

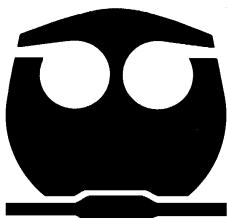


**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE QUÍMICA

**Contenido de Fibra Dietética Total y Almidón Resistente en
tres cereales de alto consumo en México
[Arroz (*O. sativa*), Trigo (*T. aestivum*) y Avena (*A. sativa*)]**

T E S I S
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
QUÍMICA DE ALIMENTOS
P R E S E N T A:
SILVIA ESCALONA GÓMEZ



México, D.F.

2009



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

Jurado Asignado:

Presidente	Prof. Lucía Cornejo Barrera
Vocal	Prof. Leticia Gil Vieyra
Secretario	Prof. Rosa Ma. Argote Espinosa
1 ^{er} suplente	Prof. Bernardo Lucas Florentino
2 ^o suplente	Prof. Iliana Elvira González Hernández

Laboratorio 4 A, Anexo, Facultad de Química, Edif. A, Cd. Universitaria. Cd. de México, México.

Asesor
Rosa Ma. Argote Espinosa

Sustentante
Silvia Escalona Gómez

Este trabajo forma parte del proyecto PAPIME **PE 205005**:

“Desarrollo y validación de nuevas técnicas de enseñanza experimental para la medición de nutrimentos que actualmente adquieren importancia y de factores que afectan su aprovechamiento”

*Hay hombres que luchan un día
y son buenos.*

*Hay otros que luchan un año
y son mejores.*

*Hay quienes luchan muchos años
y son muy buenos.*

*Pero hay los que luchan toda la vida:
esos son los imprescindibles.*

Bertolt Brecha

A mi familia

Por todo su apoyo a lo largo de todos estos años
por ustedes soy lo que soy y he llegado hasta
aquí por sus enseñanzas

A mis hermanas

Chicas gracias por todas las charlas
los buenos y malos ratos, el apoyo, las risas
y el llanto, seguimos en el camino.
Se alinearon los planetas!!!

Contenido.

Lista de tablas.....	iii
Lista de gráficos.....	iv
1. Introducción.....	1
2. Objetivos.....	3
Objetivo general.....	3
Objetivos particulares.....	3
3. Antecedentes.....	4
3.1 Definiciones de Fibra Dietética.....	4
3.2 Composición química.....	6
3.2.1 Clasificación.....	6
3.2.2 Celulosa.....	7
3.2.3 Hemicelulosa.....	8
3.2.4 Pentosanos.....	8
3.2.5 β - glucanos.....	8
3.2.6 Pectinas.....	9
3.2.7 Gomas y mucílagos.....	9
3.2.8 Lignina.....	10
3.2.9 Inulina y fructooligosacáridos.....	11
3.3 Almidón resistente.....	11
3.4 Propiedades de la Fibra.....	14
3.4.1 Volumen de las heces.....	15
3.4.2 Velocidad de tránsito intestinal.....	15
3.4.3 Capacidad de absorber agua.....	15
3.4.4 Capacidad de absorber sustancias.....	16
3.4.5 Velocidad de absorción intestinal.....	16
3.4.6 Metabolismo lipídico.....	16
3.4.7 Metabolismo de la glucosa.....	18
3.5 Metabolismo de la Fibra dietética.....	18

3.6 Problemas ligados a su consumo.....	19
3.7 Recomendaciones de consumo de Fibra.....	20
3.8 Importancia de los cereales en estudio.....	23
3.8.1 Composición química de los cereales en estudio.....	25
3.9 Efectos de la cocción sobre la fibra dietética y el almidón resistente.....	28
4. Parte experimental.....	31
4.1 Metodología.....	31
4.2 Material estudiado.....	31
4.3 Esquema general.....	32
4.4 Fibra dietética total.....	33
4.4.1 Fundamento.....	33
4.4.2 Análisis de fibra dietética total.....	33
4.4.3 Determinación de fibra dietética total.....	37
4.4.4 Cálculos.....	40
4.5 Almidón Resistente.....	41
4.5.1 Fundamento.....	41
4.5.2 Análisis de almidón resistente.....	43
4.5.2.1 Residuos insolubles de Fibra dietética.....	46
4.5.2.2 Determinación de almidón resistente.....	47
4.5.2.3 Análisis de glucosa total en los sobrenadantes.....	48
4.5.3 Cálculos.....	50
4.6 Tratamiento estadístico.....	50
5 Resultados y discusión.....	51
6 Conclusiones.....	57
7 Referencias.....	58

Lista de Tablas.

Tabla 1. Valores dietéticos de referencia de fibra total por etapa de vida.....	20
Tabla 2. Diámetro de los gránulos de almidón procedentes de distintos cereales.....	24
Tabla 3. Composición química del grano de trigo entero, seco y crudo.....	25
Tabla 4. Composición química del harina refinada de trigo.....	26
Tabla 5. Composición química del grano de avena entero, crudo y seco.....	26
Tabla 6. Composición química de la avena cruda en hojuela.....	27
Tabla 7. Composición química del grano de arroz crudo, pulido y seco.....	27
Tabla 8. Composición química del grano de arroz cocido.....	28
Tabla 9. Datos estadísticos de producción nacional de avena, trigo y arroz.....	28
Tabla 10. Condiciones de cocción de las muestras.....	32
Tabla 11. Contenido de humedad de las muestras analizadas.....	51
Tabla 12. Contenido de fibra dietética total en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base húmeda).....	52
Tabla 13. Contenido de fibra dietética total en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base seca).....	52
Tabla 14. Contenido de almidón resistente en muestras de cereales (g / en 100 g de muestra en base húmeda).....	53
Tabla 15. Contenido de almidón resistente en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base seca).....	53
Tabla 16. Contenido de FDT, AR, FDT <small>corregida</small> en cereales (g / 100g de muestra en base seca).....	56

Lista de Gráficos y Diagramas.

Gráfico 1. Metabolismo de la Fibra.....	19
Gráfico 2. Clasificación de la Fibra.....	22
Diagrama 3. Esquema general.....	32
Diagrama 4. Determinación de fibra dietética total.....	34
Diagrama 5. Determinación de almidón resistente.....	42

1. Introducción.

En los últimos tiempos se han hecho numerosos estudios sobre los beneficios de salud que conlleva el consumo regular de fibra, como son la reducción de lípidos en suero (Jenkins et. al., 1993), modificación de la función intestinal y control de la glucosa en sangre (Chandalia et. al., 2000); aunque su función en la prevención del cáncer de colon permanece en debate (Kim, 2000) no hay duda del efecto laxante de ciertas fracciones de la fibra, además se sabe que reduce los niveles de colesterol en sangre (Marlett, et. al., 2002) y que algunas fracciones reducen el riesgo de enfermedades cardíacas (Food and Drug Administration, 2001).

Por lo anterior se han investigado muchas técnicas para poder determinar la cantidad de fibra presente en los alimentos; además se han dado muchas clasificaciones de ésta, se ha buscado una que vaya de acuerdo con sus propiedades físicas y fisiológicas para conocer las distintas fracciones que la componen y sus diferentes efectos.


Anteriormente se consideraba la fibra como la lignina de la pared celular y otros polisacáridos diferentes al almidón, sin embargo no todos los almidones ingeridos en cantidades comparables provocan cambios equivalentes en la glicemia y la insulinemia (Jenkins et al., 1980), debido a esto el concepto generalizado de que el almidón es totalmente digerido en el intestino delgado no es aceptado en la actualidad. Englyst et al. (1992) y otros autores propusieron clasificar a los almidones de acuerdo a su biodisponibilidad en: almidones de digestión rápida, lenta y no digeribles. Estos últimos se encuentran en proporción variable en los alimentos, no son susceptibles a los ataques enzimáticos y fueron denominados genéricamente como almidón resistente.

En este estudio lo que se pretende es determinar la cantidad de Fibra dietética total y Almidón resistente en productos de alto consumo por la sociedad mexicana como son el trigo, avena y arroz; pero no sólo conocer la cantidad que contienen, sino además conocer las variaciones que se dan en los contenidos después de someter estos alimentos a las condiciones normales de cocción, previas a su consumo.




Se han hecho muchos estudios con respecto a este tema en los cereales de interés, sin embargo tienen más bien un enfoque hacia la alimentación animal, o las características fisicoquímicas de los productos obtenidos por diversos métodos, mas no están enfocados en la cuantificación de estos componentes para la elaboración de tablas con fines nutricionales, además dichos estudios han sido llevados a cabo en otros países por lo que es importante realizar esta cuantificación en los productos que se consumen en nuestro país regularmente.

2. Objetivos.

2.1 Objetivo General.

-  Determinar fibra dietética total y almidón resistente en trigo (*Triticum aestivum*), avena (*Avena sativa*) y arroz (*Oriza sativa*).

2.2 Objetivos particulares.

-  Realizar las determinaciones de fibra dietética total (FDT).
-  Hacer las determinaciones de almidón resistente (AR).
-  Llevar a cabo una comparación estadística para determinar si existe diferencia en el contenido de fibra dietética total y almidón resistente en cada producto después de someterlo al proceso de cocción normal.



3. Antecedentes.

3.1 Definiciones de Fibra Dietética.

En la actualidad existen numerosas definiciones de fibra dietética, algunas están basadas en los métodos analíticos utilizados para aislarla y cuantificarla, mientras que otros se basan en las propiedades fisiológicas de ésta. Desafortunadamente no existe aún una definición exacta de fibra dietética a nivel internacional por lo que las siguientes definiciones se encuentran entre las aceptadas.

- Son derivados de la pared de células vegetales, excepto la lignina, que no son hidrolizados por las enzimas digestivas y que sirven de sustrato a la flora bacteriana en el intestino grueso del hombre. (Cumming & Englyst, 1987).
- Son diversos carbohidratos vegetales, incluyendo las pectinas, que resisten la hidrólisis de las enzimas digestivas del hombre pero que al menos pueden ser parcialmente hidrolizadas por las enzimas de la microflora intestinal del hombre, con la producción de hidrógeno, metano, dióxido de carbono y algunos ácidos grasos volátiles de cadena corta (Bello en AACC, 2003).
- La fibra dietética es la parte de las plantas comestibles que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado del hombre con una fermentación parcial en el intestino grueso. Esta incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. (AACC, 2003).



Debido a la disponibilidad de productos alimenticios que contienen ingredientes que pueden comportarse como fibra dietética, ya sea analítica o fisiológicamente, y la globalización de los mercados alimenticios, existe un interés en tener una única definición de fibra dietética basada en propiedades fisiológicas. Un comité nombrado por la American Association of Cereal Chemists propuso la siguiente definición:

La fibra dietética es la porción comestible de plantas o carbohidratos análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con una fermentación total o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias asociadas a las plantas. La fibra dietética promueve efectos fisiológicos benéficos incluyendo efecto laxante, y/o atenuación de los niveles de colesterol en sangre, y/o atenuación de los niveles de glucosa en sangre. (Anónimo, 2000).

Otra definición exclusiva para Estados Unidos fue propuesta por un panel convocado por el Food and Nutrition Board (2001). El panel, basado en la definición de fibra dietética propuso dos nuevas definiciones: fibra dietética y fibra añadida. La fibra dietética consiste en hidratos de carbono no digeribles que son intrínsecos y están intactos en las plantas. La fibra añadida consiste en hidratos de carbono no digeribles y agregados que tienen efectos fisiológicos beneficiosos en humanos.

Estas definiciones sufrieron una modificación tan sólo un año después. Este nuevo reporte provee una definición específica de lo que debería ser llamado fibra en los alimentos. Éste define "fibra total" como la combinación de "fibra dietética" y "fibra funcional". La fibra dietética son



los componentes comestibles y no digeribles de los hidratos de carbono y la lignina que son intrínsecos y están intactos en las plantas. La fibra funcional se refiere a las fuentes de fibra que demuestran tener beneficios a la salud similares a los de la fibra dietética pero que son aislados o extraídos de fuentes naturales o son sintéticos.

3.2 Composición Química.

3.2.1 Clasificación.

La fibra dietética no tiene que ser necesariamente "fibrosa" por naturaleza. Este es un término nutricional que no tiene que ver con su naturaleza física o química, aunque ambos tipos de propiedades tienen relación con los métodos usados para su determinación. Tanto los materiales insolubles de las paredes celulares de las plantas, entre ellos la celulosa y la lignina, como algunos polisacáridos solubles distintos del almidón, son considerados componentes de la fibra dietética. La única característica común de todas estas sustancias es que son polímeros no digeribles. Como consecuencia de ello, no sólo los constituyentes naturales de los alimentos forman parte de ésta, sino que también lo hacen las gomas que se añaden en su elaboración industrial para modificar las propiedades reológicas, para aumentar el volumen y/o para conseguir otras funciones.

