



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE QUÍMICA

**PROPIEDADES, APLICACIONES TECNOLÓGICAS Y EFECTOS
FISIOLÓGICOS DEL ALMIDÓN RESISTENTE**

**TRABAJO MONOGRÁFICO DE ACTUALIZACIÓN
QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
QUÍMICA DE ALIMENTOS**

PRESENTA

MARÍA FERNANDA GONZÁLEZ BARRERA



MÉXICO, D.F.

2015



Universidad Nacional
Autónoma de México



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: Lucía Cornejo Barrera
VOCAL: Argelia Sánchez Chinchillas
SECRETARIO: Verónica Hernández Briones
1er. SUPLENTE: Tania Gómez Sierra
2° SUPLENTE: Bertha Loaeza Mondragón

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

BIBLIOTECA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA, UNAM.

ASESOR DEL TEMA:

M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas

SUSTENTANTE:

María Fernanda González Barrera

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Autónoma de México y a la Facultad de Química por permitirme ser parte de una gran institución y ayudarme con mi formación profesional.

A la M. en C. Argelia Sánchez Chinchillas por su incondicional apoyo en la realización de este trabajo y por compartir sus conocimientos.

A la M. en C. Lucía Cornejo Barrera y a la M. en C. Verónica Hernández Briones por sus valiosos comentarios en la elaboración de este trabajo.

DEDICATORIAS

A mi papá, porque ahora veo que dentro de tu particular forma de ser estás al pendiente de mí, gracias por tu confianza y apoyo.

A mi mamá, porque siempre has sabido ayudarme sin necesidad de pedirte ayuda y por ser mi ejemplo de vida.

A mi hermana Mar, por siempre consentirme y defenderme de todos, gracias por estar junto a mí.

A mi hermano Faus, porque siempre me has alentado a ir por más y porque la vida de cada uno será una parte esencial de la vida del otro.

A Hiram, porque llegaste a cambiar nuestras vidas de una manera inexplicable.

A Fany por ser mi amiga y cómplice en todo momento.

A mis amigos de la Facultad, Denisse, Rafa, Andrea, Eve, Moni, Jaqui, Bere, Dina, porque todos los buenos momentos que pase en la escuela fueron a su lado.

ÍNDICE	PÁGINA
ÍNDICE DE FIGURAS	i
ÍNDICE DE TABLAS	ii
1. Introducción	1
2. Objetivos	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos particulares	2
3. Desarrollo del tema	3
3.1 Fibra Dietética	3
3.1.1 Definición y composición	3
3.1.2 Métodos para la determinación de fibra dietética en alimentos	4
3.2 Almidón	5
3.2.1 Importancia del almidón	6
3.2.2 Composición química	6
3.2.2.1 Amilosa	7
3.2.2.2 Amilopectina	8
3.2.3 Gelatinización del almidón	9
3.2.4 Retrogradación del almidón	12
3.2.5 Digestión del almidón	13
3.3 Almidón Resistente	14
3.3.1 Clasificación del almidón resistente	16
3.3.2 Métodos para determinar almidón resistente	19
3.3.3 Efectos del procesamiento sobre el contenido de almidón resistente	21
3.3.4 Propiedades fisicoquímicas	22
3.3.5 Aplicaciones del almidón resistente en la industria alimentaria	23
3.3.6 Efecto del almidón resistente en la salud del individuo	33
4. Conclusiones	42
5. Bibliografía	44

ÍNDICE DE FIGURAS	PÁGINA
FIGURA 1. Diagrama de Venn de los métodos de análisis para las fracciones de fibra	5
FIGURA 2A. Estructura química de la cadena de amilosa	7
FIGURA 2B. Estructura química de la cadena de amilopectina	7
FIGURA 3A. Cadenas de amilopectina en diagramas de racimo	9
FIGURA 3B. Representación de regiones amorfas y cristalinas de amilopectina	9
FIGURA 4. Comportamiento de la molécula de amilosa durante el enfriamiento de una solución acuosa concentrada	10
FIGURA 5. Cambios en la estructura de amilosa y amilopectina durante el proceso de gelatinización	10
FIGURA 6. Cambios que sufre el almidón al someterse a los procesos de gelatinización y retrogradación	11
FIGURA 7. Estructura del almidón resistente tipo I	17
FIGURA 8. Estructura del almidón resistente tipo II	17
FIGURA 9. Almidón resistente tipo III formado por amilosa en solución	18
FIGURA 10. Lanzamiento de productos que contienen AR	25
FIGURA 11. Principales categorías de productos que contienen AR	25
FIGURA 12. Mecanismo de acción de los prebióticos en el colon	36

ÍNDICE DE TABLAS	PÁGINA
TABLA 1. Relación amilosa/amilopectina de almidones comunes	8
TABLA 2. Factores que dificultan la digestión del almidón	16
TABLA 3. Métodos para la determinación de almidón resistente	20
TABLA 4. Listado de almidones resistentes en el mercado internacional	24
TABLA 5. Ejemplos de alimentos con su contenido de almidón resistente	26
TABLA 6. Efectos fisiológicos del almidón resistente	35

1. INTRODUCCIÓN

El almidón ha sido parte fundamental de la dieta del hombre desde la prehistoria, además de que se le ha dado un gran número de usos industriales. Es uno de los polisacáridos más abundantes e importantes desde el punto de vista comercial. Se encuentra en los cereales, tubérculos y en algunas frutas como hidrato de carbono de reserva energética. Ha ganado importancia en el desarrollo de nuevos productos por el bajo costo y la alta disponibilidad. Es un excelente material para modificar la textura y consistencia de los alimentos.

Químicamente, el almidón está compuesto por dos estructuras: amilosa y amilopectina; la primera es una molécula lineal compuesta por unidades de glucosa unidas mediante enlaces α -1,4. Por su parte, la amilopectina es una molécula que tiene ramificaciones y está constituida por muchos anillos de glucosa unidos entre sí por enlaces α -1,6.

En animales monogástricos, el almidón es degradado durante la digestión a monosacáridos, los cuales son absorbidos. Sin embargo, se ha demostrado que el almidón no es completamente digerido y a dicha fracción se le conoce como almidón resistente (AR).

El almidón resistente se clasifica en cuatro tipos: I) almidón físicamente inaccesible a las enzimas y estable al calor, II) aquel que tiene acceso limitado por enzimas por su forma no gelatinizada, III) almidón retrogradado y IV) almidón modificado químicamente.

Una de las aportaciones más importantes del AR son sus múltiples beneficios a la salud como la prevención de enfermedades cardiovasculares, la mejora del perfil de lípidos sanguíneos, su efecto protector en el control de la glucemia y respuestas a la insulina, su funcionalidad como prebiótico y su efecto sobre la obesidad, donde su consumo aumenta la saciedad y reduce el consumo de energía. El uso de AR en productos alimentarios mejora características sensoriales dando una mayor aceptación por parte de los consumidores.

El presente trabajo de actualización reúne la definición de AR, las diversas metodologías que existen en la literatura para su determinación en productos alimentarios, así como sus aplicaciones en la industria de alimentos y los beneficios a la salud del individuo.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

Brindar un panorama general del almidón resistente presente en alimentos, así como algunos de los efectos benéficos a la salud derivados por su consumo y las modificaciones a las características sensoriales que imparte en distintos productos alimentarios.

