordinador del Programa de Posgrado

Hermosillo, Sonora

Enero, 2015

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad de Sonora y al Departamento de Investigación y Posgrado en Alimentos, por permitirme culminar mis estudios de doctorado.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por los medios otorgados para continuar con mi desarrollo profesional.

Deseo expresar mi agradecimiento al director de esta tesis doctoral, Dr. Jesús Manuel Barrón Hoyos, por la dedicación y apoyo que ha brindado a este trabajo.

A los miembros del comité de tesis, Dr. Francisco Javier Cinco Moroyoqui, Dr. José Luis Cárdenas López y a la Dra. María Lourdes Aldana Madrid, por su tiempo, consejos, conocimientos y motivación transmitida.

Asimismo, quiero expresar mi gratitud a todas aquellas personas que de muy diversas formas me han apoyado y han estado dispuestas a ayudarme durante el desarrollo de este proyecto.

Gracias a mis amigos, que siempre me han prestado un gran apoyo moral y humano.

Pero, sobre todo, gracias a mi esposo, a mi hijo y a mi hija, por su paciencia, comprensión y solidaridad con este proyecto. Sin su apoyo este trabajo nunca se habría escrito y por eso, este trabajo es también el suyo.

A todos, muchas gracias.

RESUMEN

La política comercial de mercado abierto y la economía mundial tienden a incrementar la disponibilidad de alimentos en los mercados mexicanos, lo que resulta en una gran variedad de productos comerciales como los cereales para desayuno clasificados como "altos en fibra" (CCAF). Además la industria alimentaria ha desarrollado productos en los cuales se han empleado ingredientes altos en fibra (IAF). Un consumo excesivo de productos altos en fibra puede tener impacto en la digestibilidad y la utilización de la proteína. Esta investigación tiene como propósito evaluar el contenido de fibra dietética (FD) total, sus fracciones y β -glucanos en 13 CCAF, así como evaluar su calidad proteica mediante bioensayos de rata. Otro objetivo fue evaluar el efecto de tres IAF sobre la calidad proteica de dietas a base de caseína y gluten. Se elaboraron seis dietas, tres de caseína y tres de gluten, con tres distintos IAF. Las evaluaciones fueron Razón Neta de Proteína (RNP), y Digestibilidad: de Materia Seca (DMS), Aparente (DAN) y Verdadera (DVN). Los CCAF presentaron diferencia significativa en FD-insoluble (7.42-39.82%), FD-soluble (2.53-12.85%) y β -glucanos (0.45-4.96%). Los resultados mostraron que los CCAF con diferente tipo y nivel de FD presentaron diferencia significativa en la digestibilidad (63.5-83.8% para DAN y 65.7-86.0% para DVN), y redujo la utilización de proteína. Los bioensayos de dietas de caseína y gluten con IAF mostraron diferencia significativa en las DAN y DVN, (85.5-94.2%, para caseína y 87.8-93.8%, para gluten). La adición del IAF insoluble mostró diferencia significativa en la RNP en las dietas de gluten. La adición de IAF redujo la digestibilidad, debida a un aumento en el nitrógeno fecal promovido tanto por el nitrógeno dietario como por el endógeno.

ABSTRACT

Trade policy of open market and the world economy tend to increase the availability of food in Mexican markets, resulting in a variety of commercial products such as breakfast cereals classified as "high in fiber" (CCHF). Also the food industry has developed products in which high fiber ingredients (HFI) have been used. Excessive consumption of high-fiber products can have an impact on the digestibility and protein utilization. This research aims to evaluate the content of total dietary fiber (DF), its fractions and β -glucans in 13 CCHF and evaluate their protein quality by rat bioassays. Another objective was to evaluate the effect of three HFI on protein quality of diets based on casein and gluten. Six diets, three with casein and three with gluten with three different HFI were developed. Evaluations were Net Protein Ratio (NPR) and *in vivo* Digestibility: Dry Matter (DMD), Apparent Nitrogen (AND) and True Nitrogen (TND). Results were analyzed by JMP (statistical software) with 95% significance. The CCHF showed significant difference in DF-insoluble content (7.42-39.82%), DF-soluble (2.53-12.85%) and β -glucans (0.45-4.96%). Results from eight independent experiments showed that commercial breakfast cereals with different type and level of dietary fiber showed significant differences in the digestibility (63.5-83.8% for DAN and 65.7-86.0% for DVN) and the protein utilization. Bioassays of casein and gluten based diets with IAF showed significant differences in DAN and DVN (85.5-94.2%, 87.8-93.8% for casein and gluten). The addition of insoluble HFI showed significant difference in the NPR with respect to the HFI added in gluten. HFI adding reduced digestibility due to increased fecal nitrogen promoted by the dietary and endogenous nitrogen.

CONTENIDO

	Página
LISTA DE FIGURAS.....	ix
LISTA DE TABLAS.....	x
INTRODUCCIÓN.....	1
REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
Fibra Dietética.....	5
Definición de Fibra Dietética.....	5
Clasificación de Fibra Dietética.....	7
Solubilidad de la fibra dietética.....	8
Fibras no viscosas o estructurales.....	8
Fibras viscosas.....	9
Fermentabilidad de la fibra dietética.....	9
Principales Componentes de la Fibra Dietética.....	10
Polisacáridos no almidón.....	10
Celulosa.....	11
Hemicelulosa.....	11
Lignina.....	13
Pectina.....	13
β-glucanos.....	14
Gomas.....	14
Mucilagos.....	14
Oligosacáridos resistentes.....	15
Sustancia asociadas a polisacáridos no almidonoso.....	15
Almidones resistentes.....	15
Almidones atrapados.....	16
Almidones cristalizados.....	16
Almidones retrogradados.....	16
Almidones modificados.....	16
Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética.....	17
Capacidad de retención de agua.....	18
Capacidad de retención de lípidos.....	18
Capacidad quelante.....	19
Capacidad de formar geles.....	19
Capacidad fermentativa.....	19
Beneficios de la Fibra Dietética.....	19
Fibra Dietética en la Prevención de Algunas Enfermedades.....	21
Agente reductor de hiperlipidemias e hipercolesterolemias.....	21
Mejoras en la salud gastrointestinal.....	23
Mejoras en la tolerancia a glucosa y la respuesta a insulina.....	24
Reducción del riesgo de desarrollar algunos cánceres.....	24
Control de peso.....	25
Recomendaciones de Fibra Dietética.....	25

Efecto de la Fibra Dietética en la Utilización de Nitrógeno Proteico	26
Calidad Proteica.....	29
Factores que Afectan la Calidad Proteica.....	30
Calidad de la fuente proteica.....	31
Nivel de proteína en la dieta.....	31
Evaluación de Calidad Proteica.....	31
Metodología <i>In-vitro</i>	32
Metodología enzimática.....	32
Metodología basada en la calificación química.....	33
Digestibilidad de la proteína corregida por la calificación de aminoácidos.....	33
Métodos computacionales.....	34
Métodos <i>in-vivo</i> para determinar calidad proteica.....	34
Razón de eficiencia proteica.....	35
Razón neta de proteína.....	35
Valor biológico.....	35
Utilización neta de proteína.....	36
HIPÓTESIS.....	37
OBJETIVOS.....	38
Objetivo General.....	38
Objetivos Específicos.....	38
MATERIALES Y MÉTODOS.....	39
Descripción del Estudio.....	39
Descripción de las Muestras.....	39
Selección de Alimentos Comerciales Basados en Cereales.....	39
Calidad Proteica de Cereales Comerciales Altos en Fibra.....	41
Efecto de la Adición de Ingredientes Altos en Fibra a Dietas de Caseína y Gluten sobre su Calidad Proteica.....	42
Análisis Químico.....	43
Fibra Dietética.....	45
Bioensayos de Calidad Proteica.....	46
Elaboración de Dietas de Cereales Comerciales Altos en Fibra....	46
Elaboración de Dietas de Caseína y Gluten con Ingredientes Altos en Fibra.....	47
Dietas sintéticas de caseína.....	47
Dietas sintéticas de gluten.....	47
Condiciones del Bioensayo.....	48
Formación de Grupos Experimentales.....	48
Acondicionamiento de las Ratas.....	49
Diseño Experimental para Dietas de Prueba.....	49
Parámetros del Bioensayo.....	49
Alimento consumido.....	50
Peso total de heces.....	50
Ganancia en peso.....	50
Estudio Metabólico.....	50
Digestibilidad de materia seca.....	51

Digestibilidad aparente de nitrógeno.....	51
Digestibilidad verdadera de nitrógeno.....	51
Razón neta de proteína.....	52
Diseño Experimental.....	53
Análisis Estadístico.....	53
RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
Selección de Alimentos Comerciales Basados en Cereales.....	55
Composición Química de Cereales Comerciales Altos en Fibra.....	55
Fibra Dietética Insoluble de Cereales Comerciales Altos en Fibra..	58
Fibra Dietética Soluble de Cereales Comerciales Altos en Fibra...	58
β -glucanos de Cereales Comerciales Altos en Fibra.....	60
Calidad Proteica de Cereales Comerciales Altos en Fibra.....	61
Evaluación Biológica de Cereales Comerciales Altos en Fibra.....	62
Dietas experimentales de cereales comerciales.....	62
Digestibilidad de materia seca de cereales comerciales.....	62
Digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de cereales comerciales.....	65
Razón neta de proteína de cereales comerciales.....	68
Efecto de la Adición de Ingredientes Altos en Fibra a Dietas de Caseína y Gluten Sobre su Calidad Proteica.....	70
Composición Química de Fibras Comerciales y sus Dietas.....	70
Fibras dietéticas comerciales.....	70
Dietas experimentales de caseína y gluten.....	71
Dietas de caseína con los ingredientes comerciales.....	71
Dietas de gluten con los ingredientes comerciales.....	71
Parámetros del Bioensayo de Dietas de Caseína y Gluten.....	73
Consumo de alimento de ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten.....	73
Total de heces excretadas por ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten.....	78
Aumento en peso de ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten.....	82
Indicadores de Calidad Proteica de Dietas de Caseína y Gluten...	87
Digestibilidad de materia seca de dietas de caseína y gluten...	87
Digestibilidad aparente de nitrógeno de dietas de caseína y gluten.....	89
Digestibilidad verdadera de nitrógeno de dietas de caseína y gluten.....	92
Razón neta de proteína de dietas de caseína y gluten.....	93
CONCLUSIONES	98
RECOMENDACIONES.....	100
REFERENCIAS.....	101
ANEXO 1.....	114
ANEXO 2.....	119

LISTA DE FIGURAS

FIGURA		Página
1	Estructuras químicas de: Celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, β -glucanos, goma guar e inulina.....	12
2	Consumo de alimento de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína (a) y gluten (b) con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones.....	76
3	Consumo de alimento de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno y los ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones.....	79
4	Cantidad de heces de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína (a) y gluten (b) con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones....	80
5	Cantidad de heces de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno y los ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones.....	83
6	Aumento de peso de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína y gluten con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones.....	85
7	Pérdida de peso de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno y los ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones	86

LISTA DE TABLAS

TABLA		Página
1	Nomenclatura de las muestras de los cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México.....	40
2	Nomenclatura de los ingredientes comerciales altos en fibra y de las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con los ingredientes altos en fibra, utilizadas durante el bioensayo.....	44
3	Composición química de cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México.....	56
4	Contenido de fibra dietética insoluble, soluble, total y β -glucanos de cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México.....	59
5	Contenido de proteína, fibra dietética insoluble, soluble y total de dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México	63
6	Consumo de alimento, total de heces y digestibilidad de materia seca de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México	64
7	Consumo de nitrógeno, nitrógeno excretado y digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México	67
8	Aumento en peso, proteína consumida y razón neta de proteína de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México	69

9	Contenido de proteína y fibra dietética insoluble, soluble y total de ingredientes comerciales altos en fibra.....	72
10	Composición de las dietas sintéticas basadas en caseína y gluten con ingredientes altos en fibras empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína.....	74
11	Contenido de proteína y fibra dietética de dietas sintéticas basadas en caseína y gluten con ingredientes altos en fibras empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína.....	75
12	Consumo de alimento, heces totales y digestibilidad de materia seca de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales.....	88
13	Consumo de nitrógeno, nitrógeno excretado y digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales ...	91
14	Aumento en peso, proteína consumida y razón neta de proteína de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales.....	94

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los hábitos alimentarios se han modificado, del clásico producto hecho en casa a productos más elaborados, por lo que el consumo de fibra dietética ha disminuido, llegando incluso a ser insuficiente. (Chawla & Patil, 2010).

La deficiencia de fibra en la dieta, basándose en diversos estudios epidemiológicos, puede ser uno de los factores determinantes que propicie el desarrollo de diversas enfermedades degenerativas cómo lo son el cáncer en colon, trastornos intestinales, diabetes, problemas cardiovasculares, las cuáles son muy frecuentes en los países desarrollados (Saura-Calixto, 2006). Por ello es que las organizaciones internacionales de la salud han elaborado estrategias para reducir la incidencia de estas enfermedades. Entre estas se encuentran las de adoptar un estilo de vida saludable, que deberá incluir una dieta rica en fibra dietética (De la Plaza et al., 2008). Este tipo de estrategias, se dan mediante una serie de campañas publicitarias, que propician el incremento en la demanda de productos ricos en fibra y esto a su vez obliga a la industria alimentaria a elaborar una gran variedad de productos altos en fibra (Pérez-Álvarez, 2008).

La inclusión de la fibra en la dieta cómo parte de una vida sana, es debido a los múltiples beneficios que ésta aporta a la salud, cómo es el que favorezca la reducción de riesgos en el desarrollo de enfermedades como: hipertensión, diabetes, obesidad, cardiovasculares y ciertos desordenes gastrointestinales. Además mejora las concentraciones lipídicas en suero, baja la presión sanguínea, mejora el control de la glucosa en diabetes, promueve regularidad, ayuda en la pérdida de peso y parece mejorar el sistema inmune (Anderson et al., 2009). Sin embargo, aumentar la cantidad de fibra de manera desmedida en la dieta puede también tener efectos adversos en la digestión, absorción y utilización de la proteína de los alimentos, afectando su calidad proteica. Por lo que hay que tener cuidado en ello, lo cual no se menciona en la campañas publicitarias de varias compañías encargadas de elaborar alimentos "ricos en fibra".

Wong & Cheung (2003) reportaron que, efectivamente el consumo de fibra favorece algunos aspectos relacionados con la salud, pero sí la cantidad 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 fecal disminuyendo la digestibilidad de nitrógeno dietario tanto en humanos, como en animales de laboratorio (Mariotti et al., 2001; Frias & Sgarbieri, 1998; Shah et al., 1982; Jorgensen et al., 2003; Feddern et al., 2008). Además, se ha detectado que no sólo el nivel, sino también las características físicoquímicas de la fuente fibrosa, influyen en la digestibilidad tanto del nitrógeno, cómo de otros nutrimentos (Larduet & Savón, 1995; Sauer et al., 1991). 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 & Figueroa, 1995).

La producción de alimentos basados en granos enteros, ricos en fibra, aumentó en un 100% a nivel mundial. En el 2002 había solo 231 tipos de productos basados en granos enteros disponibles en el mercado mundial, para el 2010 el número se elevó a 3,272 (Feng, 2011). Por otra parte los productores de alimentos han respondido a la demanda de los consumidores por alimentos con mayor contenido de fibra desarrollando productos en los cuales ingredientes altos en fibra dietética son usados. Estos ingredientes tienen propiedades únicas que elevan el nivel de la fibra. Existen diferentes tipos de ingredientes altos en fibra para elegir en el desarrollo de un producto, que pueden variar desde harinas de cereales enteros hasta la porción exterior de mariscos, incluyendo los ingredientes elaborados en forma sintética (Nelson, 2001).

La oferta de una gran variedad de productos comerciales elaborados a base de cereales de granos enteros altos en fibra y 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, por lo que en este trabajo se plantea evaluar el 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.

Además se plantea evaluar el efecto de tres productos comerciales altos en fibra utilizados para aumentar el contenido de fibra de los alimentos procesados sobre la excreción de nitrógeno fecal y la digestibilidad en dietas a base de caseína y gluten, mediante bioensayos.

REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

En los últimos años, los acontecimientos de la civilización relacionados con enfermedades, tales como la diabetes y la obesidad, se han suscitado a ritmos dramáticos. Esto ha fomentado la necesidad de acceder a un conocimiento creciente del consumidor sobre la relación entre dieta y salud. Los avances en nutrición y en tecnología alimentaria han permitido diseñar una amplia gama de alimentos ricos en fibra a partir de sus propiedades tecnológicas. La industria alimentaria está respondiendo a esta tendencia mediante la introducción de productos con imagen saludable, incluyendo productos con fibra dietética.

La fibra dietética es un importante aspecto de la dieta y la nutrición. Desempeña un papel importante en muchas funciones fisiológicas digestivas, como la de proveer volumen para la eliminación de residuos y la regulación de los niveles de glucosa y de lípidos en sangre. Tradicionalmente, los consumidores han optado por alimentos tales como granos enteros, frutas y verduras como fuentes de fibra dietética. Recientemente, los fabricantes de alimentos han respondido a la demanda de consumo de alimentos con más alto contenido de fibra mediante el desarrollo de productos en los cuales los ingredientes altos en fibra son empleados. Estos ingredientes tienen propiedades únicas que elevan el nivel de la fibra y sirven también para otras funciones en la formulación de productos alimenticios. Los ingredientes altos en fibra pueden variar desde la harina de cereales enteros hasta la parte exterior de los mariscos. Los ingredientes sintéticos tales como povidexos son también una fuente de ingredientes altos en fibra. Existen cerca de 50 diferentes tipos de ingredientes altos en fibra para seleccionar durante el desarrollo de un producto, una amplia variedad de ingredientes que abarca una amplia gama de funcionalidad.

Fibra Dietética

Definición de Fibra Dietética

En la actualidad muchos aspectos de las propiedades y funciones de la fibra dietética no están muy claros. Los botánicos definen a la fibra como una parte de los órganos de la planta. El análisis químico la define como un grupo de compuestos químicos y los consumidores como una sustancia con efectos benéficos a la salud del humano, mientras que para los dietistas y la industria química la fibra dietética es un término de mercadeo (Rodríguez et al., 2006). El concepto de fibra dietética puede tener varias definiciones, dependiendo del estudio específico, muchos investigadores la definen en términos de sus efectos en el tracto gastrointestinal humano y no algo puramente químico o físico o basado en la metodología analítica empleada para su determinación (García-Ochoa et al., 2008). El término de fibra dietética fue usado por primera vez por Hipsley en 1953, quien discutió su significado diciendo que la fibra dietética es un término abreviado para los constituyentes no digeribles que componen la pared celular de las plantas, desde entonces muchas definiciones de fibra dietética han surgido por varios investigadores (Viuda-Martos et al., 2010), tradicionalmente la fibra dietética fue definida como polisacáridos y lignina de la planta los cuales son resistentes a la hidrólisis por las enzimas digestivas del humano (Trowell et al., 1976). Esta definición ha cambiado con el tiempo en 1985 la asociación Health and Welfare Canada define la fibra dietética como “los componentes endógenos del material de la planta en la dieta que son resistentes a la digestión por enzimas producidas en humanos”. Estos son predominantemente polisacáridos no-almidón y lignina, y pueden incluir sustancias asociadas. Stear (1990), define la fibra dietética como la fracción del alimento que no es enzimáticamente degradada dentro del tracto gastro-alimentario humano y está compuesta principalmente de celulosa y lignina, además de hemicelulosa, pectinas, gomas y otros carbohidratos. Para Selvendran & Robertson (1994), fibra dietética es “el grupo de polisacáridos no-almidón y lignina, los cuales incluyen varios polisacáridos indigeribles, además de los principales componentes de la pared

celular". Prosky (2001), define la fibra dietética como "aquella fracción de la parte comestible de las plantas o sus extractos o análogos sintéticos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado, generalmente con fermentación parcial o completa en el intestino delgado. En 1998 se reunió una comisión de la Asociación Americana de Químicos en Cereales (AACC) para revisar y desarrollar una definición de fibra dietética, subsecuentemente en el año 2000 la define como "las partes comestibles de las plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con una fermentación parcial o completa en el intestino grueso", incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina, y sustancias asociadas de la planta (Tunland & Meyer, 2002; Van der Kamp et al., 2004), que promueven efectos fisiológicos beneficiosos tales como laxación, y/o atenuación del colesterol de la sangre, y/o atenuación de la glucosa en sangre (AACC 2001).

El Instituto de Medicina (2002), da la definición de fibra dietética como "carbohidratos no-digeribles y lignina que están intrínsecos o intactos en las plantas". Las fibras adicionadas consisten de aislados, carbohidratos no-digeribles que tienen efectos fisiológicos en humanos. La fibra total es la suma de la fibra dietética y de las fibras adicionadas.

En el Reino Unido el Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos (IFST) en el 2007, define fibra dietética como "material del alimento, particularmente parte de la planta, que no es hidrolizado por enzimas secretadas por el tracto digestivo humano, pero puede ser digerida por la microflora en el intestino. Los componentes que caen dentro de esta definición incluyen a polisacáridos no-almidón (PNA) tales como celulosa, algunas hemicelulosas, gomas y pectinas, así como lignina, dextrinas resistentes y almidones resistentes. Para la Comisión Europea (2008), fibra dietética significa polímeros de carbohidratos con 3 o más unidades monoméricas las cuales no son digeridas ni absorbidas en el intestino delgado humano y pertenecen a las siguientes categorías: Polímeros de carbohidratos comestibles presentes naturalmente en el alimento consumido; Polímeros de carbohidratos comestibles que han sido obtenidos de los alimentos por medios físicos, enzimáticos o químicos.

Polímeros de carbohidratos sintéticos comestibles, que tienen un efecto fisiológico benéfico, demostrado por evidencia científica generalmente aceptada.

Así el concepto de fibra ha evolucionado y han surgido controversias al respecto. Dada la confusión generada por conflictos en las definiciones y el papel potencialmente importante de la fibra en proteger y manejar un amplio rango de enfermedades, en la reunión de Sudáfrica (2009), del Comité de Nutrición en Alimentos de Usos Específicos, Codex Alimentarius Committee on Nutrition on Foods for Special Dietary Uses (CCNFSDU), se logró un importante consenso. En esta reunión la Organización Mundial de Salud (WHO) y la Organización de Alimentos y Agricultura (FAO), definieron fibra dietética como polímeros de carbohidratos con 10 o más unidades monoméricas, las cuales no son hidrolizadas por enzimas endógenas en el intestino delgado de humanos y pertenecen a las siguientes categorías: Los polímeros de carbohidratos comestibles presentes naturalmente en el alimento que se consume; los polímeros de carbohidratos los cuales han sido obtenidos de los alimentos por medios físicos, enzimáticos o químicos y los polímeros de carbohidratos sintéticos, los cuales han mostrado tener un efecto fisiológico de beneficio para la salud, demostrado por evidencia científica generalmente aceptada por autoridades competentes (Code Alimentarius Comisión, 2009). En esta reunión se estableció que la nueva definición Codex podría ser usada para medidas, etiquetado de alimentos y para establecer referencias en los valores de nutrientes (Cummings et al., 2009).

Con las nuevas definiciones, el número de sustancias que se incluyen en el concepto de fibra ha aumentado y es probable que la investigación que se está llevando a cabo en este campo permita que nuevos productos puedan ser incluidos en el concepto de fibra dietética.

Clasificación de Fibra Dietética

La fibra dietética puede ser clasificada de varias maneras, en base a la fuente de origen pueden ser categorizada en polisacáridos de las plantas, polisacáridos de los animales y polisacáridos derivados de fuentes nativas o sintéticas. En base a su

estructura, los polisacáridos pueden ser categorizados en polisacáridos con estructura molecular lineal o no lineal. En base a su solubilidad, puede ser insoluble o soluble. Otras formas de agrupar pueden ser por sus propiedades, sus aplicaciones y de acuerdo a las bases de la química del polisacárido (BeMiller, 2001).

La fibra dietética está compuesta por fibra dietética total (FDT), la cual incluye la fibra dietética insoluble (FDI) y la soluble (FDS) (Wang et al., 2002). Su solubilidad se refiere simplemente a las fibras que son dispersas en agua (Figuerola et al., 2005). Originalmente se pensó que esta categorización podría proveer un camino sencillo para predecir las funciones fisiológicas, pero esto no siempre ha sido el caso (Gallaher & Schneeman, 2001).

Solubilidad de la fibra dietética

La fibra dietética, aunque no sea dietéticamente esencial, cumple una serie de funciones benéficas para la salud. Si bien, son numerosos los elementos que están integrados en el concepto de fibra, como se mencionó anteriormente, no hay una clasificación única. Para efectos dinámicos, se clasificara en fibra soluble y en fibra insoluble. Esta clasificación se basa en la separación química manteniendo unas condiciones controladas de pH y de enzimas que intentan simular las condiciones fisiológicas (AACC, 2001). Estas son propiedades de la fibra y son la base de sus beneficios fisiológicos. El grado de solubilidad en agua es muy variable para las distintas fibras.

Fibras no viscosas o estructurales. Lignina, celulosa y algunas hemicelulosas son insolubles en agua. Los vegetales y los granos de cereales son especialmente ricos en fibras insolubles en agua, con cantidades más grandes en trigo y maíz. La fibra insoluble en agua es capaz de retener el agua en su matriz estructural formando mezclas de baja viscosidad; esto produce un aumento de la masa fecal que acelera el tránsito intestinal. Los componentes de este tipo de fibra son poco fermentables y resisten la acción de los microorganismos del intestino (Serra et al., 2006). 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 (Escudero & González, 2006). Los componentes de la fibra insoluble son: Celulosa, hemicelulosa y Lignina.

Fibras viscosas. Forman geles de manera natural (pectinas, gomas, mucilagos, polisacáridos de algas, algunos polisacáridos de almacenamiento y algunas hemicelulosas) son solubles en agua. Los alimentos ricos en fibra soluble son frijoles secos, avena, cebada y algunas frutas y vegetales (Grigelmo-Miguel et al., 1999). En contacto con el agua se disuelven formando un retículo de gran viscosidad (gel). Son muy fermentables por los microorganismos intestinales, por lo que se produce gran cantidad de gas en el intestino. Al ser muy fermentables favorecen la creación de flora bacteriana por lo que este tipo de fibras también aumentan el volumen de las heces y disminuyen su consistencia (Serra et al., 2006). Los efectos derivados de la viscosidad de la fibra son los responsables de sus acciones sobre el metabolismo lipídico e hidrogenado (Escudero & González, 2006). Además, existen sustancias análogas a la fibra que corresponden a la inulina, fructooligosacáridos, almidón resistente y azúcares no digeribles, las cuales en su mayoría son solubles en agua (Grabitske & Slavin, 2009).

Fermentabilidad de la fibra dietética

La fermentación es el proceso de digestión que se lleva a cabo en condiciones anaerobias en el intestino grueso donde la fibra llega inalterada, en donde las bacterias del colon, con sus numerosas enzimas de gran actividad metabólica, pueden digerirla en mayor o menor medida dependiendo de su estructura. La fermentabilidad es la propiedad más importante de un gran número de fibras, ya que de ella derivan multitud de efectos tanto locales como sistémicos. La fermentabilidad está relacionada con la solubilidad de cada fibra. En general, se acepta que la fibra soluble es viscosa y fermentable, en cambio la insoluble no es viscosa y es escasamente fermentable. Como resultado de esta fermentación bacteriana, se producen gases; hidrógeno, dióxido de carbono, metano; y ácidos grasos de cadena

corta (AGCC) como acétato, propionato y butirato (Cummings, 2001; Grabitske & Slavin, 2009). Estos sustratos tienen importantes efectos sobre el colonocito, ya que los AGCC inducen crecimiento y reparación de la mucosa colónica. El butirato es el sustrato energético preferencial de los colonocitos. Todos los tipos de fibra, a excepción de la lignina, pueden ser fermentadas por las bacterias intestinales, aunque en general las solubles lo son en mayor cantidad que las insolubles. La celulosa tiene una capacidad de fermentación entre el 20 y el 80%; la hemicelulosa del 60 al 90%; la goma guar, el almidón resistente y los fructooligosacáridos tienen una capacidad del 100% (Escudero & González, 2006). Este proceso es fundamental, ya que gracias a él se produce el mantenimiento y el desarrollo de la flora bacteriana, como también de la integridad y fisiología de las células epiteliales, lo que es relevante para la absorción y metabolismo de nutrientes (Valenzuela & Maiz, 2006). Tanto la fibra dietética soluble como la insoluble, están asociadas con importantes beneficios a la salud (Gajula et al., 2008).

Principales Componentes de la Fibra Dietética

La fibra dietética puede ser dividida en 4 principales categorías: Polisacáridos no almidón (PSNA) teniendo de un 11.8 a 16.4 g/día del total de la fibra dietética consumida en la dieta. Estos vienen predominantemente de cereales y vegetales, los cuales contribuyen con aproximadamente del 40% al 50% de fibra dietética. El total de PSNA puede ser categorizado en PSNA insolubles y PSNA solubles, los cuales pueden estar en un rango de 6.5% a 7.0% y de 5.3% a 8.7% respectivamente. Aparte del total de PSNA otros componentes diferentes son inulina y fructooligosacáridos (FOSS), almidón resistente (AR), y lignina, los cuales contribuyen de un 2% a 12%, 1.5% a 15% y de 1.0% a 1.4% respectivamente, del total de consumo de fibra dietética (aproximadamente 16.3 a 43.4 g/día) (Green, 2000).

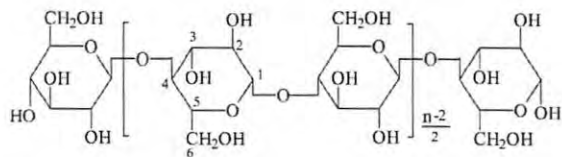
Polisacáridos no almidón

Los principales componentes de la fibra dietética han sido estudiados en sus características y propiedades, estos incluyen a los polisacáridos no almidonosos. Los polisacáridos son todos los polímeros de carbohidratos que contienen al menos

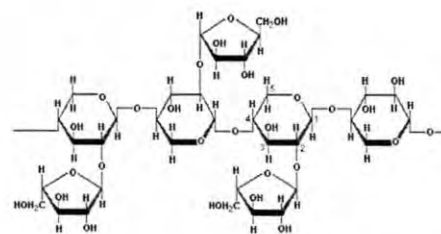
veinte residuos de monosacáridos. El almidón digerido y absorbido en el intestino delgado es un polisacárido, por ello se utiliza el término polisacáridos no almidón para aquellos que llegan al colon y poseen los efectos fisiológicos de la fibra. Podríamos clasificarlos en celulosa, β -glucanos, hemicelulosas, pectinas y análogos, gomas y mucílagos.