La estructura química de los distintos componentes de la fibra dietética es compleja. A excepción de la lignina, todos pueden considerarse polisacáridos, siendo sus moléculas básicas la glucosa, la fructosa y otros monosacáridos (hexosas y pentosas). Consideraremos los



siguientes componentes, para comprender mejor la estructura química de la fibra:

3.2.2 *Celulosa.*

El polisacárido más común en las plantas es la celulosa, que es el componente principal del tejido de la pared celular de éstas. Es una molécula lineal, compuesta de miles de unidades de D-glucopiranosa, unidas por un enlace (1-4). La unidad disacárida repetida de la celulosa es la celobiosa. El enlace que une las unidades de glucosa es lo que evita que sea digerida por no existir en humanos la enzima glucosidasa.

Los pesos moleculares promedio de las moléculas de celulosa pueden variar dependiendo de la fuente. Sin embargo, todos los valores reportados indican moléculas lineales muy largas que se alinean unas con otras por medio de puentes de hidrógeno para formar largas cuerdas o microfibrillas. Algunas regiones de las microfibrillas forman estructuras cristalinas muy fuertes que no se rompen fácilmente. Cada cadena lineal de polímero puede estar relacionada con regiones alternadas cristalinas o no cristalinas (amorfos) a través de la estructura macrofibrilar. Grandes cantidades de agua y otros componentes de la pared celular se mantienen en la región no cristalina. La celulosa de plantas es insoluble en casi todos los disolventes (Bowers, 1992).

La celulosa se digiere en el tubo digestivo de los mamíferos herbívoros, por la acción de una enzima específica, la celulasas presente en microorganismos, de la que carece el intestino humano. El 80 – 90 % de la celulosa de la dieta en los humanos es excretada por las heces. (García et. al., 2002)



3.2.3 *Hemicelulosas.*

Son polímeros de azúcares de cinco o seis carbonos, que se identifican por el componente presente predominante, como pueden ser xilanos, mananos y xiloglucanos. Pentosanos y β - glucanos son las hemicelulosas más comunes asociadas con los alimentos, especialmente con los cereales (Bowers, 1992). No se digieren en el intestino delgado humano, aunque si se desdoblan parcialmente en el colon por la acción de la flora microbiana (Cervera et. al., 1993).

3.2.4 *Pentosanos.*

Los pentosanos se encuentran en las paredes celulares del endospermo de los cereales. Se componen de azúcares de cinco carbonos y su polímero es un arabinoxilano. La cadena principal lineal son unidades de xilopiranosas unidas por un enlace β (1-4) con cadenas laterales de unidades de arabinofuranosa unidas en las posiciones 2 o 3 de la xilosa. La frecuencia de las cadenas laterales en la cadena principal de xilano determina la funcionalidad y la solubilidad de los pentosanos.

3.2.5 *β - Glucanos*

Mientras que la celulosa tiene una estructura de un β - glucano, este término es más bien usado para describir polisacáridos con diversos enlaces encontrados en la pared celular de la aleurona y el endospermo de los cereales. Unidades de glucopiranosas son unidas por enlaces β (1-4) y β (1-3) en un promedio de cuatro enlaces del primer tipo por uno del segundo. La avena y la cebada contienen significativamente más β - glucanos que los otros cereales. El β - glucano de la avena ha recibido mayor atención debido a su habilidad para reducir niveles altos de colesterol en sangre.



3.2.6 *Pectinas.*

Las pectinas están ampliamente distribuidas en la naturaleza y se encuentran en las paredes celulares de los tejidos suaves de la mayoría de las plantas. El principal componente es el ácido D – galacturónico y sus unidades de piranosa están unidas por enlaces α (1-4).

Dentro de los componentes menores presentes como parte de la cadena lineal (no en cadenas laterales) se incluyen azúcares neutros como raminosa, galactosa y arabinosa. Las variaciones causadas por el número de grupos metoxilo y los diferentes azúcares neutros dan la naturaleza compleja de esta clase de compuestos (Bowers, 1992).

Al igual que los demás representantes de la fibra alimentaria, no se digieren ni se absorben en el intestino delgado, aunque sufren hidrólisis y fermentación en el colon, con formación de dióxido de carbono y ácidos grasos volátiles. También se liberan pequeñas cantidades de monosacáridos que probablemente no se absorben (Cervera et. al., 1993).

3.2.7 *Gomas y mucílagos.*

Son polisacáridos hidrosolubles, con las propiedades de la fibra, y que proceden de muy diversos alimentos.

Ejemplo de esto es la goma guar que es un galactomanano, extraído de una leguminosa (*Cyamopsis tetragonoloba*) procedente de la India. La ingestión en una cantidad de 5 g/día mejora el índice glicémico y disminuye en un 13 % el colesterol en sangre sin hacer decrecer la fracción de lipoproteínas de alta densidad (HDL), conocidas como transportadoras del colesterol beneficioso.



El agar, los alginatos y las carrageninas son polisacáridos que se hallan en algunas algas marinas, de donde se extraen. Tienen la propiedad de formar geles y participan de muchas de las propiedades de la fibra dietética (Cervera et. al., 1993).

3.2.8 *Lignina.*

Es importante destacar que es la única fibra no polisacárido que se conoce.

La lignina es una molécula de elevado peso molecular, que resulta de la unión de varios ácidos y alcoholes fenilpropílicos (cumarílico, coniferílico y sinapílico). El acoplamiento aleatorizado de estos radicales da origen a una estructura tridimensional, amorfa, característico de la lignina.

La lignina es el polímero natural más complejo en relación a su estructura y heterogeneidad. Por esta razón no es posible describir una estructura definida de la lignina; sin embargo, se han propuesto numerosos modelos que representan su estructura.

Las ligninas son polímeros insolubles en ácidos y solubles en álcalis fuertes como el hidróxido de sodio, que no se digieren ni se absorben y tampoco son atacados por la microflora del colon. Pueden ligarse a los ácidos biliares y otros compuestos orgánicos (por ejemplo, colesterol), retrasando o disminuyendo la absorción en el intestino delgado de dichos componentes.

El grado de lignificación afecta notablemente a la digestibilidad de la fibra. La lignina, que aumenta de manera ostensible en la pared celular de la planta con el curso de la maduración, es resistente a la



degradación bacteriana, y su contenido en fibra reduce la digestibilidad de los polisacáridos fibrosos.

3.2.9 Inulina y fructooligosacáridos (FOS).

La inulina es un fructano, con un grado de polimerización de 2 a 60 o más. Los fructooligosacáridos (FOS) se diferencian de la inulina sólo por la longitud de la cadena (2 a 20) (Anderson, 1999). La estricta definición de oligosacáridos incluye una cadena con un grado de polimerización de 3 a 8 o de 3 a 10 (Englyst et. al., 1995).

Tanto la inulina como los FOS se ha demostrado que resisten las enzimas digestivas humanas y se fermentan en el colon. Propiedades que son similares a las de la fibra conocida y que se han comprobado mediante test enzimáticos *in vitro* (Roberfroid et. al., 1993).

3.3 Almidón Resistente.

El almidón está formado por dos tipos de polímeros, amilosa y amilopectina sin embargo, su estructura es aún más compleja. La amilosa es una molécula lineal de 500-600 unidades de D-glucosa unidas por enlaces α (1-4). La amilopectina es una molécula de características similares a la amilosa, aunque más corta y ramificada con enlaces α (1-6) cada 24 a 30 unidades de glucosa.

El almidón resistente (AR) es la suma de almidón y productos de degradación del almidón no absorbidos en el intestino delgado de individuos sanos (EURESTAT, 1993), que se puede dividir en cuatro tipos:



- AR1: atrapado físicamente, almidón inaccesible en una matriz no digerible como el encontrado en semillas enteras o parcialmente molidas.
- AR2: almidón granular nativo, consiste en gránulos no gelatinizados.
- AR3: almidón retrogradado, que es el almidón recristalizado después de la gelatinización y enfriamiento posterior durante el almacenamiento.
- AR4: almidón modificado químicamente.

(Englyst et al., 1992; Haralampu, 2000; Niba, 2002).

El AR puede llegar a representar más del 30 % de la fracción de fibra total en la dieta humana (Englyst, 1989), y sus efectos en el tracto gastrointestinal son similares a los descritos para otros componentes de la fibra (celulosa, pectina, etc.). Escapa a la digestión y provee carbohidratos fermentables para las bacterias colónicas. Pero los productos finales de fermentación del AR son cuantitativamente diferentes de los de la fibra dietética, produciendo principalmente butirato (25-30% del total de ácidos grasos de cadena corta producidos) (Weaver et al., 1992). El butirato se metaboliza y provee energía, la cual es utilizada por las células epiteliales del colon para inhibir o evitar la transformación de esas células en malignas. Además ayuda a la diferenciación celular y ejerce efectos antineoplásticos (Tharanathan, 2002). Por otro lado, se comporta como sustrato para el crecimiento de microorganismos benéficos, por lo que el AR puede actuar como un potencial agente pre-biótico (Haralampu, 2000).

Cuando el almidón se calienta en agua se produce un incremento en la viscosidad hasta que eventualmente se produce un gel o una pasta, este



proceso es conocido como gelatinización, según varios autores aseguran que este proceso incluye: colapso del orden molecular, fusión de los cristales nativos, cambios irreversibles en el esponjamiento granular, pérdida de la birrefringencia y solubilización del almidón. El gel formado es termodinámicamente inestable, el término retrogradación se utiliza para describir los cambios que se producen en un gel de almidón después del calentamiento, durante el enfriamiento y el consiguiente almacenamiento. La retrogradación indica la recristalización que se produce tanto en la amilopectina como en la amilosa (Atwell et al., 1988).

El almidón retrogradado tiene gran interés desde el punto de vista nutritivo. La amilosa retrogradada es una forma de almidón resistente; otras fuentes son los gránulos de almidón crudos, especialmente los de tipo B (Englyst & Kingman, 1990). Las condiciones que inducen la retrogradación de la amilosa son favorables para que se formen grandes cantidades de almidón resistente, habiéndose asegurado que el grado de retrogradación de la amilosa es de importancia primordial para la determinación de la cantidad de almidón resistente en un almidón (Cairns, et al., 1996).

Aunque en un principio debería esperarse que la amilopectina retrogradada contribuye al almidón resistente, su contribución real en los almidones de cereales parece ser baja (Siljeström, et al., 1988). No obstante de los procedimientos especiales sobre el binomio tiempo-temperatura que incrementa tanto el grado de cristalinidad como la calidad de los cristales formados, también podría esperarse que la amilopectina contribuyera al almidón resistente (Fredriksson, et al., 1998). Desde un punto de vista tecnológico constituye una ventaja la



utilización de amilopectina para la formación de almidón resistente ya que se requiere un régimen de temperatura mucho más bajo que en el caso de la amilosa.

Durante el procesado normal de los alimentos también puede producirse almidón no digestible si bien se puede incrementar su formación seleccionando tanto las materias primas como las condiciones de procesado. Cuando se adicionan emulgentes para reducir la retrogradación existirá una competitividad entre la retrogradación de la amilosa y la formación de complejos amilosa-lípido (Eerlinger et al., 1994; Sievert et al., 1991). Así esta competencia influirá en el nivel de almidón resistente formado con lo que la adición de emulsionantes constituye otro medio de controlar el grado de almidón no digestible de los productos feculentos.

El consumo de AR también se ha relacionado con reducir las respuestas glicémica e insulinémica, que pueden tener implicaciones beneficiosas en el manejo de la diabetes (Kabir et al., 1998; García-Alonso et al., 1999). Otros efectos del consumo de AR son el aumento en la frecuencia de excreción y la masa fecal (Phillips et al., 1995; Tharanathan, 2002), prevención de constipación y hemorroides, disminución de la producción de compuestos tóxicos y mutagénicos (Yue & Waring, 1998), reducción del pH colónico (Phillips et al., 1995; Tharanathan, 2002) y también la reducción de los niveles de amoniaco (Champ & Faisant, 1996; De Schrijver et al., 1999).

3.4 Propiedades de la Fibra.

La fibra dietética ejerce su acción en la luz intestinal, donde modifica algunos aspectos de sus funciones.



Sus efectos fisiológicos vienen derivados en gran medida de su fermentación colónica, actuando sobre la motilidad, la flora intestinal y sobre la absorción y metabolismo de nutrientes, con unas cualidades excepcionales y únicas sobre el colonocito. Los ácidos grasos de cadena corta (acético, propiónico y butírico: AGCC) pueden inducir crecimiento y curación de la mucosa colónica y el butirato es el principal sustrato energético de la misma. (Roberfroid M, 1993). Los efectos más importantes de los AGCC, son por una parte disminuir el pH intraluminal, estimular la reabsorción de agua y sodio fundamentalmente en colon ascendente, y potenciar la absorción en el colon de cationes divalentes.

3.4.1 *Volumen de las heces.*

Tanto por su presencia como por su capacidad de retener agua, la fibra aumenta el volumen del contenido o residuo intestinal. Esta propiedad la hace útil contra el estreñimiento ya que al aumentar el volumen del contenido colónico, provoca un aumento de su peristaltismo, facilitando la función evacuatoria.