2.2 Objetivos particulares

- Señalar la importancia de la determinación de almidón resistente en alimentos e identificar las diferencias que existen en los métodos que se utilizan para ello.
- Analizar el efecto de la presencia de almidón resistente en productos alimentarios sobre sus características sensoriales a través de algunos ejemplos de aplicación.
- Describir algunos de los efectos fisiológicos del consumo de almidón resistente en el individuo.

3. DESARROLLO DEL TEMA

3.1 Fibra dietética

3.1.1 Definición y composición

La American Association of Cereal Chemist (2001) define a la fibra dietética como “la parte comestible de las plantas o hidratos de carbono análogos que son resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado humano con la fermentación completa o parcial en el intestino grueso. La fibra dietética incluye polisacáridos, oligosacáridos, lignina y sustancias vegetales asociadas. La fibra dietética promueve efectos fisiológicos incluyendo efecto laxante, o atenuación de colesterol y glucosa en sangre”.

El concepto de fibra dietética ha cambiado considerablemente en los últimos años. En la actualidad, se reconoce que la fibra dietética abarca un rango mucho más amplio de sustancias de las que se reconocían anteriormente y que tienen un mayor significado fisiológico del que tenían.

De acuerdo a las definiciones más recientes, la fibra dietética está formada por polímeros de hidratos de carbono y polisacáridos no amiláceos que son los principales componentes de las paredes de las células vegetales. Éstos incluyen a la celulosa, las hemicelulosas, los hemiglucanos y las pectinas, así como otros polisacáridos provenientes de vegetales y algas, como las gomas y los mucílagos. Otros componentes incluidos son los polisacáridos de reserva no digeribles, como la inulina y el almidón resistente (Gray, 2006).

Escudero y González (2007) añaden a la definición previa de fibra dietética, el concepto nuevo de fibra funcional o añadida que incluye otros hidratos de carbono que pueden ser absorbidos como el almidón resistente, la inulina y diversos oligosacáridos y disacáridos como la lactulosa. Entonces se hablaría de fibra total como la suma de fibra dietética más fibra funcional.

En años recientes, el almidón resistente se ha clasificado como fibra funcional, porque no es digerido en el intestino delgado, y además tiene muchos de los beneficios para la salud fisiológicos asociados con la FD.

3.1.2 Métodos para la determinación de fibra dietética en alimentos

La parte fundamental, tanto para las definiciones legales como para el análisis de la fibra dietética, está, en muchos casos, en los métodos enzimáticos gravimétricos aprobados por la Asociación Oficial de Químicos Analíticos (AOAC, Association of the Official Analytical Chemists). Sin embargo, la fibra dietética como se define actualmente, no puede medirse mediante un método único de análisis debido a la diversidad de sus constituyentes. Por ejemplo, el método estándar, o cualquier otro método de análisis de la fibra dietética o los polisacáridos no amiláceos, no mide los oligosacáridos que son solubles en alcohol.

En Reino Unido, la industria de alimentos tiende a usar la información de la AOAC mientras que las tablas de composición y recomendaciones de ingesta alimentaria tienden a basarse en los datos producidos con el método de Englyst (Gray, 2006).

Los principales métodos oficiales para medir la fibra total son el AOAC 985.29 y 991.43, que son métodos gravimétricos-enzimáticos que se basan en el concepto de resistencia a la digestión. Utilizan la digestión enzimática para eliminar los componentes distintos de la fibra y la medición gravimétrica de los residuos. Los componentes medidos son los polisacáridos solubles, los insolubles (incluyendo el almidón resistente) y la lignina (Westenbrink *et al.*, 2013).

Debido a que estos métodos solo incluyen algunas fracciones de la fibra dietética, se desarrollaron métodos para medir los componentes de la fibra por separado, estos métodos hacen complicada la selección de una correcta medición de una muestra debido a la matriz en la que se encuentra el analito deseado, en este caso, fibra soluble, insoluble, fibra dietética total, almidón resistente, entre otros.

En la Figura 1 se muestra un esquema general de métodos analíticos usados para la determinación de fibra dietética total y sus fracciones, incluyendo el traslape entre diversos métodos.

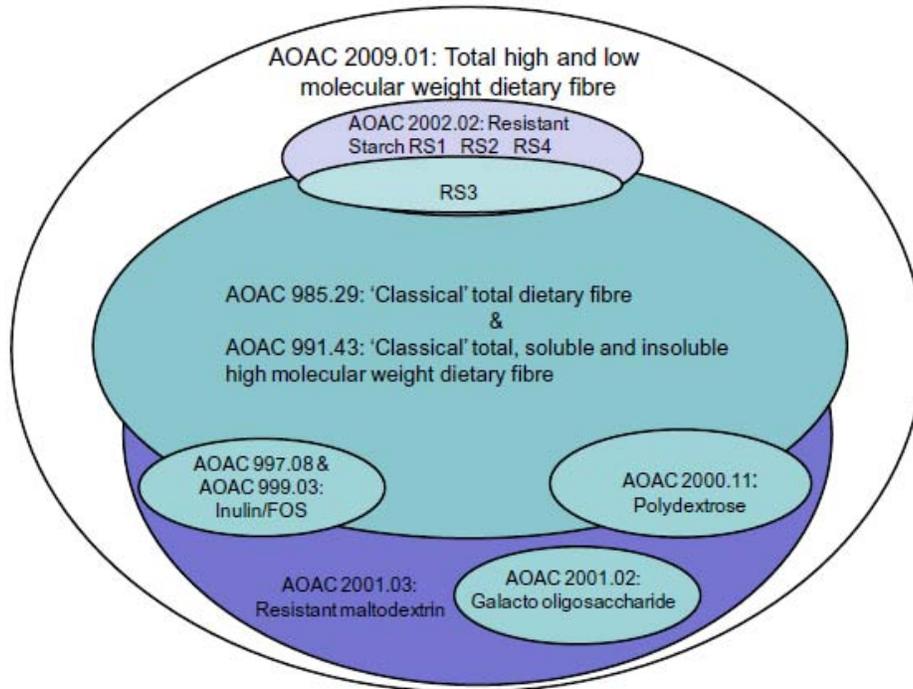


Figura 1. Diagrama de Venn de los métodos de análisis para las fracciones de fibra (Westenbrink *et al.*, 2013).

El contar con el valor de cada fracción de la fibra no determina el contenido total de la muestra debido a que los resultados no son aditivos por el traslape entre ellos.

3.2 Almidón

El almidón es el biopolímero más abundante en las plantas y por lo tanto es fuente de gran parte de los hidratos de carbono de la dieta. Químicamente, el almidón es un polisacárido compuesto por unidades de α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α -D-1,4 o α -D-1,6 (Fuentes, 2010).

3.2.1 Importancia del almidón

Como hidrato de carbono de reserva, el almidón es la forma principal de almacenamiento de glucosa en la mayoría de las plantas, en especial abundancia en tubérculos y cotiledones de las semillas. Sirve de almacén de energía en las plantas, liberando energía durante el proceso de oxidación en dióxido de carbono y agua. Los gránulos de almidón de las plantas presentan un tamaño, forma y características específicas del tipo de planta en que se ha formado el almidón (Sarmiento, 2012).