Celulosa. Es el componente estructural primario de la pared celular de las plantas y es uno de los compuestos orgánicos más abundantes. Este es un polímero lineal, no ramificado de unidades de glucosa, es un polisacárido compuesto del monosacárido glucosa en enlaces glucosídicos β 1-4 (Figura 1) (Wardlaw, 2005). La celulosa nativa puede tener entre 10,000 – 15,000 unidades por cadena. Las cadenas lineales de celulosa pueden enlazar hidrógenos unas con otras para formar microfibrillas cristalinas inflexibles muy rígidas hasta de 25 nanómetros de diámetro, o formar una estructura de aproximadamente de 30-100 cadenas de ancho (McDougall et al., 1996). Esta estructura le da a la celulosa un carácter fuerte, denso, parcialmente cristalino, química y enzimáticamente resistente. La celulosa es insoluble en agua caliente o fría y en soluciones diluidas ácidos o bases. Es un compuesto muy higroscópico, se hincha pero no se disuelve en agua ni en la mayoría de los disolventes (Paster et al., 2003). La celulosa es resistente a la degradación por las enzimas de los humanos, pero las celulasas de los microorganismos (presentes en el intestino grueso de humanos) pueden atacar el enlace glucosídico β 1-4

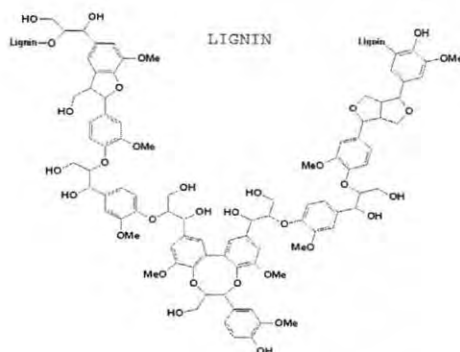
Hemicelulosa. Las estructuras de las hemicelulosas son más complejas y variadas que las de celulosa. En términos generales las hemicelulosas son polisacáridos con varias unidades diferentes de monosacáridos, las cuales pueden formar individualmente o combinadas el esqueleto del polímero. Pueden también contener diferentes tipos de unidades de cadenas laterales, haciendo más difícil su definición. Tradicionalmente se han descrito a las hemicelulosas como insolubles en agua y en soluciones diluidas de ácidos pero solubles en soluciones diluidas de bases, lo que las distingue de la celulosa. Al igual que la celulosa, esta se encuentra en la pared de las células vegetales. Sin embargo, no es un único compuesto, sino un conjunto



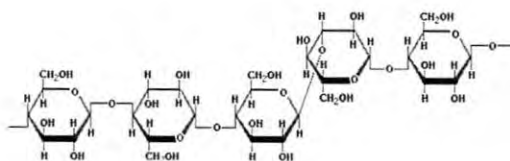
Estructura de celulosa



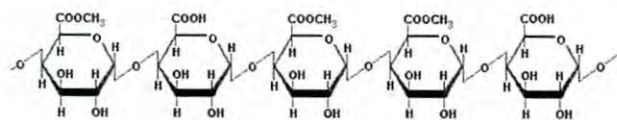
Estructura de hemicelulosa



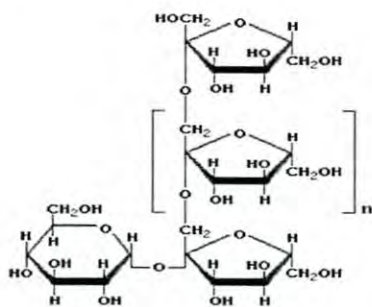
Estructura de la lignina



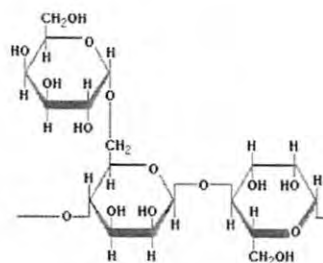
Estructura de β -glucanos



Estructura de una pectina



Estructura de inulina



Estructura de goma guar

Figura 1. Estructuras químicas de: Celulosa, hemicelulosa, lignina, pectina, β -glucanos, goma guar e inulina (Hashizume & Okuma, 2009).

de polímeros, como arabinogalactanos, xiloglucanos, xilosa, galactosa, manosa, glucosa y otros monosacáridos unidos entre sí (Reddy & Yang, 2005). El nombre deriva a que todos estos componentes están íntimamente relacionados con la celulosa en la pared celular. Las hemicelulosas son extraídas de la pared celular de las plantas empleando una base después de que la pectina es removida (McDougall et al., 1996).

La hemicelulosa varía ampliamente en su estructura, su esqueleto de unidades de monosacáridos consiste de enlaces glucosídico β 1-4 de glucosa, xilosa, galactosa, manosa o arabinosa sola o combinadas (Figura 1). La longitud de la cadena de los polímeros de hemicelulosa puede variar de 50 a 200 unidades de monosacáridos. Las unidades de cadenas laterales de los polímeros pueden consistir de ácidos urónicos como ácidos manurónico, galacturónico y glucurónico. No se digiere en el intestino delgado del humano, aunque sí se desdobra parcialmente en el colon por la acción de los microorganismos (Carbonell et al., 2002; Wardlaw, 2005).

Lignina. No es un polisacárido sino polímeros que resultan de la unión de varios alcoholes fenilpropílicos (p-coumarilo, coniferilo y alcohol sinapílico) (Figura 1); contribuyen a dar rigidez a la pared celular haciéndola resistente a impactos y flexiones. La lignificación de los tejidos también permite mayor resistencia al ataque de los microorganismos. La lignina no se digiere ni se absorbe ni tampoco es atacada por la microflora bacteriana del colon. Una de sus propiedades más interesantes es su capacidad de unirse a los ácidos biliares y al colesterol retrasando o disminuyendo su absorción en el intestino delgado (Escudero & González, 2006). La lignina es un componente alimentario menor. Muchas verduras, hortalizas y frutas contienen un 0,3% de lignina, en especial en estado de maduración. El salvado de cereales puede llegar a un 3% de contenido en lignina.

Pectina. Las pectinas son la fuente más grande de fibra soluble proveniente de alimentos vegetales. Son polímeros de ácido galacturónico con enlaces glucosídicos α -1,4. La ramnosa forma parte de este esqueleto. Las cadenas laterales consisten de galactosa, glucosa, ramnosa y arabinosa. Son generalmente solubles en agua, la

solubilidad de las pectinas dependen de los constituyentes de la cadena lateral. Los monómeros del esqueleto del ácido galacturónico pueden estar también en forma de metil ester (Figura 1). A medida que el número de grupos en forma de metil ester aumenta, la solubilidad disminuye (Nelson, 2001). Forma geles viscosos hidrofílicos, en presencia de azúcar, calor y ácidos débiles. Están presentes en los tejidos suaves de frutas. (García et al., 1995)

β-glucanos. Son una mezcla indigerible de polímeros de glucosas con enlaces β ($\beta \rightarrow 1-3$ y $\beta \rightarrow 1-4$) (Figura 1). La presencia de estos enlaces hace que la cadena de polímeros sea menos lineal y más soluble que la celulosa. Los β -glucanos son referidos como gomas o mucilagos debido a que ellos se hidratan muy bien, formando soluciones viscosas (Carbonell et al., 2002). Los granos son la principal fuente de β -glucanos; cebada y avena en particular contienen grandes cantidades.

Gomas. Esta categoría abarca una gran variedad de polímeros que son solubles en agua. Especies diferentes de plantas también contienen diferentes tipos y concentraciones de gomas. Los polímeros en general están compuestos de monosacáridos y ácidos urónicos formando el esqueleto y las cadenas laterales (Figura 1). Son polisacáridos complejos dispersables en agua y utilizados frecuentemente en la industria de alimentos como espesantes, aglutinantes y estabilizantes; la fibra consiste de enlaces 1-4 monopiranosos con cadenas laterales de 1-6 galactosa, en una proporción de manosa a galactosa de 2:1. Se hidrata fácilmente en agua fría dando soluciones altamente viscosas (Theuwissen & Mensink, 2008).

Mucílagos. Son polisacáridos hidrosolubles presentes en muchas semillas, capaces de absorber entre 60 y 100 veces su peso en agua formando geles. Están formados por cadenas de arabinoxilanos muy ramificados (Carbonell et al., 2002). Se encuentran de manera característica en algas marinas (Wardlaw, 2005).

Oligosacáridos resistentes

Hidratos de carbono con un nivel de polimerización menor, tienen de tres a diez moléculas de monosacáridos. Se dividen en fructooligosacáridos (FOS) e inulina, galactooligosacáridos (GOS), xilooligosacáridos (XOS), isomaltooligosacáridos (IMOS). La inulina es un polímero lineal de fructosa que no contiene cadenas laterales, ni tampoco grupos de ácidos urónicos (Figura 1); por lo que es diferente a las gomas descritas anteriormente. El grado de polimerización de la cadena de la inulina puede variar de 20 a 60 monómeros de fructosa. Como la inulina, también los FOS son polímeros lineales de fructosa, contienen alrededor de 10 unidades de fructosa, por consecuencia los FOS se pueden considerar como una subcategoría de la inulina. Los FOS son oligosacáridos naturales que contienen fructosa se encuentran en plantas como la achicoria (raíz), cebolla, ajo, esparrago, plátano y alcachofras entre muchos otros (Nelson, 2001).

Sustancias asociadas a polisacáridos no almidonoso

Cutina y suberina son poliésteres de ácidos grasos e hidroxiácidos de cadena larga y fenoles. Las ceras vegetales son ésteres de ácidos grasos con alcoholes. Todas son muy insolubles en agua. Se encuentran en la parte externa de los vegetales como cubierta hidrófoba.

Almidones resistentes

Se incluyen en la definición de la fibra dietética bajo el nombre de los carbohidratos análogos. Los carbohidratos análogos son materiales no necesariamente intrínsecos a una parte de una planta consumida, pero éstos tienen comportamiento de digestión y fermentación característico de la fibra. La degradación enzimática del almidón en el cuerpo libera la glucosa que es rápidamente absorbida en el intestino delgado. Sin embargo, una porción pequeña, pero variable de almidón dietético es resistente a la hidrólisis por las enzimas digestivas. Esta fracción llamada almidón resistente se define fisiológicamente como la suma de almidón y de productos de la degradación

del almidón no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos. Clasificación para almidones resistentes:

Almidones atrapados (RS1). Los RS1 son los almidones que físicamente son inaccesibles debido a su encapsulación dentro de las semillas o de las paredes de células gruesas, típicas de muchas legumbres, granos y semillas partidas. La cantidad de RS1 en alimentos es variable y depende del grado de proceso mecánico y la cocción que los alimentos experimentan.

Almidones cristalizados (RS2). Incluye los gránulos resistentes del almidón o los gránulos sin gelatinizar que son resistentes a la digestión por la alfa amilasa. Su resistencia puede ser debida a su alta densidad o a algunas características intrínsecas de la estructura cristalina del gránulo del almidón.

Almidones retrogradados (RS3). Almidones que cambian su conformación ante fenómenos como el calor o el frío. Al calentar el almidón en presencia de agua se produce una distorsión de las cadenas de polisacáridos adquiriendo una conformación al azar, este proceso se denomina gelatinización. Al enfriarse comienza un proceso de recristalización, llamado retrogradación. Este fenómeno es responsable por ejemplo del endurecimiento del pan. Sus fuentes son pan, copos de cereales, patatas cocidas y enfriadas y alimentos precocinados. Es el almidón indigerible. La amilosa retrogradada es resistente a la amilasa pancreática (Tovar et al., 2006).

Almidones modificados (RS4). Es el almidón modificado químicamente de forma industrial, que exhibe resistencia a la digestión de la amilasa. Un entrecruzamiento o la hidroxipropilación de las cadenas puede reducir la digestibilidad de la formación de los enlaces glicosídicos con excepción del alfa 1.4 o el alfa 1.6 que durante la caramelización o reacciones de Maillard son formados. Se encuentra en los alimentos procesados como pasteles, aderezos industriales y alimentos infantiles.

Estudios recientes señalan que la cantidad de almidón que alcanza el intestino grueso puede ser de 4 a 5 g/día, aunque en países donde la ingesta de hidratos de

carbono es mayor, esta cantidad puede ser más elevada. Este almidón se comporta en el colon como un sustrato importante para la fermentación bacteriana colónica.

Los hidratos de carbono sintéticos, son hidratos de carbono sintetizados artificialmente pero que tienen características de fibra dietética: Polidextrosa, metilcelulosa, carboximetilcelulosa, hidroximetilpropilcelulosa y otros derivados de la celulosa; Curdlan, escleroglucano y análogos, oligosacáridos sintéticos.

Las fibras de origen animal, son sustancias análogas a los hidratos de carbono que se encuentran principalmente en alimentos de origen animal, como la quitina y el quitosano que forman parte del esqueleto de los crustáceos y de la membrana celular de ciertos hongos (Sebti et al., 2005).

Propiedades Funcionales de la Fibra Dietética

Las propiedades funcionales de las fibras de las plantas dependen de la proporción de la fibra dietética insoluble y la soluble, tamaño de partícula, condiciones de extracción y la fuente de origen (Jaime et al., 2002). Desde el punto de vista tecnológico, la dinámica de la viscosidad, la habilidad de gelificación, las propiedades de hidratación y las características viscoelásticas de la fibra dietética insoluble y soluble, tienen influencia en la funcionalidad de los alimentos suplementados con fibra (Collar & Angioloni, 2010).

Las funciones fisiológicas de la fibra dietética son atribuidas a sus propiedades fisicoquímicas, capacidad de retención de agua, propiedades de enlazar grasas y susceptibilidad a la degradación o fermentación bacteriana (Dikerman & Fahey, 2006).

La fibra dietética de los cereales es usada más frecuentemente que la de las frutas; sin embargo, éstas tienen en general mejor calidad nutricional que las encontradas en los cereales, debido a su contenido significativo de compuestos bioactivos asociados (como los flavonoides, carotenoides y otros), así como una composición más balanceada, altos contenidos de fibra, una mejor proporción de fibra insoluble y soluble, mejor capacidad de retención de agua y grasa, bajo valor de energía

metabólica, fermentabilidad colónica y bajo contenido de ácido fítico (Chau & Huang, 2003; Figuerola et al., 2005).

Capacidad de retención de agua

Hace referencia a su capacidad de hidratación, la cual resulta en la formación de un gel. Este efecto tiene repercusiones determinantes en la absorción de nutrimentos, la cual se ve generalmente disminuida debido a la interacción de nutrimentos solubles en agua en la matriz del gel o mediante el incremento en la viscosidad del contenido intestinal. La capacidad de retención de agua produce cambios en el tiempo de tránsito intestinal y el vaciamiento gástrico y es la causante principal en el aumento en el peso de la materia fecal. Las pectinas, mucílagos y hemicelulosa son las fracciones con mayor capacidad de retención de agua. La propiedad más importante desde el aspecto tecnológico es la capacidad para enlazar el agua, y ésta depende de varios factores: *Tamaño de partícula*. Sangnark & Noomhorm (2003), reportaron que una disminución en el tamaño de partícula estaba asociada con una reducción en la capacidad de retención de agua. *Procesamiento*. Los lavados incrementa la capacidad de retención de agua, probablemente debida a la remoción de azúcares. *Tipo de fibra*. Las fibras solubles poseen una mayor capacidad de retención de agua que las fibras insolubles.

Capacidad de retención de lípidos

Es una propiedad importante. Representa la capacidad de la fibra para enlazar grasas, incluyendo ácidos biliares, colesterol y otros compuestos tóxicos, es otra de las propiedades de la fibra que tiene consecuencias fisiológicas de importancia. Las ligninas y pectinas parecen de las fracciones más importantes en lo que se refiere a adsorber ácidos biliares. El incremento en la excreción fecal de ácidos biliares, como consecuencia de su mayor adsorción a la fibra, está directamente relacionada con la capacidad de reducir los niveles de colesterol plasmático. Esta capacidad depende de factores como: *Porosidad*. La porosidad de la fibra es más importante que la afinidad molecular para enlazar la grasa (Nelson, 2001). *Tamaño de partícula*. A

más bajo tamaño de partícula más grande capacidad de retención de grasas. Los lavados no afectan la capacidad de retención de grasas (Lario et al., 2004).

Capacidad quelante

Las propiedades quelantes de la fibra dietética dependen de la estructura química y de la masa de los componentes. La hemicelulosa y las pectinas tienen una notable capacidad de enlazar metales pesados (Nawirska & Kwasniewska, 2005). La capacidad quelante de las preparaciones se ve influenciada por el origen de la fibra dietética (composición fraccional), condiciones experimentales (pH, temperatura), y el tipo de metal que está siendo investigado (Nawirska & Oszmianski, 2001).

Capacidad de formar geles

Gel es el nombre dado a una asociación de unidades de polímeros para formar una red en la cual el agua y otros solutos están incluidos. Muchas fibras solubles forman geles, entre ellas esta carrageninas y pectinas. La capacidad para formar un gel y las características de ese gel, dependerán de un número de factores incluyendo concentración, temperatura, presencia de ciertos iones y pHs (Borderías et al., 2005).

Capacidad fermentativa

La fibra por definición no puede ser degradada por las enzimas del intestino delgado de los mamíferos. Sin embargo es degradada mediante fermentación en el intestino grueso. Las consecuencias fisiológicas de la fermentación colónica son la producción de AGCC, acidificación colónica y producción de gases (Rosado, 1991). Las fibras pueden fermentar a varios grados dependiendo del tipo de fibra. Las celulosas fermentan a muy bajo grado, y las pectinas son completamente fermentables (Gallaher & Schneeman, 2003).

Beneficios de la Fibra Dietética

La fibra juega un papel importante en todas las funciones del sistema digestivo, desde la masticación hasta la evacuación de las heces. Las dietas altas en fibra requieren de más tiempo de masticación, lo que disminuye la velocidad de deglución,

implicando una mayor salivación, lo que repercute en la mejora de la higiene bucal. A nivel estomacal, las fibras solubles (por su viscosidad), retardan el vaciamiento gástrico y aumentan su distensión, prolongando la sensación de saciedad (Escudero & González, 2006).

El consumo de fibra mejora el estreñimiento leve y moderado, debido al incremento de la masa fecal; la fibra altamente fermentable, es útil en los casos de diarrea ya que con la producción de ácidos grasos de cadena corta son absorbidos junto con sodio y agua; también la fibra, ayuda a disminuir la presión intraluminal del colon, evitando la formación sacular a través de la pared intestinal, dado que en padecimientos como la diverticulosis, el colon responde con la generación de contracciones más fuertes cuando existe un residuo insuficiente para poder propulsar el pequeño volumen del contenido intestinal (Escudero & González, 2006).

Una de las principales propiedades conocidas de la fibra insoluble es la regulación intestinal que está dada por su capacidad de absorber agua. Esta capacidad de retención de agua provoca un incremento de la cantidad de heces mayor cuanto mayor sea la capacidad de retención y un menor tiempo de tránsito intestinal provocando una menor absorción de energía debido a la formación de soluciones viscosas que dificultan esta absorción, haciendo lento el tránsito a través del intestino delgado, lo que ayuda al control de la obesidad (Carbonell et al., 2002).

La fibra insoluble no suele disminuir los niveles de glucosa o colesterol en sangre, mientras que la fibra soluble se vuelve viscosa o elástica cuando se mezcla con agua, lo que incrementa el tiempo de tránsito intestinal, normaliza la glucosa sanguínea (al hacer más lenta su absorción) y la respuesta a la insulina, retrasando el vaciamiento gástrico. Estas acciones reducen las concentraciones posprandiales de glucosa en sangre y de colesterol, metas importantes en el tratamiento de la diabetes (Verdú, 2009).

El efecto de la fibra soluble sobre la reducción de los lípidos es probablemente el mejor conocido. El consumo regular de 20-30 gramos por día de fibra total, puede

reducir entre un 12% y un 20% el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Escudero & González, 2006).

La fibra aumenta la excreción y disminuye la presión en el colon, por lo que tiene acción terapéutica sobre la diverticulosis, que está relacionada con el volumen de masa fecal, a menor volumen mayor probabilidad de desarrollar este padecimiento, que se ha asociado con dietas bajas en fibra (Carbonell et al., 2002).

Otro aspecto importante es con respecto al cáncer colorrectal, se consideraba que los efectos sobre el bolo fecal y la velocidad de tránsito intestinal que provocaba la fibra, podían ser la causa de su beneficio pero, actualmente, existen cada vez más pruebas de que los ácidos grasos de cadena corta y en especial el butirato, son los que pueden tener una función protectora por sus efectos sobre la proliferación celular, la apoptosis y la expresión genética (Escudero & González, 2006).

Fibra Dietética en la Prevención de Algunas Enfermedades

Agente reductor de hiperlipidemias e hipercolesterolemias

Evidencias sugieren que el incremento en el consumo de fibra dietética insoluble y soluble pueden directamente impactar el riesgo a desarrollar ECV señalando factores de riesgo tales como niveles elevados de colesterol y de lípidos de baja densidad (LBD) en suero (Chau et al., 2004; Kendall et al., 2009). Los resultados de numerosos estudios clínicos y epidemiológicos han sido tan convincentes de que consumos moderados o altos de fibra dietética pueden efectivamente bajar el riesgo de ECV mediante la acción en el colesterol de LBD. Se ha demostrado que un 1% de reducción en los niveles de colesterol de LBD en suero corresponden del 1% al 2% en la reducción de eventos de ECV, haciendo al colesterol de LBD un excelente biomarcador intermediario para ensayos de riesgo de ECV (Kendall et al., 2009).

El exacto mecanismo mediante el cual la fibra dietética baja los niveles de colesterol de LBD en suero no es conocido. Evidencias sugieren que ellas pueden interferir con el metabolismo de lípidos y/o ácido biliar. Las propiedades hipocolesterolémicas de algunas fibras dietéticas están asociadas con las fracciones de la fibra solubles en

agua como el ácido urónico, glucomananas y galactomananas (Trinidad et al., 2006). El ácido urónico y las galactomananas no son digeridos en el intestino delgado, pero son metanolizados por la microflora en el intestino grueso y producen ácidos grasos de cadena corta como el acetato, propionato y butirato que contribuyen a bajar los niveles de colesterol en suero: el butirato es primeramente metabolizado por las células de la mucosa colónica, mientras que el acetato y el propionato son rápidamente absorbidos. Hipotéticamente la producción de ácidos grasos de cadena corta y en particular cambios en la proporción propionato/acetato, pueden influir en el metabolismo de lípidos (Trinidad et al., 2006; Theuwissen & Mensink, 2008). Almidones de frijol bajaron los niveles de colesterol total, colesterol-LMBD, y colesterol-LBD en suero, incrementó la concentración de ácidos grasos de cadena corta en heces (en particular la concentración de ácidos butírico) e incremento la excreción de esterol neutro fecal (Martínez-Flores et al., 2004).

Otros mecanismos sugeridos incluyen la inhibición de la producción de lipoproteínas hepáticas y/o la síntesis de colesterol por productos de la fermentación y el retraso de absorción de macronutrientes guiando a una incrementada sensibilidad de insulina (Lunn y Buttris, 2007; Theuwissen & Mensink, 2008). Mun y colaboradores (2005), reportaron que la reducción en los niveles de colesterol y otros lípidos por la fibra dietética, puede ser consecuencia de un incremento en la viscosidad de la fase acuosa, una alteración en la ruptura de la gota o fusionar la cinética y reducir la absorción de lípidos, colesterol y ácidos biliares.

Para Lairon et al. (2007), las fibras dietéticas pueden afectar la digestión o absorción de lípidos en el intestino delgado a través de una variedad de mecanismos fisicoquímicos: (1) Interacción directa con lipasa: las fibras dietéticas pueden interactuar directamente con la lipasa y/o co-lipasa y así reducir la actividad de la enzima (Klinkesorn & McClemens, 2009); (2) Formación de una membrana protectora alrededor de las gotas de lípidos: las fibras dietéticas pueden adsorber alrededor de las gotas lípidos y formar una cubierta protectora que la previene de la lipasa/colipasa del contacto cercano con el sustrato lípido dentro de las gotas (Mun et al., 2006); (3) Enlazando sales biliares: algunas fibras dietéticas enlazan sales

biliares, las cuales pueden prevenirlas desde la emulsificación de lípidos en el intestino delgado o por el transporte de productos de la digestión de lípidos desde las gotas a la mucosa intestinal (Thongngam & Maclemens, 2005); y (4) Agrandar la viscosidad: muchas fibras dietéticas incrementan la viscosidad de las soluciones acuosas alrededor de las gotas de lípido, lo cual pueden alterar la eficiencia de la ruptura de la gota y fusionar en el estómago y en el intestino delgado (Gallaher & Schneeman, 2003).

Mejoras en la salud gastrointestinal

El hecho de que la fibra pueda enlazar una gran cantidad de agua la hace altamente útil desde el punto de vista fisiológico, ya que ésta engrandece el volumen de la fase acuosa del bolo alimenticio y disminuye la absorción de nutrientes en el intestino (Gallaher & Schneeman, 1986b). Es reconocido que el papel quimoprotector tradicional de la fibra dietética el cual consiste de masa fecal, tránsito rápido, aumento de volumen fecal y la frecuencia de las evacuaciones, pudiera tener beneficios adicionales (Cummings, 2001; Spiller & Spiller, 2001). Estas propiedades promotoras de la salud podrían incluir la actividad prebiótica de los efectos protectores de la célula de antioxidantes que pueden ser liberados en el colon después de la fermentación por la flora del intestino (Ferguson et al., 2005).

El tipo, el origen y la cantidad de la fibra influyen en la función intestinal de diferentes maneras: En general las fibras que son resistentes a la fermentación colónica como el salvado de trigo, cereales integrales de trigo, arroz y centeno, principalmente incrementan el contenido del intestino y las fibras solubles, más importantes por su viscosidad, tienen efectos metabólicos (pectinas de las frutas y vegetales, β -glucanos de la avena y la cebada, las gomas de ciertas legumbres) ya que tienden a disminuir los niveles posprandiales sanguíneos de glucosa e insulina, así como el colesterol en suero en relación con el incremento de la pérdida de ácidos biliares por las heces (Borderías et al., 2005; Verdú, 2009).

Mejoras en la tolerancia a la glucosa y la respuesta a la insulina

El efecto benéfico de la fibra dietética en el control de glucosa y los parámetros metabólicos postprandiales son objeto de algunos estudios (Kabir et al., 2002; Behall et al., 2006). Varios de estos estudios han demostrado que el riesgo de diabetes mellitus tipo 2 está inversamente correlacionado con el consumo de dietas con bajo índice glicémico o con contenidos altos en fibra (Schulze et al., 2004). Las reducciones en las concentraciones de glucosa en plasma, como resultado del consumo de fibras viscosas pueden ser debido a varios eventos. Primero, ingesta de fibras viscosas causan vaciamiento gástrico lento por la formación de una matriz de gel como un resultado de su capacidad de retención de agua (Wursch & Pi-Sunyer, 1997). Mientras estas fibras hidratadas entran en el intestino delgado, la matriz de gel puede espesar el contenido del intestino delgado, modulando el proceso digestivo mediante la disminución de la difusión de los nutrientes por la absorción y el contacto entre el alimento y las enzimas digestivas. Además, las fibras viscosas, pueden alterar la resistencia de movimientos contráctiles dentro del tracto gastrointestinal y así disminuir el transporte de glucosa a la superficie absorbente. En esta superficie, las fibras viscosas pueden espesar las capas no agitadas en las cuales la glucosa y el colesterol se difunden muy lentamente (Edwards et al., 1988; Mälkki, 2001)

Reducción del riesgo de desarrollar algunos cánceres

La fibra y el almidón son factores protectores importantes, presentando una relación inversa entre el consumo de almidón y la incidencia de cáncer colorectal (Topping et al., 2008). Se han propuesto varios mecanismos que pueden explicar el efecto protector de la fibra. La fibra dietética puede reducir el riesgo de cáncer colorectal incrementando la velocidad del tránsito del material alimenticio a través del intestino grueso, mediante la fermentación y la producción de grandes niveles de ácidos grasos de cadenas cortas (Sharma et al., 2008). El ácido butírico o sus sales pueden inhibir la producción de ácidos biliares secundarios reduciendo el pH del lumen (Nagengast et al., 1995; Potter, 1999).

Control del peso

El consumo de fibra dietética parece el mejor predictor del consumo de energía total, con varios reportes de más bajos consumos de energía total con altas fibras, comparadas con dietas bajas en fibra (Pereira & Ludwing, 2001). Keenan y colaboradores (2006), reportaron que el uso de almidón resistente en la dieta como un componente funcional bioactivo es una manera natural, endógena para incrementar las hormonas del intestino que son efectivas en reducir el consumo de energía, siendo un tratamiento para la obesidad. Existe un número de investigaciones que han investigado el potencial de la fibra dietética para modificar la oxidación de las grasas y como un agente de la saciedad para contribuir al control del peso (Sharma et al., 2008). Se ha propuesto que el consumir una dieta rica en fibra puede incrementar la movilización y el uso de grasas almacenadas con un resultado directo en una reducción en la secreción de insulina (Tapsell, 2004). Existen varias razones del porque dietas altas en fibra son asociadas con bajar el consumo de alimento. Primero las dietas altas en fibra pueden maximizar la estimulación sensorial en la boca debido a la necesidad incrementada de masticación. También guían a un vaciamiento gástrico más lento y una velocidad más lenta de absorción de nutrientes. Finalmente una dieta alta en fibra reduce la densidad de energía de toda la dieta, por lo que el incrementar el consumo de fibra dietética puede ayudar en el control de peso (Hill & Peters, 2002).