3.4.2 *Velocidad del tránsito intestinal.*

Los componentes no hidrosolubles de la fibra, como la celulosa, la mayor parte de las hemicelulosas y la lignina, aumenta la velocidad del tránsito intestinal. Las hidrosolubles (guar, pectinas y otras), en cambio, la disminuyen.

3.4.3 *Capacidad de absorber agua.*

Es una propiedad común a las fibras, mayor en la goma guar y en algunas hemicelulosas que en la celulosa. Como consecuencia de la



absorción de agua, se produce un aumento de la masa en cuyo seno se encuentra la fibra. Para utilizar esta propiedad, es imprescindible ingerir la fibra dietética junto a cantidades elevadas de agua.

3.4.4 *Capacidad de absorber sustancias.*

Entre las mallas de la fibra dietética pueden quedar retenidas algunas sustancias en la luz intestinal. De este modo quedan adsorbidos el colesterol, los ácidos biliares y diversas sustancias tóxicas que se introducen con los alimentos. Con ello se evita, al menos en parte, el contacto con la mucosa intestinal y se favorece su eliminación. También es verdad que pueden quedar adsorbidas ciertas cantidades de Ca, Mg, Zn y Fe, por lo que una parte de los mismos se elimina así por las heces.

3.4.5 *Velocidad de absorción intestinal.*

Las fibras hidrosolubles tienen la propiedad de disminuir la velocidad de absorción intestinal de la glucosa, probablemente debido a que el vaciamiento gástrico resulta más lento, así como que dificultan el contacto con el epitelio intestinal absorbente. Esta acción se ha utilizado en la dieta del diabético, entre otras.

3.4.6 *Metabolismo Lipídico.*

Las fibras viscosas (guar, pectina, etc.) se han empleado con resultados favorables para reducir el colesterol unido a lipoproteínas de baja densidad (LDL). Si esta medida va asociada a la utilización de alimentos con almidón, la disminución del colesterol-LDL se acompaña también de un descenso de los triglicéridos ligados a las lipoproteínas de muy baja densidad (VLDL).



Los mecanismos que pueden explicar la acción hipocolesterolémica de la fibra son la reducción de la secreción de ácidos biliares e incremento de su excreción por las heces, así como la inhibición de la síntesis hepática de colesterol por inhibición de la actividad de la HMGCoA reductora (hidroximetil glutaril CoA reductasa).

Con respecto a su acción sobre los ácidos biliares, parece que es el mecanismo primero y más constante de la fibra para disminuir los niveles de colesterol plasmático. Se ha demostrado una relación directa entre la cantidad de ácidos biliares encontrados en las heces y la reducción en el colesterol total.

Por otro lado, se sabe que la enzima limitante de la síntesis del colesterol, la HMGCoA reductasa, es estimulada por la insulina. Teniendo en cuenta que las fibras viscosas disminuyen los niveles de insulinemia postprandial, este tipo de fibras disminuiría a su vez la actividad de la HMGCoA reductasa. Se sabe también que el propionato, uno de los ácidos grasos de cadena corta producidos en la fermentación colónica de la fibra fermentable, inhibe la síntesis hepática de colesterol; sin embargo, la infusión rectal de otro AGCC, el acético, aumenta los niveles plasmáticos de colesterol, niveles que disminuyen cuando se infunde propionato. Dado que en la fermentación colónica de estas fibras la producción de acetato es mayor que la de propionato, sería necesario conocer el balance exacto entre AGCC para cada fibra a fin de prever su repercusión sobre los niveles de colesterol plasmático (Fernández, et. al., 1992).



3.4.7 *Metabolismo de la glucosa.*

Las fibras fermentables, al hacer más lenta la absorción intestinal de glucosa, reducen la glucemia postprandial. Esta propiedad procede de su alta viscosidad. Se sabe, además, que el propionato producido en la fermentación bacteriana inhibe la neoglucogénesis en el hígado.

3.5 Metabolismo de la Fibra dietética.

El proceso de fermentación de la fibra en el colon es fundamental (gráfico 1). Gracias a él es posible el mantenimiento y desarrollo de la flora bacteriana, así como de las células epiteliales.

En el colon ocurren fundamentalmente dos tipos de fermentación: la fermentación sacarolítica y la proteolítica. La fermentación sacarolítica es la más beneficiosa para el organismo y produce principalmente los ácidos grasos de cadena corta, acético, propiónico y butírico, en una proporción molar casi constante 60:25:15. Estos ácidos grasos se generan en el metabolismo del piruvato, producidos por la oxidación de la glucosa a través de la vía glucolítica de Embden-Meyerhof. La fermentación proteolítica produce, en cambio, derivados nitrogenados como aminas, amonio y compuestos fenólicos, algunos de los cuales son carcinógenos.

La fermentación colónica de la fibra produce energía, cuyo valor oscila entre 1 y 2,5 Cal/g. Como es lógico, el valor energético de la fibra dependerá de su grado de fermentabilidad, de manera que las fibras con gran capacidad de fermentación producirán más energía que las poco fermentables (García, et. al., 2002).

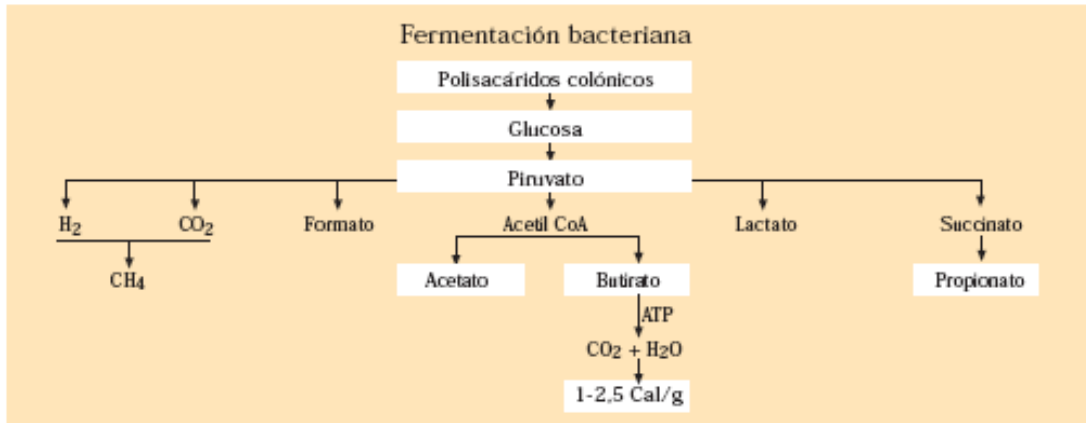


Gráfico 1. Metabolismo de la Fibra.

3.6 Problemas ligados a su consumo.

Se ha comprobado que el consumo habitual de alimentos ricos en fibra, principalmente celulosa, aumenta la excreción intestinal de algunos elementos químicos esenciales, como el Ca, tanto por quedar éste incluido en las mallas de fibra como por la presencia de fitatos, con los que el Ca forma sales insolubles. Actualmente se cree que este hecho no tiene consecuencias prácticas, siempre que la ingesta de éste o de otros elementos (Fe, Zn, etc.) sea la recomendada.

Algunos tipos de fibra están contraindicados en diversas enfermedades digestivas, ya sea por su carácter de irritantes físicos de las mucosas dañadas, ya sea por su capacidad de provocar diarreas en ciertos estados.

La fermentación bacteriana de la fibra en el colon, con formación de gases (meteorismo), origina molestias a algunas personas, que por este motivo disminuyen o eliminan el consumo de ciertos vegetales o granos (Cervera et. al., 1993).



3.7 Recomendaciones de consumo de fibra.

Las recomendaciones del consumo de fibra se han basado en estudios que muestran un aumento en el riesgo de sufrir enfermedades cardiacas cuando se siguen dietas con un bajo contenido de fibra. La ingesta diaria recomendada para adultos de 50 años o más jóvenes se estableció en 38 g para los hombres y 25 g para las mujeres, mientras que para los hombres y mujeres por encima de los 50 años son de 30 y 21 g de fibra por día, respectivamente, debido a la disminución de ingesta de comida. Como se puede observar en la tabla 1 también se tienen recomendaciones para adolescentes y niños (Slavin, 2003). Anteriores recomendaciones de fibra en adultos oscilaban entre 25 a 30 g /día o bien de 10 a 13 g/ 1000 Kcal., debiendo ser la relación insoluble/ soluble de 3/1. (Mitchell et. al., 1997). Otros han recomendado una ingesta de fibra en base a la ingesta energética, de 10-13 g de fibra por cada 1000 kcal (Pilch, 1987).

Tabla 1. Valores dietéticos de referencia de fibra total por etapa de vida

Etapa de vida	Ingesta adecuada (g/día)	
	Hombre	Mujer
1-3 años	19	19
4-8 años	25	25
9-13 años	31	26
14-18 años	38	26
19-30 años	38	25
31-50 años	38	25
51-70 años	30	21
>70 años	30	21
Embarazo		28
Lactancia		29

Fuente: (Slavin, 2003).



Desde un punto de vista práctico, se considera apropiado clasificar las fibras según su grado de fermentación, lo que da lugar a dos grupos claramente diferenciados, el de las fibras totalmente fermentables y el de las parcialmente fermentables (gráfico 2).

Fibras parcialmente fermentables.

Comprenden aquellas fibras en las que la celulosa es un componente esencial y la lignina se combina de forma variable. Se incluyen también algunas hemicelulosas.

En la dieta humana existen fuentes importantes de este tipo de fibra, como los cereales integrales, el centeno y los productos derivados del arroz. Las fibras parcialmente fermentables son escasamente degradadas por la acción de las bacterias colónicas, por lo que se excretan prácticamente íntegras por las heces. Por este motivo y por su capacidad para retener agua, aumentan la masa fecal, que es más blanda, la motilidad gastrointestinal y el peso de las heces.

El efecto sobre la absorción de macronutrientes es pequeño en comparación con el de las fibras muy fermentables; en cambio, reducen de manera importante la absorción de cationes divalentes, seguramente a causa de la presencia de ácido fítico, que habitualmente acompaña a estas fibras. Ello suele ocurrir con ingestas de fibra superiores a las recomendadas diariamente (20- 38 g). La utilización de grandes cantidades de fibra parcialmente fermentable se acompaña de deficiencia de Zn (++) . Asimismo, cuando se utilizan dietas con un alto contenido en cereales se observan balances negativos de Ca (++) y Fe(++).

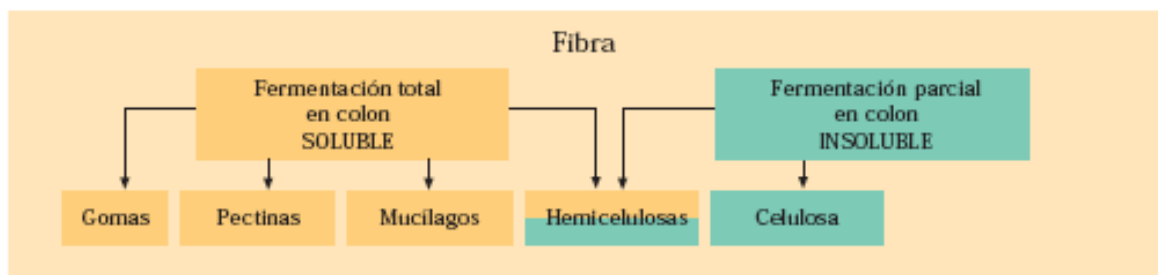


Gráfico 2. Clasificación de la Fibra

Fibras fermentables.

Las fibras fermentables comprenden las gomas, los mucílagos, las sustancias pécticas y algunas hemicelulosas. Estas fibras son solubles y se encuentran fundamentalmente en frutas, legumbres y cereales como la cebada y la avena. Su solubilidad en agua condiciona la formación de geles viscosos en el intestino. Su alta viscosidad es importante para explicar algunos de los efectos fisiológicos que más tarde describiremos. Desde el punto de vista de funcionalidad intestinal, estas fibras retrasan el vaciamiento gástrico y hacen más lento el ritmo intestinal.

Las fibras fermentables se caracterizan por ser rápidamente degradadas por la microflora anaerobia del colon. Este proceso de fermentación depende en gran medida del grado de solubilidad y del tamaño de sus partículas, de manera que las fibras más solubles y más pequeñas tienen un mayor y más rápido grado de fermentación. Este proceso, da lugar, entre otros productos, a los ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Los efectos fisiológicos más importantes de los AGCC consisten en disminuir el pH intraluminal, estimular la reabsorción de agua y sodio, fundamentalmente a nivel de colon ascendente, y potenciar la absorción en el colon de cationes divalentes. El acetato es metabolizado a nivel sistémico, principalmente en el músculo.



El propionato es mayoritariamente transportado al hígado, donde es metabolizado e interviene en la síntesis de colesterol y de glucosa y genera energía (ATP). Entre los ácidos grasos, el butirato es el que posee mayor efecto trófico sobre la mucosa colónica; de hecho, representa su fuente energética fundamental (García, et. al., 2002; Fernández, et. al., 1992).