Las propiedades fisicoquímicas del almidón pueden ser modificadas mediante el uso de una variedad de técnicas apropiadas a los productos alimentarios particulares y a las condiciones del proceso. Éstas incluyen pre-gelatinización, oxidación y modificación química de los grupos hidroxilo mediante la formación de éteres o ésteres. La modificación química ha sido empleada como estrategia para cambiar ciertas propiedades del almidón sin cambiar la composición y características, es decir, para darles una mayor funcionalidad y aplicación ya que el almidón nativo no logra resistir las diferentes condiciones de procesamiento a las que es sometido.

En virtud de su amplia variedad de propiedades, los almidones y sus derivados (almidones modificados) se pueden encontrar en distintos productos alimentarios. Por ejemplo, actúan como vehículos inertes en preparaciones como polvos para hornear y, como espesantes en alimentos procesados como salsas, sopas, caldillos, cremas, pudines y repostería (Kirk *et al.*, 2011).

3.2.2 Composición química del almidón

El almidón contiene amilosa y amilopectina; la amilosa (Figura 2A) consiste de cadenas lineales de glucosa no ramificadas unidas por enlaces glucosídicos α -1,4 y la amilopectina (Figura 2B) es un polímero de glucosa muy ramificado por medio de enlaces glucosídicos α -1,3 o α -1,6 (Kirk *et al.*, 2011).

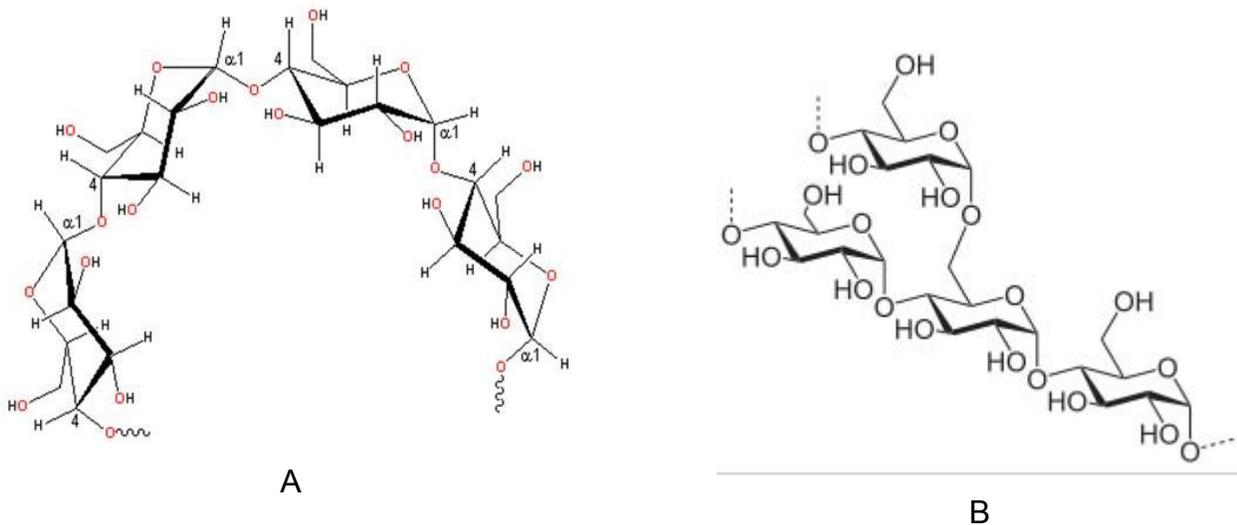


Figura 2. A) Estructura química de la cadena de amilosa. B) Estructura química de la cadena de amilopectina (Parker y Ring, 2011)

En la naturaleza, el almidón se diferencia de los demás hidratos de carbono en que se presenta como complejas partículas discretas (gránulos). Los gránulos de almidón son relativamente densos e insolubles, y son de baja hidratación en agua fría. Pueden ser dispersados en agua, dando lugar a la formación de suspensiones de baja viscosidad que pueden ser fácilmente mezcladas y bombeadas (BeMiller y Whustler, 2010).

3.2.2.1 Amilosa

Básicamente la amilosa es una cadena lineal de unidades de α -D-glucopiranosilo unidas por enlaces (1,4), aunque existen también moléculas que poseen unas pocas ramificaciones en posición (1,6), alrededor de cada 180 a 320 unidades. Las ramificaciones de la amilosa pueden ser muy largas o muy cortas, pero los puntos de ramificación están separados por largas distancias, de manera que las propiedades físicas de las moléculas de amilosa son esencialmente las de las moléculas lineales. Las moléculas de amilosa tienen pesos moleculares de alrededor de 106 D (BeMiller y Whustler, 2010). La mayoría de los almidones contienen alrededor del 25% de amilosa (Tabla 1), destacando su contenido en almidón proveniente de cereales.

Tabla 1. Relación amilosa/amilopectina de almidones comunes expresada en porcentaje.

Fuente de almidón	Proporción	
	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Maíz	28.3	71.7
Papa	21	79
Trigo	28	72
Arroz	13	87
Tapioca	17	83
Camote	19.6	80.4

Adaptado de BeMiller y Whustler, 2010 y Hernández *et al.*, 2006.

3.2.2.2 Amilopectina

La amilopectina es una molécula de alto peso molecular y altamente ramificada, con enlaces de ramificación que constituyen alrededor del 4 al 5% del total de los enlaces. Consiste en una cadena que contiene el único extremo reductor, denominada cadena C, la cual tiene numerosas ramas, llamadas cadenas B, a las que se unen por su parte varias cadenas A. Las ramas de las moléculas de amilopectina toman la forma de un racimo (Figura 3A) y se presentan como dobles hélices. La amilopectina contribuye con la estructura cristalina de los gránulos de almidón, las áreas donde comienza la ramificación y aquellas que solo tienen cadenas lineales están claramente separadas, produciendo capas amorfas (segmentos menos densos) y cristalinas (más densos) respectivamente (Figura 3B) (BeMiller y Whustler, 2010; Perera *et al.*, 2010).

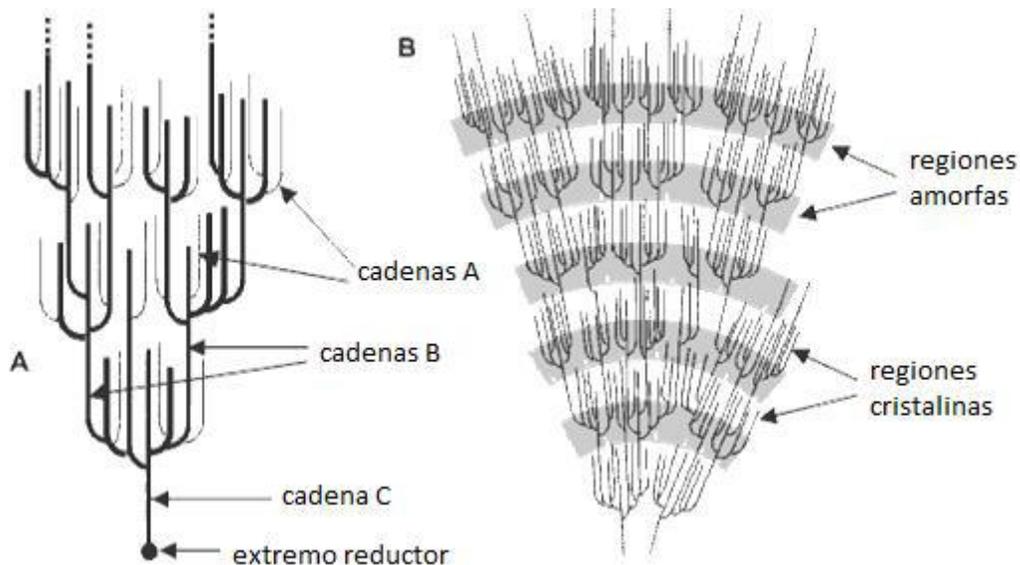


Figura 3. Amilopectina: A) Cadenas en diagrama de racimo B) Representación de regiones amorfas y cristalinas

La amilopectina está presente en todos los almidones, constituyendo alrededor del 75% de los almidones más comunes, en la Tabla 1 se enlistan las proporciones de amilosa y amilopectina de los almidones más comunes, cuya relación es importante para definir su uso en productos alimenticios.