Recomendaciones de Fibra Dietética

El consumo recomendado de fibra dietética depende de la edad y sexo de la persona y es aproximadamente de 30-40 gramos por día, el consumo de referencia dietética es de 14 gramos por 1000 kilocalorías. Es deseable que la mitad derive de salvado de cereales, alimentos elaborados con granos integrales, semillas y la otra mitad de frutas y vegetales (Nayak et al., 2000). En niños mayores de dos años de edad se sugiere consuman un total de fibra de acuerdo a: "edad + 5 g" por día. Esto significa que niños de 3 años de edad necesitan 8 gramos de consumo de fibra a diferencia de un adolescente de 18 años que puede consumir 23 gramos de ésta (Albertson et

al., 2003). Las recomendaciones del consumo de fibra dietética no son las mismas en todos los países. El Reino Unido propone 18 gramos/día de fibra dietética expresada como polisacáridos no almidonosos, mientras que una cantidad de 30 gramos/día se ha propuesto en Alemania. En Estados Unidos el consumo debería ser de 38 gramos/día para hombres y 26 gramos/día para mujeres (BeMiller, 2004). La Academia de Ciencias de Alimentos y Nutrición propuso un rango promedio del consumo de fibra de 30 y 38 gramos/día para hombres y de 21 a 26 gramos/día para mujeres. En promedio los americanos consumen entre 10 y 15 gramos de fibra por día. En promedio la dieta en la India contiene cerca de 6 a 8.5 g de fibra (Mehta & Kaur, 1992).

Efecto de la Fibra Dietética en la Utilización de Nitrógeno Proteico

El concepto actual de fibra debe tener en cuenta que además de los compuestos incluidos en la definición, también escapan al proceso digestivo y llegan sin degradar al colon otros constituyentes de los alimentos y son principalmente proteínas resistentes, almidón resistente, compuestos fenólicos y compuestos de maillard (Cummings, 1996). La fuente y el nivel de fibra en las dietas pueden afectar negativamente la utilización de la proteína por reducir la actividad intestinal de las enzimas digestivas.

Algunos estudios han reportado que la fibra dietética disminuye la utilización de nutrientes, incluyendo proteína (Wong & 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 et al., 1982; Mariotti et al., 2001; Frias & Sgarbieri, 1998).

Estudios realizados por Frias & Sgarbieri (1998), tuvieron como principal objetivo determinar la composición de la goma guar empleada comercialmente como aditivo en alimentos, para determinar en ratas normales el tiempo de tránsito intestinal en las dietas que contienen concentraciones iguales de goma guar y celulosa, y poder comparar con ratas normales, el efecto de éstas en los niveles de glucosa, triglicéridos, colesterol total, colesterol-lípidos de baja densidad (LBD) y lípidos de

alta densidad (LAD); asimismo determinar los efectos de estas dietas en los indicadores de absorción y de utilización de proteína. Las ratas alimentadas con goma guar, mostraron niveles significativamente bajos de colesterol y triglicéridos en suero sanguíneo. Se incrementó el colesterol-LAD, con una sustancial elevación en la proporción de colesterol LAD/LBD. La goma guar disminuyó la glucosa en suero durante el primer mes del experimento. La goma guar en ambas concentraciones disminuyó significativamente el consumo de la dieta comparada con la celulosa y la dieta control. El peso corporal disminuyó proporcionalmente con el consumo de alimento. La celulosa al 20% no disminuyó el consumo de alimento pero disminuyó el crecimiento comparado con el control y fue idéntico el resultado de la goma guar al 10%. La concentración al 20% causó el más bajo crecimiento y fue diferente de la goma guar al 10% y la celulosa al 20%. De acuerdo a Krotkiewky (1984), las fibras solubles son muy viscosas y pueden reducir el consumo de alimento, debido principalmente a sus efectos en el tiempo de vaciado gástrico. La viscosidad incrementada en el contenido gástrico producido por el carácter hidrofílico de algunas gomas, baja la velocidad del vaciado gástrico incrementando la saciedad y consecuentemente la disminución del consumo de alimento. Los dos niveles de goma guar no influyeron en la excreción fecal comparada con celulosa, la cual promovió la producción de heces más grandes. La dieta de celulosa al 20% causó una excreción de 4 – 5 veces más que la dieta de goma guar y la control. El tránsito intestinal fue significativamente retrasado (25%) por la goma guar y no fue afectado por la celulosa. Los animales alimentados con la dieta de celulosa al 20% y goma guar al 20% mostraron valores de Digestibilidad aparente y Razón de eficiencia proteica, significativamente más bajos que los otros animales. Los resultados demostraron que la goma guar en la dieta no afectó la retención de nitrógeno por el cuerpo del animal. Las dietas de celulosa afectaron negativamente la retención de nitrógeno, resultando en valores de utilización neta de proteína, significativamente bajos. Algunos investigadores han reportado una reducción en la digestibilidad de la proteína en animales alimentados con dietas conteniendo fibras solubles e insolubles (Gallaher & Schneeman, 1986a; Mongeau et al., 1989). Aunque se ha observado

que la mayoría de las fibras promueven la excreción de nitrógeno fecal, el balance de nitrógeno total permanece positivo (Viola et al., 1970; Shah et al., 1982).

Otras investigaciones determinaron los efectos de los componentes de la fibra purificada y salvado de trigo en varios indicadores sobre la utilización de proteína en el crecimiento de la rata. Los componentes de la fibra empleados en las dietas fueron celulosa, pectina, lignina, goma guar y salvado de trigo, a niveles del 3% y 20% de fibra. Todas las fibras excepto la celulosa causó una reducción en la Razón Neta de Proteína (RNP) comparada con el control de la dieta de caseína, esta reducción en la RNP aumentó a medida de que los niveles de fibra aumentaron. La Digestibilidad de nitrógeno aparente y verdadero también disminuyó con todas las fibras en todos los niveles. Al nivel más alto de fibra (20%) la depresión mayor fue para goma guar y salvado de trigo y la de menor fue para celulosa. Cuando se dividió el NPR entre la digestibilidad (análogo al Valor Biológico) disminuyó con pectina, lignina y salvado de trigo (todos los niveles) y goma guar (nivel 20%), pero no con celulosa. Cuando las ratas fueron alimentadas con fibra sin caseína, se incrementó la excreción de nitrógeno fecal endógeno, con todas las fibras a todos los niveles. Estos resultados demuestran que las fibras afectan la utilización de la proteína medida mediante NPR, digestibilidad y la excreción de nitrógeno fecal endógeno y que el efecto negativo aumenta con el nivel de fibra consumida (Shah et al., 1982).

Investigaciones realizadas en humanos para conocer el efecto de la goma guar en la utilización de nitrógeno de la dieta, demuestran que la adición de una goma viscosa puede bajar la excreción urinaria endógena inmediatamente después de un alimento proteico, probablemente, a través de una elevación primaria en el dispositivo intestinal de urea endógena. Esto parece no afectar la biodisponibilidad y la utilización postprandial de nitrógeno dietario y puede ser de valor significativo para individuos que consumen dietas con un contenido mínimo de proteína, ya sea espontáneamente o por razones terapéuticas, estos datos deberían estimular estudios adicionales para determinar la influencia de las perturbación luminal

inducida por la fibra en la cinética periferal de urea y otros metabolitos de importancia clínica (Mariotti et al., 2001).

Se han realizado varias investigaciones en las que se ha analizado el efecto de fibra en la digestibilidad del nitrógeno y otros nutrientes donde se pudo comprobar que tanto el nivel como las características físicoquímicas de la fuente fibrosa, como son, la solubilidad y la capacidad de absorción de agua influyen en la digestibilidad (Larduet & Savón, 1995; Sauer et al., 1991).

La fuente y el nivel de fibra en las dietas pueden afectar negativamente la utilización de la proteína por reducir la actividad intestinal de las enzimas digestivas. Estos aspectos necesitan ser estudiados en la alimentación, así como la dependencia de la eficiencia del tiempo de tránsito según el tipo de fibra.

Calidad Proteica

Uno de los factores más importantes que afectan la utilización de la proteína dietética es la calidad de la proteína que está determinada por el contenido y proporción de aminoácidos disponibles. Sin embargo, la composición de la dieta como un todo, el nivel de proteína, energía, fibra, factores antinutricionales y externos, influyen en la capacidad de la proteína dietética para cubrir los requerimientos de aminoácidos.

La calidad nutricional de una proteína se define como la capacidad para cubrir los requerimientos de nitrógeno y aminoácidos de un determinado individuo. Es decir, la calidad proteica se refiere a la medida o eficiencia en que los aminoácidos de la dieta pueden utilizarse para la síntesis proteica tanto estructurales como las biológicamente activas (enzimas y hormonas) (Moughan, 2005).

Calidad proteica es un término comúnmente utilizado para denotar la eficiencia con la cual una fuente de proteína es utilizada para crecimiento y mantenimiento. Aunque el contenido de aminoácidos sea el principal indicador de la calidad de la proteína, su verdadera calidad depende de la extensión en que estos aminoácidos son utilizados

por el organismo. Por ello la digestibilidad puede afectar la calidad proteica del alimento (Fennema, 2000).

Es necesario considerar, que de la proteína consumida en la dieta no toda puede ser absorbida y utilizada, esto es, no se encuentra biodisponible. El concepto de biodisponibilidad para cualquier nutriente, expresa la proporción de la cantidad total de aminoácidos presentes en la dieta que pueden ser absorbidos y utilizados metabólicamente (Malcom et al., 2005).

Por lo que, la digestibilidad de proteínas y la biodisponibilidad de sus aminoácidos constituyen factores importantes en la determinación de la calidad proteica (Hsu et al., 1977; FAO/WHO, 1990).

Según Sgarbieri (1996), definió la digestibilidad de proteína como la porción que puede ser hidrolizada por las enzimas digestivas hasta aminoácidos y por tanto, se encuentran biológicamente disponibles provocando una adecuada absorción de aminoácidos por el organismo animal o humano.

Por otra parte, es necesario tener en cuenta que los aminoácidos, particularmente los esenciales se encuentren de forma biodisponible, esto es, que sean absorbidos en su forma metabólicamente activa, para el adecuado desempeño de funciones específicas en los diversos tejidos y órganos (Gilani et al., 2005).

Factores que Afectan la Calidad Proteica

Además de la biodisponibilidad de aminoácidos, existen otros factores que afectan la calidad proteica, entre los que se encuentran la naturaleza de la fuente de proteína, así como su estructura, el tipo de procesamiento y almacenamiento. Por último, la presencia de factores antinutricionales que forman parte del alimento (Gilani et al., 2005; Meade et al., 2005) pueden tener un efecto negativo en la utilización digestiva y metabólica de la proteína (Gilani et al., 2005).

Calidad de la fuente proteica

El valor nutritivo de la proteína de la dieta depende fundamentalmente de su capacidad para satisfacer las necesidades de aminoácidos. Es decir, mientras más se aproxima la composición de aminoácidos de la dieta al requerimiento para el mantenimiento, se requerirá menos proteína para cubrir sus necesidades nutritivas y más se aproxima la proteína dietética a la proteína "ideal".

Otro aspecto que influye en la calidad y por tanto, en la utilización de la proteína dietética es la proporción de aminoácidos disponibles. El método principal para determinar la disponibilidad es medir la proporción de aminoácidos de la dieta que han desaparecido del intestino cuando la digestión alcanza el ileon terminal (digestibilidad ileal mejor que disponibilidad).

Nivel de proteína de la dieta

La capacidad de la dieta para suministrar cantidades suficientes de aminoácidos esenciales y nitrógeno para la síntesis de aminoácidos no esenciales determina si el nivel de proteína es el adecuado (Hegedus, 1992).

El nivel de proteína de la dieta puede alterar la velocidad de recambio de las proteínas tisulares, por lo que la degradación de las proteínas musculares y hepáticas disminuye con los niveles crecientes de proteína dietética. La disminución en la velocidad de recambio de la proteína pudiera explicar la menor eficiencia de utilización a altos niveles de proteína dietética.

Evaluación de Calidad Proteica

La metodología existente para la evaluación de la calidad de las proteínas en alimentos es básicamente de dos tipos: los bioensayos, también llamados métodos *in-vivo* que son los métodos concluyentes, pues utilizan organismos vivos para evaluar la capacidad de una fuente de proteína para soportar el mantenimiento y crecimiento de la especie. Es decir miden lo adecuado de la proteína en la dieta prueba, para cumplir con los requerimientos de proteína y aminoácidos esenciales

que requiere el animal de prueba. Comúnmente estos ensayos utilizan ratas jóvenes, pues esta especie se asemeja más a los requerimientos de aminoácidos esenciales de los humanos jóvenes (McLarney et al., 1996).

Por otro lado, se han desarrollado una serie de metodologías y técnicas alternativas para la medición de la calidad de las proteínas en alimentos, conocidos como métodos *in-vitro*. Estos métodos *in-vitro* denominados así pues son métodos y técnicas que no involucran animales de experimentación y se desarrollan a nivel laboratorio, no son concluyentes en cuanto a que no miden la respuesta de un organismo vivo y comúnmente solo emplean o miden algún aspecto de la calidad de las proteínas en alimentos. Ninguno de estos métodos *in-vitro*, dado que no evalúan la calidad de la proteína en su totalidad, son suficientes para establecer la calidad de la proteína, por lo que se recomienda emplear más de uno en un protocolo de evaluación de proteínas en alimentos (Barrón, 1984).

Metodología *in-vitro*

Metodología enzimática. Existen varias técnicas en la literatura que utilizan el principio de determinar la susceptibilidad de la proteína a ser hidrolizada por una enzima o sistemas enzimáticos (Maga & Lorenz, 1973; Saunders et al., 1973; Hsu et al., 1977; Uchman et al., 1977; Satterlee et al., 1982; Lazo et al., 1998). En realidad estas técnicas no miden la digestibilidad propiamente, pues ésta solo puede ser medida en un organismo vivo, pero nos dan una idea de cómo se comportaría la proteína en el aparato digestivo. Estas técnicas son prácticas y permiten evaluar una buena cantidad de muestras, son relativamente más rápidas y menos costosas que los bioensayos (Linder et al., 1977).

Hsu et al. (1977) desarrollaron una técnica rápida en la que una mezcla de 3 enzimas se agrega a una suspensión acuosa de la muestra problema y pasados 10 minutos se mide el pH del medio, este valor de pH es sustituido en una ecuación y se calcula así el porcentaje de digestibilidad. Con este método Hsu y colaboradores (1977) reportaron un bastante aceptable factor de correlación con los métodos *in-vivo* de digestibilidad por bioensayos (Aw & Swanson, 1985; Parsons et al., 1997).

Más tarde Satterlee et al. (1982), modificaron el método de Hsu et al. (1977), incluyendo una cuarta enzima al sistema, una proteasa bacteriana. Con esta modificación ellos y otros autores han reportado una mayor correlación, en varios tipos de alimentos, con los bioensayos de digestibilidad (Seet & Duane, 1983; Barrón, 1984; Harris et al., 1988; Lazo et al. 1998; Barrón, 2003; Phimphilai et al., 2006).

Metodología basada en la calificación química. (Score químico). Este tipo de metodologías se basan en el contenido de aminoácidos de las muestras de prueba, relacionándolos con el contenido de aminoácidos de proteínas de referencia de alta calidad proteica o bien relacionándolos con los patrones de aminoácidos recomendados. Estas metodologías requieren de cuantificar el contenido de aminoácidos totales (esenciales y no esenciales) de la muestra y tienen la desventaja de asumir que todos los aminoácidos van a ser utilizados y que la proteína tendrá una alta digestibilidad (Barrón, 1984).

Este método evalúa las proteínas basado en la composición de aminoácidos esenciales, en comparación con una proteína de referencia. El puntaje químico no dice cómo será usada la proteína por el organismo, no toma en cuenta la digestibilidad y no predice la bioutilización de los aminoácidos de la proteína de prueba.

Digestibilidad de la proteína corregida por la calificación de aminoácidos (PDCAAS). En 1990 la FAO/WHO concluye que la calidad de la proteína debería ser analizado adecuadamente, expresando el contenido del primer aminoácido limitante esencial de la proteína prueba como un porcentaje del mismo aminoácido esencial de una proteína de referencia, corregido en función del % de digestibilidad verdadera, evaluada por bioensayos (Schaafsma, 2005).

Método aprobado por la FAO/WHO en 1991, en el cual este patrón es calculado en referencia a la habilidad de una fuente de proteína a satisfacer las necesidades de aminoácidos cuando se consume a una, relativamente baja o suficiente cantidad, 0.7g/kg/día (Reeds et al., 2000).

Este patrón de referencia fue basado en los requerimientos de aminoácidos esenciales para niños de 2 a 5 años de edad publicado en 1985 (FAO/WHO/UNU, 1985). Subsecuentemente este porcentaje es corregido por la digestibilidad, fecal verdadera de la proteína de prueba, medida por bioensayos en ratas.

Métodos computacionales. El ensayo C-PER (PER Computarizado) y el DC-PER (Discriminante C-PER) son métodos oficiales de la AOAC 982.30 (45.3.05) para determinar la calidad nutricional de una proteína en alimentos. Utilizan la información del porcentaje de digestibilidad *in vitro* (Método Satterlee et al., 1982) de la proteína prueba y el perfil de amino ácidos esenciales, determinado por métodos cromatográficos (cromatografía líquida ó HPLC) de un alimento. Estos métodos predicen el PER, empleando un programa computarizado. Varios autores han reportado una gran reproducibilidad, rapidez y correlación de los resultados empleando estos métodos, en varias fuentes de proteínas de alimentos, con los resultados de calidad proteica medida por bioensayos (Seet & Duane, 1983; Barrón, 1984; Harris et al., 1988; Barrón, 2003; Phimphilai et al., 2006).

Métodos *in-vivo* para determinar calidad proteica

El objetivo de un bioensayo es medir la eficiencia de la utilización biológica de proteínas dietéticas como fuente de aminoácidos esenciales (Lachance et al., 1977). Estos ensayos tienen como fin ordenar los alimentos proteicos de acuerdo a su eficiencia de utilización, bajo ciertas condiciones estándares, indicando el potencial nutricional de la proteína. Así como también medir la eficiencia de utilización de proteínas como fuente de nitrógeno y aminoácidos esenciales, requeridos por el animal de prueba, (rata, hombre u otro), midiendo con esto la potencialidad y el funcionamiento fisiológico.

Las razones principales para medir calidad proteica son: determinar el valor biológico relativo de una proteína y clasificarla en orden de este valor predicho en la dieta. Otra razón es para inspeccionar proteínas desde un punto de vista de control de calidad para mantener la integridad de la proteína dentro de un producto particular (Jansen, 1978; Miller & Lachance, 1977)

Razón de eficiencia proteica (PER). Este método fue desarrollado en 1919 por Osborne y colaboradores, considerado uno de los procedimientos más utilizados para la evaluación de calidad proteica con propósitos de etiquetado nutricional (Bender, 1973). Se han realizado una gran cantidad de estudio colaborativos (Mc Laughlan, 1972) para estandarizar este procedimiento. El PER es un ensayo de 28 días y utiliza caseína ANRC como proteína de referencia. PER es generalmente medido en animales jóvenes en crecimiento a los que se les suministra un dieta al 10% de proteína. Los grupos experimentales pueden consistir de 10 o más ratas con una diferencia entre grupos de 5 gramos o menos para el primer día del período de ensayo. El peso corporal y consumo de alimento deben ser medidos regularmente, al menos cada siete días. Las ratas son colocadas en jaulas individuales, donde se les provee de alimento y agua *ad libitum*. El PER representa la cantidad de peso ganado, en gramos, relativa a la cantidad de proteína consumida, en gramos (Bodwell, 1977).

Razón neta de proteína (NPR). Este método fue desarrollado por Bender & Doell (1957), como un intento de resolver algunos problemas asociado con el PER. El NPR se fundamenta en que existe una relación lineal para el incremento de peso del animal en función de la calidad de la proteína consumida. Este método emplea, además del grupo de animales alimentados con la dieta experimental, otro grupo de animales alimentados con una dieta libre de nitrógeno (cero por ciento de proteína). El grupo con dieta libre de nitrógeno se incluye para la corrección de incremento en peso; ya que no toda la proteína que se consume, se destina al crecimiento, parte de ella se va a utilizar para mantener el balance cero (balance de nitrógeno corporal). Una vez cubierta esta necesidad de nitrógeno, el resto del nitrógeno proveniente de la proteína dietética se utiliza para crecimiento.

Valor Biológico (VB). Es probablemente uno de los métodos más comúnmente usados para medir la calidad de las proteínas. El VB de una proteína es dado como la cantidad de nitrógeno retenido en el cuerpo dividido entre la cantidad de nitrógeno absorbido de esa proteína, tomando en cuenta la digestibilidad de la proteína. Para medir el VB, se mide el nitrógeno que es normalmente perdido, alimentando a los

sujetos con una dieta de cero proteína. La proteína de prueba es alimentada a nivel de 10% de proteína.

Utilización Neta de Proteína (NPU). Miller & Bender en 1955, desarrollaron una técnica de análisis de nitrógeno corporal directo. En esta técnica se utiliza un grupo de 10 ratas macho, recién destetadas, de la misma talla, colocadas individualmente en cajas. Se requiere un grupo de 10 ratas con dieta libre de nitrógeno y otro grupo para la caseína control, alimento y agua son dados *al libitum*. La duración de esta prueba es de diez días y al final las ratas son sacrificadas y el cuerpo es analizado para determinar el contenido de nitrógeno retenido.

HIPÓTESIS

Un elevado contenido de fibra dietética (total y sus componentes), presente en los alimentos basados en cereales, tienen un efecto adverso en la digestibilidad y utilización de la proteína, demostrado mediante bioensayos.

OBJETIVOS

Objetivo General

Evaluar el 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.

Objetivos Específicos

Evaluar el contenido de fibra dietética y sus fracciones en alimentos, basados en cereales, con distinto contenido proteico y diferente contenido de fibra dietética, de amplio consumo y seleccionar en grupos de acuerdo a su contenido proteico.

Evaluar la calidad proteica de productos comerciales, a base de cereales de distinto contenido de proteína y de alto contenido de fibra dietética, seleccionados, mediante bioensayos de calidad proteica en ratas.

Evaluar el efecto de la fibra dietética en Digestibilidad de Materia Seca, Digestibilidad de Nitrógeno Aparente y Verdadera y Razón Neta de Proteína en dietas sintéticas elaboradas a partir de caseína y gluten, mediante bioensayos de calidad proteica en ratas.

MATERIALES Y MÉTODOS

Descripción del Estudio

Este trabajo se desarrolló en tres experimentos. Primeramente se realizó un estudio analítico de la oferta de alimentos comerciales basados en cereales, seleccionándolos en base a su contenido de proteína y fibra dietética. Segundo, se evaluó la calidad proteica de los alimentos seleccionados en la primera parte, empleando bioensayos en ratas. Tercero, se elaboraron dietas sintéticas las cuales tienen como fuente de proteína caseína y gluten, a estas dietas se les adicionaron distintas fuentes de fibras dietéticas comerciales con el fin de evaluar el efecto de estas fibras en la calidad proteica, mediante bioensayos en ratas.

Descripción de las Muestras

Selección de Alimentos Comerciales Basados en Cereales

Para seleccionar los productos comerciales basados en cereales altos en fibra se llevó a cabo un análisis de la oferta de productos basados en cereales altos en fibra, que se encuentran para consumo en el comercio local. Se realizaron encuestas en los principales centros de abastecimiento y en base a esto se determinaron los productos y marcas de mayor consumo. Se elaboró un formato para realizar la encuesta en cada uno de los centros comerciales, la información solicitada incluyó: productos más consumidos por tipo, marca, tamaño y permanencia de cada producto en el mercado. De este análisis se obtuvo un listado de una variedad de productos basados en cereales altos en fibra los cuales se organizaron en grupos: el de los cereales comerciales para desayuno altos en fibra; el de las pastas y el de las barras. De la información nutricional y de los ingredientes que presentaron estos grupos se seleccionaron los cereales comerciales para desayuno altos en fibra por su aportación de fibra y su porcentaje de proteína, además de resultar los de mayor consumo y mayor frecuencia de surtido. La tabla 1 presenta la nomenclatura de las

Tabla 1. Nomenclatura de las muestras de los cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México.

Nomenclatura	Ingredientes
FM	Trigo entero, salvado de trigo y maíz
FU	Salvado de trigo
GV	Salvado de trigo
GH	Salvado de trigo
AB	Salvado de trigo
KP	Salvadillo de trigo
KPH	Trigo y salvadillo de trigo
GVH	Trigo y salvado de trigo
SH	Trigo y salvado de trigo
MH	Trigo y salvado de trigo
GK	Mezcla de avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo
OH	Avena
FH	Mezcla de trigo entero, arroz y maíz

muestras de los cereales comerciales altos en fibra seleccionados y descripción de los ingredientes que los conforman. Para la realización de esta parte del estudio se seleccionaron del mercado local trece cereales comerciales altos en fibra: un cereal basado en harina de trigo entero, salvado de trigo y maíz (FM); cuatro cereales basados en salvado de trigo (FU, GV, GH, AB); uno basado en salvadillo de trigo (KP); otro basado en trigo y salvadillo de trigo (KPH); tres cereales basados en trigo y salvado de trigo (GVH, SH, MH); uno basado en una mezcla de avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo (GK); uno basado en avena (OH); y uno elaborado de una mezcla de trigo entero, arroz y maíz (FH). Se estableció la cantidad de muestra necesaria para todos los análisis y para la elaboración de las dietas experimentales. Después de adquiridas, las distintas muestras se mezclaron, homogenizaron y molieron (molino laboratory mill 3100; tamaño de partícula de 1 mm) para posteriormente empacarlas en doble bolsa de polietileno, se sellaron y se mantuvieron en refrigeración (4-6 °C) durante el tiempo que duró la parte experimental del estudio. A estos productos seleccionados, se les determinó su composición química y su contenido de fibra dietética total y sus fracciones y su contenido de beta glucanos.

Calidad Proteica de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Con la finalidad de estudiar la influencia de la fibra dietética y sus componentes sobre la calidad proteica de los productos comerciales muestreados, se realizaron las evaluaciones nutricionales de digestibilidad de la materia, digestibilidad de nitrógeno (aparente y verdadera) y razón neta de proteína (RNP).

El estudio se diseñó para medir la calidad proteica de dietas elaboradas a partir de cereales comerciales como fuente de proteína empleando la rata *Sprague dawley* como modelo experimental. Los indicadores de calidad de proteína obtenidos se derivaron de las medidas de incremento en peso, alimento consumido, proteína total consumida, nitrógeno consumido y total de heces de cada uno de los individuos. Las preparaciones de las distintas dietas realizadas a partir de los cereales comerciales

altos en fibra, permitieron observar el efecto del tipo y nivel de fibra en la digestibilidad y la utilización de la proteína por las ratas.

De la primera parte de esta investigación se seleccionaron seis cereales comerciales altos en fibra en base a su contenido de proteína y fibra dietética, además de tomar en cuenta la frecuencia de surtido de estas marcas comerciales. Los productos de cereales comerciales para desayuno altos en fibra seleccionados fueron: El cereal (KPH) basado en trigo y salvadillo de trigo, el cereal (KP) basado en salvadillo de trigo, los cereales (AB, GV y GH) basados en salvado de trigo y el cereal (OH) basado en avena. Considerando el contenido de nitrógeno total de los productos comerciales de cereales altos en fibra, se realizaron los cálculos para la formulación de las dietas experimentales, que se emplearon en los estudios de calidad proteica *in-vivo*. Además de los seis grupos de dietas de prueba se formuló y elaboró una dieta basada en caseína (ANRC) como proteína de referencia (control). También se elaboró una dieta basal que contenía todos los nutrientes excepto proteína a esta dieta se le denomina dieta libre de nitrógeno (DLN). Se llevó a cabo el desarrollo de bioensayos de calidad proteica en las dietas de prueba, empleando ratas.

Se realizó un análisis estadístico para evaluar la influencia de la fibra dietética presente en estos productos comerciales basados en cereales sobre calidad proteica.

Efecto de la Adición de Ingredientes Altos en Fibra a Dietas de Caseína y Gluten sobre su Calidad Proteica

En esta etapa se evaluó la influencia de la fibra dietética y sus componentes en la calidad proteica de dietas sintéticas basadas en caseína y gluten como fuente de proteína, a estas dietas se les adicionó distintas fuentes de fibras dietéticas comerciales conocidas como Ingredientes altos en fibra. Los ingredientes altos en fibra empleados fueron: un ingrediente comercializado como fibra insoluble basada en salvado de trigo (INS), otro ingrediente comercializado como fibra soluble la cual contiene como componente principal maltodextrinas resistentes (SOL) y un tercer

ingrediente comercial obtenido de pulpa de naranja conformada por cantidades similares de fibra insoluble y soluble (IS).

En base a los análisis de contenido de humedad y de nitrógeno de las muestras de caseína, gluten y del contenido de fibra dietética total de las fibras comerciales se realizaron los cálculos para la formulación de las dietas experimentales que se emplearon en los estudios de calidad proteica *in-vivo*. Además de los seis grupos de dietas sintéticas de prueba se formuló y elaboró una dieta basada en caseína como proteína de referencia (control) conteniendo fibra de celulosa, una dieta basada en gluten como proteína de referencia (control) conteniendo fibra de celulosa, una dieta de caseína sin fibra, una dieta de gluten sin fibra y también se elaboró una dieta basal que contenía todos los nutrientes (excepto proteína) y se le denominó dieta libre de nitrógeno, la cual contenía como fuente de fibra la celulosa, se elaboraron además dietas libres de nitrógeno utilizando como fuente de fibra los ingredientes altos en fibra INS, SOL y IS. La tabla 2 presenta la nomenclatura de los ingredientes comerciales altos en fibra y las dietas experimentales utilizadas durante el bioensayo.

Se realizó un análisis estadístico para evaluar el efecto de la adición de estos ingredientes altos en fibra a dietas de caseína y de gluten sobre su calidad proteica.

Análisis Químico

Las muestras de los cereales comerciales altos en fibra, las dietas experimentales elaboradas a partir de estos cereales, los ingredientes comerciales altos en fibra y las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con los ingredientes altos en fibra se analizaron en sus contenidos de humedad y proteína, empleando los métodos oficiales recomendados (AACC, 2000). Para humedad total el método 44-40; para nitrógeno total el método microkjeldahl 46-13. Estos análisis se realizaron por triplicado. El contenido de humedad total y el de nitrógeno total (Kjeldhal) son necesarios para los cálculos en la formulación de las dietas. Las dietas experimentales se analizaron, para confirmar su contenido de proteína y se emplearon los métodos recomendados por la AACC (2000).

Tabla 2. Nomenclatura de los ingredientes comerciales altos en fibra y de las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con los ingredientes altos en fibra, utilizadas durante el bioensayo.