3.8 Importancia de los Cereales en estudio.

La importancia de estudiar a los cereales radica en que sólo el 10 % (en países en vías de desarrollo como el nuestro) de los alimentos básicos amiláceos se obtiene de raíces y tubérculos mientras que el resto se obtiene precisamente de los cereales.

Los granos de cereales contienen del 60 al 70 % de almidón y son alimentos excelentes, ricos en energía, para los humanos. De las últimas investigaciones realizadas se ha visto evidentemente que las dietas saludables de los adultos deben proporcionar la mayor parte de sus calorías en la forma de hidratos de carbono complejos, como los almidones de los cereales. Una dieta humana sana debe incluir 20-30 g de fibra vegetal que se puede conseguir fácilmente comiendo productos a base de cereales integrales, en forma de pan, galletas o papillas, etc. (Dendy & Dobraszczyk, 2004).

De las partes anatómicas de los granos de cereales es el endospermo el depósito por excelencia de almidón; sin embargo, de manera general, su distribución en las partes del mismo difieren. Por ejemplo, el endospermo periférico se caracteriza por tener unidades de almidón

pequeñas, angulares y compactas mientras que en el endospermo vítreo, los gránulos de almidón ocupan la mayoría del espacio celular, están rodeados y separados de la matriz proteínica y tienen formas angulares. Por otra parte, en el endospermo almidonoso que se encuentra encerrado por el vítreo, las unidades de almidón son de mayor tamaño y menos angulares (Rydings, 2002).

El almidón se almacena en gránulos que se forman en los amiloplastos dentro de las células del endospermo, los que difieren en forma y tamaño en dependencia del cereal. En la mayoría de los cereales cada amiloplasto contiene un grano, sin embargo en el caso del arroz y la avena se encuentran muchos en cada uno de ellos.

El almidón de los distintos cereales, en general, tiene un amplio espectro de tamaños de partícula. Los gránulos más pequeños se encuentran en el arroz y en la avena con diámetros de alrededor o inferior a 5 μm (Tester & Karkalas, 1996; Yeh & Li, 1996). En cereales como el trigo y la avena se encuentran presentes dos clases de gránulos: gránulos A de forma lenticular y tamaño grande y gránulos B de forma esférica y menor tamaño (Soulaka & Morrison, 1985) a continuación se presenta una tabla comparativa con los diámetros medios de los cereales de interés en este estudio:

Tabla 2. Diámetro de los gránulos de almidón procedentes de distintos cereales.

Almidón	Diámetro medio (μm)
Trigo A	14,1
Trigo B	4,12
Trigo duro A	13,9
Trigo duro B	4,06
Avena	4,96-5,63
Arroz	1,5-7,5

Fuente: Dendy & Dobraszcyk, Cereales y productos derivados. 2004.



En la mayoría de los cereales, la relación amilosa: amilopectina es de una amilosa por cada tres moléculas de amilopectina aproximadamente. El almidón es el principal hidrato de carbono del trigo y la harina. El almidón de trigo normal contiene 25% de amilosa (la molécula de almidón menor y lineal) y 75% amilopectina (la molécula ramificada más grande). En presencia de exceso de agua, como en un amilógrafo, el almidón se gelatiniza a 65°C (159°F). En sistemas limitados de agua, incluyendo la mayoría de las formulaciones para horneado, la temperatura de gelatinización es de 5°C a 15°C (9°F a 27°F) más alta. En situaciones extremas de limitación de agua, tales como masa para galletas, la mayoría del almidón se granula, nunca se gelatiniza (Rydings, 2002).

3.8.1 *Composición Química de los cereales objeto de este estudio.*

Trigo.

Tabla 3. Composición química del grano de trigo entero, seco y crudo.

Componente	Cantidad por 100 g.
Agua	9.1 g
Proteínas	10.6 g
Grasas	2.6 g
Cenizas	2.1 g
Fibra cruda	1.8 g
Carbohidratos totales	73.8g
Energía	368 kcal
Sodio	3.0 mg
Potasio	370 mg
Calcio	58 mg
Fósforo	331 mg
Tiamina	0.59 mg
Riboflavina	0.22 mg
Niacina	4.4 mg

Fuente: FAO, 2004



Tabla 4. Composición química del harina refinada de trigo.

Componente	Cantidad por 100 g.
Agua	13,2 g
Proteínas	11,5 g
Grasas	1,3 g
Cenizas	0,7 g
Fibra cruda	0,5 g
Carbohidratos totales	73,3 g
Carbohidratos disponibles	72,8 g
Energía	349 kcal

Fuente: FAO, 2004

Avena.

Tabla 5. Composición química del grano de avena entero, crudo y seco.

Componente	Cantidad en 100 g
Agua	32,0 g
Proteínas	11,5 g
Grasas	5,5 g
Cenizas	3,0 g
Fibra cruda	32,0 g
Carbohidratos totales	48,0 g
Carbohidratos disponibles	16,0 g
Sodio	12 mg
Potasio	450 mg
Calcio	75 mg
Fósforo	370 mg
Hierro	10 mg
Zinc	4,0 mg

Fuente: Dendy & Dobraszcyk, Cereales y productos derivados. 2004



Tabla 6. Composición química de la avena cruda en hojuela.

Componente	Cantidad en 100 g
Agua	10,9 g
Proteínas	12,8 g
Grasas	7,1 g
Cenizas	1,9 g
Fibra cruda	10,4 g
Carbohidratos totales	67,3 g
Carbohidratos disponibles	56,9 g
Energía	343 kcal
Sodio	65 mg
Potasio	460 mg
Calcio	21 mg
Fósforo	333 mg
Hierro	4,2 mg
Zinc	4,4 mg

Fuente: FAO, 2004.

Arroz.

Tabla 7. Composición química del grano de arroz crudo, pulido y seco.

Componente	Cantidad en 100 g
Agua	15,5 g
Proteínas	6,2 g
Grasa	0,8 g
Carbohidratos	76,9 g
Fibra cruda	0,3 g
Cenizas	0,6 g
Energía	351 kcal.
Calcio	6 mg
Fósforo	150 mg
Hierro	0,4 mg
Sodio	2 mg
Tiamina	0,09 mg
Riboflavina	0,03 mg
Niacina	1,4 mg

Fuente: FAO, 2004.



Tabla 8. Composición química del grano de arroz cocido.

Componente	Cantidad en 100 g
Agua	50,1 g
Proteínas	4,2 g
Grasas	0,3 g
Cenizas	0,2 g
Fibra cruda	2,9 g
Carbohidratos totales	45,2 g
Carbohidratos disponibles	42,3 g
Energía	189 kcal.

Fuente: FAO, 2004.

De acuerdo a la información proporcionada por la SAGARPA en el año 2001 se tienen las siguientes cifras estadísticas de nuestro país:

Tabla 9. Datos estadísticos de producción nacional de avena, trigo y arroz.

Producto	Producción (ton)	Rendimiento (ton/HA)	Producción (\$)
Avena grano	88885.65	1.279	150,913,419.12
Arroz grano	226638.56	4.258	335,657,641.08
Trigo grano	3102101.13	4.810	3,809,909,509.27

Fuente: SAGARPA., 2001.

3.9 Efectos de la cocción sobre la fibra dietética y el almidón resistente.

Los cereales son consumidos después de ser sometidos a distintos procesos; generalmente el trigo se procesa primero en una mollienda para obtener una harina y luego ya se somete a un proceso de cocción como el horneado, en el caso de la avena es sometida a un proceso conocido como laminación en el que se le sufre una precocción, después para ser consumida puede ser directamente esa hojuela sin sufrir otro



tratamiento o puede cocinarse de forma convencional, el arroz, por su parte, para ser comercializado normalmente es sometido a un proceso que se conoce como parbolizado en el que se tiene una precocción a nivel industrial, posteriormente para ser consumido puede cocinarse o también ser molido para la obtención de harina.

En los cereales en estudio, los procesos más comúnmente estudiados son la cocción, ya sea convencional o a presión (autoclave) y la extrusión. Adicionalmente existen dos variables que también modifican los valores de fibra dietética total además del tratamiento térmico y estas son el contenido de amilosa, amilopectina y el tratamiento industrial de estos alimentos como el secado y los mencionados anteriormente.

La variación en el contenido de almidón resistente en los cereales ha sido ampliamente estudiado, incluyendo estas investigaciones variables como el tipo de cocción, tanto convencional o doméstica como de tipo industrial o a presión (Eggum, et. al., 1993; Goñi, et. al., 1997) a proporción de amilosa / amilopectina (Eggum, et. al., 1993; Mangala, et. al., 1999), el tiempo de almacenamiento y la influencia de algunos nutrientes en su formación (Escarpa, et. al., 1996; Eerlingern, et. al., 1994).

En el caso del arroz Hagenimana et. al. (2006) realizan un estudio de la formación de almidón resistente, importante fracción de la fibra dietética, y muestran que existe un aumento significativo por el proceso de extrusión. Eggum et. al. (1993) por su parte demuestran que la cocción normal de diversas variedades de arroz también afecta el contenido de almidón resistente y por lo tanto de fibra dietética, aumentando significativamente.



En el proceso de gelatinización las moléculas de amilosa, responsables de la posterior retrogradación del almidón, son exudadas del gránulo, esta retrogradación contribuye a la formación de almidón resistente del tipo 3, Eggum, et. al (1993) demuestran que las muestras con mayor contenido de amilosa se encuentra también una mayor cantidad de almidón resistente, mientras que en las muestras con menos contenido de amilosa la formación de almidón resistente disminuye.

Por otro lado, Kim et. al (2006) muestran como el someter pastas de harina de trigo a un proceso de extrusión, en el que se somete el cereal a altas presiones y alta temperatura, también tiene un impacto importante en la formación de almidón resistente y, por lo tanto, de fibra dietética.

En lo que respecta a la avena, Svihus et. al. (2000) reportan que el contenido de fibra dietética no se ve modificado en este cereal al someterlo a un tratamiento térmico en autoclave.

En algunos alimentos se encuentran en cantidad considerable componentes como el ácido fítico, polifenoles y lecitinas, ya sea por que son fuente natural de éstos o por que son modificados industrialmente o añadidos en la preparación de los productos, tal como se agregan lípidos, azúcares, sales, proteínas para obtener el producto deseado; todos estos componentes pueden aumentar o disminuir la formación de almidón resistente, tal como lo demuestran Escarpa, et. al (1997) y Eerlingen, et. al., (1994) en sus estudios respecto a el efecto que tienen dependiendo de su concentración en los alimentos.

4. Parte experimental

4.1 Metodología

Para realizar las determinaciones de fibra dietética total y almidón resistente, se seleccionaron las muestras a analizar y se sometieron a distintos tratamientos previos a las determinaciones, éstos se observan en el esquema general de trabajo. Para cuantificar la fibra dietética total se siguió el procedimiento aprobado por la AOAC, 1995; para almidón resistente el propuesto por Saura-Calixto, et. al., 1993.

4.2 Material estudiado

Los cereales estudiados fueron: avena (*Avena sativa*), arroz (*Oriza sativa*) y trigo (*Triticum aestivum*). Se obtuvieron del Mercado del Carmen, Infonavit Norte, Cuautitlán Izcalli, Edo. de México; se molieron y se tamizaron primero en malla de 1 mm y después en malla de 0.5 mm. No se sometieron a un desengrasado por su bajo contenido de grasa, como se observa en las tablas 3, 4 y 7.

Las muestras adquiridas fueron divididas en dos partes, una que se realizó una molienda en crudo y otra que fue sometida a un proceso de cocción previo a la molienda, este proceso fue de acuerdo a los siguientes tiempos de cocción normales obtenidos mediante pruebas de tiempo de cocción, es decir, someter el cereal a cocción por el tiempo necesario para que estuviera listo para su consumo:

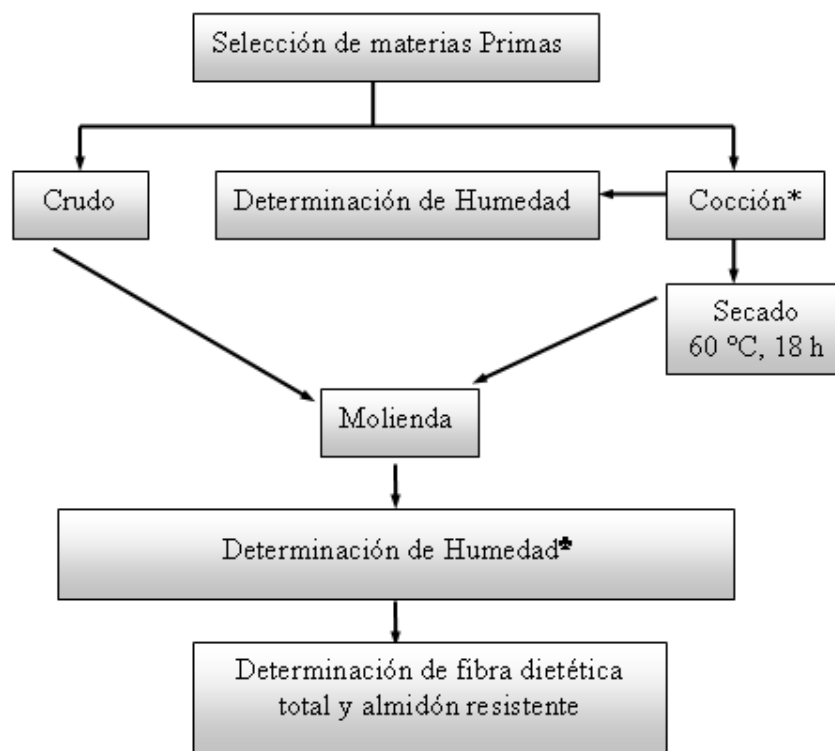
Tabla 1. Condiciones de cocción de las muestras.