3.2.3 Gelatinización del almidón

La gelatinización es un término general usado para describir los cambios que ocurren en el almidón mientras es calentado en presencia de agua, este proceso es un paso obligado antes del consumo de la mayoría de alimentos a base de almidón.

El almidón es insoluble en frío, cuando se calienta en presencia de agua se produce imbibición, o incorporación de agua en el gránulo, y dependiendo de la temperatura a la cual se caliente será el producto resultante: micela o gel (Figura 4), también depende de la relación amilosa/amilopectina ya que entre más amilosa contengan menos propiedades gelificantes tiene. Esto se produce primero en las áreas menos densas y, posteriormente, en las regiones más cristalinas de la molécula del almidón. A medida que el calentamiento continúa, los gránulos

captan más agua irreversiblemente y se hinchan; algunas cadenas cortas de amilosa salen de los gránulos. Este proceso es responsable del espesamiento de los sistemas alimentarios (Figura 5). Las soluciones de almidón gelatinizado son opacas y frágiles, y la estructura cristalina ordenada del almidón se pierde (Núñez, 2009; BeMiller y Whustler, 2010).

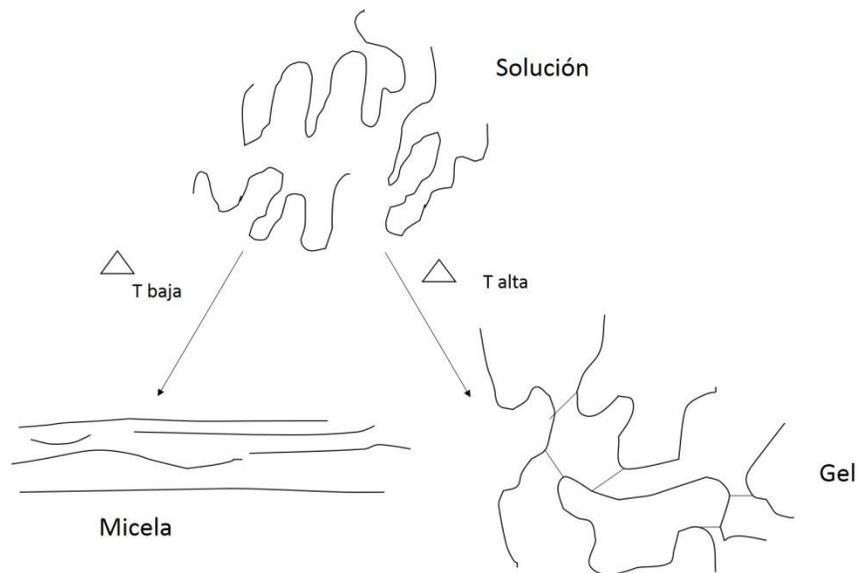


Figura 4. Comportamiento de la molécula de amilosa durante el enfriamiento de una solución acuosa concentrada (Ugarte *et al*, 2010).

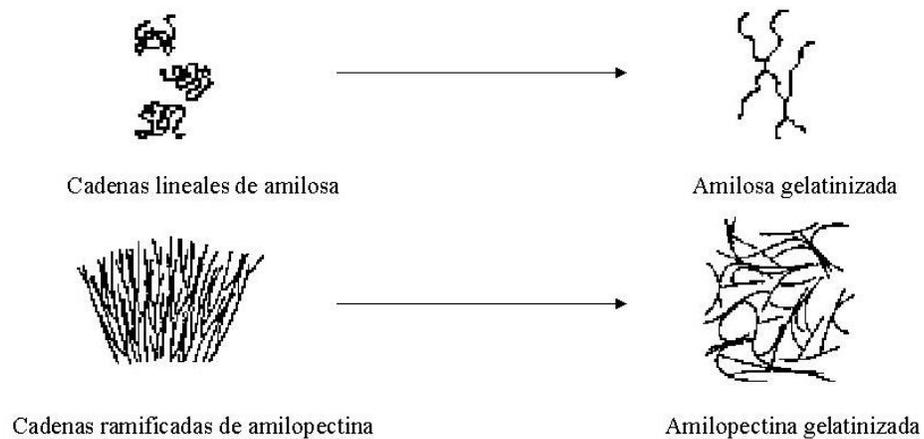


Figura 5. Cambios en la estructura de amilosa y amilopectina durante el proceso de gelatinización (Ugarte *et al.*, 2010).

La gelatinización es el término usado para describir eventos moleculares asociados con el calentamiento de almidón en agua, el cual cambia de una forma semi-cristalina (la cual no es digerible), a una forma amorfa (eventualmente digerible). En condiciones de exceso de agua, los puentes de hidrógeno de la región amorfa del gránulo se rompen permitiendo que el agua se asocie con los grupos hidroxilos libres. Esto está definido por la movilidad de las cadenas de los polímeros por encima del valor de la temperatura de transición vítrea, ocurriendo el cambio de estado vítreo a gomoso (Figura 6). Este cambio a su vez, facilita la movilidad molecular en las regiones amorfas, siendo un proceso reversible y permitiendo el hinchamiento del grano. El gránulo se expande al mismo tiempo que los polímeros se hidratan. Posteriormente se produce una transición molecular irreversible, la disociación de las dobles hélices propias de la región cristalina (Sandoval *et al.*, 2005; Tester y Debon, 2000).

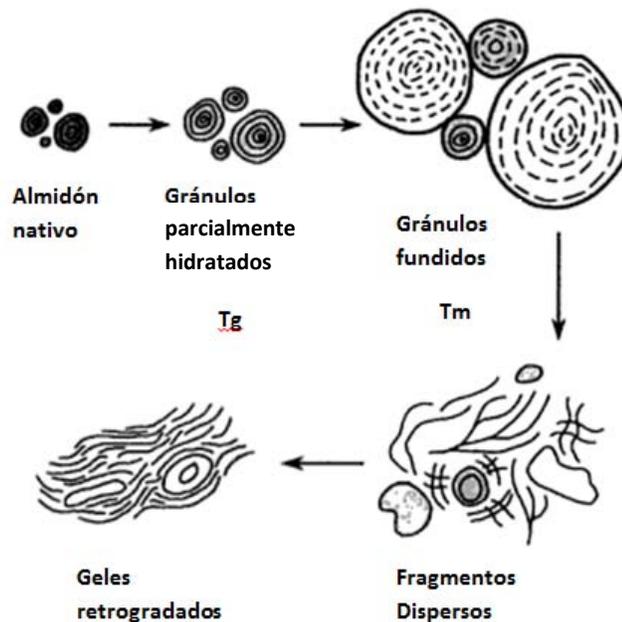


Figura 6. Cambios que sufre el almidón al someterse a los procesos de gelatinización y retrogradación (Rooney y Huang, 2001).