Nomenclatura	Ingredientes altos en fibra y dietas experimentales
INS	Fibra insoluble de salvado de trigo
SOL	Fibra soluble de maltodextrinas resistentes
IS	Fibra Insoluble y soluble de pulpa de naranja
CAS-INS	Dieta caseína + INS
CAS-SOL	Dieta caseína + SOL
CAS-IS	Dieta caseína + IS
CAS-CEL	Dieta caseína + fibra de celulosa
CAS-sinF	Dieta caseína sin fibra
GLU-INS	Dieta gluten + INS
GLU-SOL	Dieta gluten + SOL
GLU-IS	Dieta gluten + IS
GLU-CEL	Dieta gluten + fibra de celulosa
GLU-sinF	Dieta gluten sin fibra
LN-INS	Dieta libre de nitrógeno + INS
LN-SOL	Dieta libre de nitrógeno + SOL
LN-IS	Dieta libre de nitrógeno + IS
LN-CEL	Dieta libre de nitrógeno + fibra de celulosa
LN-SINF	Dieta libre de nitrógeno sin fibra

Fibra Dietética

Se determinó fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI) a cada uno de los cereales comerciales para desayuno altos en fibra y a los ingredientes altos en fibra que se emplearon en la elaboración de las dietas de caseína y de gluten. El método que se empleó es el propuesto por Prosky et al. (1987), basado en el método 985.29 publicado en la AOAC (1997). Este análisis determina el contenido de fibra dietética soluble, insoluble y total de un alimento empleando una combinación de enzimas y métodos gravimétricos. Se pesó un gramo de muestra en un vaso de precipitado de 250 mL y se adicionaron 50 mL de amortiguador de fosfatos 0.08 M pH 6, y 0.05 mL de solución de alfa-amilasa. El recipiente se colocó en un baño de agua hasta que la temperatura de la muestra alcanza 95°C y se incubó por 30 min, agitando cada 5 minutos. Después se enfrió a temperatura ambiente y se adiciona 10 mL de NaOH 0.275 N. Se ajustó el pH a 7.5 ± 0.1 ; y se agregaron 5 mg de proteasa. Nuevamente el recipiente se colocó en baño de agua hasta que la temperatura de la muestra fue de 60°C incubándose por 30 minutos con agitación constante. Terminado este periodo se enfrió la muestra a temperatura ambiente y se adicionaron 10 mL de HCl 0.325 M. Se ajustó el pH a 4.5 ± 0.2 y se agregaron 0.05 mL de amiloglucosidasa, colocando nuevamente la muestra en baño de agua hasta alcanzar la temperatura de 60°C por un periodo de 30 minutos con agitación constante. Posterior a esta incubación se filtró el contenido del recipiente utilizando vacío en un matraz kitazato (previamente pesado) y crisoles Gooch con tamaño de poro dos, previamente puestos a peso constante con 1 g de celita. Se lavó el vaso de precipitado con dos porciones de 10 mL de agua destilada y se continuó filtrando.

El residuo se lavó con dos porciones de 10 mL de etanol al 95% y una de 10 mL de acetona. Se dejaron secar toda la noche (105°C en estufa de convección de aire). Posteriormente se secaron los duplicados y se utilizó un crisol para determinar proteína (AACC 2000, 46-13) y otro para determinar cenizas (AACC 2000, 08-02) y los resultados obtenidos se utilizaron para los cálculos de fibra dietética insoluble.

Los filtrados se ajustaron a 100 mL con agua destilada y se transfirieron a un matraz Erlenmeyer de 500 mL. Se adicionaron cuatro porciones de 100 mL de etanol al 95%, precalentado a 60°C, se enfriaron a temperatura ambiente y se dejaron reposar toda la noche. Después de transcurrir el tiempo de reposo se llevó a cabo otra filtración como la anterior, se lavaron los matraces con etanol al 75% y dos porciones de 10 mL de acetona. Después se secaron y se analizaron como se describió anteriormente. Los resultados se utilizaron para los cálculos de fibra dietética soluble. La suma de FDS y FDI se considera como FDT.

Bioensayos de Calidad Proteica

Elaboración de Dietas de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Se elaboraron seis dietas experimentales con cada uno de los cereales para desayuno altos en fibra seleccionados en el experimento 1. Se elaboraron las dietas de caseína y la dieta libre de nitrógeno. Las dietas se elaboraron de acuerdo a la composición dada por el AOAC (1990). Todas las dietas experimentales y la dieta de proteína de caseína (ANRC-Caseína) fueron elaboradas basándose en el contenido de nitrógeno total de los seis cereales de prueba, realizándose los ajustes para que estas dietas obtengan un 10% de proteína (Hackler, 1978). La dieta libre de nitrógeno (DLN) necesaria para ser considerada en los bioensayos de digestibilidad de nitrógeno verdadero y de razón neta de proteína, fue formulada de acuerdo a la composición dada por AOAC (1990).

Las muestras de los cereales comerciales para desayuno seleccionados fueron primeramente molidas en un molino experimental (Laboratory Mill 3100) a un tamaño de partícula de 60 mesh (Tyler). Se determinó la cantidad de los ingredientes a emplear para obtener 4 kg de cada una de las dietas experimentales, los ingredientes fueron mezclados y homogenizados en una mezcladora automática con capacidad de 5 kg (Hobart Corp. Modelo A5 2001). En la elaboración de las dietas, se mezclan primero los ingredientes secos, después las vitaminas y minerales y al final el aceite, posteriormente las dietas elaboradas serán empacadas en lotes de 2.0

kg por dieta en doble bolsa de polietileno, se sellarán y se mantendrán en refrigeración (4-6°C) durante el tiempo que dure el estudio.

Elaboración de Dietas de Caseína y Gluten con Ingredientes Altos en Fibra

Dietas sintéticas de caseína

Se elaboraron tres dietas sintéticas con caseína como fuente de proteína adicionando los tres distintos ingredientes altos en fibra a un 5% de fibra dietética total: una dieta de caseína adicionada con el ingrediente alto en fibra basado en salvado de trigo, comercializada como fibra insoluble (CAS-INS); otra dieta de caseína con el ingrediente alto en fibra basado principalmente en maltodextrinas resistentes, comercializada como fibra soluble (CAS-SOL); una tercer dieta de caseína con el ingrediente alto en fibra basado en fibra insoluble y soluble de la pulpa de cítricos comercializada como fibra total: insoluble y soluble (CAS-IS) además se elaboró una dieta de caseína con fibra de celulosa al 5% (CAS-CEL) y otra dieta de caseína sin fibra, a la cual no se le agregó ningún componente de fibra (CAS-sinF).

Dietas sintéticas de gluten

Se elaboraron tres dietas sintéticas con gluten como fuente de proteína adicionando los tres distintos ingredientes altos en fibra a un 5% de fibra dietética total: una dieta de gluten adicionada con el ingrediente alto en fibra basado en salvado de trigo, comercializada como fibra insoluble (GLU-INS); otra dieta de gluten con el ingrediente alto en fibra basado principalmente en maltodextrinas resistentes, comercializada como fibra soluble (GLU-SOL); una tercer dieta de caseína con el ingrediente alto en fibra basado en fibra insoluble y soluble de la pulpa de cítricos comercializada como fibra total: insoluble y soluble (GLU-IS) además se elaboró una dieta de gluten con fibra de celulosa al 5% (GLU-CEL) y otra dieta de caseína sin fibra, a la cual no se le agregó ningún componente de fibra (GLU-sinF).

Las dietas se elaboraron de acuerdo a la composición dada por el AOAC (1990). Todas las dietas experimentales fueron elaboradas basándose en el contenido de nitrógeno total de las muestras de prueba, realizando los ajustes para que estas

dietas obtengan un 10% de proteína (Hackler, 1978). La dieta libre de nitrógeno (LN) necesaria para ser considerada en los bioensayos de digestibilidad de nitrógeno verdadero y de razón neta de proteína, se formuló de acuerdo a la composición dada por AOAC (1990), utilizando como fuente de fibra la celulosa (LN-CEL) y por último las dietas LN-INS, LN-SOL, LN-IS y LN-SINF, son dietas libres de nitrógeno utilizando como fuente de fibra los ingredientes altos en fibra INS, SOL y IS (Tabla 2).

Para elaborar las dietas experimentales, se determinó la cantidad de los ingredientes a emplear para obtener 4 kg de cada una de las dietas experimentales, los ingredientes fueron mezclados y homogenizados en una mezcladora automática con capacidad de 5 kg (Hobart Corp. Modelo A5 2001). En la elaboración de las dietas, se mezclan primero los ingredientes secos, después las vitaminas y minerales y al final el aceite, posteriormente las dietas elaboradas se empacaron en lotes de 2.0 kg por dieta en doble bolsa de polietileno, se sellaron y se mantuvieron en refrigeración (4-6°C) durante el tiempo que duro el estudio.

Condiciones de los Bioensayo

Los bioensayos de calidad proteica que comúnmente se emplean en el Laboratorio de Experimentación Animal (Bioterio) del DIPA para determinar la calidad de los alimentos son el de digestibilidad y el de razón neta de proteína. Para tal efecto se emplean ratas *Sprague Dawley* como modelo experimental, de 21- 23 días de edad, recién destetadas, sexadas, con peso promedio de 45-65 g, y una variación entre animales de no más de 10 g. Para realizar los bioensayos se formaron grupos experimentales de 4 ratas, por cada dieta experimental, donde entre grupos no debe existir una diferencia de peso de 1.0 g.

Formación de Grupos Experimentales

Para la formación de los grupos experimentales primeramente se pesaron y se separaron por sexo todas las ratas que se obtuvieron en la camada, se colocaron cada rata en forma individual en jaulas de acero inoxidable con su respectiva clave, una vez obtenidos los pesos de las ratas por sexo se ordenaron de acuerdo a su

peso de mayor a menor y se procedió a formar todos los grupos experimentales que se emplearon en el estudio.

Acondicionamiento de las Ratas

Una vez formados los grupos se ordenaron las ratas de acuerdo a la dieta experimental colocando 4 individuos por muestra, en forma individual en jaulas de acero inoxidable codificadas y diseñadas para evitar la pérdida de alimento y permitir la recolección de heces. Cada individuo tuvo su comedero y bebedero individual y su charola de papel también individual (colocada en la parte inferior de la jaula), para la recolección de heces, orina y alimento (con la misma codificación que la jaula). Primero se sometieron a una etapa de adaptación de dos días a la dieta y a la estancia aislada en la jaula de acero inoxidable. Después de este período, el estudio se realizó por 14 días, donde los animales se mantuvieron en condiciones controladas de temperatura de 25°C, humedad relativa de 65-80%, ciclos de iluminación de 12 h luz-oscuridad, donde la dieta y el agua fueron suministradas *ad libitum*.

Diseño Experimental para Dietas de Prueba

Para evaluar el efecto del contenido de fibra dietética en las dietas experimentales sobre la respuesta de los bioensayos de Digestibilidad y Razón Neta de Proteína (RNP) se elaboró un diseño de dos grupo de 4 ratas (2 hembras y 2 machos) para cada una de las dietas a experimentar, donde entre grupos no habrá una diferencia de peso de 1.0 g. Además se tuvo un grupo adicional para la dieta de proteína control, ANRC-Caseína ajustada al 10%, y otro grupo experimental más para una dieta basal libre de proteína (DLN), haciendo un total de 6 grupos experimentales.

Parámetros del Bioensayo

Desde el inicio hasta los catorce días que duró el bioensayo se colectaron datos cada tercer día. Estos datos incluyen: alimento consumido, total de heces e incremento en peso de cada individuo.

Alimento consumido

Para obtener el cálculo del alimento consumido se toma en cuenta la suma del peso del comedero más el peso del alimento inicial, menos el peso del alimento dejado. A este resultado se le resta el peso del alimento desperdiciado en la charola de papel, considerando el peso de la charola de papel inicial (limpio) y el peso de la charola de papel final que contiene el alimento desperdiciado, descartando heces y orina.

Peso total de heces

Para obtener el peso total de heces, éstas se retiran de la charola de papel después de secarse, se les retira el contenido de alimento desperdiciado que queda en las charolas y se pesan, se colectan los pesos cada tercer día y al final se suman para obtener el total de heces en todo el experimento.

Ganancia en peso

El incremento en peso de cada individuo se obtiene cada tercer día y la ganancia en peso se obtiene por diferencia del peso final, obtenido al terminar el estudio, menos el peso de cada individuo al inicio del experimento.

Estudio metabólico

El estudio metabólico comprendió las evaluaciones de digestibilidad de la materia, digestibilidad de nitrógeno y razón neta de proteína. La digestibilidad es un indicador de la calidad de la proteína, representa la proporción de la proteína de la dieta que es digerida y absorbida por el animal de experimentación. Después de los 14 días del experimento se evalúa la digestibilidad de la materia seca y la digestibilidad de nitrógeno (aparente y verdadero). Del estudio se utilizan los datos de consumo de alimento y total de heces, del total de alimento consumido se calcula el nitrógeno total consumido. Las heces se colectan cada tercer día durante el experimento, éstas se almacenan a temperatura de refrigeración, después se secan en una estufa de convección de aire a una temperatura de 50-55 °C por 12 horas, se pesan y muelen para determinarles humedad y nitrógeno. Estas determinaciones se realizan

tanto en los grupos de prueba como en los grupos de la dieta control (caseína) y los grupos libres de proteína. Con esta información es posible calcular la digestibilidad de materia seca y digestibilidad de nitrógeno aparente y verdadero.

Digestibilidad de materia seca

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 & Pond, 1974). El cálculo se obtiene por la ecuación:

$$\% \text{ D M S} = \frac{\text{Alimento consumido (g)GDE} - \text{Heces excretadas (g)GDE}}{\text{Alimento consumido (g) GDE}} \times 100$$

Alimento consumido (g) GDE

GDE = Grupo dieta experimental

Digestibilidad aparente de nitrógeno

Se obtiene de la relación del nitrógeno del alimento consumido menos el nitrógeno de heces con respecto al nitrógeno consumido, expresado en porcentaje. Se asume que del total del nitrógeno de la dieta, lo que no se absorbe en la digestión por el organismo se queda en las heces. Para determinar el valor de digestibilidad de nitrógeno aparente en una dieta se requiere calcular el contenido de nitrógeno del alimento; el alimento total consumido, el nitrógeno en heces y el peso total de heces (Pellet, 1978), con estos datos se calcula la digestibilidad de nitrógeno aparente de acuerdo a la siguiente ecuación.

$$\text{Digestibilidad de N aparente} = \frac{\text{N consumido (g)GDE} - \text{N de heces (g)GDE}}{\text{N consumido (g) GDE}} \times 100$$

Nitrógeno consumido (g) GDE

N = Nitrógeno

GDE = Grupo dieta experimental

Digestibilidad verdadera de nitrógeno

Debido a que no todo el nitrógeno presente en las heces es proveniente de la dieta, sino que parte es proveniente de la microflora (bacterias) del tracto digestivo, de

enzimas y otros compuestos proteicos de recambio y de las enzimas utilizadas en la digestión es necesario considerar el nitrógeno que es metabólico (de recambio en el organismo). Este se calcula considerando el grupo con una dieta libre de nitrógeno, ya que el nitrógeno fecal de los animales que consumen una dieta libre de nitrógeno, representa el nitrógeno metabólico. Este dato se emplea en el cálculo del porcentaje de digestibilidad nitrógeno verdadera (Pellet, 1978). El porcentaje de digestibilidad de nitrógeno verdadera se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$D N V = \frac{N \text{ consumido (g)GDE} - (N \text{ fecal (g)GDE} - N \text{ fecal (g)GDLN})}{N \text{ consumido (g)GDE}} \times 100$$

Nitrógeno consumido (g) GDE

N = Nitrógeno
GDE = Grupo Dieta Experimental
GDLN = Grupo Dieta Libre de Nitrógeno

Razón neta de proteína

La calidad de la proteína es un aspecto significativo de la calidad nutricional de los alimentos, por lo que es importante evaluar la calidad proteica en forma individual de cada producto. Para este estudio, los animales de experimentación fueron colocados en jaulas de acero inoxidable durante un período de 14 días. Se considera que la ganancia en peso del animal en experimentación es producto de la utilización de las proteínas dietéticas. El método de razón neta de proteína (RNP) se fundamenta en que existe una relación lineal para el incremento de peso del animal en función de la calidad de la proteína consumida. Del estudio de 14 días se utilizan los datos de consumo de alimento y aumento en peso, realizando un registro de estos datos cada tercer día hasta el final del experimento, tanto en los grupos de las dietas experimentales como en los grupos libres de nitrógeno, y se calcula la RNP como la utilización de la proteína, de acuerdo a la técnica de Bender y Doell (1957). El grupo con dieta libre de nitrógeno se incluye para la corrección de incremento en peso ya que no toda la proteína que se consume, se destina al crecimiento. Parte de ella se va a utilizar para mantener el balance cero (balance de nitrógeno corporal); y una vez cubierta esta necesidad de nitrógeno, el resto del nitrógeno proveniente de la proteína dietética se utiliza para crecimiento.

El cálculo se lleva a cabo mediante la siguiente ecuación:

$$\text{RNP} = \frac{\text{Ganancia en peso (g) GDE} - \text{Ganancia en peso (g) GDLN}}{\text{Proteína consumida (g) GDE}}$$

Proteína consumida (g) GDE

GDE = Grupo dieta experimental

GDLN = Grupo dieta libre de nitrógeno

Diseño Experimental

Para observar la influencia del contenido de fibra dietética en las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra sobre la respuesta de los bioensayos de digestibilidad y razón neta de proteína, se utilizó un diseño de una vía completamente al azar, en donde cada tratamiento estaba representado por cada uno de los productos de cereales comerciales altos en fibra seleccionados.

Para evaluar el efecto de la adición de los ingredientes comerciales altos en fibra a las dietas experimentales de caseína y de fibra sobre la respuesta de los bioensayos de digestibilidad y razón neta de proteína, se empleó un diseño de experimento unifactorial completamente de bloques al azar, en el cual cada tratamiento se representó por cada una de las distintas fuentes de fibras comerciales. Las variables respuesta fueron cada una de las determinaciones realizadas.

Análisis Estadístico

Los resultados obtenidos de la composición química, de la fibra dietética y sus fracciones y del contenido β -glucanos de los cereales comerciales altos en fibra se evaluaron mediante un análisis de varianza y para establecer las diferencias del análisis proximal entre los productos comerciales se empleó un análisis de comparación de medias por la prueba de Tukey, utilizando el programa JMP, versión 5.0.1 (SAS, 2005).

Los datos obtenidos de los bioensayos de digestibilidad y razón neta de proteína de las dietas experimentales de los cereales comerciales altos en fibra se evaluaron mediante un análisis de varianza y para establecer las diferencias en la calidad proteica entre los productos comerciales se empleó un análisis de comparación de medias por la prueba de Tukey, utilizando el programa JMP, versión 5.0.1 (SAS, 2005).

Los resultados de los bioensayos de digestibilidad y razón neta de proteína de las dietas experimentales de caseína y de gluten con los distintos ingredientes comerciales altos en fibra se evaluaron mediante un análisis de varianza y para establecer las diferencias de estos indicadores de calidad proteica entre las dietas experimentales se empleó un análisis de comparación de medias por la prueba de Tukey, utilizando el programa JMP, versión 5.0.1 (SAS, 2005).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Selección de Alimentos Comerciales Basados en Cereales

A partir de las encuestas realizadas, se seleccionaron tres grupos de productos comerciales basados en cereales, esta selección fue de acuerdo a su contenido de fibra dietética y de proteína y a la frecuencia de surtido de cada producto en los centros comerciales. El anexo 1 muestra el listado de productos del comercio local basados en cereales altos en fibra y con distinto contenido de proteína. Se organizaron por grupos de acuerdo a su contenido de proteína. A los cuales se les determinó su composición química, su contenido de fibra dietética total, sus fracciones y el contenido de β -glucanos.

Composición Química de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Se seleccionaron del mercado local trece cereales comerciales altos en fibra: un cereal basado en harina de trigo entero, salvado de trigo y maíz (FM); cuatro cereales basados en salvado de trigo (FU, GV, GH, AB); uno basado en salvadillo de trigo (KP); otro basado en trigo y salvadillo de trigo (KPH); tres cereales basados en trigo y salvado de trigo (GVH, SH, MH); uno basado en una mezcla de avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo (GK); uno basado en avena (OH); y uno elaborado de una mezcla de trigo entero, arroz y maíz (FH).

La tabla 3 muestra los resultados del análisis proximal de los cereales comerciales para desayuno altos en fibra. De los cereales comerciales altos en fibra analizados los basados en salvado de trigo mostraron valores altos de proteína variando de 13.9% a 17.8%. Rzedzicki y colaboradores (2008), reportaron cereales basados en sémola de trigo con promedio de 15.35% de proteína. El cereal elaborado con mezcla de avena, trigo, maíz, psyllum y salvado de trigo, tuvo el más bajo contenido de proteína de 6.15%. Este nivel bajo de proteína total no se puede explicar en términos de la composición de las materias primas, de la que se hicieron estos productos comerciales; más bien estos valores pueden ser consecuencia de la alta

Tabla 3. Composición química de cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Muestra	Proteína ² (%)	Grasa (%)	Ceniza (%)	FDT (%)	Chtos ³ (%)
FM	10.24 ±1.1 d	0.73 ±2.0 e	3.70 ±0.9 bc	41.44 ±0.1 b	43.89
FU	15.74 ±0.6 b	1.76 ±1.2 d	5.31 ±0.5 a	38.50 ±0.2 c	37.08
GV	17.78 ±0.3 a	2.5 ±0.9 c	4.75 ±0.4 ab	43.28 ±0.1 a	31.69
GH	17.84 ±0.8 a	2.9 ±1.5 c	3.85 ±0.3 bc	40.82 ±0.1 b	34.59
AB	13.87 ±0.6 c	2.23 ±0.8 c	5.26 ±0.8 a	30.37 ±0.6 e	48.27
KP	14.52 ±0.3 bc	1.55 ±0.5 d	3.65 ±0.5 bc	35.22 ±0.7 d	45.06
KPH	13.29 ±0.8 c	1.85 ±0.7 d	4.25 ±0.7 ab	21.71 ±0.13 f	58.90
GVH	6.19 ±0.7 f	8.52 ±2.6 a	4.28 ±0.6 ab	22.24 ±0.3 f	58.77
SH	11.92 ±0.4 cd	1.34 ±0.8 de	5.1 ±0.5 a	18.62 ±0.5 i	63.02
MH	8.08 ±0.5 e	6.18 ±1.9 b	4.02 ±0.6 b	19.39 ±0.5 hi	62.33
GK	6.15 ±1.2 f	0.58 ±0.4 ef	2.79 ±0.4 c	20.27 ±1.0 gh	70.21
OH	12.96 ±0.9 c	6.60 ±0.9 b	1.85 ±0.2 d	20.96 ±0.4fg	57.63
FH	9.62 ±0.2 de	0.21±0.3 f	3.64±0.5 bc	16.30 ±0.5 j	70.23

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estándar de tres mediciones. a-j Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes (P<0.05). FDT: Fibra dietética total. Chtos: Carbohidratos. FM: Cereal de harina de trigo entero, salvado de trigo y maíz. FU, GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. GVH, SH, MH: Cereales de trigo y salvado de trigo. GK: Cereal de avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo. OH: Cereal de avena. FH: Cereal de trigo entero, arroz y maíz. ² Proteína total (N X 6.25). ³ Calculados por diferencia.

proporción de carbohidratos, en relación con el contenido de proteína, que se utiliza en la formulación de dichos productos. El contenido de proteína para el cereal de avena fue de 12.96%, similar a los valores reportados por Rzedzicki y colaboradores (2008).

El contenido de cenizas mostró diferencias significativas entre los cereales comerciales, con valores bajos como 1.8%, en el cereal basado en avena y en los cereales elaborados con salvado de trigo el rango fue de 3.65-5.31% de cenizas.

De los cereales comerciales para desayuno analizados mostraron bajo contenido de grasa, dos de los cereales basados en salvado de trigo y trigo entero y el cereal de avena sus valores de grasa fueron de 8.5% y 6.6% respectivamente, estos valores son considerados altos en relación al resto de los cereales analizados, mientras que los cereales basados en avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo y el cereal con la mezcla de trigo entero, arroz y maíz el contenido de grasa fue de 0.58% y 0.21% respectivamente, valores considerados bajos en relación a los valores reportados por Rzedzicki y colaboradores (2008).

La fibra dietética es el componente que mayormente determina la calidad de estos productos comerciales. El contenido de fibra dietética total de estos trece cereales comerciales altos en fibra varió de 16.3% para el cereal basado en trigo entero, arroz y maíz a 43.3% para el cereal basado en salvado de trigo. Esta diferencia se puede explicar en términos de las proporciones de los ingredientes empleados en su formulación. Estos resultados fueron superiores a los encontrados por Plaami & Kumpulainen (1993), quienes analizaron cereales comerciales para desayuno basados en trigo entero, obteniendo valores de 11.8% a 14.8% de fibra dietética. Rzedzicki y colaboradores (2008), reportaron contenidos de fibra de 13% a 18% para cereales basados en trigo y de germen de trigo con 34.5% de fibra dietética.

Fibra Dietética de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Fibra dietética insoluble de cereales comerciales altos en fibra

Los productos con alto contenido de fibra dietética insoluble (FDI) son recomendados debido a que mejoran el peristaltismo intestinal. Los resultados del contenido de FDI de los trece cereales comerciales altos en fibra se muestran en la tabla 4. El cereal GV basado en salvado de trigo mostró el valor más alto de FDI de 39.8%, seguido por los cereales FM y GH basados en salvado de trigo (37.3% y 37.2%, respectivamente). Comúnmente, se emplean las capas externas de los granos de cereales para la preparación industrial de estos productos. Sin embargo estos resultados mostraron que los cereales comerciales basados en salvado de trigo (GV, FM, GH, FU) tuvieron los mayores contenidos de FDI (33.7% - 39.8%). En cambio el cereal comercial basado en una mezcla de avena, trigo, maíz, cáscara de psyllum y salvado de trigo, presentó el valor más bajo de FDI (7.4%). De acuerdo a estos resultados el uso diverso de ingredientes en la formulación de estos productos altos en fibra, no necesariamente asegura una mayor fuente concentrada de fibra dietética. El cereal basado en avena presentó 12.1% de FDI, resultado similar al reportado por Rzedzicki y colaboradores (2008) que fue de 12% de FDI para avena, mientras que para un cereal basado en trigo fue de 14.1%, resultado similar al obtenido en este estudio para los cereales basados en trigo y salvado de trigo.

Fibra dietética soluble de cereales comerciales altos en fibra

El contenido de FDS de los cereales comerciales basados en trigo y/o salvado de trigo varió de 2.5% a 5.4% (Tabla 4), el cereal comercial basado en una mezcla de avena, trigo, maíz, cáscara de psyllum y salvado de trigo (GK), mostró el valor más alto (12.8%), seguido del cereal basado en avena (OH) con 8.8%, resultado similar al reportado por Chawla & Patil (2010), que fue de 8% y el cereal basado en salvadillo de trigo y trigo entero tuvo el valor más bajo de FDS (2.5%). Las diferencias en FDS entre los productos de cereales basados en salvado de trigo y trigo, puede ser debido al uso de harinas refinadas. Plaami & Kumpulainen (1993), determinaron el contenido fibra dietética de cereales para desayuno importados, encontraron un

Tabla 4. Contenido de fibra dietética insoluble, soluble, total y β -glucanos de cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Muestra	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)	β -glucanos (%)
FM	37.33 \pm 0.21 b	4.10 \pm 0.07 def	41.44 \pm 0.14 b	1.67 \pm 0.1 d
FU	33.69 \pm 0.09 c	4.81 \pm 0.11 cd	38.50 \pm 0.2 c	2.58 \pm 0.06 b
GV	39.82 \pm 0.26 a	3.46 \pm 0.23 f	43.28 \pm 0.03 a	2.09 \pm 0.09 c
GH	37.21 \pm 0.08 b	3.60 \pm 0.03 ef	40.82 \pm 0.06 b	2.06 \pm 0.08 c
AB	25.01 \pm 0.03 e	5.36 \pm 0.6 c	30.37 \pm 0.63 e	2.03 \pm 0.03 c
KP	31.0 \pm 0.36 d	4.22 \pm 0.33 def	35.22 \pm 0.69 d	1.9 \pm 0.09 c
KPH	19.18 \pm 0.05 f	2.53 \pm 0.08 g	21.71 \pm 0.13 f	0.70 \pm 0.07 e
GVH	16.82 \pm 0.4 g	5.42 \pm 0.7 c	22.24 \pm 0.32 f	0.71 \pm 0.08 e
SH	14.92 \pm 0.5 h	3.70 \pm 0.1 ef	18.62 \pm 0.5 i	0.56 \pm 0.05 f
MH	14.89 \pm 0.2 h	4.50 \pm 0.5 cde	19.39 \pm 0.5 hi	0.55 \pm 0.06 f
GK	7.42 \pm 0.8 j	12.85 \pm 0.2 a	20.27 \pm 1.0 gh	0.74 \pm 0.04 e
OH	12.13 \pm 0.2 i	8.83 \pm 0.3 b	20.96 \pm 0.36fg	4.96 \pm 0.27 a
FH	11.56 \pm 0.3 i	4.74 \pm 0.16 cd	16.30 \pm 0.5 j	0.45 \pm 0.01 g

¹ Los valores corresponden a las medias \pm Desviación estándar de tres mediciones. a-j Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes ($P < 0.05$). FDI: Fibra dietética insoluble. FDS: Fibra dietética soluble. FDT: Fibra dietética total. FM: Cereal de harina de trigo entero, salvado de trigo y maíz. FU, GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. GVH, SH, MH: Cereales de trigo y salvado de trigo. GK: Cereal de avena, trigo, maíz, plantago y salvado de trigo. OH: Cereal de avena. FH: Cereal de trigo entero, arroz y maíz.

contenido de FDS fue de 3.2% en productos a base de hojuelas de trigo. Los cereales para desayuno recomendados deberían primeramente suplir una cantidad adecuada de fibra dietética total, así como cantidades suficientes de otros componentes importantes como los β -glucanos, con efectos hipocolesterolemicos e hipoglicemicos.

Muchos de estos productos comerciales fueron producidos bajo condiciones de tratamientos termoplásticos. El proceso de extrusión ejerce un efecto en las dos principales fracciones de la fibra de estos productos comerciales. Una parte importante de la FDS de estos productos proviene de los productos de descomposición de la FDI (Rzedzicki et al., 2008).