Cereal	Tiempo (min)	Relación agua: grano
Avena	5	2:1
Arroz	15	2:1
Trigo	35	2:1

4.3 Esquema general.

En el Diagrama 3 se presenta un esquema general del tratamiento previo dado a las muestras.

Diagrama 3. Esquema general



* De acuerdo a la tabla 10

* De acuerdo al Método de la AOAC.

4.4 Fibra Dietética Total.

4.4.1 *Fundamento.*

Este ensayo mide el contenido de fibra dietética de los alimentos usando una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos. Las muestras de alimentos secos y libres de grasa son gelatinizados con α -amilasa estable al calor y posteriormente digeridas enzimáticamente con proteasa y amiloglucosidasa para eliminar la proteína y almidón presente en la muestra. Se adiciona etanol para precipitar la fibra dietética soluble. Los residuos son filtrados y lavados con etanol y acetona. Después de secarlos, los residuos se pesan. En la mitad de las muestras se mide la proteína y las otras son calcinadas a cenizas. La fibra dietética total es el peso del residuo menos el peso de la proteína y la ceniza.

El procedimiento para este análisis se resume en el gráfico 4.

4.4.2 *Análisis de fibra dietética total*

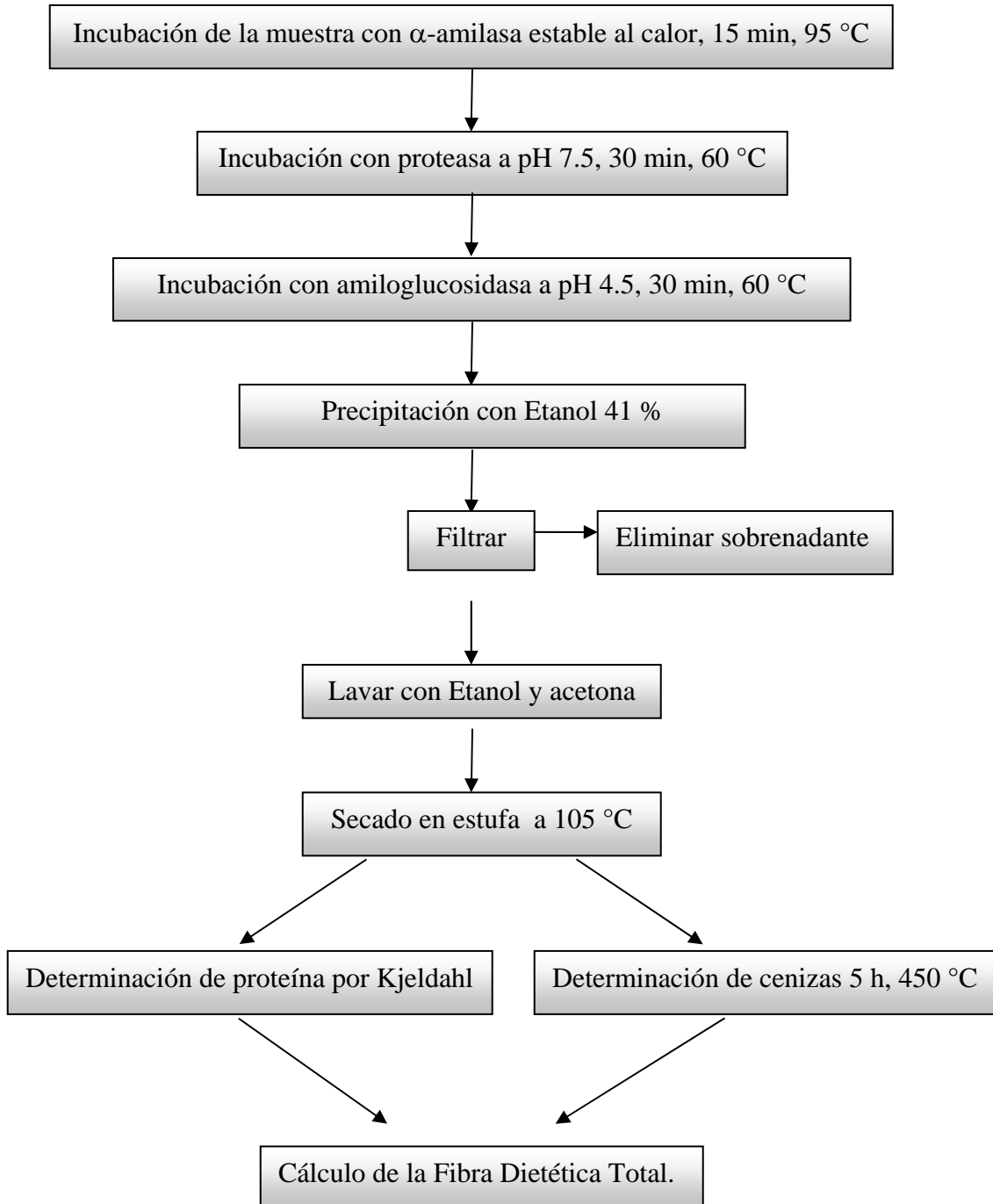
Reactivos:

TDF-1 00 A Kit -Total Dietary Fiber Assay Kit. Este equipo contiene suficientes reactivos para realizar 165 análisis. Mantener todos los reactivos en refrigeración hasta el momento de su uso.

1. α - Amilasa, estable al calor SIGMA A 3306
2. Proteasa: SIGMA P 3910
3. Amiloglucosidasa SIGMA A 9913
4. Celita TM, lavada con ácido SIGMA C8656

TDF-C10 Kit -Total Dietary Fiber Assay Control Kit, Cada frasco contiene suficientes reactivos para aproximadamente 10 análisis.

Diagrama 4. Determinación de fibra dietética total



1. Arabinogalactana SIGMA A9788
2. Caseína SIGMA C 7906
3. -Glucano SIGMA G7391
4. Pectina SIGMA P 7536
5. Almidón de maíz SIGMA S 2388
6. Almidón de trigo SIGMA S1514

Otros reactivos:

1. Éter de petróleo R.A.
2. Alcohol etílico R.A.
3. Acetona R.A.
4. Fosfato de sodio dibásico anhidro R.A.
5. Fosfato de sodio monobásico anhidro R.A.
6. Hidróxido de sodio 1.0 N.
7. Ácido clorhídrico 1.0 M.

Aparatos

1. Crisol: Porosidad # 2 (grueso 40-60 micrones)
2. Fuente de vacío con trampa para prevenir la contaminación en caso de que se pase líquido
3. Horno con aire a 105 °C Ríos Rocha Aparatos de LAB BG
4. Desecador
5. Mufla FELISA Digital.
6. Baño de agua hirviendo
7. Baño de agua constante a 60 °C con agitador. Lab-line Instruments No. 3575
8. Vasos de precipitados: altos de 100 mL.
9. Balanza analítica capaz de pesar hasta 0.1 mg. Mettler Toledo A6245

10. Potenciómetro: estandarizado a pH 4.0 y pH 7.0 Sargent –Welch Modelo IP
11. Matraces Kitasatos de 1000 mL
12. Alargadera de hule para crisol Gooch
13. Barras magnéticas 22x8 mm
14. Pipeta automática de 50-200 L
15. Termómetro -20 a 200 ° C

Preparación de Crisoles.

Lavar los crisoles y colocarlo en una mufla, calentar una hora a 450 °C y enfriar dentro de la mufla hasta 250 °C antes de sacar. Remojar y enjuagar los crisoles con agua y secar con aire. Agregar 0.5 g de Celita a cada crisol y secar a 130°C hasta peso constante. Enfriar en desecador y pesar hasta tener 0.1 mg de diferencia. Registrar este peso como "Celita + Peso del crisol o P₁". Conservar en desecador hasta utilizarlo.

Preparación de Soluciones:

Use agua destilada o desmineralizada para hacer las soluciones. .

1. Etanol al 78%

Medir 207 mL de agua en un matraz volumétrico de un litro. Diluir al volumen con etanol al 95 %. Mezclar y llevar al volumen nuevamente con etanol al 95% en caso necesario. Mezclar.

2. Amortiguador de fosfatos, 0.08M, pH 6.0

Disolver 1.4 g de Na₂HPO₄, anhidro y 8.4 g de NaH₂ PO anhidro en aproximadamente 700mL de agua. Diluir a un litro con agua. Verificar el pH y ajustar si es necesario con NaOH o H₃PO₄. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

3. Solución de hidróxido de sodio, 0.275 N

Diluir 275 mL de solución de NaOH 1.0 N a un litro con agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

4. Solución de Ácido clorhídrico, 0.325 M

Diluir 325 mL de solución de HCl 1.0 M a un litro de agua en un matraz volumétrico. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente

5. Proteasa.

Hacer una solución de Proteasa (SIGMA P3910) de 25 mg/mL en amortiguador de fosfatos, inmediatamente antes de utilizarse.

4.4.3 *Determinación de fibra dietética total.*

Correr blancos con las muestras a través de todo el procedimiento para medir cualquier contribución de los reactivos al residuo. A las muestra y blancos que se les va a medir el contenido de fibra dietética se les debe correr, al menos, por cuadruplicado para tener duplicados de proteína y cenizas para mejorar la exactitud.

1. Pesar cuatro muestras de 0.5 g de cada material por analizar y poner en vasos de precipitado altos. Los pesos de las muestras no deben tener una diferencia mayor de 20 mg. Registrar los pesos, hasta 0.1 mg.

2. Agregar a cada vaso 25 mL de amortiguador de fosfatos pH 6.0

3. Agregar 50 μ L de α -amilasa (SIGMA A 3306) a cada vaso y mezclar muy bien.

4. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y poner en un baño de agua hirviendo. Agitar suavemente los vasos a intervalos de 5 minutos. Incubar por 15 minutos después de que la temperatura dentro de los vasos alcance 95 °C.
5. Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente (o en hielo o agua)
6. Ajustar el pH de las soluciones a 7.5 ± 0.2 agregando 5 mL de solución de hidróxido de sodio 0.275 N a cada vaso. Verificar el pH y ajustar si es necesario, ya sea con NaOH o HCl.
7. Hacer una solución de Proteasa (SIGMA P3910) de 25 mg/mL en amortiguador de fosfatos, inmediatamente antes de utilizarse. Pipetear 100 μ l (2.5 mg de proteasa) dentro de cada vaso.
8. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y poner en un baño de agua a 60 °C. Con agitación continua, incubar por 30 minutos después de que la temperatura dentro de los vasos alcance 60 °C.
9. Dejar enfriar las soluciones a temperatura ambiente.
10. Ajustar el pH de las soluciones entre un pH de 4.0 y 4.6 agregando 5 mL de 0.325 M de HCl a cada vaso. Verificar el pH y ajustar si es necesario ya sea con NaOH o HCl.
11. Agregar 0.1 mL de amiloglucosidasa (SIGMA A991 3) a cada vaso.
12. Cubrir cada vaso con hojas de aluminio y poner en un baño de agua a 60 °C. Con agitación continua, incubar por 30 minutos después de que la temperatura dentro de los vasos alcance 60 °C.

13. Agregar 4 volúmenes de etanol al 95% a cada vaso. **

14. Dejar la solución durante toda la noche a temperatura ambiente para permitir la precipitación completa.

**En el caso de muestras que se conoce que tienen poca fibra dietética soluble se modificó la técnica y se adiciona etanol al 41% (Almanzan & Zhou, 1994).

15. Humedecer y redistribuir la cama de Celita en cada crisol usando etanol al 78%. Aplicar succión suave para atraer la Celita al filtro y formar una superficie lisa. Mantener la succión suave y pasar cuantitativamente el precipitado y suspensión de cada uno de los vasos a sus respectivos crisoles.

Lavar el residuo con tres porciones de 10 ml de etanol al 78 %, dos porciones 10 mL de etanol al 95% y dos porciones de 5 ml de acetona.

16. Secar los crisoles que contienen los residuos durante la noche en una estufa con aire a 105°C.

17. Enfriar todos los crisoles en un desecador, pesar hasta la cuarta cifra (0.1 mg), y registrar estos pesos como " Residuo + Celita + Peso del crisol" o P₂.