3.2.4 Retrogradación del almidón

El fenómeno de retrogradación se define como la insolubilización y la precipitación espontánea, principalmente de las moléculas de amilosa, debido a que sus cadenas lineales se orientan de forma paralela e interaccionan entre sí por puentes de hidrógeno a través de los múltiples hidroxilos que contienen (Zhou *et al.*, 2013; BeMiller y Whustler, 2010). Dando lugar a una transición irreversible del estado solubilizado a un estado de insolubilización y estructura microcristalina.

La retrogradación del almidón ocurre en dos procesos: rápida gelación de la amilosa por la formación de segmentos de dobles hélices y lenta recristalización de cadenas cortas de amilopectina.

La velocidad y grado de retrogradación dependen de la relación de amilosa y amilopectina, fuente del almidón, concentración agua-almidón, agitación, temperatura, condiciones de proceso y enfriamiento, pH y la presencia de solutos como lípidos, sales y azúcares (Belitz *et al.*, 2009; BeMiller y Whustler, 2010).

La retrogradación se puede ver como el fenómeno opuesto a la gelatinización. Los polímeros solubles del almidón y los fragmentos insolubles se reasocian después del calentamiento. Eventualmente se forman cristales, acompañados por un incremento gradual en la rigidez y la separación de fases entre el polímero y el solvente (sinéresis). La aparición de cristales influye en la textura, digestibilidad y aceptación de los productos con base en almidón por parte del consumidor. Este fenómeno ocurre en geles de almidón o en productos horneados, fritos, o extruidos, donde las moléculas de almidón interaccionan después del envejecimiento (Tester y Debon, 2000).

Este proceso ocurre después de la gelatinización (que se realiza a altas temperaturas) cuando el sistema es enfriado y almacenado.

El gránulo de almidón se considera un polímero vítreo, el cual existe en dicho estado hasta que por calentamiento alcanza la temperatura de transición vítrea (T_g) donde las moléculas pierden su organización y el polímero se vuelve gomoso (Figura 6). Con calentamiento adicional eventualmente alcanza la temperatura de fusión (T_m), en la cual el gránulo pierde su organización completamente (Rooney y Huang, 2001).

3.2.5 Digestión del almidón

La enzima principal relacionada con la digestión del almidón es la α -amilasa, que es una endohidrolasa que rompe los enlaces α -1,4 interiores resultando cadenas de glucanos y dextrinas.

La digestión del almidón comienza en la boca. La saliva, principalmente aquella producida por la parótida, contiene la enzima llamada *ptialina*, capaz de actuar sobre los almidones rompiendo los enlaces α -1,4 de tal forma que da como producto monosacáridos y disacáridos (principalmente maltosa). La acción de la amilasa salival es de corta duración ya que el bolo alimenticio permanece en la boca durante el tiempo de masticación y luego es deglutido. En el estómago, el HCl del jugo gástrico le confiere un carácter ácido, con un pH cercano a 2. El pH óptimo de la ptilina es 7, por lo cual una vez llegado el bolo alimenticio al estómago se suspende la acción de la enzima.

La digestión del almidón continúa en el intestino delgado por la acción de la α -amilasa pancreática, formándose como producto una mezcla del disacárido maltosa, el trisacárido maltotriosa y oligosacáridos conocidos como dextrinas. Adicionalmente también actúan algunas disacáridasas como maltasa, sacarasa e isomaltasa, para digerir los disacáridos y obtener los monosacáridos. (Sarmiento, 2012; Peña, 2004).

Existen múltiples factores que influyen en la digestibilidad del almidón, entre ellos: la estructura química y conformación espacial de la molécula para la interacción

de las enzimas digestivas específicas a las uniones moleculares. Otros factores a mencionar son: grado de masticación, estado de salud, cantidad de enzimas secretadas y otros componentes de la dieta o del alimento que acompañan (Ugarte *et al.*, 2010).

3.3 Almidón Resistente

Durante la digestión enzimática de los almidones existen fracciones que son resistentes a las condiciones de hidrólisis química y enzimática por lo que fue necesario acuñar el término de almidón resistente.

El almidón resistente (AR) se define como la suma del almidón y productos de la degradación del almidón no absorbido por el intestino delgado de individuos sanos (Olmedilla *et al.*, 2010).

Actualmente el concepto de almidón resistente está basado en la incapacidad de las enzimas digestivas a hidrolizar algunas formas físicas y químicas del almidón en los alimentos *in vivo* o *in vitro*. Su importancia a nivel nutricional y la razón por la cual ha llamado la atención en las últimas décadas, radica en su efecto positivo para la salud donde ha demostrado tener beneficios fisiológicos parecidos a los de la fibra dietética (FD) incluyendo efecto laxante, efecto prebiótico en la microbiota del colon, mejora del metabolismo del colesterol, reducción del riesgo de colitis ulcerativa y prevención y control del cáncer de colon (Shi *et al.*, 2013).

De acuerdo a Fuentes *et al.*, (2010) existen diversos estudios que han demostrado que el almidón resistente es una molécula lineal de α -1,4-glucano, derivada esencialmente de la fracción de amilosa retrogradada y tiene un bajo peso molecular (1.2×10^5 Da).

Respecto a la formación del almidón resistente se requiere una longitud de cadena mínima de 30 a 40 unidades de glucosa. El porcentaje de amilosa está directamente correlacionado con el AR, cuanto mayor sea el porcentaje, mayor

contenido de AR. Mientras que la longitud de las cadenas de amilosa promueve la formación de AR, la presencia de lípidos impide su producción, debido a la creación del complejo almidón-lípidos (Sarmiento, 2012).

La formación del almidón resistente se ve afectada por diversos factores como son: el procesamiento, concentración de almidón, condiciones de almacenamiento, cantidad de lípidos presentes, origen, relación amilosa-amilopectina, porcentaje de humedad, pH, temperatura y tiempo de almacenamiento (Vásquez, 2013).

De acuerdo a Fuentes *et al.*, (2010) el almidón resistente no puede ser digerido por varias razones:

- Los gránulos de almidón están estructurados de tal manera que impiden que las enzimas digestivas lo hidrolicen.
- Los gránulos de almidón son rotos por un calentamiento excesivo en agua (gelatinización), que hace a las moléculas completamente accesibles a las enzimas digestivas. Sin embargo, sí estos geles de almidón son enfriados forman cristales de almidón que son resistentes a las enzimas digestivas.
- El tratamiento químico hace que los almidones modificados no puedan ser rotos por las enzimas digestivas.

Se ha estudiado que un 20% del almidón de la dieta se escapa a la digestión en el intestino delgado, ya sea por factores extrínsecos o intrínsecos al propio almidón (Tabla 2),

Tabla 2. Factores que dificultan la digestión del almidón.