β -glucanos de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Los β -glucanos consisten de polisacáridos no ramificados de β -D-Glucosa, se encuentran en las paredes de las células del endospermo de granos como la cebada y la avena, ayudan a reducir las enfermedades del corazón bajando el nivel de colesterol y reduciendo la reacción glicémica de los carbohidratos.

En términos generales los productos de cereales comerciales para desayuno elaborados a base de avena podrían tener altos contenido de β -glucanos; los productos a base de trigo pudieran tener bajos contenidos de β -glucanos; los productos en base a maíz presentarían cantidades muy pequeñas de β -glucanos y los productos de arroz no contienen β -glucanos (Cui & Wang, 2009).

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos del porcentaje de β -glucanos de los cereales comerciales altos en fibra. Estos resultados se obtuvieron de acuerdo al formato de cálculo (Mega-CalcTM) para la determinación de β -glucanos en cebada y avena proporcionado por Megazyme.

Se observa que el cereal basado en avena (OH) mostró el valor más alto en el contenido de β -glucanos con 4.96%, seguido de los cereales basados en salvado de trigo (FU,GV) 2.58% y 2.09% respectivamente; el cereal basado en una mezcla de trigo entero, arroz y maíz (FH) mostraron el valor más bajo con 0.45%. Los resultados concuerdan con lo reportado por Batthy (1992) quién reporta contenidos

de β -glucanos en avena en un rango de 2.7– 5.5 %. Plaami y Kumpulainen (1993) reportaron que los cereales a base de trigo contienen bajas cantidades de β -glucanos, seguidos de los cereales de maíz, quienes contienen porcentajes más bajos de β -glucanos, y por último los cereales basados en arroz no contienen β -glucanos. Lo anterior concuerda con los datos obtenidos en nuestro estudio, debido a que los cereales basados en salvado de trigo y salvado de maíz presentaron valores de β -glucanos en un rango de 1.7 a 2.5%, mientras que los cereales basados en mezclas de arroz y plantago obtuvieron valores entre 0.74 a 0.45%.

Calidad Proteica de Cereales Comerciales Altos en Fibra

En los últimos 10 años se ha incrementado el consumo de cereales comerciales con alto contenido de fibra dietética (CCAF) (Feng, 2011), esto es debido en gran parte, a que las campañas publicitarias de estos productos los han relacionado con un mejor estado de salud, resultando una amplia variedad de cereales comerciales para desayuno clasificados como “altos en fibra”. Sin embargo, el incremento del consumo de estas fuentes concentradas de fibra dietética de manera desmedida en la dieta puede también causar efectos adversos en la digestión, absorción y utilización de la proteína de los alimentos, afectando su calidad proteica. Por lo que hay que tener cuidado de ello, lo cual no se menciona en la campañas publicitarias de varias compañías encargadas de elaborar alimentos “ricos en fibra”. En esta parte del estudio se plantea evaluar el efecto de la fibra dietética 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.

De acuerdo al análisis de la oferta de productos basados en cereales mostrada en el apartado anterior, se seleccionaron seis cereales comerciales en base a su contenido de proteína y fibra dietética total (FDT), además de considerar la frecuencia de surtido de estas marcas comerciales. Los productos de cereales comerciales para desayuno altos en fibra seleccionados fueron: El cereal (KPH) basado en trigo y salvadillo de trigo, el cereal (KP) basado en salvadillo de trigo, los

cereales (AB, GV y GH) basados en salvado de trigo y el cereal (OH) basado en avena.

Evaluación Biológica de Cereales Comerciales Altos en Fibra

Una de las cualidades en los alimentos son sus atributos nutricionales, los cuales pueden evaluarse mediante diferentes tipos de técnicas, entre las que se encuentran los análisis biológicos, los que son considerados indicadores importantes en este campo. En este estudio se evaluaron los diferentes cereales comerciales altos en fibra seleccionados, los cuales fueron sometidos a un análisis biológico mediante las siguientes pruebas: Digestibilidad de la materia seca (DMS), digestibilidad aparente de nitrógeno (DAN), digestibilidad verdadera de nitrógeno (DVN) y razón neta de proteína (RNP).

Dietas experimentales de cereales comerciales

Para llevar a cabo las evaluaciones biológicas fue necesario diseñar dietas experimentales con cada uno de los productos de los cereales comerciales. En base al contenido de proteína de los cereales comerciales se realizaron los cálculos para la elaboración de las dietas experimentales, las cuales tenían como única fuente de proteína su contenido original. Todas las dietas experimentales elaboradas tuvieron un porcentaje de proteína cercano al 10% de proteína calculado. Además se elaboró una dieta de caseína como control y una dieta libre de nitrógeno. La tabla 5 muestra el contenido de proteína, fibra dietética soluble, insoluble y total de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra.

Digestibilidad de materia seca de cereales comerciales

La materia seca es un indicador de la capacidad nutricional de los alimentos, la cual proporciona información de la absorción de todos los nutrientes presentes en el producto evaluado y su posible asimilación. En la tabla 6 se presenta el consumo de alimento, el total de heces y el porcentaje de DMS de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra. El consumo de alimento es un

Tabla 5. Contenido de proteína, fibra dietética insoluble, soluble y total de dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Dietas	Proteína (%)	FDI (%)	FDS (%)	FDT (%)
KPH	10.16 ±0.3	14.20 ±0.1	2.20 ±0.08	16.40 ±0.5
AB	10.28 ±0.5	24.83 ±0.3	2.35 ±0.3	27.18 ±0.3
KP	10.97 ±0.7	27.91 ±0.2	2.43 ±0.5	30.34 ±0.7
GV	10.32 ±0.4	22.66 ±0.4	2.09 ±0.7	24.75 ±0.2
GH	10.35 ±0.3	21.03 ±0.5	2.64 ±0.4	23.67 ±0.6
OH	10.62 ±0.6	8.35 ±0.8	3.68 ±0.7	12.03 ±0.4

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estándar de tres mediciones. FDI: Fibra dietética insoluble. FDS: Fibra dietética soluble. FDT: Fibra dietética total. GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. OH: Cereal de avena.

Tabla 6. Consumo de alimento, total de heces y % de digestibilidad de materia seca de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Dietas	Alimento consumido (g)	Peso de heces (g)	DMS %
KPH	120.1 ±11.9 b	18.2 ±1.8 d	84.8 ±0.6 b
AB	95.0 ±11.6 c	23.3 ±4.4 c	76.7 ±1.8 c
KP	139.7 ±3.2 ab	41.8 ±0.7 a	72.5 ±0.3 d
GV	162.4 ±11.3 a	36.1 ±1.9 b	77.7 ±0.7 c
GH	168.7 ±20.6 a	37.4 ±3.8 ab	77.7 ±1.1 c
OH	161.8 ±17.5 a	11.7 ±1.5 e	93.0 ±0.4 a
Caseína	157.9 ±5.7	11.2 ±1.7	92.9 ±0.9

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estándar de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes (P<0.05). DMS: Digestibilidad de materia seca. GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. OH: Cereal de avena.

parámetro importante en estos bioensayos y mostró que las dietas basadas en CCAF con altos contenido de FDT registraron el más alto consumo de alimento. Las dietas basadas en los cereales con 40% de FDT (GV, GH) y la dieta del cereal de avena registraron los valores más altos de consumo de alimento, la dieta del cereal basado en salvado de trigo con 30.2% de FDT mostró el menor consumo de alimento.

Todas la dietas de los CCAF basadas en salvado de trigo propiciaron la formación de heces significativamente mayores, en algunos casos tres veces más que el total de heces de la dieta de caseína control. Mientras que las ratas que consumieron la dieta basada en el cereal de avena (OH) dieron cantidades de heces similares a aquellas que consumieron la dieta de caseína control. El contenido total de heces presentó resultados contradictorios, debido a que las dietas basadas en cereales con alto contenido de FDT no necesariamente mostraron la mayor cantidad de heces. La dieta del cereal KP con 35.2% de FDT dio la mayor cantidad de heces (41.8 g) y la dieta basada en el cereal de avena (OH) dio el más bajo (11.7 g).

La digestibilidad de la materia seca relaciona el total del alimento consumido y el total de heces excretadas. Las dietas basadas en CCAF mostraron valores de %DMS de 72.5 a 93, la dieta de avena registró el valor más alto y las dietas elaboradas con cereales con alto contenido de FDT dieron valores de %DMS más bajos. La dieta del cereal de avena fue aún mejor en el %DMS que la dieta de caseína control. Entre los cereales basados en salvado de trigo el que presentó menor contenido de FDT (KPH), registró mayor %DMS (84.8%).

Digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de cereales comerciales

Una de las determinaciones biológicas más importantes en la calidad de los alimentos es la digestibilidad de nitrógeno, esta determinación es un indicador que revela una de las características de la calidad nutricional de los alimentos desde el punto de vista de absorción de nutrientes. Debido a que no toda la proteína de la dieta es digerida en el mismo grado. Existen diferencias en digestibilidad debido a diferencias intrínsecas en las proteínas de los alimentos, incluyendo la forma en la cual las cadenas de aminoácidos están arregladas. Las moléculas de proteína

fuertemente enrolladas son más difíciles de digerir que aquellas que tienen una estructura más abierta ya que las enzimas digestivas pueden atacar más fácilmente. Los aminoácidos en los alimentos pueden estar unidos por ciertos enlaces químicos, como los enlaces peptídicos situados en el interior de la proteína atacada, haciéndolos de esta manera, menos disponibles.

En esta investigación se evaluó la digestibilidad de proteína aparente y verdadera, de las dietas elaboradas con los diferentes cereales para desayuno comerciales altos en fibra. Los resultados obtenidos de ambas determinaciones se muestran en la tabla 7. El consumo de nitrógeno está directamente relacionado al consumo de alimento y siguió un patrón similar. Las dietas con cereal basado en salvado de trigo con contenidos de FDT arriba del 30% y la dieta del cereal de avena registraron más altos consumo de nitrógeno. La dieta del cereal con 30.37% de FDT (AB) registró el más bajo consumo de nitrógeno.

Al relacionar el nitrógeno consumido y el nitrógeno fecal nos da un indicador de la calidad de la proteína como lo es la digestibilidad aparente de nitrógeno (DAN). Este indicador de la absorción de nitrógeno es aparente ya que asume que todo el nitrógeno presente en heces proviene del nitrógeno de la dieta, sin tomar en cuenta que parte de ese nitrógeno proviene del recambio metabólico. Éste nitrógeno se considera en la digestibilidad verdadera de nitrógeno (DVN) al realizar un ajuste en términos del nitrógeno presente en heces registrado por un grupo de ratas alimentadas con una dieta libre de nitrógeno, por eso este indicador de la calidad de la proteína es una medida más precisa de la digestibilidad de nitrógeno. Entre las dietas experimentales la dieta del cereal de avena registró los valores más altos de DAN y DVN de 83.8% y 86% respectivamente, resultado similar al encontrado en diferentes cultivos de avena, las cuales variaron en un rango de 80.41% a 85.67%, de acuerdo con Pedó et al., 1999 y la dieta del cereal basado en salvado de trigo (KP), fue la que presentó los valores más bajos (63.5% y 65.7%). Entre las dietas elaboradas con cereales basados en salvado de trigo, la dieta basada en el cereal con menor contenido de FDT (KPH), presentó altos valores de DAN y DVN (78.0 a 81.19%, respectivamente).

Tabla 7. Consumo de nitrógeno, nitrógeno excretado y porcentaje de digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Dietas	Nitrógeno consumido (g)	Nitrógeno excretado (g)	DAN %	DVN %
KPH	1.95 ±0.19 b	0.43 ±0.04 d	78.08 ±1.3 b	81.19 ±1.2 b
AB	1.55 ±0.19 b	0.57 ±0.1 c	65.0 ±3.6 d	68.95 ±3.7 d
KP	2.67 ±0.06 a	1.06 ±0.02 a	63.53 ±1.2 d	65.78 ±1.1 d
GV	2.68 ±0.19 a	0.72 ±0.06 b	73.01 ±0.7 c	75.25 ±0.7 c
GH	2.78 ±0.34 a	0.78 ±0.1 b	72.01 ±0.8 c	74.19 ±0.8 c
OH	2.74 ±0.31 a	0.46 ±0.08 cd	83.80 ±1.1 a	86.02 ±1.2 a
Caseína	2.45 ±0.09	0.25 ±0.04	89.81 ±0.9	92.06 ±1.0

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estándar de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes (P<0.05). DAN: Digestibilidad aparente de nitrógeno, DVN: Digestibilidad verdadera de nitrógeno. GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. OH: Cereal de avena.

Razón neta de proteína de cereales comerciales

La calidad de la proteína es un aspecto significativo de la calidad nutricional de los alimentos, por lo que es razonable evaluar la calidad proteica en forma individual de cada producto. Se considera que la ganancia en peso del animal en experimentación es producto de la utilización de las proteínas de la dieta. El método se fundamenta en la suposición de que existe una relación lineal para el incremento de peso del animal en función de la ingesta de nitrógeno, una vez que se hace la corrección de la proteína necesitada para el mantenimiento corporal. Por esto los valores de razón neta de proteína (RNP) son medidas verdaderas de la utilización de la proteína, por el animal experimental, y es una medida cuantitativa de los gramos de peso corporal ganado por gramo de proteína consumida. Los resultados de RNP mostraron una calidad de proteína intermedia para estos cereales comerciales altos en fibra, comparados con la dieta control de caseína (Tabla 8). Las dietas de los cereales comerciales presentaron valores de RNP de 1.98-3.23 unidades de RNP. Con la dieta basada en avena se obtuvo el valor más alto de RNP (3.23). La dieta del cereal con 30% de FDT mostró el valor más bajo de RNP (1.98). Las dietas de los cereales con mayor %FDT presentaron valores altos de RNP, la dieta del cereal con 40% de FDT presentó el valor más alto entre los cereales basados en salvado de trigo (3.1). Estudios realizados por Sarwar y colaboradores (1989), muestran valores de RNP de 3.66 para un producto basado en hojuelas de avena y de 2.64 para un producto basado en un cereal de trigo, valor promedio a los resultados encontrados en este estudio.

Es importante considerar el hecho de que estos cereales comerciales para desayuno altos en fibra tiene como única fuente de proteína la que está presente en el salvado de trigo. A pesar de la reconocida baja calidad de la proteína en los cereales como fuente de proteína en la dieta de humanos, estos productos de cereales comerciales mostraron una aceptable calidad proteica, medida como razón neta de proteína en bioensayos en ratas. Los resultados de estos bioensayos mostraron que el cereal de avena presentó diferencia significativa en la utilización de la proteína medida como RNP, en comparación a los cereales basados en salvado de trigo como ingrediente

Tabla 8. Aumento en peso, proteína consumida y razón neta de proteína de las dietas experimentales basadas en cereales comerciales altos en fibra seleccionados de los comercios de Hermosillo, Sonora, México¹.

Dietas	Peso ganado (g)	Proteína consumida (g)	RNPc
KPH	18.25 ±4.0 bc	12.20 ±1.2 b	2.20 ±0.23 c
AB	10.77 ±3.8 c	9.77 ±1.2 b	1.98 ±0.31 c
KP	25.3 ±0.8 b	16.73 ±1.2 a	2.04 ±0.08 c
GV	38.57 ±7.9 a	16.76 ±0.4 a	2.8 ±0.38 b
GH	46.65 ±6.8 a	17.46 ±1.2 a	3.18 ±0.1 ab
OH	46.76 ±8.2 a	17.19 ±2.1 a	3.23 ±0.1 a
Caseína	49.70 ±1.0	15.26 ±0.9	4.29 ±0.4

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estandar de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes (P<0.05). RNPc: Razón neta de proteína corregida. GV, GH, AB: Cereales de salvado de trigo. KP: Cereal de salvadillo de trigo. KPH: Cereal de trigo y salvadillo de trigo. OH: Cereal de avena.

principal. Este estudio mostró la variabilidad en la calidad de la proteína que puede ser obtenida de una gran variedad de estos cereales para desayuno altos en fibra.

Efecto de la Adición de Ingredientes Altos en Fibra a Dietas de Caseína y Gluten sobre su Calidad Proteica

La industria de alimentos ha respondido a la demanda de los consumidores por alimentos con más alto contenido de fibra dietética, desarrollando productos en los cuales se han empleado ingredientes altos en fibra. Estos ingredientes tienen propiedades únicas que elevan el nivel de fibra. El consumo excesivo de estos productos altos en fibra puede tener impacto en la digestibilidad y la calidad proteica de estos productos. El objetivo de esta parte del estudio fue evaluar el efecto de tres productos comerciales utilizados para aumentar el contenido de fibra de los alimentos sobre la excreción de nitrógeno fecal y la digestibilidad en dietas a base de caseína y de gluten, mediante bioensayos, empleando a la rata Sprague dawley como modelo experimental. Los indicadores biológicos determinados fueron: digestibilidad materia seca, digestibilidad aparente de nitrógeno, digestibilidad verdadera de nitrógeno y razón neta de proteína.

Composición Química de las Fibras Comerciales y de sus Dietas

Fibras dietéticas comerciales

Para evaluar el efecto de las fibras dietéticas comerciales sobre la calidad proteica de dietas sintéticas basadas en caseína y en gluten, mediante bioensayos, se elaboraron tres dietas sintéticas de caseína y tres dietas sintéticas de gluten, con tres distintos ingredientes altos en fibra representativas de cada una de las fracciones de la fibra dietética: Insoluble, soluble y total (proporciones similares de insoluble y soluble), las cuales se adicionaron a cada una de las dietas sintéticas: un ingrediente alto en fibra basado en salvado de trigo comercializado como fibra dietética insoluble, otro ingrediente alto en fibra el cual contiene como componente principal maltodextrinas resistentes comercializado como fibra soluble y un tercer ingrediente

alto en fibra obtenido de pulpa de cítricos conformada por cantidades similares de fibra insoluble y soluble. El contenido de proteína de estos ingredientes altos en fibra varió desde 0.32% para la fibra soluble y de 7.65% para la fibra conformada por las fracciones insoluble y soluble. El contenido de fibra dietética para la fibra obtenida de salvado de trigo fue de 94.0 % de fibra insoluble, conteniendo trazas de fibra soluble, Cho y colaboradores (1999), reportan un contenido de fibra dietética total del ingredientes altos en fibra obtenidos de salvado de trigo de hasta un 90%; el ingrediente alto en fibra basado en maltodextrinas resistentes presentó 50% de fibra soluble y trazas de fibra insoluble, resultado similar al reportado por Hashizume & Okuma, 2009 quienes reportan un producto de maltodextrinas resistentes con 58% de fibra dietética; y el ingrediente obtenido de pulpa de cítricos mostró 36.6% de fibra dietética insoluble y 31.4% de fibra soluble datos similares a los reportados por Nelson, 2001 quién reporta un rango de 50 a 80% de fibra dietética total obtenida a partir de cítricos (Tabla 9).

Dietas experimentales basadas en caseína y gluten

Dietas de caseína con los ingredientes comerciales. En base al contenido de proteína de caseína, se elaboraron tres dietas sintéticas con caseína como fuente de proteína adicionando los tres distintos ingredientes altos en fibra a un 5% de fibra dietética total: una dieta de caseína adicionada con el ingrediente alto en fibra insoluble (CAS-INS); otra dieta de caseína con el ingrediente alto en fibra soluble (CAS-SOL); y una tercer dieta de caseína con el ingrediente alto en fibra total basado en cantidades similares de fibra insoluble y soluble (CAS-IS) además se elaboró una dieta de caseína con fibra de celulosa al 5% (CAS-CEL) y otra dieta de caseína sin fibra, a la cual no se le agregó ningún componente de fibra (CAS-sinF).

Dietas de gluten con los ingredientes comerciales. En base al contenido de proteína del gluten, se elaboraron tres dietas sintéticas con gluten como fuente de proteína adicionando los tres distintos ingredientes altos en fibra a un 5% de fibra dietética total: una dieta de gluten adicionada con el ingrediente alto en fibra insoluble (GLU-INS); otra dieta de gluten con el ingrediente alto en fibra soluble (GLU-SOL); y una

Tabla 9. Contenido de proteína y fibra dietética insoluble, soluble y total de ingredientes comerciales altos en fibra¹.

	Proteína	FDI	FDS	FDT
Ingrediente comercial alto en fibra	%			
Fibra insoluble (Salvado de trigo)	0.65 ±0.5 b	94.0 ±0.9 a	0.12 ±0.05 c	94.12 ±0.9a
Fibra soluble (Maltodextrinas)	0.32 ±0.3 b	0.25 ±0.06 c	49.75 ±0.2 a	50.0 ±0.1 c
Fibra Insoluble-soluble (Pulpa de cítricos)	7.65 ±0.8 a	36.6.0 ±0.2 b	31.4 ±0.6 b	68.0 ±0.4 b

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estandar de tres mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, no son significativamente diferentes (P<0.05). FDI: Fibra dietética insoluble. FDS: Fibra dietética soluble. FDT: Fibra dietética total.

tercer dieta de gluten con el ingrediente alto en fibra total basado en cantidades similares de fibra insoluble y soluble (GLU-IS) además se elaboró una dieta de gluten con fibra de celulosa al 5% (GLU-CEL) y otra dieta de gluten sin fibra, a la cual no se le agregó ningún componente de fibra (GLU-sinF). La tabla 10 presenta la composición de las dietas experimentales de caseína y gluten más las fibras dietéticas comerciales empleadas en los bioensayos.

Todas las dietas experimentales elaboradas tuvieron un porcentaje de proteína cercano al 10% de proteína calculado. El contenido de proteína de las dietas experimentales varió de 9.8% para la dieta sintética de caseína con fibra de celulosa hasta 10.9% para la dieta sintética de gluten con proporciones similares de insoluble y soluble; el contenido de fibra dietética total de todas las dietas experimentales fue de alrededor de 5% variando de 5% para la dieta de caseína con fibra insoluble hasta 5.9% para la dieta de gluten con fibra insoluble-soluble (Tabla 11).

Parámetros del Bioensayo de Dietas de Caseína y Gluten

Al realizar los bioensayos de calidad proteica es importante el análisis de ciertos parámetros que nos indican la manera en que se desarrolló el bioensayo. Entre estos parámetros están: consumo de alimento, cantidad de heces excretadas, aumento en peso de cada una de las ratas que consumieron las distintas dietas experimentales y la dieta libre de nitrógeno, así como también el consumo y excreción de nitrógeno.

Consumo de alimento de ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten

El consumo de alimento es un parámetro de utilidad en todo bioensayo, permite observar si se presentan diferencias en los patrones de consumo de cada una de las ratas, además permite relacionar si los aumentos en peso o la cantidad de heces fueron por una mayor ingesta o por un efecto directo de la variable que se experimentó. El consumo de alimento se obtuvo cada tercer día, durante los 14 días que duro el bioensayo, la figura 2 muestra el consumo de alimento de los grupos de ratas alimentadas con las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con

Tabla 10. Composición de las dietas sintéticas basadas en caseína y gluten con ingredientes altos en fibras empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína.

Dietas	Componentes (g/1000)							
	Caseína	Gluten	Almidón	Fibra	Aceite	Azúcar	Vitaminas	Minerales
CAS-CEL	112.5	--	577.5	50.0	80	120	25	35
CAS-INS	112.5	--	574.3	53.2	80	120	25	35
CAS-SOL	112.5	--	541.3	86.2	80	120	25	35
CAS-IS	106.9	--	559.8	73.3	80	120	25	35
CAS-sinF	112.5	--	627.5	--	80	120	25	35
GLU-CEL	--	125.6	564.4	50.0	80	120	25	35
GLU-INS	--	125.6	561.2	53.2	80	120	25	35
GLU-SOL	--	125.6	528.2	86.2	80	120	25	35
GLU-IS	--	117.3	549.4	73.3	80	120	25	35
GLU-sinF	--	125.6	614.4	--	80	120	25	35
LN	--	--	690	50	80	120	25	35

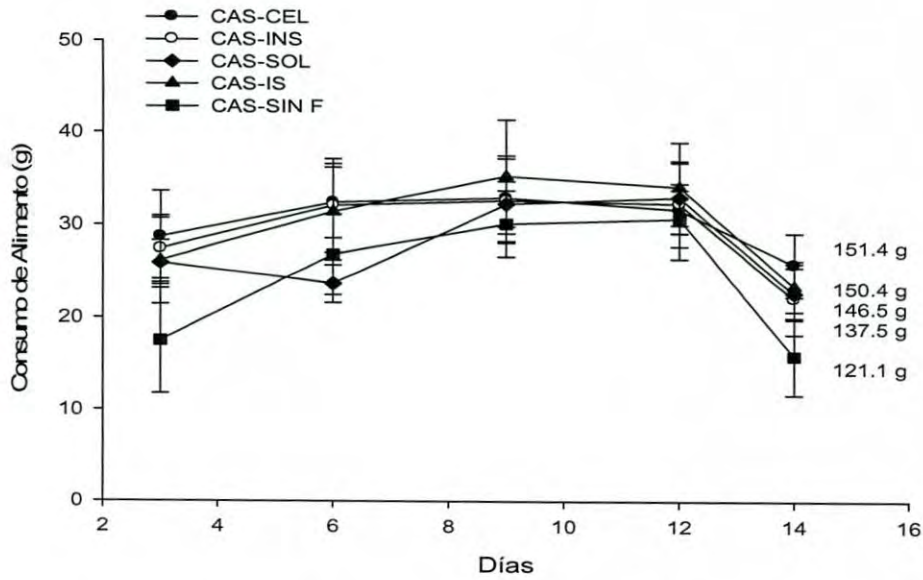
CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. CAS-INS: Dieta de caseína con fibra insoluble. CAS-SOL: Dieta de caseína con fibra soluble. CAS-IS: Dieta de caseína con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. CAS-sinF: Dieta de caseína sin fibra. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-INS: Dieta de gluten con fibra insoluble. GLU-SOL: Dieta de gluten con fibra soluble. GLU-IS: Dieta de gluten con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. GLU-sinF: Dieta de gluten sin fibra.

Tabla 11. Contenido de proteína y fibra dietética de dietas sintéticas basadas en caseína y gluten con ingredientes altos en fibras empleadas en los bioensayos para determinar digestibilidad y razón neta de proteína¹.

Dietas	Proteína	Fibra dietética insoluble	Fibra dietética soluble	Fibra dietética total
	%			
CAS-CEL	9.8±0.5	5.2 ±0.5	--	5.2 ±0.3
CAS-INS	10.5 ±0.3	5.0 ±0.02	--	5.0 ±0.6
CAS-SOL	10.3 ±0.4	--	5.4 ±0.08	5.4 ±0.3
CAS-IS	10.8 ±0.7	3.2 ±0.3	2.5 ±0.05	5.7 ±0.8
CAS-sinF	10.1 ±0.5	--	--	--
GLU-CEL	10.2 ±0.5	5.3 ±0.7	--	5.3 ±0.7
GLU-INS	10.1 ±0.6	5.8 ±0.4	--	5.8 ±0.7
GLU-SOL	10.0 ±0.5	--	5.3 ±0.6	5.3 ±0.6
GLU-IS	10.9 ±0.8	3.3 ±0.5	2.6 ±0.3	5.9 ±0.8
GLU-sinF	10.1 ±0.5	--	--	--

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estandar de tres mediciones. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. CAS-INS: Dieta de caseína con fibra insoluble. CAS-SOL: Dieta de caseína con fibra soluble. CAS-IS: Dieta de caseína con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. CAS-sinF: Dieta de caseína sin fibra. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-INS: Dieta de gluten con fibra insoluble. GLU-SOL: Dieta de gluten con fibra soluble. GLU-IS: Dieta de gluten con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. GLU-sinF: Dieta de gluten sin fibra.

(a)



(b)

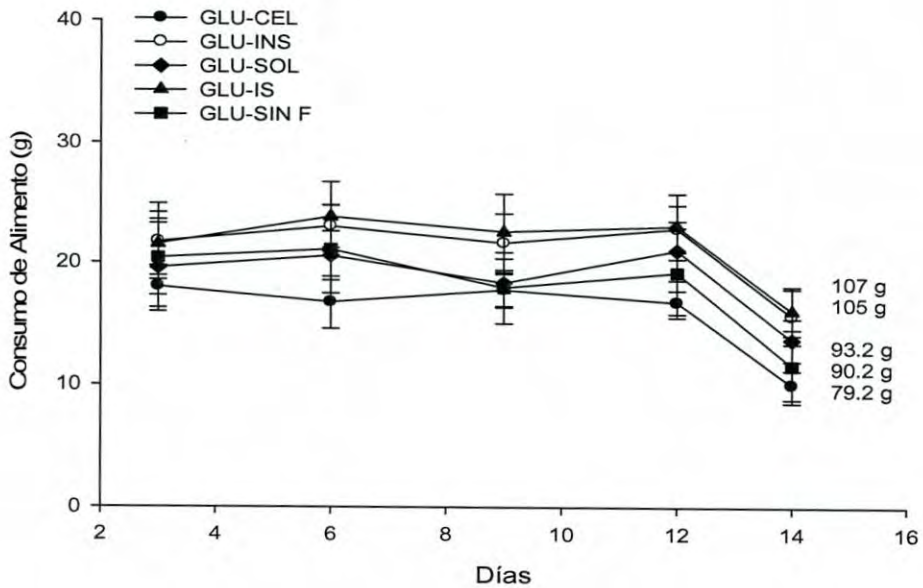


Figura 2. Consumo de alimento de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína (a) y gluten (b) con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm Desviación estandar de ocho observaciones.

fibra dietética comercial. Cada uno de los trazos en la gráfica, representa el consumo de alimento durante el bioensayo de 14 días de cada una de las dietas experimentales. Cada punto en el trazo, representa el valor del alimento consumido promedio de ocho determinaciones, es decir, de ocho individuos que consumieron determinada dieta. El intervalo de tiempo, entre cada punto en el trazo, es de tres días, período en el que se realizaron las mediciones. La Figura 2 (a) muestra los patrones del consumo de alimento de las ratas alimentadas con las dietas experimentales de caseína con las distintas fibras comerciales. En esta gráfica se observa que las ratas alimentadas con las dietas CAS-INS, CAS-SOL y CAS-IS presentaron una ingesta total que varió entre 137.5–150.4 g, dando un promedio de 10.3 g por día; las ratas alimentadas con la dieta CAS-CEL presentaron un consumo total de 151.4 g, es decir 10.8 g por día. Meneses y colaboradores (2008), presentaron resultados similares al suministrar una dieta control con caseína como fuente de proteína y celulosa como fuente de fibra, reportando un consumo de alimento de las ratas sometidas a esta dieta de 13.5 g por día. En investigaciones realizadas por Feddern y colaboradores (2008), mostraron un consumo promedio diario de ratas alimentadas con dieta de caseína y fibra de celulosa de 13.16 g por día en ratas Wistar con pesos promedios de 139 g. En la investigación realizada por Shah y colaboradores (1982), se reportó que la celulosa solo a un nivel de 10 y 20% presentó un aumento en la cantidad de alimento ingerido al compararla con una dieta que contenía una fibra dietética insoluble de salvado de trigo, presentando las mismas tendencias en cuanto a consumo de alimento cuando fueron suministradas a un nivel de 5%.