18. Analizar en los residuos de dos muestras y dos blanco el contenido de proteína por análisis de nitrógeno de Kjeldahl, como se especifica en el procedimiento del AOAC (2005). Usar el factor de 6.25 para convertir el nitrógeno, medido en el análisis, a proteína excepto cuando el contenido de nitrógeno en la muestra de proteína es conocido.

19. Calcinar el residuo de los dos crisoles de la muestra 5 horas a 450 °C. Enfriar en desecador, y pesar hasta la cuarta decimal (0.1 mg) y registrar este peso como "Cenizas + Celita + Peso del Crisol. o P₃."

4.4.4 Cálculos.

Determinar porcentaje de fibra dietética total de cada cuadruplicado y obtener así promedio, desviación estándar y coeficiente de variación para cada muestra.

$$\text{Peso del residuo} = P_2 - P_1$$

$$\text{Peso de las cenizas} = P_3 - P_1$$

$$B = R_{\text{blanco}} - C_{\text{blanco}}$$

$$\% \text{ FDT} = [(R_{\text{muestra}} - P_{\text{muestra}} - C_{\text{muestra}} - B) / M] * 100$$

Donde:

FDT = Fibra dietaria total

R = peso del residuo (mg)

P = Peso de la proteína (mg)

C = Peso de las cenizas (mg)

M = Peso de la muestra (mg)

Calcular la FDT de cada cuadruplicado y con estos datos el promedio y el coeficiente de variación de cada muestra.

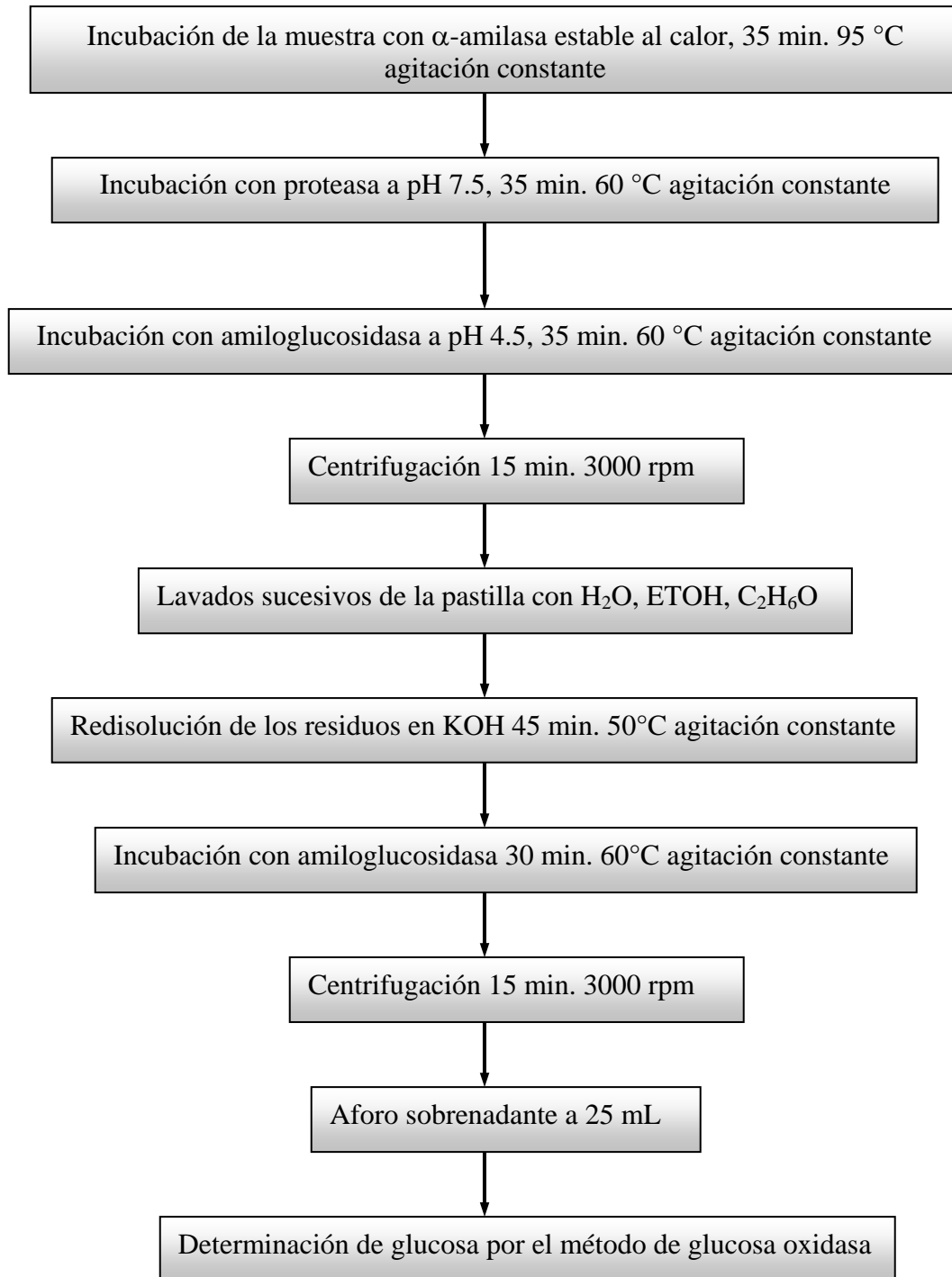
4.5 ALMIDÓN RESISTENTE

4.5.1 *Fundamento.*

La técnica consiste en hidrólisis secuenciales con α -amilasa termoestable, proteasa y amiloglucosidasa que finalmente dejan un residuo de fibra dietética insoluble donde se determina el AR, solubilizándolo e hidrolizando nuevamente con amiloglucosidasa hasta glucosa, la cual es determinada colorimétricamente con un sistema de glucosa oxidasa-peroxidasa-cromógeno. Un mol de glucosa multiplicado por el factor 0.9 da origen a un mol de almidón.

El procedimiento para este análisis se resume en el diagrama 5.

Diagrama 5. Determinación de almidón resistente.



4.5.2 Análisis de almidón resistente

Reactivos:

1. Sigma, TDF-100 A Kit -Total Dietary Fiber Assay Kit. Este equipo contiene suficientes reactivos para realizar 165 análisis. Mantener todos los reactivos en refrigeración hasta el momento de su uso.

α - Amilasa, estable al calor SIGMA A 3306

Proteasa SIGMA P 3910 *

Amiloglucosidasa SIGMA A 9913

* La técnica original utiliza Proteasa Sigma clave 5380

2. Amiloglucosidasa E.C.3.2.1.3, Roche Diagnostics GmbH No.10 102 857 001
3. Reactivo para la determinación de Glucosa (Oxidasa/Peroxidasa) Hycel No. 70458
4. Sigma, TDF-C10 Kit - Total Dietary Fiber Assay Control Kit, Cada frasco contiene suficientes reactivos para aproximadamente 10 análisis.

Arabinogalactana SIGMA A 9788

Caseína SIGMA C 7906

β -Glucano SIGMA G 7391

Pectina SIGMA P 7536

Almidón de maíz SIGMA S 2388

Almidón de trigo SIGMA S1514

5. Éter de petróleo 35-60 °C R.A.
6. Alcohol etílico R.A

7. Acetona R.A
8. Fosfato de sodio monobásico anhidro R.A.
9. Fosfato de sodio dibásico, anhidro R.A.
10. Hidróxido de sodio 1 N
11. Ácido clorhídrico 2N
- 12: Acetato de sodio R.A.
13. Ácido acético R.A.
14. Hidróxido de potasio 2M
15. Solución estándar de glucosa 0.5 mg/mL

Aparatos y Material.

1. Fuente de vacío con trampa para prevenir la contaminación en caso de que se pase líquido.
2. Baño de agua hirviendo
3. Baño de agua a 60 °C con agitador que proporcione agitación a los matraces de digestión durante la hidrólisis enzimática Lab-line Instruments No. 3575
4. Balanza analítica capaz de pesar hasta 0.1 mg
5. Potenciómetro: Estandarizado a pH 4.0 y pH 7.0 Sargent-Welch Modelo IP
6. Centrifuga que proporcione 3000 x g Damon/IEC modelo HN-S II
7. Placas de agitación con calentamiento
8. Tubos de centrifuga de 50 mL de polipropileno(resistentes a solventes) con tapa
9. Barras magnéticas de 22 x 8 mm
10. Pipetas automáticas de 10 – 50 μ L y 50 – 200 μ L
11. Matraces aforados de 25 mL

Preparación de soluciones:

Nota: Se debe usar agua destilada o desmineralizada para hacer las soluciones.

1. Amortiguador de fosfatos, 0.08 M, pH 6.0: Disolver 1.400 g de Na_2HPO_4 anhidro y 8.4 g de NaH_2PO_4 anhidro en aproximadamente 700 mL de agua. Diluir a un litro con agua.

Verificar el pH 6.0 y ajustar si es necesario con NaOH o H_3PO_4 . Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

2. Solución de hidróxido de sodio, 0.275 N: Agregar, cuidadosamente, 275 mL de solución de NaOH 1.0 N a 700 mL de agua en un matraz volumétrico de un litro. Diluir a un litro con agua. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

3. Solución de ácido clorhídrico, 0.325 M: Agregar, cuidadosamente, 325 mL de solución de HCl 1.0 M a 600 mL de agua en un matraz volumétrico de un litro. Diluir a un litro con agua. Guardar en frascos bien tapados a temperatura ambiente.

4. Amortiguador de acetatos 0.4 M, pH 4.75

Soluciones concentradas

A: 0.8 M de ácido acético (48 mL en 1000 mL de agua)

B: 0.8 M de acetato de sodio (65.62 g de $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na}$ o 108.82 g de $\text{C}_2\text{H}_3\text{O}_2\text{Na} \cdot 3 \text{H}_2\text{O}$ en 1000 mL de agua)

Mezclar 200 mL de A + 300 mL de B, diluir a 750 mL con agua, ajustar el pH a 4.75 y aforar a 1000 mL.

5. Solución de hidróxido de potasio 2 M (preparada al momento de utilizarla): Pesar 5.6 g de KOH, disolver en agua y aforar a 50 mL.
6. Estándar de glucosa 0.5 mg/mL: Pesar 50 mg de glucosa (previamente secada en la estufa) y aforar con agua desionizada a 100 mL. Conservar a -20 °C en alícuotas de 20 mL.

4.5.2.1 *Residuos insolubles de fibra dietética (FDI).*

1. Pesar 100 mg de muestra en un tubo de centrifuga con tapa de 50 mL por triplicado, agregar 10 mL de buffer de fosfatos pH 6.0, 0.08 M, ajustar a pH 6 ± 0.2 si es necesario (con NaOH 0.275 N o HCl 0.325 N)
2. Adicionar 10 μ L de α -amilasa, mezclar. Los tubos tapados se ponen en baño de agua hirviendo por 35 minutos con agitación constante.
3. Sacar los tubos del baño de agua y enfriar a temperatura ambiente, ajustar el pH a 7.5 ± 0.1 con NaOH 0.275 N (aproximadamente 2 mL).
4. Adicionar la solución de proteasa (100 μ L) preparada al momento de usarse (proteasa 10 mg/mL de buffer de fosfatos pH 6.0, 0.08 M).
5. Incubar a 60 °C por 35 minutos con agitación constante (medir el tiempo cuando la temperatura dentro del tubo sea de 60 °C). Sacar los tubos y enfriar a temperatura ambiente.

6. Ajustar el pH a 4.5 ± 0.1 agregando aproximadamente 2 mL de HCl 0.325 N.
7. Añadir 60 μ L de amiloglucosidasa (SIGMA A3306) mezclar e incubar los tubos por 35 minutos a 60 °C con agitación continua.
8. Sacar los tubos y enfriar a temperatura ambiente y centrifugarlos a 3000 x g por 15 minutos. Descartar el sobrenadante.
9. La pastilla de fibra dietética insoluble se lava sucesivamente con 10 mL de agua destilada, 10 mL de etanol al 96 % y 10 mL de acetona, repetir la centrifugación después de cada adición, descartar los sobrenadantes.

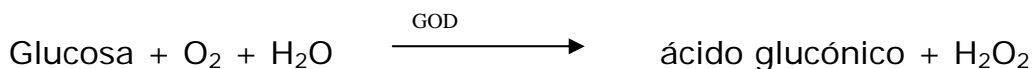
4.5.2.2 *Determinación de almidón resistente (AR).*

1. Adicionar a los residuos de FDI 6 mL de KOH 2 M recién preparada, mezclar y agitar por 45 minutos a 50 °C.
2. Agregar a los tubos 3 mL de buffer de acetatos (0.4 M, pH 4.75) y aproximadamente 5 mL de HCl 2 N. Ajustar el pH a 4.75. Si es necesario utilizar el HCl 2N.
3. De la suspensión de amiloglucosidasa (Roche No. 10 102 857 001) pipetear 60 μ L a cada tubo, se mezcla la solución y se incuba a 60 °C por 30 minutos en agitación constante.
4. Las muestras se enfrían a temperatura ambiente y se centrifugan a 3000 x g por 15 minutos y los sobrenadantes se colectan en un matraz aforado.