FACTORES INTRÍNSECOS	FACTORES EXTRÍNSECOS
<ul style="list-style-type: none"> • La inaccesibilidad física. • La cristalización parcial del almidón, que forma gránulos compactos. • La retrogradación del almidón. 	<ul style="list-style-type: none"> • El grado de masticación. • El tiempo de tránsito intestinal. • La concentración de enzimas digestivas. • La cantidad de almidón y la presencia de otros componentes en la dieta que pueden influir en la digestión.

FUENTE: Soriano, 2011

El contenido del almidón resistente en un alimento depende del grado de procesamiento, el cual puede resultar en un incremento o decremento en su contenido con respecto a la forma cruda. Debido a esto el AR debe ser medido en los alimentos como éstos son normalmente consumidos (Vásquez, 2013). Existen varios factores que tienen efecto en la velocidad y nivel de digestión del almidón, el tipo de procesamiento del alimento, el tiempo de almacenamiento y su origen botánico.

3.3.1 Clasificación de almidón resistente

El almidón resistente consta de fracciones que contribuyen al total del almidón indigerible en los alimentos. Actualmente se conocen cuatro tipos de AR:

1. **AR I:** Es estable al calor y es físicamente inaccesible a las enzimas digestivas (Zheng *et al.*, 2010). En la Figura 7 se muestra que este tipo de

almidón está encapsulado en una matriz por lo que está protegido físicamente. Los gránulos presentes en el almidón de leguminosas y granos, en donde no hay una molienda exhaustiva o cuyo procesamiento no implica una ruptura de la estructura son ejemplos de este tipo de almidón (Ashraf *et al.*, 2012; Ugarte *et al.*, 2010).

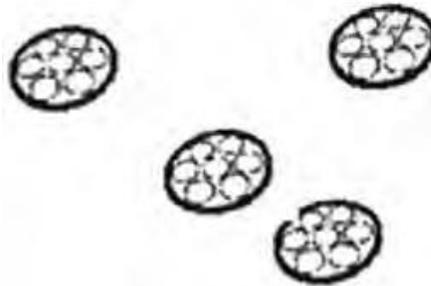


Figura 7. Estructura del AR tipo I (Ugarte *et al.*, 2010).

2. **AR II:** Es aquel tipo de almidón que se produce en su forma natural granulada (sin gelatinizar), como papa sin cocer, harina de plátano verde y maíz con alto contenido de amilosa (Ashraf *et al.*, 2012). Estos almidones son los llamados almidones nativos.



Figura 8. Estructura del AR tipo II (Ugarte *et al.*, 2010).

Debido a su alto grado de cristalinidad, es menos susceptible a la hidrólisis (Moongngarm, 2013).

3. **AR III:** Corresponde al almidón que por el proceso tecnológico se ha gelatinizado y posteriormente se ha enfriado, estando por lo tanto retrogradado. Principalmente, la amilosa cambia de un estado amorfo a otro cristalino (Figura 9).

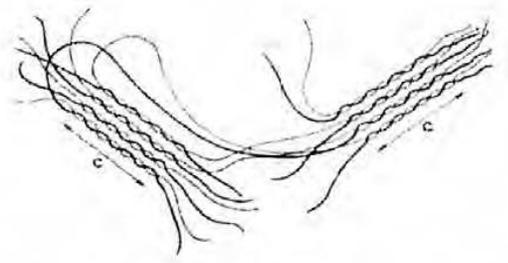


Figura 9. AR tipo III formado por amilosa en solución (Ugarte *et al.*, 2010).

El pan obtenido de la mezcla de harina de trigo, harina de maíz y papas cocidas que han sido enfriadas, pueden contener bajas cantidades de este almidón, pero que son nutricionalmente significativas. Las leguminosas presentan mayor contenido en AR que los cereales y los tubérculos ya que retrogradan más fácilmente después de la cocción, incrementado de 3 a 5 veces su contenido en AR (Ugarte *et al.*, 2010).

4. **AR IV:** Es el tipo de almidón que ha sido modificado químicamente para aumentar la resistencia a la digestión. Las modificaciones químicas pueden ser por medio de enlaces éter, éster y entrecruzados, lo que los vuelve difíciles de digerir (Ugarte *et al.*, 2010). Este tipo de almidones resistentes pueden tener un amplio rango de estructuras y no son encontrados en la naturaleza (Ashraf *et al.*, 2012).

3.3.2 Métodos para la determinación del contenido de almidón resistente en alimentos

La determinación de almidón resistente en ingredientes alimentarios y productos alimenticios es indispensable para proveer información nutricional tanto a investigadores como a los consumidores para saber qué es lo que se está consumiendo y en qué cantidades.

Existen varias diferencias entre los procedimientos con respecto a la preparación de las muestras, las enzimas utilizadas y las condiciones experimentales que se necesitan para simular la digestión gastrointestinal del almidón. La hidrólisis enzimática es una característica de todos los métodos, combinado con hidrólisis química o aislamiento gravimétrico. Las diferencias en la preparación de las muestras son significativas y van desde los métodos mecánicos de molienda y homogeneización hasta la masticación (Perera *et al.*, 2010).

En la Tabla 3 se describen algunas técnicas utilizadas para la determinación del contenido de AR en alimentos. En general, hay una etapa de digestión enzimática, separación con mezclas de disolventes y determinación del contenido de glucosa.

Tabla 3. Técnicas para la determinación de AR en alimentos

MÉTODO	ENZIMAS UTILIZADAS	CONDICIONES DE HIDRÓLISIS		SEPARACIÓN DEL ANALITO	DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE GLUCOSA
		t (h)	T (°C)		
AOAC 991.43	α -amilasa, proteasa y amiloglucosidasa	2	60	Adicionar etanol al 95%	-----
Englyst	α -amilasa pancreática y amiloglucosidasa en amortiguador de acetatos (pH 5.2, 0.1 M),	16	40	Se mezclan alícuotas con etanol al 80%	Método de la glucosa oxidasa peroxidasa
Goñi	Pepsina y α -amilasa pancreática porcina en amortiguador tris-malato (pH 6.9, 0.1 M)	16	37	Centrifugación y solubilización con KOH 2M y se agrega amilo-glucosidasa	Método de glucosa oxidasa
AOAC 2002.02:	α -amilasa pancreática y amiloglucosidasa	16	37	Centrifugar y disolver en KOH 2M	Método de glucosa oxidasa peroxidasa

FUENTE: Adaptado de Zhou *et al.*, 2013 y EUROFINS, 2012.

Sin embargo, existen diferencias significativas entre los procedimientos por la preparación de la muestra, las enzimas empleadas y el establecimiento de las condiciones experimentales que imiten la digestión gastrointestinal del almidón.

La mayoría de los métodos están enfocados en la determinación de almidón resistente total, pero se han desarrollado métodos específicos para determinar los tipos I, II y III, así como los clasificados de acuerdo al tiempo de su digestión. Las diferencias en la preparación de la muestra son significativas y el tipo de almidón resistente que es analizado depende del protocolo (Perera *et al.*, 2010).

3.3.3 Efecto del procesamiento sobre el contenido de almidón resistente en alimentos

Durante el procesamiento de alimentos ricos en almidón, las moléculas de almidón se someten a varias modificaciones físicas dependiendo del tipo de almidón y la severidad de las condiciones aplicadas.