La figura 2 (b) muestra los patrones del consumo de alimento de las ratas alimentadas con las dietas experimentales de gluten con las distintas fibras comerciales. En esta gráfica se observa que las ratas alimentadas con las dietas GLU-INS, GLU-SOL y GLU-IS presentaron una ingesta total que varió entre 93.2–106.9 g, dando un promedio de 7.3 g por día; las ratas alimentadas con la dieta GLU-CEL presentaron un consumo total de 79.2 g, es decir 5.6 g por día. Al suministrar las dietas experimentales que tiene como única fuente de proteína la

proteína presente en gluten y las fibras comerciales como fuente de fibra se observó una menor ingesta en comparación a la ingesta de las ratas alimentadas con las dietas experimentales de caseína y fibras comerciales. Otra observación a considerar es que el consumo total de las ratas alimentadas con la dieta GLU-CEL fue menor al consumo total de las ratas alimentadas con las dietas de gluten y fibras comerciales. El consumo de alimento de los grupos con dietas sin fibra, fue más bajo en comparación con los grupos con dietas con fibra, se ha demostrado que la inclusión de fibra en las raciones de aves y cerdos generalmente produce un incremento en el consumo de alimento (Savón, 2002).

En lo que respecta al consumo de alimento por las ratas a las que se suministró las dietas libres de nitrógeno con los distintos ingredientes comerciales altos en fibra (Figura 3), se observó que la ingesta de alimento fue disminuyendo durante los 14 días del bioensayo. Todas las dietas mostraron un comportamiento similar, con un consumo total entre 61.5-66 g y un promedio de 4.5 g por día. No se presentaron cambios significativos en la ingesta de alimento al comparar la dieta LN-CEL con las dietas LN-INS, LN-SOL y LN-IS. Shah et al. (1982) reportó resultados similares al encontrar que las ratas alimentadas con una dieta libre de nitrógeno y de celulosa como fuente de fibra, presentaron un consumo de alimento de 5.2 g por día.

Total de heces excretadas por ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten

Otro parámetro analizado es la cantidad de heces recolectadas de cada uno de los grupos experimentales. La figura 4 muestra las líneas de tendencia resultantes al graficar la cantidad de heces excretadas cada tercer día por ratas alimentadas con dietas experimentales basadas en caseína y gluten con las distintas fibras dietéticas comerciales. En la figura 4 (a) se observa que la cantidad total de heces presentó diferencias significativas entre las distintas dietas de CAS-INS, CAS-SOL y CAS-IS variando entre 4-9 g dando un promedio entre 0.3-0.6 g por día. El comportamiento en la cantidad de heces de las ratas a las que se les suministro la dieta CAS-INS fue muy similar a la cantidad de las que consumieron la dieta CAS-CEL (9.0-10.1 g)

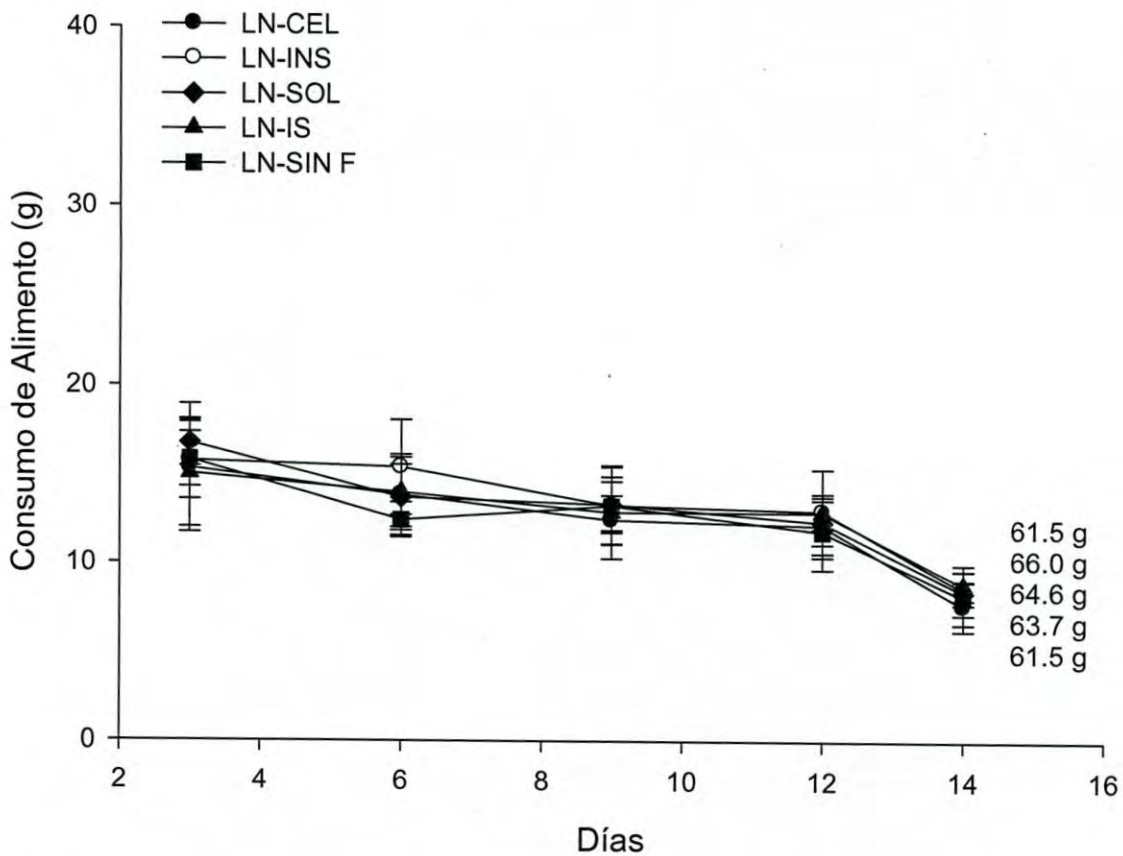
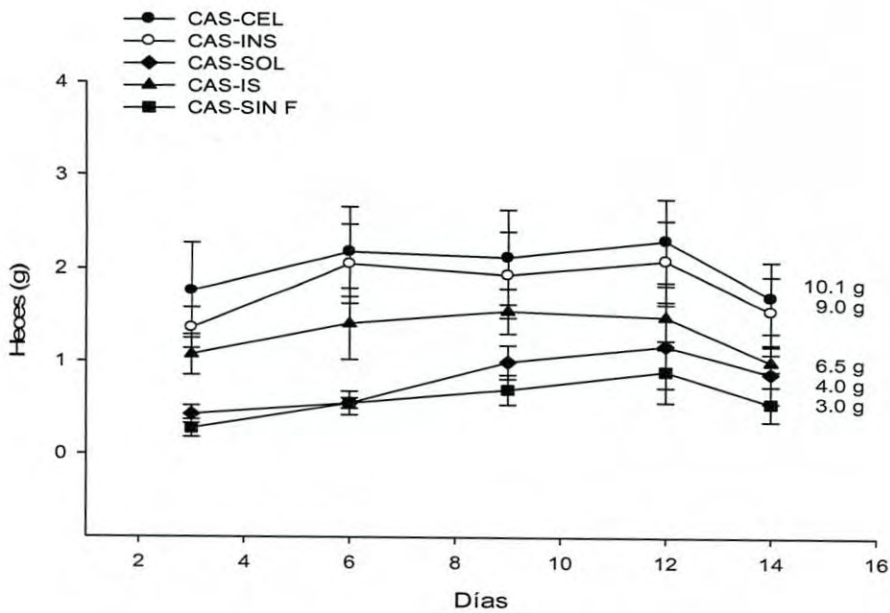


Figura 3. Consumo de alimento de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno (LN) y los ingredientes comerciales altos en fibras. CEL: celulosa. INS: Insoluble. SOL: soluble. IS proporciones similares de insoluble y soluble. SIN F: sin fibra. Los datos corresponden a las medias \pm Desviación estandar de ocho observaciones.

(a)



(b)

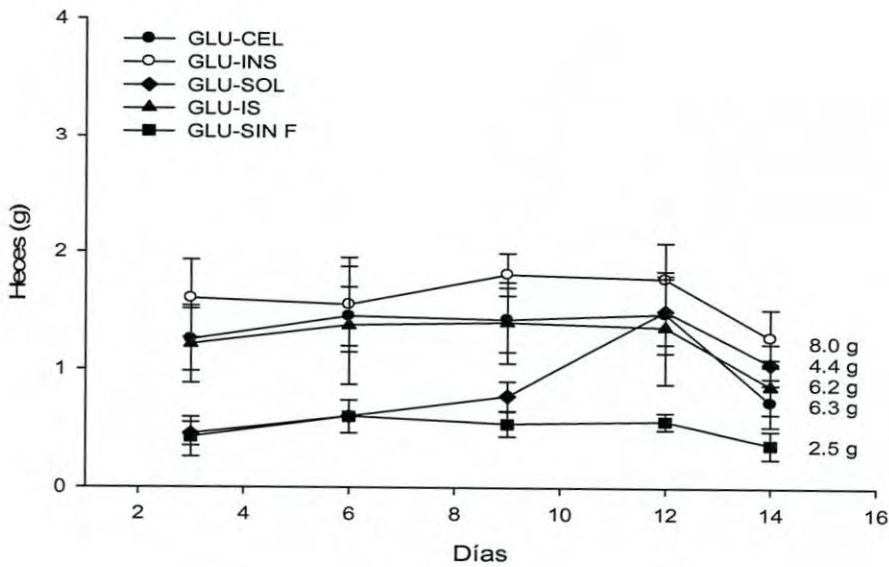


Figura 4. Cantidad de heces de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína (a) y gluten (b) con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm Desviación estandar de ocho observaciones.

respectivamente, resultados similares a los obtenidos por Barrón y colaboradores (2013), quienes analizaron el efecto de la adición de distintas fibras insolubles sobre la calidad proteica en dietas de caseína, las ratas alimentadas con las dietas CAS-SOL y CAS-IS presentaron valores significativamente diferentes con respecto a la cantidad de heces de las ratas que consumieron la dieta CAS-CEL. Aun cuando no se presentaron diferencias significativas ($p=0.05\%$) en el consumo de alimento de estas dietas, si se presentaron diferencias significativas en el contenido total de las heces, presentado valores más altos las dietas a las que se les adicionó la fibra insoluble y la fibra de celulosa, este comportamiento se atribuye a que la fibra insoluble presenta una mayor retención de agua, aumentando la masa fecal y el peso de las heces (García & Velasco, 2007). El contenido total de heces de las ratas a las que se les suministró la dieta CAS-sinF presentó los valores más bajos dando un promedio de 3 g. El contenido total de heces excretadas por ratas alimentadas con dietas CAS-CEL, CAS-INS y CAS-IS fue de dos a tres veces mayor al contenido del total de las heces excretadas por ratas alimentadas con dieta CAS-SOL y CAS-sinF.

La figura 4 (b) muestra la cantidad del total de heces de las ratas alimentadas con las dietas GLU-INS, GLU-SOL y GLU-IS las cuales variaron entre 4.4-8 g dando un promedio entre 0.3-0.6 g por día. La cantidad de heces correspondientes a la dieta GLU-INS presentó diferencia significativa con respecto a la cantidad de las dietas GLU-SOL y GLU-IS. La adición de estas tres distintas fibras a las dietas con gluten no mostró diferencias significativa con respecto a la cantidad de heces obtenidas por el consumo de la dieta de gluten con fibra de celulosa. Aunque no se presentaron diferencias significativas ($p=0.05\%$) en el consumo de alimento de estas distintas dietas, si se presentaron diferencias significativas en el contenido total de las heces entre estas dietas, presentado el valor más alto la dieta a la que se le adicionó la fibra insoluble. El contenido total de heces de las ratas a las que se les suministró la dieta GLU-sinF presentó los valores más bajos dando un promedio de 2.5 g. El contenido total de heces excretadas por ratas alimentadas con la dieta GLU-INS fue de dos a tres veces mayor al contenido del total de las heces excretadas por ratas alimentadas con dieta GLU-SOL y GLU-sinF.

El tipo de fibra dietética presente en estas dietas influyó en gran medida en la cantidad de las excretas, se observa que la dieta con fibra insoluble incrementa el volumen de las excretas, en comparación con las dietas con fibra soluble y la dieta a la que se le adicionó fibra con proporciones similares de fibra soluble e insoluble, las cuales presentaron cantidades menores del total de heces.

Al graficar la cantidad de heces de las ratas sometidas a las dietas libres de nitrógeno y fibra comerciales (Figura 5) se observó que el promedio total de heces de las ratas alimentadas con las dietas LN-INS, LN-SOL y LN-IS varió entre 2.6-3.8 g, con un promedio de 0.2 g por día, resultados menores a los obtenidos por las ratas que recibieron la dieta LN-CÉL las cuales excretaron un total de heces de 4.2 g, dando 0.3 g por día.

Estos resultados muestran que el consumo de dietas libre de nitrógeno con fibra de celulosa ejerce un mayor efecto en la cantidad de heces totales excretadas, estos resultados concuerdan con los obtenidos por Barrón y colaboradores (2013), quienes encontraron que al suministrar dietas libre de nitrógeno con celulosa como fuente de fibra, las ratas tuvieron una cantidad de heces totales de 3.9 g y al cambiar la fuente de fibra insoluble el efecto fue menor. En este estudio la adición de las distintas fibras comerciales a las dietas libres de nitrógeno presentó un menor efecto en comparación con la celulosa. En el grupo de ratas alimentadas con la dieta LN-sinF se observó que la falta del consumo de fibra produjo cantidades menores en el total de heces.

Aumento en peso de ratas alimentadas con dietas de caseína y gluten

El tercer parámetro y el más importante dentro del desarrollo de los bioensayos de calidad proteica, es la ganancia en peso del animal en experimentación, indica los gramos de aumento en peso por gramo de proteína consumida, por lo que es importante analizar y determinar si esta variable en este caso la fibra, ejerce un efecto significativo en el aumento en peso.

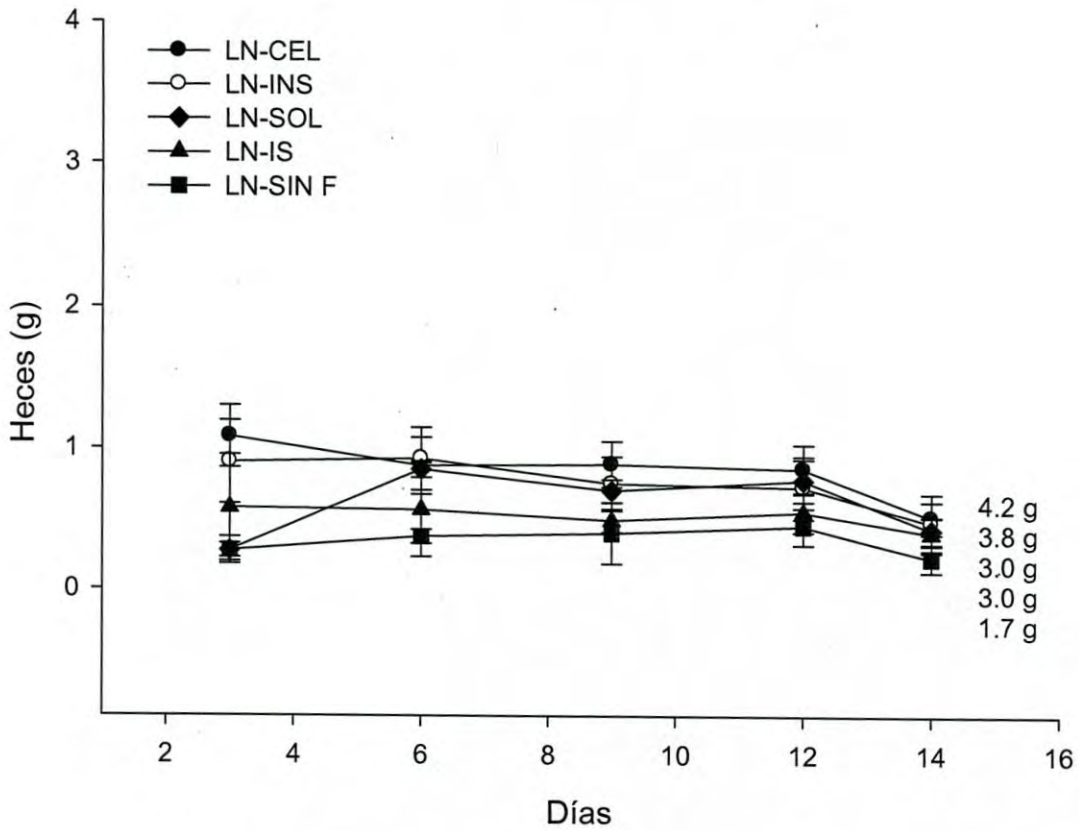


Figura 5. Cantidad de heces de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno (LN) y los ingredientes comerciales altos en fibras. CEL: celulosa. INS: Insoluble. SOL: soluble. IS proporciones similares de insoluble y soluble. SIN F: sin fibra. Los datos corresponden a las medias \pm Desviación estandar de ocho observaciones.

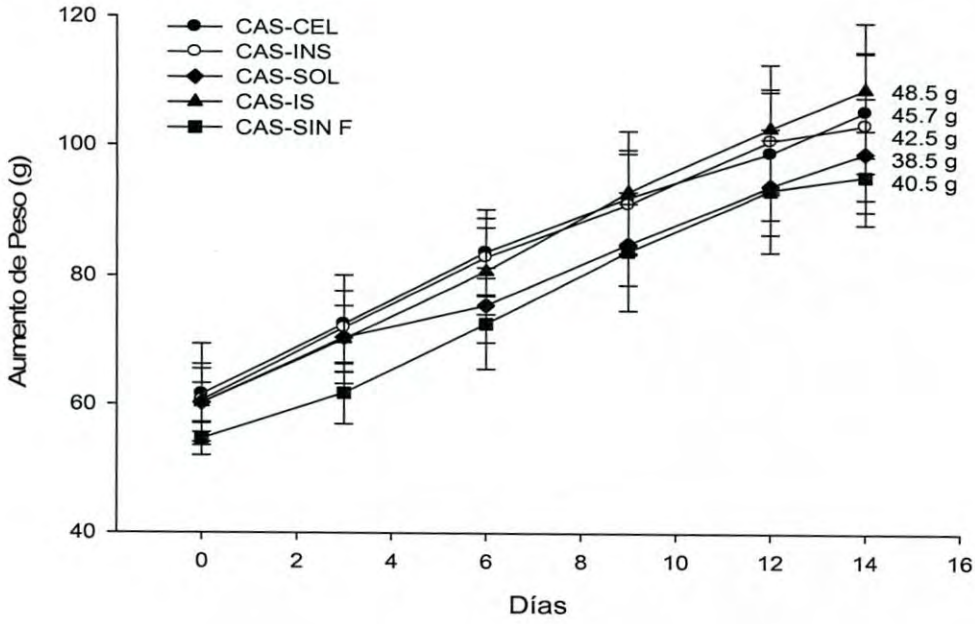
La figura 6 muestra el comportamiento obtenido al graficar el peso de las ratas por cada tercer día de cada uno de los grupos experimentales alimentados con dietas basadas en caseína y gluten con las distintas fibras comerciales. En la gráfica de la Figura 6 (a) se observa que a medida que transcurría el tiempo de estudio, las ratas alimentadas con las dietas de CAS-INS, CAS-SOL y CAS-IS incrementaron su peso en un promedio de 3.0-3.5 g por día, alcanzando un aumento total entre 38.5 y 48.5 g. Se encontró que las tres dietas mostraron un comportamiento similar a la dieta de CAS-CEL, se observó que el consumo de la dieta CAS-IS promovió un mayor aumento de peso total en comparación con la dieta CAS-CEL y el consumo de la dieta CAS-SOL promovió un menor aumento en peso total, sin embargo no se presentaron diferencias significativas. Feddern y colaboradores (2008), reportaron un aumento total en peso de 39.5 g al suministrar a ratas Wistar, una dieta con caseína al 10% y celulosa a un nivel de 5% como fuente de fibra. Estas tendencias de aumento en peso al suministrar dietas de caseína con celulosa, concuerdan con los obtenidos en la presente investigación.

En la gráfica de la Figura 6 (b) se encontró que a medida que transcurría el tiempo de estudio, las ratas alimentadas con las dietas de GLU-INS, GLU-SOL y GLU-IS aumentaron su peso en un promedio de 0.4-0.8 g por día, alcanzando un aumento total entre 5.6 y 11.2 g. Se encontró que las dietas GLU-INS y GLU-SOL mostraron un comportamiento similar a la dieta de GLU-CEL, el consumo de la dieta GLU-IS promovió un significativo mayor aumento de peso total en comparación con las otras dietas y el consumo de la dieta GLU-SOL promovió un menor aumento en peso total.

Al comparar las dos gráficas se observa que tanto el consumo de dietas de caseína con fibra IS así como la dieta de gluten con fibra IS promovieron un mayor aumento en peso total, en comparación con las dietas a las que se les adicionó la fibra soluble, las cuales promovieron un menor aumento en peso.

La figura 7 presenta las gráficas del peso de las ratas de cada tercer día de los grupos experimentales sometidos a las dietas libres de nitrógeno y las distintas fibras comerciales.

(a)



(b)

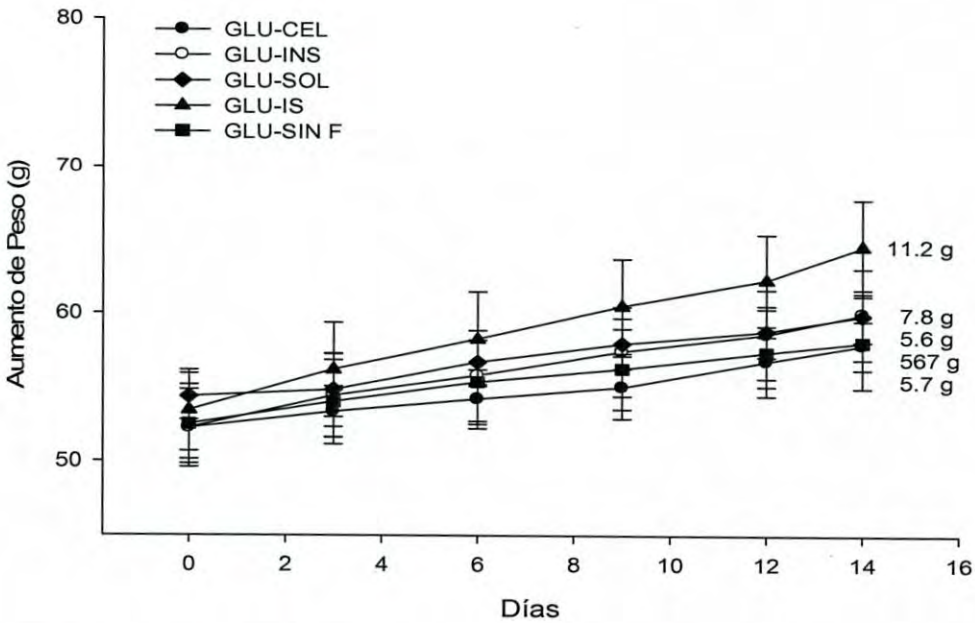


Figura 6. Aumento de peso de ratas alimentadas con dietas elaboradas a base de caseína y gluten con ingredientes comerciales altos en fibras. Los datos corresponden a las medias \pm DE de ocho observaciones.

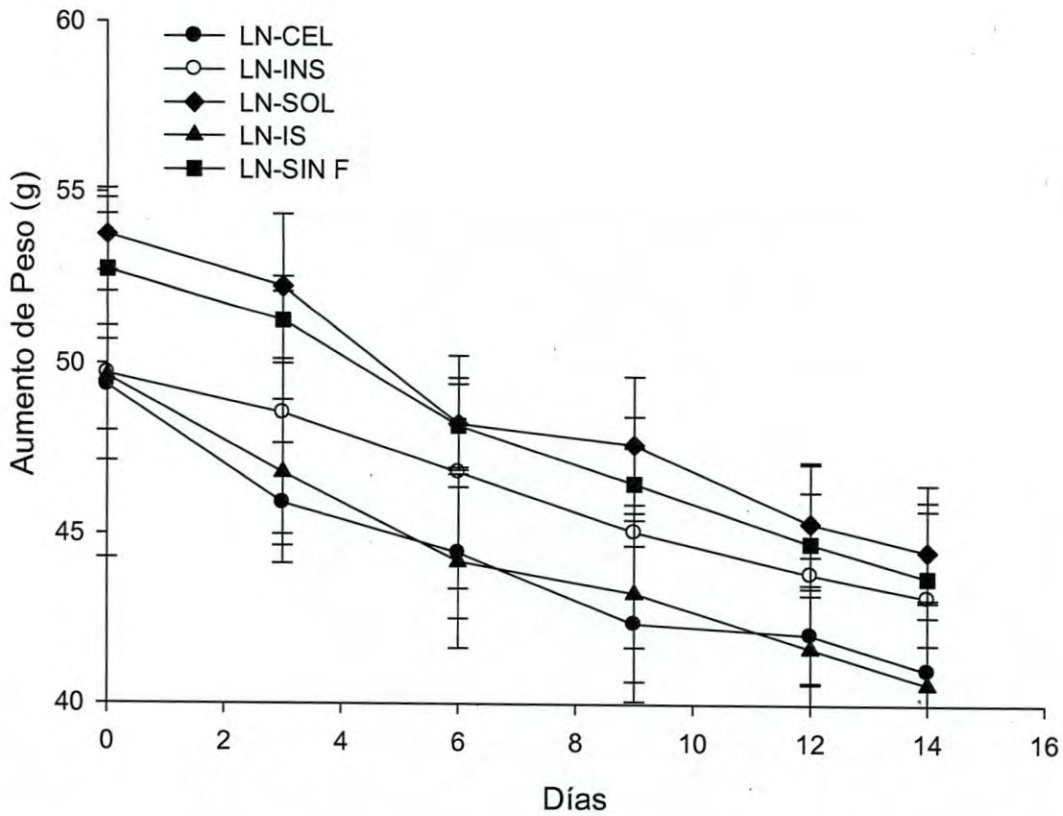


Figura 7. Pérdida de peso de las ratas alimentadas con dietas libres de nitrógeno (LN) y los ingredientes comerciales altos en fibras. CEL: celulosa. INS: Insoluble. SOL: soluble. IS proporciones similares de insoluble y soluble. SIN F: sin fibra. Los datos corresponden a las medias \pm Desviación estandar de ocho observaciones.

Se observó que los pesos de las ratas alimentadas con las dietas LN-INS, LN-SOL y LN-IS mostraron una disminución total de 5.9-6.5 g del peso inicial y un promedio de 0.5 g por día. Las ratas alimentadas con la dieta LN-CEL disminuyeron su peso alrededor de 8.35 g durante los 14 días del bioensayo y un promedio de 0.6 g por día. Estos resultados demuestran que la fibra celulosa promueve una disminución significativa en peso de la rata al suministrar dietas libres de nitrógeno y dicho efecto no se presenta al suministrar dietas a base de las distintas fibras comerciales. Shah et al. (1982) reportaron resultados similares al encontrar que solo las ratas alimentadas con una dieta libre de nitrógeno y celulosa al 5% como fuente de fibra presentaron un aumento significativo en la pérdida de peso de 0.9 g por día y este comportamiento no se presentó al suministrar dietas libres de nitrógeno con salvado de trigo al 5% como fuente de fibra.

Indicadores de Calidad Proteica de Dietas de Caseína y Gluten

Digestibilidad de materia seca de dietas de caseína y gluten

La digestibilidad de un alimento se puede definir como la cantidad de alimento que se ingiere y no se elimina con las heces por lo que se supone que fue absorbida, es una forma de medir el aprovechamiento de un alimento, es decir, la facilidad con que es convertido en el aparato digestivo en sustancias útiles para la nutrición. Comprende dos procesos, la digestión que corresponde a la hidrólisis de las moléculas complejas de los alimentos, y la absorción de pequeñas moléculas (aminoácidos, ácidos grasos) en el intestino. Este término hace referencia al grado de utilización de los nutrientes y se calcula a través del coeficiente de digestibilidad, que toma en cuenta la cantidad ingerida y la eliminada por heces. De este modo, se considera que todo aquello que no se ha eliminado, ha sido digerido y absorbido.

La tabla 12 muestra los resultados de consumo de alimento total, total de heces y digestibilidad de materia seca (DMS) de los grupos de ratas alimentadas con dietas experimentales basadas en caseína y gluten con fibra dietética. Entre las dietas experimentales basadas en caseína y las distintas fibras se observa que la mayor DMS corresponde a la dieta CAS-SOL, dando un valor similar a la dieta de CAS-sinF

Tabla 12. Consumo de alimento, heces totales y digestibilidad de materia seca de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales¹.