5. Las pastillas se resuspenden en 10 mL de agua y se repite la centrifugación.
6. Los sobrenadantes se combinan con el agua de lavado y se aforar a un volumen final de 25 mL con agua, dependiendo del contenido de AR en la muestra. Para muestras con un contenido menor a 1% se recomienda aforar de 25 a 50 mL; para las que tienen un contenido mayor a 15% se recomienda a un volumen final de 1000 mL. (Saura-Calixto, et. al., 1993)

4.5.2.3 Análisis de Glucosa total en los sobrenadantes.

Determinación de glucosa por el método de glucosa oxidasa.



Para determinar la concentración de glucosa liberada en el ensayo enzimático, la glucosa es oxidada por la glucosa oxidasa (GDO) en solución acuosa a ácido glucónico y peróxido de hidrógeno. El peróxido de hidrógeno reacciona en presencia de la peroxidasa (POD) con el ácido 4-hidroxibenzoico (HBA) y la 4-aminofenazona (4AAP), para formar un cromóforo de color rojo.

La intensidad del color que se desarrolla es proporcional a la concentración de glucosa y puede ser medida espectrofotométricamente entre 460 y 560 nm.

Curva estándar de glucosa.

1. En matraces aforados de 10 mL pipetear 0.5, 1.0, 3.0, 5.0 y 7.0 mL de la solución estándar de glucosa (0.5 mg/mL) y llevar al volumen con agua desionizada. Cada dilución equivale a 25, 50, 150, 250 y 350 $\mu\text{g/mL}$, respectivamente, de glucosa.
2. Para la determinación utilizar 200 μL de cada dilución por triplicado.
3. Cada que se realiza un análisis se corre una curva estándar de glucosa.

Procedimiento

1. Pipetear en tubos de ensayo (13 x 100 mm) 3 mL del reactivo de glucosa (a temperatura ambiente)
2. Adicionar 200 μL de la muestra o estándar o agua a los tubos con reactivo, por triplicado. Deja a temperatura ambiente por 30 minutos (alejados los tubos de la luz solar directa).
3. Leer absorbancia a 510 nm contra el blanco de reactivos.
4. Interpolar el valor de absorbancia de las muestras en la curva estándar de glucosa para obtener la concentración de glucosa en los sobrenadantes.

4.5.3 Cálculos de AR.

$$\% \text{ de almidón} = [(\text{Gluc } \mu\text{g/mL}) * \text{aforo/ 1000}] * 0.9 * 100/ \text{mg muestra}$$

Donde:

Gluc $\mu\text{g/mL}$ = Valor de glucosa interpolado en la curva estándar

Aforo = Volumen final del sobrenadante de la determinación de AR

1/1000 = factor para convertir μg a mg

0.9 = Peso molecular del almidón/ peso molecular de glucosa = $162/180$
= 0.9

4.6 Tratamiento estadístico.

Los datos de fibra dietética total han sido expresados con la media \pm desviación estándar de cuatro determinaciones y con un $\text{CV} < 5\%$. Para comparar la media de las muestras crudas y cocidas se realizó una prueba t de student con un factor $\alpha = 0.05$ y así determinar si existe una diferencia significativa debida al tratamiento térmico.

Mientras que los datos de Almidón resistente se han expresado con la media \pm desviación estándar de 3 determinaciones y con un $\text{CV} < 10\%$. Se utilizó una prueba de t de student para la comparación de las medias de las muestras crudas y cocidas para cada cereal con un factor $\alpha = 0.05$.

En ambos casos, se realizó una prueba ANOVA con un factor $\alpha = 0.05$ para comparar las medias de todas las muestras tanto crudas como cocidas y saber si existe una diferencia significativa entre muestras y tratamientos.

5. Resultados y Discusión.

A continuación se presenta la tabla de resultados obtenidos de la determinación de humedad para cada una de las muestras. Se observa un aumento significativo en el contenido de humedad en las muestras una vez que se han sometido al proceso de cocción, lo cual era esperado al utilizar agua para este proceso; así mismo también se puede concluir que la avena es el cereal que más agua absorbe durante el proceso de cocción en comparación con los otros dos cereales.

Tabla 1. Contenido de humedad de las muestras analizadas.

Muestra	% Humedad
Avena cruda	6.71 ± 0.068
Avena cocida	70.11 ± 0.036
Arroz crudo	8.36 ± 0.032
Arroz cocido	68.05 ± 0.066
Trigo crudo	7.38 ± 0.030
Trigo cocido	46.06 ± 0.064

Valores promedio de 3 determinaciones ± Desviación estándar

En la tabla 12 se observan los resultados obtenidos de las determinaciones de fibra dietética total (FDT) para los tres cereales en estudio tanto en base húmeda, se puede ver que si se comparan los resultados en base húmeda los contenidos de FDT disminuyen después de someter los cereales a un proceso de cocción.

Tabla 2. Contenido de fibra dietética total en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base húmeda)

Muestra	Cruda	Cocida
Avena	10.53 ± 0.37 ^a	2.54 ± 0.17 ^d
Arroz	2.41 ± 0.18 ^b	1.05 ± 0.14 ^e
Trigo	10.74 ± 0.42 ^c	6.72 ± 0.34 ^f

Valores promedio de cuatro determinaciones, CV < 5 %
Medias con letras diferentes entre columnas y filas son significativamente diferentes, P = 0.05

Sin embargo, debido a que los contenidos de agua en cada una de las muestras son diferentes en crudo como después de ser sometido a cocción, se debe realizar dicha comparación en base seca como se observa en la tabla 13.

Tabla 3. Contenido de fibra dietética total en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base seca)

Muestra	Cruda	Cocida
Avena	11.28 ± 0.40 ^a	8.49 ± 0.18 ^d
Arroz	2.63 ± 0.19 ^b	3.30 ± 0.15 ^e
Trigo	11.60 ± 0.45 ^c	12.46 ± 0.36 ^f

Valores promedio de cuatro determinaciones, CV < 5 %
Medias con letras diferentes entre columnas y filas son significativamente diferentes, P = 0.05

En la tabla 14 se pueden ver los resultados de la cuantificación de almidón resistente (AR) en las muestras, nuevamente en base húmeda, en la que se observa una diferencia significativa en los contenidos de este componente para el avena y el arroz, no así para el trigo.

Tabla 4. Contenido de almidón resistente en muestras de cereales (g / en 100 g de muestra en base húmeda)

Muestra	Cruda	Cocida
Avena	0.77 ± 0.06 ^a	0.01 ± 0.01 ^b
Trigo	0.31 ± 0.03 ^c	0.32 ± 0.02 ^c
Arroz	0.11 ± 0.01 ^d	0.07 ± 0.01 ^e

Valores promedio de 3 determinaciones, CV < 10 %

Medias con letras diferentes entre columnas y filas son significativamente diferentes, P = 0.05

Debido a la diferencia de contenido de humedad en las muestras, como ya se comentó previamente, se debe llevar a cabo esta comparación en base seca; esta comparación se puede hacer con los resultados en la tabla 15, en ésta se observa una diferencia significativa en todos los cereales en la cuantificación de este componente.

Tabla 5. Contenido de almidón resistente en muestras de cereales (g / 100 g de muestra en base seca)

Muestra	Cruda	Cocida
Avena	0.78 ± 0.06 ^a	0.48 ± 0.01 ^b
Trigo	0.33 ± 0.03 ^c	0.60 ± 0.02 ^d
Arroz	0.12 ± 0.01 ^e	0.22 ± 0.01 ^f

Valores promedio de 3 determinaciones, CV < 10 %

Medias con letras diferentes entre columnas y filas son significativamente diferentes, P = 0.05

De acuerdo a estos resultados se puede decir con certeza estadística que la cocción modifica significativamente el contenido de FDT y el de AR de los cereales estudiados. La importancia de este resultado radica en que dichos cereales no se consumen en crudo, siempre son sometidos a un proceso de cocción que modifica su estructura química así como sus propiedades.

En el trigo y el arroz se observa un aumento de FDT después del tratamiento; en ambos casos también se observa un incremento en el contenido de AR, este hecho puede ser la explicación del aumento en FDT pues sabemos que el AR es parte importante de la FDT así que si aumenta el primero aumentará por consiguiente la segunda. El aumento en AR después de la cocción se puede explicar por la naturaleza amilósica del AR, pues se tiene una retrogradación amilósica mayor en los geles de almidón que se forman después de la cocción por que se gelatiniza a temperaturas más elevadas y se da un ordenamiento de la amilosa que provoca dicho fenómeno, éste deja menos susceptible el almidón al ataque enzimático y se forma AR tipo III (Eggum et. al., 1993). También es posible que, tomando en cuenta la temperatura (ebullición) a la que se cocieron los productos, se formara un complejo amilosa-lípido, a pesar del bajo contenido graso de la muestra, que es menos digerible por las enzimas.

El contenido de AR para el trigo cocido en base seca reportado en este estudio es muy similar al reportado por Kim, et. al. (2006) bajo condiciones muy específicas, el producto que ellos analizaron es un producto de extrusión a 200 rpm y con una humedad del 40 %. A pesar de que se utilizaron diferentes técnicas para la determinación de este

componente vemos que el contenido en este cereal después de ser sometido a un tratamiento térmico, cualquiera que este sea, es más o

menos constante. Ahora bien, en lo que respecta al contenido de FDT se hace notoria la importancia de la variedad que se está analizando pues si comparamos este resultado con el reportado por Picolli & Santorio (2005) vemos que son diferentes a pesar de utilizar una técnica muy similar para la cuantificación, pero como ellos mismos reportan todo depende de la variedad que se esté estudiando, siendo más bajo el de éste estudio comparando el producto crudo pues en el otro no sometieron las muestras a ningún tipo de cocción.

En lo que respecta a la avena, en la tabla 13 se observa que el contenido de FDT disminuye en la muestra después de ser sometida a cocción, lo mismo ocurre con el AR (tabla 15) esto nos dice que el almidón de la avena al sufrir un tratamiento térmico se vuelve más accesible a la acción de las enzimas.

Si se comparan los resultados del presente trabajo con el estudio reportado por Picolli & Santorio (2005) para la avena con el de este estudio observamos que es muy similar pero que una vez más depende de la variedad analizada. Por su parte Drzikova et. al. (2005) reportan un contenido de AR del 0.43 %, que si lo comparamos con el que se obtuvo es muy similar, el que no sean iguales se puede deber tanto a la diferencia del tratamiento térmico aplicado, como a la técnica de cuantificación. También el contenido que reportan de FD es similar, sin embargo su cuantificación fue diferente, de tal forma que obtienen los contenidos de FD soluble e insoluble por separado. Aclarando que la muestra de avena que manejan fue sometida a un proceso de extrusión, diferente de la cocción convencional manejada en el presente trabajo.

Tabla 6. Contenido de FDT, AR, FDT_{corregida} en cereales (g / 100g de muestra en base seca)

Muestra	FDT ^a		AR ^b		FDT ^c _{corregida}	
	crudo	cocido	crudo	cocido	crudo	cocido
Avena	11.28 ± 0.40	8.49 ± 0.18	0.78 ± 0.06	0.48 ± 0.01	10.5	8.01
Arroz	2.63 ± 0.19	3.30 ± 0.15	0.12 ± 0.01	0.22 ± 0.01	2.51	3.08
Trigo	11.60 ± 0.45	12.46 ± 0.36	0.33 ± 0.03	0.60 ± 0.02	11.27	11.86

^aMedia ± D.E. de cuatro determinaciones, CV < 5 %

^bMedia ± D.E. de tres determinaciones, CV < 10 %

^cFDT_{corregida} = FDT-AR

La importancia de la variedad analizada queda patente al querer comparar el contenido de AR en arroz, pues como lo reportan Hu et. al. (2004) y Eggum, et. al. (1993) cada uno en su investigación, se ve que el contenido de AR difiere mucho dependiendo de la variedad, sin embargo, el contenido reportado en el presente está dentro del promedio de lo mencionado por Hu et. al. (2004). Se observa también en las cuatro tablas que los contenidos de FDT y AR son significativamente diferentes comparando los cereales en base húmeda y seca después del tratamiento térmico, lo que nos indica que no pueden ser sustituibles en la dieta, al menos en lo que respecta a este componente. Sin embargo, cuando comparamos los cereales antes de ser sometidos a cocción vemos que entre el trigo y la avena no existe una diferencia significativa en el contenido de FDT, la relevancia de este resultado radica en que en nuestro país la avena, en algunas ocasiones se consume en crudo, sobre todo en licuados, y el trigo no se consume nunca en crudo lo que proporciona una ventaja nutricional en la avena.

Por otro lado la reproducibilidad de las técnicas depende, entre otras cosas, de la muestra a analizar, o mejor dicho, del contenido de FDT y AR de la muestra, pues cuando se tienen muestras con bajo contenido de estos componentes, los resultados para cada repetición varían de manera considerable impidiendo así que se obtengan coeficientes de variación bajos.