El almidón retrogradado (AR III) es formado en alimentos procesados bajo niveles relativamente altos de contenido de humedad con cocimiento, horneado o tratamiento de autoclave después de refrigeración. Aumentar la temperatura y tiempo de horneado ha dado un aumento en el contenido de AR en productos horneados. Los tratamientos térmicos a altas temperaturas, como los usados en esterilización comercial, dan lugar a una gelatinización más uniforme del almidón. Al enfriar, el almidón muestra mayor tendencia a retrogradar. Los tubérculos, como las papas y el camote, tienen un alto contenido de almidón y por eso tienen un gran potencial a desarrollar AR (Singh, 2011).

Algunos procesos que pueden afectar el contenido de AR en alimentos son el freído, horneado y las condiciones de almacenamiento. En la investigación realizada por Singh (2011) analizaron estos parámetros en papa y camote, el efecto del freído que fue superficial y profundo fue estudiado cocinándolos a presión y fueron almacenados a 4 °C y 25 °C por 12 y 24 h para cada temperatura, resultando que el freído redujo un 28 a 32% de AR en ambos tubérculos.

Este estudio también se realizó en pan, el cual fue horneado a tres distintas condiciones de temperatura y tiempo: 150 °C/12 h, 120 °C/20 h y 200 °C/35 min.

De esta última se almacenaron muestras a temperatura ambiente por 24, 48, 72 y 96 h. En los resultados se mostró que el AR en el pan a 120 °C/20 h fue mayor (4.2%) a aquel horneado a las otras dos condiciones. Incrementar el tiempo de horneado a 200 °C aumento de 2.13 a 3.18% el contenido de AR en el pan. El almacenamiento incrementó el AR en el pan y en los tubérculos y el almacenamiento en refrigeración tuvo un efecto más pronunciado en la cantidad de AR presente en las muestras.

Los tratamientos o procesos a los cuales es sometido cierto alimento pueden aumentar el contenido de AR en éstos (Singh, 2011).

3.3.4 Propiedades fisicoquímicas

Para la formación de AR hay varios factores involucrados que a su vez afectan su respuesta fisiológica por lo que es importante conocer los aspectos fisicoquímicos implicados en su formación.

El AR tiene un tamaño de partícula pequeño, apariencia blanca y sabor suave, también provee un buen manejo en el proceso y aumenta la textura en el producto final. Su baja capacidad de retención de agua, lo hace un ingrediente funcional que proporciona un buen manejo y mejora la textura del producto (Fuentes *et al.*, 2010).

A continuación se mencionan algunas de las propiedades fisicoquímicas que tiene el almidón resistente, las cuales son deseables ya que hacen más útil su aplicación en el desarrollo de productos alimentarios:

- Aumento de volumen
- Aumento de viscosidad
- Formación de gel
- Capacidad de retención de agua
- Solubilidad

Las propiedades fisicoquímicas y características funcionales de los sistemas de almidón y su utilidad en varios productos alimentarios varían con el origen biológico del almidón. Por ejemplo: el almidón nativo es un buen estabilizador de textura y regulador en alimentos pero tiene algunas limitaciones como baja resistencia térmica, descomposición térmica y alta tendencia a la retrogradación. Mientras que la modificación química del almidón, la adición de grupos funcionales a la molécula, afecta significativamente propiedades como el aumento de volumen y solubilidad. La acetilación y la hidroxipropilación las aumentan mientras que el entrecruzamiento las disminuye (Singh *et al.*, 2007).

3.3.5 Aplicaciones del almidón resistente en la industria alimentaria

Actualmente, el AR es un ingrediente comercial que se obtiene principalmente de granos de maíz de alta amilosa (Ugarte *et al.*, 2010). El almidón de maíz de alta amilosa es definido como un AR tipo II obtenido de un híbrido de maíz que naturalmente tiene un mayor contenido de amilosa. Es un polvo blanco muy fino y sus atributos sensoriales como sabor y color son más aceptados por los consumidores, por eso es una buena alternativa para adicionar a los productos alimentarios (Altuna *et al.*, 2015).

Existe una amplia gama de productos sobre los que se aplica el AR como aditivo, entre esos productos se encuentran pastas, barras de cereales, pan, snacks, galletas, tortillas, entre otros.

Con el fin de obtener mayores rendimientos de AR en los productos, es conveniente utilizar como materia prima almidón nativo con alto contenido de amilosa, como los que se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Listado de almidones resistentes en el mercado internacional.

Nombre Comercial	Fabricante	Uso	%AR
Hi-maize	National Starch & Chem Co.	Panadería	42
CrystaLean	Opta Food Ingredients	Productos para diabético	41
Novelose 240,260,330	National Starch & Chem Co.	Pasta, cereales, snacks	60
Amilomaize VII	Cerestar Inc.	Pan	s/d
Actistar	Cerestar Inc.	Pan, barra de cereal	58
Fibersym HA,70,80ST	MGOIngredients	Pan, pizza, galletas, waffles	s/d
Nutriose FB	Roquette Freres, Francia	Es soluble	s/d

Ugarte *et al.*, 2010; s/d =sin dato

En el mercado Europeo, las fuentes comerciales de AR tipo II y III están disponibles. Entre los últimos desarrollos en AR hay un AR tipo II que queda aún después del procesamiento leve de los alimentos. En comparación con las fibras tradicionales presenta ventajas en sus características como lo es un color blanco, un sabor suave y un tamaño de partícula fina entre 10 y 15 μm y que tiene un contenido energético reducido (Salvador y Fiszman, 2013).

En la Figura 10 se muestra como a lo largo de cinco años el uso de AR ha incrementado en Latinoamérica, notándose un aumento de casi el 80% en el último año. También se observa como a partir del año 2010 se le ha tomado mayor interés al AR como ingrediente en productos alimentarios, entre los cuales se encuentran galletas, barras de cereales, muffins, pasteles, pastas, snacks, bebidas, entre otras categorías, como las que se muestran en la Figura 11 donde también se observa el predominio del uso de AR en panadería, como agente texturizante, y en bebidas, donde se utiliza como espesante.

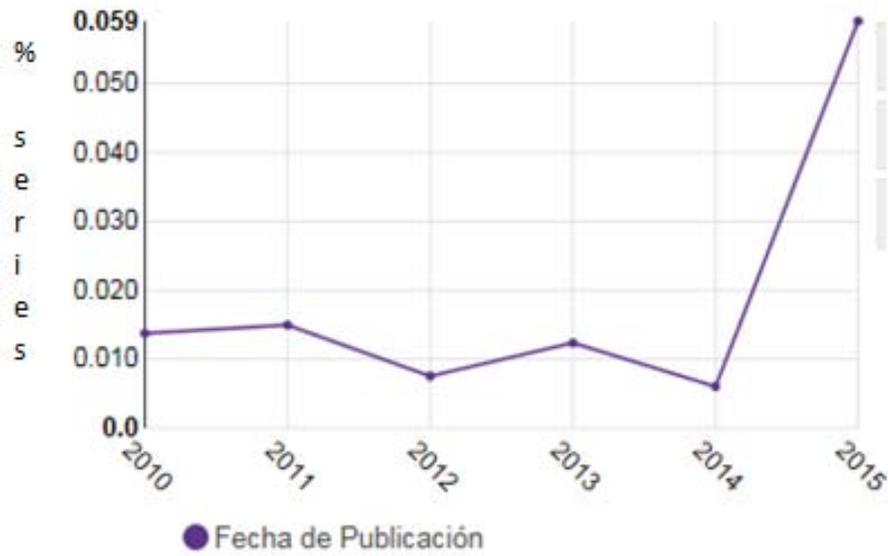


Figura 10. Lanzamiento de productos que contienen AR (MINTEL, 2015)
 % series = Frecuencia de publicaciones