Dietas	Alimento consumido (g)	Heces totales (g)	DMS %
CAS-CEL	151.4 ±17.3 a	10.1 ±1.4 a	93.3 ±0.7 c
CAS-INS	146.5 ±15.2 a	9.0 ±1.5 a	93.9 ±0.8 c
CAS-SOL	137.5 ±11.6 a	4.0 ±0.5 c	97.1 ±0.2 a
CAS-IS	150.4 ±18.5 a	6.5 ±0.9 b	95.6 ±0.6 b
CAS-SinF	121.1 ±12.8	3.0 ±0.5	97.5 ±0.7
GLU-CEL	79.2 ±5.7 b	6.3 ±1.2 ab	92.1 ±1.1 b
GLU-INS	104.8 ±8.5 a	8.0 ±0.8 a	92.3 ±0.9 b
GLU-SOL	93.2 ±10.4 ab	4.4 ±0.3 b	95.3 ±0.4 a
GLU-IS	106.9 ±11.3 a	6.2 ±1.5 b	94.2 ±1.4a
GLU-SinF	90.2 ±15.4	2.5 ±0.4	97.2 ±0.3

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estandar de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, en cada sección, no son significativamente diferentes (P<0.05). DMS: Digestibilidad de materia seca. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. CAS-INS: Dieta de caseína con fibra insoluble. CAS-SOL: Dieta de caseína con fibra soluble. CAS-IS: Dieta de caseína con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. CAS-sinF: Dieta de caseína sin fibra. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-INS: Dieta de gluten con fibra insoluble. GLU-SOL: Dieta de gluten con fibra soluble. GLU-IS: Dieta de gluten con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. GLU-sinF: Dieta de gluten sin fibra.

seguido de las dietas CAS-IS y CAS-INS, ésta última mostró un resultado similar a la dieta CAS-CEL. Las ratas que consumieron la dieta CAS-SOL presentaron un aumento significativo en %DMS al compararlas con las ratas que consumieron las otras dietas, esto se debe principalmente a que las ratas que consumieron la dieta CAS-SOL excretaron una menor cantidad de heces al compararlas con las excretas de las ratas que consumieron el resto de las dietas experimentales.

En relación a las dietas experimentales basadas en gluten y las distintas fibras se observó que la mayor DMS corresponde a la dieta GLU-SOL, seguido de las dietas GLU-IS y GLU-INS, ésta última mostró un resultado similar a la dieta GLU-CEL. Las ratas que consumieron la dieta GLU-SOL presentaron un aumento significativo en %DMS al compararlas con las ratas que consumieron las dietas GLU-INS y GLU-CEL, esto se debe principalmente a que las ratas que consumieron la dieta CAS-SOL excretaron una menor cantidad de heces al compararlas con las excretas de las ratas que consumieron las dietas GLU-INS y GLU-CEL. Wilfart y colaboradores (2007), trabajaron con cerdos a los cuales les suministraron distintas dietas a base de cereales y con distintos niveles de fibra: bajo, mediano y alto contenido de fibra, encontrando que conforme se elevaba la cantidad de FD principalmente insoluble, se presentaba una disminución del %DMS. Los resultados de %DMS mostraron un patrón similar tanto en las ratas que consumieron la dieta de caseína como la de gluten con las distintas fibras.

Digestibilidad aparente de nitrógeno de dietas de caseína y gluten

La digestibilidad aparente de nitrógeno (DAN) relaciona el porcentaje de nitrógeno proteico de la dieta que es absorbido después del proceso de digestión. Es denominado nitrógeno aparente, porque este cálculo asume, que todo el nitrógeno excretado, proviene del nitrógeno no absorbido después de la digestión y no considera que parte de este nitrógeno excretado en heces corresponde al nitrógeno endógeno.

Este indicador de la calidad de la proteína, se obtiene de comparar el nitrógeno ingerido, proveniente del consumo de alimento multiplicado por el contenido de

nitrógeno total en la dieta, al cual se le resta el nitrógeno excretado en heces y es dividido entre el nitrógeno total ingerido. Por diferencia obtenemos % de nitrógeno, proveniente de la dieta, que será absorbido.

En la tabla 13 se muestra la cantidad de nitrógeno ingerido, nitrógeno excretado y los resultados del DAN de los grupos de ratas alimentadas con las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con fibras comerciales.

Se observa que las ratas que consumieron la dieta CAS-SOL presentaron un valor significativo más alto de DAN con 91.3%, en comparación con las que consumieron las dietas CAS-INS y CAS-IS con 86 y 85.5%, respectivamente. Las ratas alimentadas con la dieta CAS-SOL mostraron un mayor valor de %DAN debido a que aunque fue el grupo con menor consumo de nitrógeno también fue el grupo con menor excreción de nitrógeno en heces, similar al grupo de ratas alimentadas con la dieta sin fibra, en cambio los grupos alimentados con las dietas CAS-INS y CAS-IS, aunque mostraron valores más altos en el consumo de nitrógeno, también mostraron mayor excreción de nitrógeno en heces dando un menor %DAN. Existen investigaciones como la de Shah y colaboradores (1982), en las cuales se reporta que la inclusión de fibra insoluble disminuye la DAN, atribuido principalmente a un incremento en la cantidad de nitrógeno fecal.

Respecto a las dietas experimentales basadas en gluten y las distintas fibras se observó que los grupos alimentados con la dieta GLU-INS presentó la mayor DAN con 90.4%, seguido por la dieta GLU-SOL con 88.9% y GLU-IS con 87.8%. El grupo alimentado con la dieta GLU-SOL presentó la menor ingesta de nitrógeno y la menor excreción de nitrógeno en heces, en comparación con el grupo alimentados con la dieta GLU-IS el cual mostró el mayor consumo de nitrógeno pero también mostró la mayor cantidad de nitrógeno fecal.

La adición de la fibra comercial IS tanto a las dietas de caseína como a las del gluten promovió en ambos casos un aumento significativo en la cantidad de nitrógeno excretado, provocando esto una disminución en el %DAN.

Tabla 13. Consumo de nitrógeno, nitrógeno excretado y digestibilidad aparente y verdadera de nitrógeno de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales¹.

Dietas	Nitrógeno consumido (g)	Nitrógeno heces (g)	DAN %	DVN %
CAS-CEL	2.35 ±0.3 ab	0.26 ±0.03 b	88.8 ±1.5 a	91.3 ±1.4 b
CAS-INS	2.42 ±0.2 ab	0.34 ±0.05 a	86.0 ±2.5 b	88.5 ±2.5 c
CAS-SOL	2.12 ±0.2 b	0.18 ±0.02 c	91.3 ±0.4 a	94.2 ±0.5 a
CAS-IS	2.65 ±0.3 a	0.38 ±0.05 a	85.5 ±2.0 b	87.8 ±1.9 c
CAS-SinF	2.32 ±0.2	0.18 ±0.05	92.1 ±3.1	94.7 ±2.9
GLU-CEL	1.28 ±0.09 b	0.13 ±0.02 b	90.0 ±1.5 ab	94.7 ±1.6 a
GLU-INS	1.78 ±0.14 a	0.17 ±0.02 b	90.4 ±0.7 a	93.8 ±0.8 a
GLU-SOL	1.49 ±0.16 b	0.16 ±0.02 b	88.9 ±1.5 ab	93.0 ±1.2 ab
GLU-IS	1.82 ±0.19 a	0.22 ±0.03 a	87.8 ±2.5 b	91.1 ±2.3 b
GLU-SinF	1.53 ±0.26	0.10 ±0.02	93.3 ±1.1	97.3 ±1.3

¹ Los valores corresponden a las medias ± Desviación estandar de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, en cada sección, no son significativamente diferentes (P<0.05). DAN: Digestibilidad aparente de nitrógeno. DVN: Digestibilidad verdadera de nitrógeno. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. CAS-INS: Dieta de caseína con fibra insoluble. CAS-SOL: Dieta de caseína con fibra soluble. CAS-IS: Dieta de caseína con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. CAS-sinF: Dieta de caseína sin fibra. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-INS: Dieta de gluten con fibra insoluble. GLU-SOL: Dieta de gluten con fibra soluble. GLU-IS: Dieta de gluten con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. GLU-sinF: Dieta de gluten sin fibra.

Digestibilidad verdadera de nitrógeno de dietas de caseína y gluten

Al determinar el coeficiente de digestibilidad como la diferencia entre los nutrientes ingeridos y excretados, se está ignorando el hecho de que no todo el material que compone las heces es realmente alimento no digerido. Parte de las heces está formado por enzimas, sustancias secretadas al intestino y células de descamación epitelial. La excreción en heces de sustancias que no provienen directamente del alimento, lleva a una subestimación de la proporción de alimento absorbido. Como consecuencia, los valores obtenidos en ensayos de digestibilidad definen la llamada digestibilidad aparente, la cual difiere de la digestibilidad verdadera, en que esta última considera las pérdidas de nutrientes endógenos del animal. Para calcular la digestibilidad verdadera, es necesario dar al animal una dieta libre del nutriente que se busca medir. De esta manera, al medir la concentración de tal nutriente excretado por las heces, se estará determinando su pérdida endógena.

La digestibilidad verdadera de nitrógeno (DVN) es una medición más exacta que la DAN, puesto que este cálculo considera el nitrógeno fecal que no corresponde al nitrógeno ingerido dietario, es decir, al nitrógeno endógeno. Por esta razón, los valores de DVN, en estos bioensayos, son usualmente mayores que la DAN. Este cálculo, es la relación que existe entre el nitrógeno consumido menos el nitrógeno excretado en las heces del grupo prueba, a este valor se le resta el nitrógeno excretado por el grupo de ratas alimentadas con la dieta libre de proteína. Esta diferencia, dará como resultado, el valor de los gramos de nitrógeno excretado, solo del nitrógeno proveniente de la dieta. En la tabla 13 se presentan los resultados de la DVN, para obtener estos resultados de DVN se requiere conocer el nitrógeno endógeno o sea el nitrógeno excretado de una dieta libre de nitrógeno (LN) y al realizar este análisis se observó que el nitrógeno endógeno fue mayor al adicionar estas fibras comerciales a una dieta libre de nitrógeno en comparación al nitrógeno endógeno de la dieta libre de nitrógeno adicionada con celulosa (DLN-CEL) el cual fue de 0.06g, el contenido de nitrógeno endógeno fue de 0.12g para la DLN-INS, de 0.10g para la DLN-SOL y de 0.09g para la DLN-IS.

El grupo alimentado con la dieta CAS-SOL mostró 94.2% de DVN, seguido de las dietas CAS-INS y CAS-IS con 88.5 y 87.8%, respectivamente. La dieta de caseína sin fibra presentó un valor superior a los reportados por Shah y colaboradores (1982), con una DVN de 92.9% para una dieta de caseína sin fibra y valores de 83.9% a 90.8% para dietas de caseína con fibra.

En relación a las dietas experimentales basadas en gluten y las distintas fibras se observó que los grupos alimentados con la dieta GLU-INS presentó la mayor DVN con 93.8%, seguido por la dieta GLU-SOL con 93% y GLU-IS con 91.1%.

La adición de fibra dietética comercial (insoluble y la de proporciones similares) a estas dietas de caseína y de gluten disminuyeron la DVN entre un 4.4% a 7.2%, por lo que la adición de estas fuentes de fibra a la dieta afecta significativamente este indicador de la calidad proteica.

Razón neta de proteína de dietas de caseína y gluten

La razón neta de proteína (RNP) es una medición de la calidad de la proteína, dado que relaciona el aumento en peso que tendrá la rata por cada gramo de proteína consumida. Esto después de llenar el requerimiento de proteína para mantener el metabolismo basal; es decir para que la rata no pierda ni gane peso. Así, la RNP, mide la calidad de la proteína de la dieta y permite comparar su calidad entre distintas fuentes de proteína.

La tabla 14 presenta los resultados de proteína consumida, peso ganado y RNP de los grupos alimentados con las dietas experimentales basadas en caseína y gluten con las distintas fibras dietéticas comerciales. Se observa que el grupo alimentado con la dieta CAS-SOL mostró el mayor valor de RNP de 3.2, seguido por el grupo alimentado por la dieta CAS-INS con 3.0 y la de menor valor lo tuvieron el grupo alimentado por CAS-IS con 2.9, no presentando diferencia significativa con respecto a la dieta CAS-CEL. Los resultados de RNP de las dietas evaluadas fueron similares a los reportados por Shah y colaboradores (1982), quienes reportaron valores de

Tabla 14. Aumento en peso, proteína consumida y razón neta de proteína de las dietas elaboradas a base de caseína y gluten con fibras dietéticas comerciales¹.

Dietas	Aumento en peso (g)	Proteína consumida (g)	RNP
CAS-CEL	45.7 ±7.6 a	14.6 ±1.7 b	3.71 ±0.3 a
CAS-INS	41.8 ±10.7 a	16.0 ±1.5 ab	3.0 ±0.7 a
CAS-SOL	38.5 ±3.4 a	14.1 ±1.2 ab	3.19 ±0.1 a
CAS-IS	41.3 ±10.4 a	16.5 ±1.8 a	2.86 ±0.6 a
CAS-SinF	40.5 ±5.3	12.4 ±1.3	3.98 ±0.1
GLU-CEL	5.7 ±0.5 b	8.03 ±0.6 b	1.70 ±0.2 a
GLU-INS	6.9 ±1.9 b	11.1 ±0.9 a	1.21 ±0.1 bc
GLU-SOL	5.5±1.2 b	10.3 ±1.1 a	1.16 ±0.1 b
GLU-IS	10.1 ±2.6 a	11.27 ±1.2 a	1.42 ±0.2 b
GLU-SinF	5.05 ±2.1	8.39 ±1.6	1.68 ±0.2

¹ Los valores corresponden a las medias ± DE de ocho mediciones. Medias iguales en cada columna para cada muestra, en cada sección, no son significativamente diferentes (P<0.05). RNP: Razón neta de proteína. CAS-CEL: Dieta de caseína con fibra de celulosa. CAS-INS: Dieta de caseína con fibra insoluble. CAS-SOL: Dieta de caseína con fibra soluble. CAS-IS: Dieta de caseína con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. CAS-sinF: Dieta de caseína sin fibra. GLU-CEL: Dieta de gluten con fibra de celulosa. GLU-INS: Dieta de gluten con fibra insoluble. GLU-SOL: Dieta de gluten con fibra soluble. GLU-IS: Dieta de gluten con proporciones similares de fibra insoluble y soluble. GLU-sinF: Dieta de gluten sin fibra.

RNP de 3.98 para una dieta de caseína sin fibra y 3.90 para una dieta de caseína con 5% de celulosa.

En los resultados de RNP obtenidos del consumo de las dietas de gluten con las distintas fibras dietéticas evaluadas se encontró que el grupo alimentado con la dieta GLU-IS mostró el mayor valor de RNP de 1.42, seguido por los grupos alimentados por las dietas GLU-INS y GLU-SOL dando cada una de las dos dietas 1.2 unidades de RNP, presentado estas dietas diferencia significativa con respecto a la dieta GLU-CEL.

Para comprender el comportamiento presentado por las ratas alimentadas con las dietas experimentales en cuanto a utilización de proteína, es necesario realizar un análisis de los factores que influyen en la determinación de RNP como son: ganancia en peso promovido por un grupo de prueba, ganancia en peso de un grupo libre de proteína y cantidad de proteína consumida.

Ganancia en peso por un grupo de prueba. Al analizar la ganancia en peso de los grupos alimentados con las dietas de caseína y las distintas fibras, se observó que las ratas alimentadas con las dietas CAS-INS y CAS-IS, presentaron un mayor aumento total en peso, mientras que las ratas alimentadas con la dieta CAS-SOL mostraron un menor aumento en peso al compararlas con las ratas a las que se les suministró la dieta CAS-CEL. Es importante resaltar que todas las dietas de estos grupos se elaboraron con caseína como fuente de proteína, por lo que el balance de aminoácidos que promovió el aumento en peso fue el mismo para todas las dietas.

Respecto a la ganancia en peso de los grupos alimentados con las dietas de gluten y las distintas fibras, se observó que el grupo alimentado con la dieta GLU-IS, presentó un mayor aumento total en peso, mientras que los grupos alimentados con las dietas GLU-INS y GLU-SOL mostraron un menor aumento en peso y similar al peso de los grupos a los que se les suministró la dieta GLU-CEL. Estas dietas se elaboraron con gluten como fuente de proteína, por lo que el balance de aminoácidos que promovió el aumento en peso fue el mismo para estas dietas y lo único diferente fue la fuente de fibra, por lo que la adición de las fibras dietéticas INS y SOL ejercieron

un efecto significativo al disminuir la utilización de la proteína en comparación con la dieta GLU-CEL.

Ganancia en peso de un grupo libre de proteína. Esta ganancia en peso del grupo libre de proteína en realidad es una disminución en peso. Se encontró que las ratas alimentadas con la DLN-CEL presentaron un aumento significativo (-8.3) en la pérdida de peso con respecto a las ratas alimentadas con la DLN-INS (-6.5), DLN-IS (-6.0) y la DLN-SOL (-6.2). Este comportamiento explica la aproximación en los valores de RNP de las dietas CAS-INS, CAS-SOL y CAS-IS. En cambio una mayor pérdida de peso por una dieta libre de nitrógeno con su respectiva fuente de fibra, se traduce en un mayor valor de RNP. Esto también aplicaría para los resultados de RNP de las dietas GLU-INS y GLU-SOL que obtuvieron los valores más bajos. En el caso de la dieta GLU-SOL afectó además el obtener la menor ganancia en peso total.

Proteína consumida. Este factor el cual hace referencia al alimento consumido y a la cantidad de proteína en la dieta. Se observó que todas las dietas contenían aproximadamente 10% de proteína y en lo que respecta al consumo de alimento se vio que no se presentaron diferencias significativas entre los grupos a los que se les suministraron las dietas con las tres distintas fibras dietéticas de prueba.

Es probable que esta disminución en los valores de RNP se deba a un efecto directo de los componentes, así como la naturaleza fisicoquímica del material fibroso y su influencia sobre los patrones de crecimiento de los animales de experimentación ya que ambas digestibilidades y los patrones de nitrógeno excretado y el endógeno se vieron afectados al suministrar las dietas con las distintas fuentes de fibra.

Otra causa de la disminución en los valores de RNP ocasionados por las fibras INS en el caso de las dietas de caseína y de las fibras INS y SOL de las dietas de gluten, puede ser explicada al analizar las tendencias de excreción de nitrógeno dietario, ya que estas fibras causaron probablemente un efecto físico a nivel digestión, impidiendo la correcta absorción de aminoácidos e incrementándose la excreción de nitrógeno dietario. Berger y colaboradores (1975), reportaron que las dietas

elaboradas con fibras dietéticas, pueden afectar el proceso de absorción, provocando una disminución en la reabsorción de aminoácidos a lo largo del intestino delgado, inhibiendo la actividad de las enzimas (Shah et al., 1986) y dificultan el contacto con el epitelio intestinal absorbente (Matos & Chambilla, 2010).

CONCLUSIONES

En general, la mayoría de los cereales para desayuno comerciales altos en fibra evaluados, representan buena fuente de fibra dietética. A pesar de la gran variabilidad existente en estos productos de cereales comerciales altos en fibra, los resultados de este estudio sugieren que la materia prima empleada en su elaboración es el factor más determinante al establecer sus propiedades nutricionales.

Los cereales comerciales altos en fibra mostraron una baja digestibilidad al ser incorporados en dietas experimentales en bioensayos en ratas. En general tanto la digestibilidad aparente como la verdadera de nitrógeno mostraron una relación inversa con respecto al porcentaje de fibra de estas dietas, durante los 14 días que duró el bioensayo. Al parecer la fibra dietética contenida en estos cereales comerciales altos en fibra tiene un efecto negativo en la calidad proteica de estos productos, al producir una reducción en su porcentaje de digestibilidad.

Los productos comerciales que contienen salvado de trigo con alto contenido de proteína y los de avena mostraron mayor calidad proteica, representan una buena fuente concentrada de fibra dietética y una buena calidad proteica.

El posible efecto adverso de estas fuentes concentradas de fibra dietética sobre la calidad de la proteína de la dieta mostró una reducción en la digestibilidad de la proteína, pero no respecto a la utilización de la proteína medida como razón neta de proteína, la cual no se afectó completamente.

La adición de fibra insoluble y de la fibra con cantidades equivalentes de insoluble y soluble a dietas de caseína y de gluten disminuyeron la digestibilidad de nitrógeno, por lo que la adición de estas fuentes de fibra a la dieta afectan su calidad proteica.

El efecto negativo de las fibras comerciales incorporadas a estas dietas experimentales fue más significativo cuando la base de la dieta es una proteína de baja calidad. Ambas fracciones de fibra soluble e insoluble afectaron la calidad

proteica en la utilización de la proteína de las dietas de gluten, en cambio la adición de fibra insoluble a la dieta de caseína redujo levemente este indicador.

Este estudio indica que el consumo de las distintas fracciones de la fibra reduce la digestibilidad y la utilización de nitrógeno de las dietas experimentales, en ratas en crecimiento, promovido por un aumento en la excreción de nitrógeno tanto endógeno como fecal. Este efecto de la fibra en la calidad proteica depende de la calidad de la proteína empleada en el experimento, siendo mayor el efecto en dietas que tienen como única fuente de proteína las basadas en gluten.

RECOMENDACIONES

El consumo de estos cereales comerciales altos en fibra, especialmente los basados en avena como ingrediente básico, son ampliamente recomendados, ya que estos productos son una buena fuente concentrada de fibra dietética que no afecta su calidad proteica.

Se recomienda estudiar el efecto de la fibra dietética sobre la digestibilidad y la utilización de la proteína, en otras fuentes de proteína añadida a la dieta.

Incrementar el nivel de fibra dietética adicionado a la dieta y determinar el efecto sobre el balance de nitrógeno dietario y el endógeno.

Realizar los bioensayos de calidad proteica con las diferentes fuentes de fibra dietética y de proteína, empleando jaulas metabólicas, para llevar a cabo un análisis de balance de nitrógeno más preciso.

Caracterizar los componentes mayoritarios de las distintas fuentes de fibras comerciales, con el fin de lograr un análisis más profundo en su paso por el tracto gastrointestinal y su posible interacción con las proteínas.

REFERENCIAS

- AACC. (2000). *American association of cereal chemists*. Approved methods of the AACC. 9th ed. St. Paul, MN. EUA. Method 46-13, 44-40.
- AOAC (1990). *Association of official analytical chemists*. Official methods of analysis. Assoc Anal Chem.
- AOAC. (1997). *Official methods of analysis of AOAC*. 16 th ed. Vol. 1, Sec. 12.1.07, Method 960.52, 985.29
- Albertson, A. M., Anderson, G. H., Crockett, S. J., & Goebel, M. T. (2003). Ready-to-eat cereal consumption: its relationship with BMI and nutrient intake of children aged 4 to 12 years. *Journal of the American Dietetic Association*, 103(12), 1613-1619.
- American association of cereal chemists. (2001). Dietary fiber definition committee report. The definition of dietary fiber. *Cereal Food World*, 46(3), 112-126.
- Anderson, J.W., Baird, P., Davis, R. H., Ferreri, S., Knudtson, M., Koraym, A., Waters, V., & Williams, C.L. (2009). Health benefits of dietary fiber. *Nutrition Reviews*, 67(4), 188-205.
- Aw, T. L., & Swanson, B. G. (1985). Influence of tannin on *Phaseolus vulgaris* protein digestibility and quality. *Journal of Food Science*, 50(1), 67-71.
- Barrón Hoyos, J.M., Domínguez Salazar, M.F., & Falcón Villa M.R. (2013). Influence of commercial insoluble-dietary fibers on digestibility and protein utilization by rat bioassays. *European International Journal of Science and Technology*. 2(9) 15-23.
- Barrón, J. M. (1984). *Textural, nutritional and toxicological qualities of pinto bean Phaseolus vulgaris (UI-II)*. Ph.D. Thesis. Queen Elizabeth Collage. University of London. London, UK.
- Barrón, J.M., Chaires, C., Navarro, A.L., Vázquez, F., & Yañez, G. A. (2003). Effect of alcali treatment on the nutritional characteristic of soybean (*Glycine max*) albumins and globulins. *Journal of food processing and preservation*, 26(6), 375-383.
- Bhatty, R. S. (1992). Total and extractable β -glucan contents of oats and their relationship to viscosity. *Journal of Cereal Science*, 15(2), 185-192.
- Behall, K.M., Scholfield, D.J., Hallfrish, J.G., & Lilgeberg-Elmstahl, H.G. (2006). Consumption of both resistant starch and beta-glucan improves postprandial plasma glucose and insulin in women. *Diabetes Care*, 29, 976-981.
- BeMiller, J.N. (2001). Classification, structure and chemistry of polysaccharides of foods. In: Cho, S.S. & Dreher, M.L. (Eds). *Handbook of dietary fiber*. (p. 603-611). New York: Marcel Dekker, Inc.
- BeMiller, J.N. (2004). Dietary fiber intake, disease prevention, and health promotion: an overview with emphasis on evidence from epidemiology. In: Van-der Kamp JM, Asp NG, Miller J, Schaafsma G, editors. *Dietary fiber*. The Netherlands: Wageningen, Academic Publishers. p 143-64
- Bender, A.E. (1973). *Nutrición y alimentos dietéticos*. 2da. Ed. Editorial Acribia. 13, 194-217. Zaragoza, España.
- Bender, A. E., & Doell, B. H. (1957). Biological evaluation of protein: A new concept. *British Journal of Nutrition*, 11, 140-148.

- Bergner, H., Simon, O. & Zimmer, M. (1975). Contents of crude fiber in the diet as affecting the process of amino acid resorption in rats. *Archives Tierenaehr*, 25(1), 95-104
- Bodwell, E.C. (1977). Problems in the development and application of rapid methods of assessing protein quality. *Food Technology*, 31(6), 73.
- Borderías, A.J., Sánchez-Alonso, I., & Pérez-Mateos, M. (2005). New applications of fibres in foods: addition to fishery products. *Trends in Food Science & Technology*, 16, 458-465.
- Carbonell, L.A., Fernández, J.M., Sayas-Babrá, M.E., & Pérez-álvarez, J.A. (2002). La fibra dietética en la alimentación. División de Tecnología de Alimentos de la Universidad Miguel Hernández. *Alimentación, Equipos y Tecnología*, 169, 83-90. Madrid, España.
- Chau, C. F., & Huang, Y. L. (2003). Comparison of the chemical composition and physicoquimical properties of different fibres prepared from peel of citrus sinensis L. vs Liucheng. *Journal Agricultural and Food Chemistry*, 51, 2615-2618.
- Chau, C.F., Huang, Y.L., & Lin, C.Y. (2004). Investigation of the cholesterol-lowering action of insoluble fiber derived from the peel of *citrus sinensis* l. cb. Liucheng. *Food Chemistry*, 87(3) 361-6
- Chawla, R., & Patil, G. R. (2010). Soluble dietary fiber. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9(2), 178-196.
- Cho, S., Prosky, L., & Dreher, M.L. (1999). *Complex carbohydrates in foods*. Marcel Dekker, New York.
- Church, D.C., & Pond, W.G. (1974). *Basic animal nutrition and feeding*. Oxford Press. Portland, Oregon. USA. (pp. 1-2).
- Codex Alimentarius Commission. (2008). *Report of the 30th Session of the Codex Committee on Nutrition and Foods for Special Dietary Uses* (CNFSDU and WHO/FAO). ALINORM 09/32/26. para 27-54. 49 and appendix II. South Africa.
- Collar, C., & Angiolini, A. (2010). An approach to structure function relationships of polymeric dietary fibres in foods: significance in breadmaking applications. In J.W. van der Kamp (Ed), *Dietary fiber: New frontier for food and health*. (pp. 91-114). The Netherlands: Wageningen Academic Publishers.
- Cui, S.W., Wang, Q. (2009). Cell wall polysaccharides in cereals: Chemical structures and functional properties. *Structural Chemistry*, 20: 291-297.
- Cummings, J.H. (2001). The effect of dietary fiber on fecal weight and composition. In Spiller, G.A. (Eds). *CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition*. (pp. 183-252). Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Cummings, J.H. (1996). Dietary fibre and fermentation concluding remarks. In Malkki, Y. & Cummings, J.H, (Eds). *Dietary fibre and fermentation in the colon*. (pp. 394-393). COST Action 92. European Commission, Brussels.
- Cummings, J.H., Mann, J., Nishida, C., & Vorster, H. (2009). Dietary fibre: an agreed definition. *The Lancet*, 373, 365-366.
- De la Plaza, M., Bendersky, S., Cáceres, G.A., Llanos, P., & Zugasti B. (2008). Terapéutica nutricional en diabetes mellitus. Parte I. *Actualizaciones en Nutrición*, 9(2), 98-104.

- Dikeman, C.L., & Fahey, G. C. (2006). Viscosity as related to dietary fibre: a review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 46, 649-663.
- Edwards, C.A., Johnson, I.T., & Read, N.W. (1988). Do viscous polysaccharides slow absorption by inhibiting diffusion or convection?. *European Journal Nutrition*, 42, 307-312.
- Elia, M., & Cummings, J.H. (2007). Physiological aspects of energy metabolism and gastrointestinal effects of carbohydrates. *European Journal of Clinical Nutrition*, 61 (Suppl 1) s40-74
- Escudero, E., & Gonzalez, P. (2006). *La fibra dietética*. Unidad de Dietética y Nutrición. Hospital La Fuenfria. Madrid, 21(Supl 2), 61-72.
- European Union. (2008). *Commission directive 2008/100/EC of 28 October 2008 amending Council Directive 90/496/EEC on nutrition labeling for foodstuff as regards recommended daily allowances, energy conversion factors and definitions*. Official Journal of the European Union L 285 51:9-13
- FAO/WHO. (1990). Expert Consultation. *Protein quality evaluation*. Food and Agricultural Organization of the United Nations, FAO Food and Nutrition, 51. Rome.
- FAO/OMS/UNU. (2002). *Nutrición humana en el mundo en desarrollo*. Colección FAO: Alimentación y nutrición No. 29 ISSN 1014-3181. Roma, Italia.
- FAO/WHO/UNU. (1985). *Energy and protein requirements: Report of an FAO/WHO/UNU Expert consultation*. WHO Tech. Rept. Ser. No 724. World Health Organization, Geneva, Switzerland.
- Feddern, V., Badiale-Furlong, E., & Souza-Soares, L.A. (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.
- Fennema, O.R. (2000). *Química de los alimentos*. España:ACRIBIA, S.A.
- Feng, T. (2011). Present status and prospects for cereal product development in China. *Cereal Foods World*, 56(6), 252-255.
- Ferguson, L.R., Zhu, S.T., & Harris, P.J. (2005). Antioxidant and antigenotoxic effects of plant cell wall hydroxycinnamic acids in cultured HT-29 cells. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49, 585-593.
- Figuerola, F., Hurtado, M.L., Estévez, A.M., Chiffelle, I. & Asenjo, F. (2005). Fibre concentrates from apple pomace and citrus peel as potential fibre sources for food enrichment. *Food Chemistry*, 91, 395-401.
- Frias, A.C.D., & Sgarbieri, V.C. (1998). Guar gum effects on food intake, blood serum lipids and glucose levels of Wistar rats. *Plant Foods for Humans Nutrition*, 53, 15-28.
- Gajula, H., Alavi, S., Adhikari, K. & Herald, T. (2008). Precooked bran-enriched wheat flour using extrusion: Dietary fiber profile and sensory characteristics. *Journal Food Science*, 73, 173-179.
- Gallaher, D., & Schneeman B.O. (1986a). Effect of dietary fiber on protein digestibility and utilization. In Spiller GA (Eds). *Handbook of dietary fiber in human nutrition*. (pp. 143-164). Boca Raton: CRC Press.
- Gallaher, D., & Schneeman, B.O. (1986b). Intestinal interaction of bile acids, phospholipids, dietary fibers and cholestyramine. *American Journal of Physiology*, 250, 420-426.