6. Conclusiones.

- ✚ La cocción modifica significativamente el contenido de fibra dietética total y el contenido de almidón resistente en los cereales estudiados.

- ✚ La naturaleza del almidón será determinante en la modificación observada, en el caso del trigo, arroz y avena.

- ✚ Los contenidos tanto de fibra dietética total y almidón resistente son significativamente diferentes entre los cereales estudiados después de ser sometidos a cocción convencional.

7. Referencias.

AACC (2003). En memorias del curso Internacional "Almidón y Fibra Dietética: Química, Tecnología y Biodisponibilidad". Bello, L.A.P (Orgo), pp 102, Yautepec.

AOAC., (1995) Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Vol II, pp 70-71(45.4.07).

AOAC. (1995) Official Methods of Analysis of AOAC International, 16th Edition, Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Vol I, pp 7 (12.1.07).

Almanzan, A M & Zhou, X (1994). **Total dietary fiber content of some green and root vegetables obtained at different ethanol concentrations.** *Food Chemistry*, 53, 215-218.

Anderson HB, Ellegard LH y Bosaeus IG (1999). **Nondigestibility characteristics of inulin and oligofructose in human.** *J Nutr* 129:1428S-1430S.

Anónimo (2000). The definition of dietary fiber. *Cereal Food World*, 46, 112–129.

Atwell W A, Hood L F, Lineback D R, Varriano-Marston E & Zobel H F (1988) **The terminology and methodology associated with basic starch phenomena.** *Cereal Food World*, 33, 306-311.

Bowers J (1992). *Food theory and applications*, 2nd ed. Macmillan Publishing Company, USA, pp. 118-133.

Cairns P, Morris J V, Botham R L & Ring S G, (1996). **Physicochemical studies on resistant starch in vitro and in vivo.** *Journal of Cereal Science*, 23, 265-275.

Carreón O. (2005) *"Contenido de fibra dietética y almidón resistente en cereales, leguminosas y tubérculos"* Tesis de licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México, Facultad de Química.

- Cervera P., et. al. (1993). *Alimentación y dietoterapia (Nutrición aplicada en la salud y en la enfermedad)* 2° ed, Iberoamericana McGraw Hill, Madrid, España, pp. 61-65.
- Champ, M., Faisant, N., (1996). **Resistant starch: analytical and physiological aspects.** *Boletín SBCTA* 30, 37–43.
- Chandalia, M., Garg, A., Lutjohann, D., von Bergmann, K., Grundy, S. M., & Brinkley, L. J. (2000). **Beneficial effects of high dietary fiber intake in patients with type 2 diabetes mellitus.** *New England Journal of Medicine*, 342,1392–1398.
- Dendy D & Dobraszczyk B. (2004)*Cereales y productos derivados. Química y tecnología.* Ed. Acribia, España,.pp 87-100, 127-156, 341-386, 457-480.
- De Schrijver, R., Vanhoof, K., Vande Ginste, J., (1999). **Effect of enzyme resistant starch on large bowel fermentation in rats and pigs.** *Nutrition Research* 19, 927–936.
- Drzikova, B., Dongowski, G., Gebhardt, E., Habel, A.(2005). **The composition of dietary fibre-rich extrudates from oat affects bile acid binding and fermentation in vitro.** *Food Chemistry* 90 , 181–192
- Eerlingen R C, Cillen G & Delcour J A. (1994). **Enzymeresistant starch. IV: Effect of endogenous lipids and added sodium dodecyl sulfate on formation of resistant starch.** *Cereal Chemistry*, 71, 170-177.
- Eerlingen, R.C., Van Den Broeck, J., Delcour, J.A., Slade, L. & Levine (1994). **Enzyme Resistant Starch IV: Influence of sugar on resistant starch formation.** *Cereal Chemistry* 71(5), 472 – 476.
- Eggum B. O., Juliano B.O., Pérez C. M. y Acedo E. F., (1993). **The Resistant Starch, undigestible energy and undigestible protein contents of raw and cooked milled rice.** *Journal of cereal science* 18 159-170.
- Englyst, H., (1989). **Classification and measurement of plant polysaccharides.** *Animal Feed Science and Technology* 23, 27–42.

Englyst H & Kingman S M (1990). **Dietary fiber and resistant starch**, In D. Kritchewsky, C. Bonfield & J W Anderson (Eds.), *Dietary fibre* (p. 49). New York.

Englyst H, Kingman S & Cummings J (1992) **Classification of nutritionally important starch fraction**. *European Journal of Clinical Nutrition* 46: S33-S50.

Englyst HN, Quigley ME y Hudson GJ. (1995) **Definition and measurement of dietary fibre**. *European Journal of Clinical Nutrition*, 49 (S3) S48- S62.

Eurestat (1993). European Flair. Concerted Action on Resistant Starch. Newsletter 1 V, September, Human Nutrition Department, Wageningen Agriculture University Wageningen, The Netherlands, p 2.

fao.org/docrep/htm. 2004. Tabla de composición de alimentos de América Latina. Consulta: Febrero 2006.

FDA (2001). Health Claims: Soluble fiber from certain foods and risk of heart diseases. Code of Federal Regulations 21:101.81.

Fredricksson H, Silverio J, Andersson E, Eliasson A & Aman P (1998). **The influence of amylase and amylopectin characteristics on gelatinization and retrogradation properties of different starches**. *Carbohydrate Polymers*, 35, 119-134.

García-Alonso, A., Jiménez-Escrig, A., Martín-Carrón, N., Bravo, L., Saura-Calixto, F., (1999). **Assessment of some parameters involved in the gelatinization and retrogradation of starch**. *Food Chemistry* 66, 181–187.

García Peris P., Bretón Lesmes I., de la Cuerda Compes C. y Camblor Álvarez M., (2002). **Metabolismo colónico de la fibra**, *Nutrición. Hospitalaria* XVII (Sup. 2) 11-16

García Peris P & García Almansa A, Apuntes sobre la Fibra, *Novartis Medical Nutrition*.

Goñi, I.; García-Díaz, L.; Mañas, E.& Saura_Calixto, F. (1996). **Análisis of resistant starch: a method for foods and food products**. *Food Chemistry*, 56(4), 445-449.

Hagenimana A., Ding X., Fang T. (2006). **Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking.** *Journal of Cereal Science* 43 38–46

Haralampu, S. G. (2000). **Resistant starch – a review of the physical properties and biological impact of RS₃.** *Carbohydrate Polymers*, 41, 285–292.

Hu, P., Haijun Zhaoa, Duan, Z., Linlin, Z, Wu, D. (2004). **Starch digestibility and the estimated glycemic score of different types of rice differing in amylose contents.** *Journal of Cereal Science* 40 231–237

Jenkins D, Wolever T, Taylor R, Barker H & Fielden H (1980). **Exceptionally low blood glucose response to dried beans. Comparison with other carbohydrate foods.** *British. Medical Journal* 281, 578-580.

Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Rao, A. V., Hegele, R. A., Mitchell, S. J., Ranson, T. P., Boctor, D. L., Spadafora, P. J., Jenkins, A. L., & Mehling, C. (1993) **Effect of blood lipids of very high intakes of fiber in diets low in saturated fat and cholesterol.** *New England Journal of Medicine*, 329 21–26.

Kabir, M., Rizkalla, S.W., Champ, M., Luo, J., Boillot, J., Bruzzo, F., Slama, G., (1998). **Dietary amylose-amylopectin starch content affects glucose and lipid metabolism in adipocytes of normal and diabetic rats.** *Journal of Nutrition* 128, 35–43.

Kim, Y. I. (2000). **AGA technical review: Impact of dietary fiber on colon cancer occurrence.** *Gastroenterology*, 118, 1235–1257.

Kim J.H., Tanhehco E.J., W. Ng P.K. (2006). **Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour.** *Food Chemistry* 99 718–723

López G, Ros M, Periago C & Rincón F (1994) **Métodos de determinación de la fibra dietética. Aspectos críticos.** *Revista Española de Ciencia Tecnología. Alimentaria* 33 (4) 241-254.

Mangala, S.L., Udayasankar, K & Tharanathan R.N. (1999) **Resistant starch from processed cereals: the influence of amylopectin and non-carbohydrate constituents in its formation.** *Food Chemistry*, 64, 391 – 396.

Marlett, J. A., McBurney, M. I., & Slavin, J. L. (2002). **Position of the American Dietetic Association: Health implications of dietary fiber.** *Journal of the American Dietetic Association*, 102, 993–1000.

Mitchell, Rynbrergen, Anderson, Dibble.(1997) *Nutrición y dieta de Cooper*. 17° Edición. Editorial Interamericana.

Niba, L. L. (2002). **Resistant starch: a potential functional food ingredient.** *Nutrition and Food Science*, 32, 62–67.

Phillips, J., Muir, J.G., Birkett, A., Lu, Z.X., Jones, G.P., O’dea, K., Young, G.P., (1995). **Effect of resistant starch on fecal bulk and fermentation-dependent events in humans.** *American Journal of Clinical Nutrition* 62, 121–130.

Picolli da Silva, L. & Santorio Ciocca, M. L (2005). **Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured byenzymatic–gravimetric method in cereal grains.** *Journal of Food Composition and Analysis* 18 113–120

Pilch, S. (1987), **Physiological effects and health consequences of dietary fiber.** *Life Sciences Research Office, Federation of American Societies for Experimental Biology*, Bethesda, MD.

Roberfroid M, Gibson GR y Delzenne N. (1993), **The biochemistry of oligofructose, a non-digestible fiber: an approach to calculate its colonic value.** *Nutrition Review* 51:137-146.

Roberfroid M, (1993), **Dietary Fiber, inulin and Oligofructose: a review comparing their physiological effectrs.** *Critical Review in Food Science and Nutrition*, 33: 103-148.

Rydings, Mari. Fundamentos de la harina de trigo. *BSIMagazine.com [Online]*. 01 August 2002. [Octubre 2006]. Disponible en: <http://www.bsimagazine.com/Feature_Stories>.

Saura-Calixto F, Goñi I, Bravo L & Manas E (1993) **Resistant starch in foods: Modified method for dietary fiber residues.** *Journal of Food Science.*, 58(3), 642-643.

Sievert D, Czuchajowska Z, & Pomeranz Y (1991). **Enzyme-resistant starch III. X-ray diffraction of autoclaved amylo maize VII starch and enzyme-resistant starch residues.** *Cereal Chemistry*, 68, 86-91.

Siljeström M, Björck I, Eliasson A, Lönner C, Nyman M & Asp N (1988). **Effects on polysaccharides during baking and storage of bread-in vitro and in vivo studies.** *Cereal Chemistry*, 65, 1-8.

Sistema Integral de Información Agraria y Pesquera, SAGARPA (2001). Disponible en http://www.siap.sagarpa.gob.mx/ar_comagri.html. Fecha de consulta: Agosto, 2006.

Slavin Joanne (2003). **Impact of the proposed definition of dietary fiber on nutrient databases.** *Journal of Food Composition and Analysis* 16 287–291.

Soulaka A B & Morrison W R (1985). **The amylase and lipid contents, dimensions, and gelatinization characteristics of some wheat starches and their A- and B-granule fraction.** *Journal of Science of Food and Agriculture*, 36, 709-718.

Svihus B., Edvardsen D.H., Bedford M. R., & Gullord M. (2000), **Effect of methods of analysis and heat treatment on viscosity of wheat, barley and oats.** *Animal Feeds Science and Technology*, 88, 1-12.

Tharanathan, R.N., (2002). **Food-derived carbohydrates—structural complexity and functional diversity.** *Critical Reviews in Biotechnology* 22, 65–84.

Tester R F & Karkalas J (1996). **Swelling and gelatinization of oat starches.** *Cereal Chemistry*, 73, 271-277.

Tosi E A, Ciappini M C & Ré E D (2001). **Modificación de la concentración de almidón resistente en fideos frescos y secos cocidos** *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 319, 45-48

Tosi E A, Ciappini M C, Rosario E (1999). **Determinación de almidón resistente en alimentos: Comparación de dos técnicas analíticas.** *Alimentaria: Revista de tecnología e higiene de los alimentos*, 300, 79-81

Trowell, H. (1974), *Lancet* 1, 504.

Trowell, H. Southgate, D. A.T., Wolever, T.M.S, Leeds, A. R., Gussel, M.A. and Jenkins, D.J.A. (1976) Dietary fiber redefined. *Lancet*, 1, 967.

Van Soest, PJ and McQueen, R.W. (1973), *Proc. Nutrition. Society*, 32, 123-130.

Weaver, G.A., Krause, J.A., Miller, T.L., Wolin, M.J., (1992). **Cornstarch fermentation by the colonic microbial community yields more butyrate than does cabbage fiber fermentation; cornstarch fermentation rates correlate negatively with methanogenesis.** *American Journal of Clinical Nutrition* 55, 70–77.

Yeh A & Li J (1996). **A continuous measurement of swelling of rice starch during heating.** *Journal of Cereal Science*, 23, 277-283.

Yue, P., Waring, S., (1998). **Resistant starch in food applications.** *Cereal Foods World* 43, 690–695.