- Gallaher, D., & Schneeman, B.O. (2001). Dietary fiber. In: Bowman, B., Russel, R., (Eds). *Present knowledge in nutrition*. 8th Ed. (pp. 83-91). Washington, D.C.: ILSI.
- Gallaher, D., & Schneeman, B.O. (2003). Fibra alimentaria. In: Bowman, B., Rusell, R. (Eds), *Conocimientos actuales sobre nutrición*. Organización Panamericana de la salud. Publicación científica y Técnica No. 592. (pp.90-99) Washington, D.C.
- García, M., Serra, N., Pujolá, M., & García, J. (1995). Análisis de la fibra alimentaria y sus fracciones por el método de Englyst. *Alimentaria* 95, 45-50.
- García-Ochoa, O.E., Infante, R.B., & Rivera, C.J. (2008). Hacia una definición de fibra alimentaria. *Anales Venezolanos de Nutrición*, 21(1), 25-30.
- García Peris, P., & Velasco Gimeno, C. (2007). Evolución en el conocimiento de la fibra. *Nutrición Hospitalaria*, 22 (Supl. 2), 20-25.
- Gilani, G.S., Cockell, KA., & Sepehr, E. (2005). Effects of Antinutritional Factors on Protein Digestibility and Amino Acid Availability in Foods. *Journal of AOAC International*, 88, 967-987.
- Grabitske, H., & Slavin, J. (2009). Gastrointestinal effects of low-digestible carbohydrates. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 49, 327-330.
- Green, C.J. (2000). Fiber in enteral nutrition. *South African Journal of Clinical Nutrition*, 13(4), 150-160.
- Grigelmo-Miguel, N., Gorinstein, S., & Martín-Belloso, O. (1999). Characterization of peach dietary fibre concentrate as a food ingredient. *Food Chemistry*, 65, 175-181.
- Hackler, L.R. (1978). An Overview of the AACC/ASNT Collaborative Study Protein Quality Evaluation. *Food Technology*, 12, 62-64.
- Harris, D.A., Burns, R. A., & Ali, R. (1988). Evaluation of infant formula protein quality: comparison of *in vitro* with *in vivo* methods. *Journal Association of Official analytical. Chemists*, 71(2), 353-7.
- Hashizume, C., & Okuma, K. (2009). *Fibersol®-2 resistant maltodextrin: functional dietary fiber ingredient*. In S. Cho & P. Samuel (Eds.), *Fiber ingredients*. (pp.61-78). Boca Raton, FL. CRC Press
- Hegedüs, M. (1992). Dietary factors influencing protein utilization: A review. *Acta Veterinaria Hungarica*. 40 (3), 133-143.
- Hill, J.O. & Peters, J.C. (2002). Biomarkers and functional foods for obesity and diabetes. *British Journal of Nutrition*, 88(2), 213-218.
- Hsu, H. W., Vavak, D.L., Satterlee, L.D., & Miller, G.A. (1977). A multienzyme technique for estimating protein digestibility. *Journal of Food Science*, 42, 1269-1273.
- Institute of Medicine. (2002). *Dietary reference intakes for energy, carbohydrates, fiber, fat, fatty acids, cholesterol, protein, and amino acids*. National Academies Press, Washington, DC, USA.
- Institute of Food Science and Technology. (2007). *Dietary fiber*. Public affairs and technical and legislative committees. London, U.K. p 1-10.
- Jaime, L., Mollá, E., Fernández, A., Martín-Cabrejas, M., López-Andreu, F. & Esteban, R. 2002. Structural carbohydrates differences and potential source of dietary fiber of onion (*Allium cepa* L.) tissues. *Journal Agricultural Food Chemistry*, 50, 122-128.
- Jansen, G. R. (1978). Biological evaluation of protein quality. *Food Technology*, 12, 52-56.

- Jorgensen, H. Zhao, X.Q., Theil, P.K., Gabert, V.M., & Bachknudsen, K.E. (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.
- Kabir, M. Oppert, F.L. Vidal, H., Bruzzo, F. Wursch, P, Slama, G. & Rizkalla, S.W. (2002). Four-week low-glycemic index breakfast with a modest amount of soluble fibers in type 2 diabetic men. *Metabolism*, 51, 819-826.
- Keenan, M.J., Zhou, J., McCutcheon, K.L, Raggio, A.M., Bateman, H.G., Todd, E. & Hegsted, M. (2006). Effects of resistant starch, a non-digestible fermentable fiber, on reducing body fat. *Obesity*, 14,1523-1534.
- Kendall, C.W., Esfahani, A., & Jenkins, D.J.A. (2009). The link between dietary fibre and human health. *Food Hydrocol*, 24(1), 42-48.
- Klinkesorn, U., & McClements, D.J. (2009). Influence of chitosan on stability and lipase digestibility of lecithin-stabilized tuna oil-water emulsions. *Food Chemistry*, 114(4), 1308-1315.
- Krotkiewski, M. (1984). Effect of guar gum on body-weight hunger ratings and metabolism in obese subjects. *British Journal of Nutrition*, 52, 97-105.
- Lachance, P.A., Bressani, R., & Elias, L.G. (1977). Shorter protein bioassays. *Food Technology*, 31(6), 82-84.
- Lairon, D., Play, B., & Jourdhevil-Rahmani, D. (2007). Digestible and indigestible carbohydrates: interactions with postprandial lipid metabolism. *Journal of Nutritional Biochemistry*, 18(4), 217-227.
- Larduet, R., & Savón, L. (1995). Predicción de la calidad de la proteína a partir de un modelo de digestión y metabolismo del nitrógeno en raciones no convencionales. *Revista Cubana de Ciencias Agrícolas*, 29: 1-10.
- Lario, Y., Sendra, E., García-Perez, J., Fuentes C., Sayas-Barberá, E. Fernández-López, J. & Pérez-Alvarez, J.A. (2004). Preparation of high dietary fiber powder from lemon juice by-products. *Food Science and Emerging Technologies*, 5, 113-117.
- Lazo, J.P., Romaine, R.P., & Reigh, R.C. (1998). Evaluation of three in vitro enzyme assays for estimating protein digestibility in the pacific white shrimp *Penaeus vannamei*. *Journal of the World Aquaculture Society World*, 29(4), 441-450.
- Linder, M., Rozan, R., Lamghari, E.K., Fanny, C., Villaume, L., & Parmentier, M. (1977). Nutritional value of veal bone hydrolysate. *Journal Food Science*, 62(1), 183-198.
- Lunn, J., & Biltriss, J.L. (2007). Carbohydrates and dietary fibre. British Nutrition Foundation. *Nutrition Bulletin*, 32, 21-64.
- Maga, J. A., & Lorenz, K. (1973). Digestive acceptability of proteins as measured by the initial rate of in vitro proteolysis. *Journal of Food Science*, 38(1), 173-174.
- Malcolm, F., Fuller, M.F. & Tomé, D. (2005). In vivo Determination of Amino Acid Bioavailability in Humans and Model Animals. *Journal of AOAC International*, 88, 923-934.
- Mälkki, A. (2001). Physical properties of dietary fiber as keys to physiological functions. *Cereal Food World*, 46, 196-199.

- Mariotti, F., Pueyo, M.E., 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. *American Journal of Clinical Nutrition*, 74, 487-493.
- Martinez-Flores, H.E., Chang, Y.K., Martinez-Bustos, F., & Sgarbierid, V. (2004). Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters. *Nutrition Research*, 24(1), 85-93.
- Matos Chamorro, A. & Chambilla Mamani, E. (2010). 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), 4-17
- McDougall, G.J., Morrison, I.M., Stewart, D., & Hillman, J.R. (1996). Plant cell walls as dietary fiber: Range, structure, processing, and function. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 70, 133-150.
- McLarney, M. J., Pellet, P. L., & Young, V. R. (1996). Pattern of amino acid requirements in humans: An interspecies comparison using published amino acid requirement recommendations. *Journal Nutrition*, 126, 1871-1882.
- McLaughlan, J.M. (1972). Nutritional evaluation of proteins by biological methods. *Cereal Science*, 17, 162.
- Meade, S.J., Reid, E.A. & Gerrard, J.A. (2005). The Impact of Processing on the Nutritional Quality of Food Proteins. *Journal of AOAC International*, 88:904-922.
- Megazyme. (2004). *Mixed linkage β -Glucan assay procedure (McCleary Method)*. Megazyme International Ireland Limited.
- Mehta, K. & Kaur, A. (1992). Reviews: dietary fiber. *International Journal of Diabetes in Developing Countries*, 12, 12-18.
- Meneses, O.I., Foulque, P. J., Valero, U.G., Martínez, V.E. & Hernández, G.A. (2008). Evaluación biológica de la calidad de un mezcla de proteínas para uso en nutrición enteral. *Nutrición Hospitalaria*, 23(3), 206-211.
- Miller, D. S., & Bender, A. E. (1955). The determination of the net utilization of protein by shortened method. *British Journal of Nutrition*, 9(4), 382-388.
- Miller, G.A., & Lachance, P.A. (1977). Techniques in rat bioassays. In C.E. Bodwell (Eds). *Evaluation of protein for humans*. (pp.149-161). The AVI Publishing Co. Westport, Conn. USA.
- Mongeau, R., Sarwar, G., Peace, R.H., & Brassard, R. (1989). Relationship between dietary fiber levels and protein digestibility in selected foods as determined rats. *Plant Foods Human Nutrition*, 39, 45-51.
- Moughan, P. J. (2005). Dietary protein quality in humans—an overview. *Journal of AOAC International*, 88(3), 874-876.
- Mun, S., Decker, E.A. & McClements D.J. (2005). Influence of droplet characteristics on the formation of oil-in-water emulsions stabilized by surfactant-chitosan layers. *Langmuir*, 21(14), 6228-6234.
- Mun, S., Decker, E.A., Park, Y, Weiss, J., & McClements D.J. (2006). Influence of interfacial composition on *in vitro* digestibility of emulsified lipids: potential mechanism for chitosan's ability to inhibit fat digestion. *Food Biophysics*, 1(1), 21-29.
- Nagengast, F.M., Grubben, M.J., & van Munster, I.P. (1995). Role of bile acids in colorectal carcinogenesis. *European Journal of Cancer*, 31(a), 1067-1070.

- Nawirska, A., & Oszmianski, J. (2001). Binding of metal ions by selected fractions of fruit pomace. *Zywnosc Nauka Technologia Jakosc*, 4(29), 66-77.
- Nawirska, A., & Kwasniewska, M. (2005). Dietary fiber fractions from fruit and vegetable processing waste. *Food Chemistry*, 91, 221-225.
- Nayak, S.K., Pattnaik, P., & Mohanty, A.K. (2000). Dietary fiber: a low-calorie dairy adjunct. *Indian Food Industry*, 19(4), 268-274.
- Nelson, A.J. (2001). *High-fiber ingredients*. (pp.1-27). St. Paul, Minnesota, USA. Eagan Press Handbook Series.
- Parsons, C. M., Castanon, F., & Han, Y. (1997). Protein and amino acid quality of meat and bone meal. *Poultry Science*, 76(2), 361-368.
- Paster, M., Pellegrino, J.L., & Carole, T.M. (2003). *Industrial bioproducts: today and tomorrow*. Report prepared for the U.S. Dept. of Energy, Washington D.C.
- Pedó, I., Sgarbieri, V.C., & Gutkoski L.C. (1999). Protein evaluation of four oat (*Avena sativa* L.) cultivars adapted for cultivation in the south of Brazil. *Plant Foods for Human Nutrition*, 53: 297-304.
- Pellett, P.L., & Young, V.R. (1980). *Nutricional evaluation of protein foods*. WHTR-3/UNUP-129, The United Nations University, Tokio, Japan.
- Pereira, M.A., & Ludwing, D.S. (2001). Dietary fiber and body weigh regulation: observations and mechanism. *Pediatric Clinics of North America*, 48, 969-980.
- Pérez-Alvarez, J.A. (2008). Los alimentos del bienestar: Alimentación del siglo XXI. *Alimentos*, 3, 54.
- Phimphilai, S., Galyean, R., & Wardlaw, F. (2006). Relationship of two in vitro assay in protein efficiency ratio determination on selected agricultural by-products. *Songklanakarin Journal Science and Technology*, 28 (suppl.1), 81-87.
- Plaami, S., & Kumpulainen, J., (1993). Soluble and insoluble dietary fiber and B-Glucan contents in domestic and imported breakfast cereals consumed in Finland. *Journal of food Composition and Analysis*, 6, 307-315
- Potter, J.D. (1999). Colorectal cancer: molecules and populations. *Journal of the National Cancer Institute*, 91, 916-932.
- Prosky, L. (2001). What is dietary fiber? A new look at the definition. In: *Advanced dietary fiber technology*. (pp.63-76). Ed Oxford: Black Well Science.
- Prosky, L., Asp, N. G., Schweizer, T. F., DeVries, J. W., & 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.
- Reddy, N., & Yang, Y. (2005). Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications. *Trends Biotechnology*, 23(1), 22-27.
- Reeds, P., Schaafsma, G., Tomé, D., & Young, V. (2000). Summary of the workshop with recommendations. *Journal Nutrition*, 130, 1875S-1876S.

- 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 Producc Porcina*, 2, 45-49
- Rodríguez, R., Jimenez, A., Fernandez, B.J., Guillen, R., & Heredia, A. (2006). Dietary fiber from vegetable products as source of functional ingredients. *Trend Foods Science Technology*, 17, 3-15.
- Rosell, C.M. (2009). Physico-chemical properties of commercial fibres from different sources: acomparative approach. *Food Research*, 42(1), 176-184.
- Rzedzicki, K., Sykut-Domanska, E., & Popielewicz, J. (2008). Quality of wheat breakfast cereals available on the polish market. *Polish Journal Food Nutrition Science*, 58 3, 307-312.
- SAS Institute Inc. (2005). JMP. A Bussiness Unit of SAS. Version 5.0.1 by *Statistical, Analysis System Institute Inc.* Cory, NC, USA.
- Sangnark, A., & Noomhorm, A. (2003). Effect of particles sizes on functional properties of dietary fibre prepared from sugar cane bagasse. *Food Chemistry*, 80, 221-229.
- Satterlee, L. D., Kendrick, J. G., Marshall, H. F., Jewell, D.K., Ali, R. A., Heckman, M. M. & Slump, P. (1982). *In vitro* assay for predicting protein efficiency ratio as measured by rat bioassays. *Journal Association of Analytical Chemists*, 65(4), 798-809.
- Sauer, W. C., Mosethin, R., Abrens, F., & Den Hartog, L.A. (1991). The effect of source of fibre on ileal and faecal aminoacid digestibility and bacterial nitrogen excretion en growing pigs. *Journal Animal Science*, 69, 4077-4077.
- Saunders, R.M., Connor, M.A., Booth, A.N., Bickoff, E., & Kohler, G.O. (1973). Measurement of digestibility of alfalfa protein concentrates by *in vivo* and *in vitro* methods. *Journal Nutrition*, 103, 530-535.
- Saura-Calixto, F. (2006). Evolución del concepto de fibra. *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*, Lajolo, FM y Menezes, WE, Eds. Editora da universidade de Sao Paulo, 237-250.
- Savón, L. (2002). Alimentos altos en fibra para especies monogástricas. Caracterización de la matriz fibrosa y sus efectos en la fisiología digestiva. *Revista Cubana de Ciencia Agrícola*. 36(2), 91-102
- Schaafsma, G. (2005). The protein digestibility-corrected amino acid score (PDCAAS)—a concept for describing protein quality in foods and food ingredients: a critical review. *Journal of AOAC International*, 88(3), 988-994.
- Schulze, M.B., Liu, S., Rimm, E.B., Manson, J.E., Willett, W.C., & Hu, F.B. (2004). Glycemic index, glycemic load, and dietary fiber intake and incidence of type 2 diabetes in younger and middle-aged women. *American Journal Clinical Nutrition*, 80, 348-356.
- Sebti, I., Martial-Gros, A., Carnet-Pantiez, A., Grelier, S., & Coma, V. (2005). Chitosan polymer as bioactive coating and film against *Aspergillus niger* contamination. *Journal Food Science*, 72, 100-104.
- Seet, S. T., & Duane Brown, W. (1983). Nutritional quality of raw, precooked and canned albacore tuna (*Tunnus alalunga*). *Journal Food Science*, 48, 288-289.

- Selvendran, R.R., & Robertson, J.A. (1994). Dietary fiber in foods: Amount and type. In *Metabolic and physiological aspects of dietary fibre in food*. (pp. 11-20) Luxemburg: Commission of the European Communities.
- Serra, L, Aranceta, J, Mataix, V, & Uauy, R. (2006). *Nutrición y salud pública: Métodos, bases científicas y aplicaciones*. (1) (pp.10-11). 2º Edición.
- Sgarbieri, V. C. (1996). Proteínas em alimentos protéicos: propriedades-degradações-modificações. Livraria Varela.
- Shah, N., Atallah, M.T., Mahoney, R.R., & 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., Mahoney, R.R. & Pellet, P.L. (1986). Effect of guar gum, lignin and pectin on photolytic enzyme levels in the gastrointestinal tract of the rat: a time-based study. *Journal of Nutrition*. 116(1), 786-794.
- Sharma, A., Yadav, B.S., & Ritika, B. (2008). Resistant Starch: physiological roles and food applications: *Food Reviews International*, 24, 193-234.
- Spiller, G.A., & Spiller, M. (2001). Correlations of transit time to a critical fecal weight (CFW) and to substances associated with dietary fiber. In Spiller, G.A. (Eds). *CRC Handbook of dietary fiber in human nutrition*. (pp. 253-256). Boca Raton FL: CRC Press.
- Stear, C.A. (1990). Formulation and processing techniques for specialty bread. In Stear C.A., (Eds). *Handbook of breadmaking technology*. London. Elsevier Science.
- Tapsell, L.C. (2004). Diet and metabolic syndrome: where does resistant starch fit in? *Journal Association of Analytical Chemists International*, 87(3), 756-760.
- Theuwissen, E., & Mensink, R. P. (2008). Water-soluble dietary fibers and cardiovascular disease. *Physical Behavior*, 94, 285-292.
- Thongngam, M., & McClements, J.D. (2005). Isothermal titration calorimetry study of the interactions between chitosan and a bile salt (sodium taurocholate). *Food Hydrocoll*, 19(5), 813-819.
- Topping, D.L., Bjka, B.H., Bird, A.R., Clarke, J.M., Cobiac, L., Conlon, M.A. & Toden, S. (2008). Resistant starches as a vehicle for delivering health benefits to the human large bowel. *Microbiology Ecology Health Disease*, 20(2), 103-108.
- Tovar, J., Bello-Pérez, L. A., Osorio, D. P., & Rendón, V. R. (2006). Almidón resistente: caracterización y análisis. In *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*. Lajolo, MF y Wenzel de Menezes, E., Eds. Edusp. 65-88.
- Trinidad, T.P, Mallillin, A.C., Valdez, D.H., Loyola. A.S., Askali-Mercado, F.C., Castillo, J.C. & Chua, M.T. (2006). Dietary fiber from coconut flour: a functional food. *Food Science Emergence Technology*, 7(4), 302-317.
- Trowell, H.C., Southgate, D.A.T., Wolever, T.M.S., Leeds, A.R., Gassull M.A., & Jenkis, D.J.A. (1976). Dietary fiber redefined. *The Lancet*. 1, 96.
- Tunland, B.C., & Meyer, D. (2002). Non-digestible oligo and polysaccharides (Dietary Fiber): Their physiology and role in human health and food. *Comprehensive Review. Food Science Food Safety*, 3, 73-77.
- Uchman, W., Withmore, R.A., Ackerma, S.A., & Happichh, M.L. (1977). Estimation of digestibility of meat products containing extenders. *Journal Food Science*, 42(5), 1404-1405.

- Valenzuela, A., & Maíz, A. (2006). El rol de la fibra dietaria en la nutrición enteral. *Revista Chilena de Nutrición*, 33(2), 342-351.
- Van der Kamp, J.W., Asp, N.G., Millar, J.J., & Schaafsma, G. (2004). *Dietary fibre bio-active carbohydrates for food and feed*. (Eds). Netherlands. Wageningen Academic Publishers..
- Verdú, J.M. (2009). *Tratado de nutrición y alimentación*. Vol I. (pp. 133-145) Barcelona. (Ed.) Océano/Ergon.
- Viola, S., Zimmerman, G., & Mokady, S. (1970). Effect of pectin and algin upon protein utilization, digestibility of nutrients, and energy in young rats. *Nutrition Reports International*, 1, 367-375.
- Viuda-Martos, M., López-Marcos, M.C., Fernández-López, J., Sendra E., López-Vargas, J.H., & Pérez-Álvarez, J.A. (2010). Role of fiber in cardiovascular diseases: A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 9, 240-258.
- Wang, J., Rosell, C.C., & Benedito de Barber, C. (2002). Effect of the addition of different fibres on wheat dough performance and bread quality. *Food Chemistry*, 79, 221-226.
- Wardlaw, G.M. (2005). *Perspectivas en nutrición*. (pp. 53-67). México Ed. McGraw-Hill. Interamericana.
- Wilfart, A., Montagne, L., Simmins, P.H., Milgen, J. & Noblet, J. (2006). Sites of nutrient digestion in growing pigs: effect of dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 85(1), 976-983.
- Wong, K.H., & Cheung, P.C.K. (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.
- Wursch, P., & Pi-Sunyer, X. (1997). The role of viscous soluble fiber in the metabolic control of diabetes. *Diabet Care*, 20, 1774-1780.

ANEXO 1

Listado de productos basados en cereales altos en fibra

Listado de productos basados en cereales altos en fibra, grupo de cereales comerciales para desayuno listos para consumo.

Producto/ Ingredientes	Marca	Gr/P	Kcal	Grasa	Sat	Mon	Poli	Prot.	Chto	Az/Al	FDT	FDI	FDS
Hojuelas de trigo integral con pasa: H trigo integral, salvadillo de trigo, pasas.	LaComer	30	106	0.2	0.02	0.04	0.14	3.6	22.5	3	5.3	-	-
All Bran flakes natural: Trigo entero, salvado de trigo	Kellogg`s	40	130	1	0.2	0.2	0.6	5	26	6/20	5.5	4.5	1
All Bran flakes cosecha frutal: trigo entero salvado de trigo, pasas papaya, manzana.	Kellogg`s	40	120	0.5	0.1	0.1	0.3	4	26	10/16	5	4	1
Hojuelas de trigo integral: Harina de trigo integral, salvado de trigo.	LaComer	30	106	0.2	0.02	0.04	0.14	3.6	22.5	3	5.3	-	-
Multibrán original: Trigo entero, harina de avena, maíz, arroz, salvado de trigo	Quaker	30	112	1.3	0.2	0.3	0.5	4	21	1.3	4.2	3.3	0.8
Integral Flakes: trigo entero, salvado de trigo.	Goleen Hills	30	111	0.1	0.1	0.1	0.3	4	21.5	0.8	5	4.7	0.3
Multibrán pasas: Trigo entero, harina de avena entera, maíz, arroz, pasas salvado de trigo.	Quaker	40	169	1.5	0.2	0.3	0.5	4.6	30.2	9	4.9	3.5	1.1
Avena Oh`s: Harina de avena entera, maíz, trigo, fibra de avena	Quaker	30	117	0.9	0.1	0.3	0.3	2.1	25	8.3	2.2	0.8	1.4
Avena Flakes original: Avena, trigo, fibra avena	Quaker	30	117	1.2	0.2	0.3	0.4	4	22.6	3.9	3.3	2.5	0.8
Cereal de trigo	LaComer	15	58	0.3	-	-	-	1	13	8	2	-	-

Listado de productos basados en cereales altos en fibra grupo: Pastas.

Producto/ Ingredientes	Marca	Gr/P	Kcal	Grasa	Sat	Mon	Poli	Prot	Chto	Az/ Al	FDT	FDI	FDS
Pasta de harina de trigo integral (Spaghetti): Harina de trigo integral.	Pronalisa	50	185	-	-	-	-	6	38	-	0.5	-	-
Spaghetti Integral alto en fibra: Semolina de trigo duro, salvado	LaRomana	100	386	1	-	-	-	11	83	-	4	-	-
Spaghetti con fibra: Sémola de trigo duro, salvadillo de trigo, fibra de trigo	La Moderna	50	186	1.2	-	-	-	6.2	37.7	2.4	4.1	-	-
Pasta Integrales: sémola integral de grano duro.	Divella	-	-	2	0.4	-	-	10	56	2	5	-	-

Listado de productos basados en cereales altos en fibra grupo: Barras.

Producto/ Ingredientes	Marca	Gr /P	Kcal	Gras a	Sat	Mon	Poli	Prot.	Chto	Az/A	FDT	FDI	FD S
Bran Frut-Fresa: Relleno de fresa, harina y salvado de trigo, avena.	BIMBO	40	182	6.6	3.3	2.4	0.9	2.3	28.4	-	1.9	-	-
Barras de Granola con nuez y miel: Avena, trigo, harina arroz y avena, fibra de avena.	Quaker	32	141	4.2	0.6	1.7	1.7	3	22.7	7.7	3.6	1.5	2.1
Stila Bits: Avena, harina de arroz, manzana deshidrata	Quaker	20	86	1.8	0.3	0.6	0.8	2	15.4	4.8	1.7	0.6	1.1
Stila Barra con avena y relleno de mora: Harina de avena, harina de trigo, hojuelas de avena.	Quaker	25	92	1.7	0.6	0.5	0.5	1.9	17.4	6.7	1.8	1.1	0.8
All-Bran Barras: Salvado de trigo, harina de trigo, fibra de avena, pasas	Kellogg's	40	155	7	3.3	2.7	1	3	20	-	7	-	-
Linaza: trigo, avena, trigo, salvado de trigo, avena semilla de girasol y linaza	Kellogg's	38	180	10	3.9	4.4	1.5	4	18	-	3.5	-	-
Chocolate: Salvado y harina de trigo, fibra de avena.	Kellogg's	40	155	7	3.9	2.3	0.8	3	20	-	6.5	-	-
All-Bran Barras ciruela pasa: Harina y salvado de trigo, fibra de avena, ciruela.	Kellogg's	37	140	5	2.5	1.8	0.7	2	21	-	4	-	-
Barras de Granola con avena y miel	Nature	42	183	6.8	0.8	4.6	1.2	3.5	29.6	11.3	2.6	-	-

Listado de productos basados en cereales altos en fibra dietética seleccionados en base a su contenido de proteína.

	Gr	proteína gr	FDT gr	FDI gr	FDS gr	% Prot	%FDT	%FDI	%FDS
HojTI Kp Cer	30	3.6	5.3			12	17.7		
TrigoKp	30	3.6	9			12.0	30.0		
Multibrán Q	30	4	4.2	3.3	0.8	13.3	14	11	2.7
Int Flak GH	30	4	5	4.7	0.3	13.3	16.7	15.7	1.0
Cer F T GH	40	6	16	15.9	0.1	15.0	40.0	39.8	0.3
AllBran F N	40	5	5.5	4.5	1	12.5	13.8	11.3	2.5
AllBran	40	6	11	9.5	1.5	15.0	27.5	23.8	3.8
Bran F GV	30	3	5	4	1	10.0	16.7	13.3	3.3
WholeB Sor Bran F	29	3	5			10.3	17.2		
Maiz	30	4	4.2	3.3	0.8	13.3	14.0	11.0	2.7
Avena QO	40	5	4	2	2	12.5	10.0	5.0	5.0
Barras Q	32	3	3.6	1.5	2.1	9.4	11.3	4.7	6.6
Fiber cook	16.5	1.13	3.75			6.8	22.7		
Galleta Int	10	1.01	3.41	2.41	1	10.1	34.1	24.1	10.0
LaRomana	100					11	4		
LaModerna	50	6.2	4.1			12.4	8.2		

ANEXO 2

Artículos publicados

- Falcón Villa, M.R., Barrón Hoyos J.M., Romero Baranzini A.L. & Domínguez Salazar M.F. (2011). Adverse effect on the food protein quality of diets high in dietary fiber. *Revista Chilena de Nutrición*, 38(3), 369-375.
- Barrón Hoyos, J.M., Domínguez Salazar, M.F & Falcón Villa M.R. (2013). Influence of Commercial Insoluble-dietary Fibers on Digestibility and Protein Utilization by Rat Bioassays. *European International Journal of Science and Technology*. 2(9) 15-23.
- Falcón-Villa, M. R., Barrón-Hoyos, J. M., & Cinco-Moroyoqui, F. J. (2014). Commercial Breakfast Cereals Available in Mexican Markets and their Contribution in Dietary Fiber, β -Glucans and Protein Quality by Rat Bioassays. *Plant Foods for Human Nutrition*, 1-6.

Artículo enviado para su publicación

- Falcón-Villa, M. R., Barrón-Hoyos, J. M., & Canett Romero, Rafael. Effect of addition of high fiber ingredients on protein quality of casein and gluten diets assessed by bioassays in growing rats.

Memorias en congresos

- Falcón Villa, M.R. & Romero Baranzini A.L. (2011). Contribución de fibra dietaria de los cereales comerciales para desayuno "altos en fibra" en relación a sus ingredientes básicos. *Memorias del VIII Encuentro Participación de la Mujer en la Ciencia*. (pp. 1). ISBN: 978-607-95228-2-7.
- Falcón Villa, M.R. & Barrón Hoyos J.M. (2012). Respuesta Biológica de Cereales Comerciales para Desayuno Altos en Fibra Consumidos en el Noroeste de México. *Memorias del VIII Congreso del Noroeste y IV Nacional en Ciencias Alimentarias y Biotecnología*.