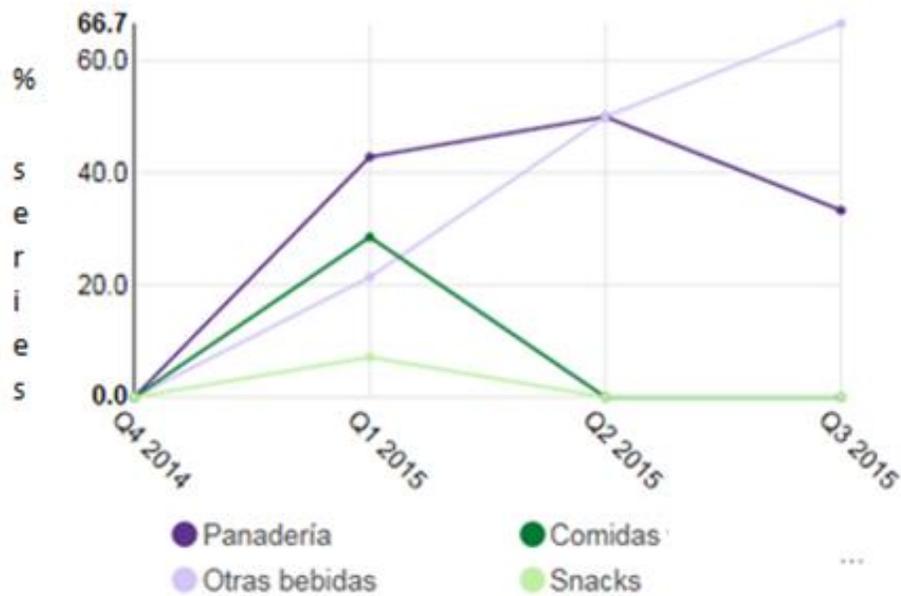


Figura 11. Principales categorías de productos que contienen AR (MINTEL, 2015).
 % series = Frecuencia de lanzamientos de productos con AR

Técnicamente es posible incrementar el contenido de AR en los alimentos modificando las condiciones del proceso tales como el pH, la temperatura de calentamiento, el tiempo y el número de ciclos de calentamiento y enfriamiento, congelado y secado, entre otros (Ugarte *et al.*, 2010). Así como adicionarlo como un ingrediente, como muestra la Tabla 5 donde se observa como el producto final (galleta 20%) tiene un mayor contenido de AR que la materia prima (cereales 1 a 3%) por el efecto del procesamiento, o como el caso del yogurt donde el AR es adicionado para una mejor textura del producto.

TABLA 5. Contenido de AR en diferentes alimentos

ALIMENTO	AR (g/100 g)
Leguminosas	4-10
Cereales	1 a 3
Plátano	43-44
Galletas	20
Muffins	20
Tortilla	0.9
Yogurt	3

FUENTE: Adaptado de Moongngarm, 2013; Sáyago *et al.*, 2010, Laguna *et al.*, 2010 y Fuentes *et al.*, 2010

La incorporación de almidón resistente en la industria alimentaria va dirigida a productos de cereales y bebidas, principalmente, para mejorar características sensoriales. El almidón resistente es ampliamente usado en la industria alimentaria como ingrediente para alimentos procesados como productos de panificación, fideos, mezclas de harinas y salsas.

El AR es un componente de los alimentos relacionado a su funcionalidad, estabilidad en el proceso y al aspecto nutricional. El primero de ellos implica conceptos como textura, capacidad de retención de agua, entre otros. El segundo concepto es importante para preservar la funcionalidad de los ingredientes que lo

contienen. El tercero implica ya sea resistencia a la digestión en el intestino delgado o la fermentación en el colon (Ugarte *et al.*, 2010).

Entre los cuatro tipos de AR, el AR III parece ser particularmente interesante por su estabilidad térmica cuando es añadido como ingrediente a la comida procesada (Hong y Yoo, 2012).

El AR se usa para producir alimentos de calidad elevada. Comparado con fibras convencionales, según Laguna *et al.*, (2010) el AR ofrece ventajas como:

- Ser fuente natural de FD blanca
- Sabor suave
- Dar una mejor apariencia, textura y sensación en la boca.

Una ventaja del uso del AR en alimentos es el aumento en la cantidad de fibra dietética y una mayor y mejor aceptabilidad por parte de los consumidores, ya que la adición de éste hace que los productos ricos en fibra sean más pálidos y no oscuros, como la mayoría de este tipo de alimentos, lo que provoca una mayor ingestión de FD.

El AR no es considerado un aditivo alimentario, sino que es un componente natural de la dieta. Como se observa en la clasificación de almidón resistente, algunos cereales y leguminosas pueden aportar AR en cantidades variables (Ugarte *et al.*, 2010). En un estudio realizado por Moongngarm (2013) se utilizaron 22 muestras de origen vegetal provenientes de Tailandia, entre las que se estudiaron algunos cereales como el arroz y el maíz, tubérculos, plátano, leguminosas, entre otras. En dicho estudio se determinó la cantidad de almidón resistente presente en cada muestra y se observó que el plátano es el que contiene mayor cantidad de AR (43 a 44 g/100 g), seguida por las leguminosas (4 a 10 g/100 g), tubérculos (3 a 4 g/100 g) y por último, los cereales (1 a 3 g/100 g). El estudio indica que dichos alimentos pueden ser una importante fuente de

almidón resistente y tener posibilidades comerciales por sí mismas o como base de otros alimentos.

Como fibra dietética, sus finas partículas y su consistencia blanda mejoran la formulación con respecto a las fibras tradicionales, lo que lleva a una mayor aceptabilidad por el consumidor. También mejoran la cualidad crocante y el volumen de ciertos alimentos, y en otros se beneficia el gusto, color y sabor.

Recientemente, la harina de trigo mezclada con AR tipo III ha sido usada para la preparación de una gran variedad de alimentos procesados. Varias investigaciones han estudiado las propiedades reológicas de la harina de trigo aplicada en productos como pan (Ozturk *et al.*, 2009), muffin (Sanz *et al.*, 2008) y pasta (Sozer *et al.*, 2007), estos reportan que la adición de AR III mejora las propiedades reológicas de los productos.

Wojciechowicz *et al.*, (2008) estudiaron el efecto de almidón retrogradado acetilado (AR IV) en la calidad del pan y masa de trigo donde observaron que su participación en la formulación hasta el 10% no da lugar a un deterioro significativo en la calidad del pan. También se observó que al incrementar los niveles de AR se deterioraba la calidad de la harina y disminuía el volumen del pan pero tiene influencia positiva en la absorción de agua, en el desarrollo de la masa y en el rendimiento del pan.

En otro estudio se analizó la influencia del AR III y IV sobre las propiedades reológicas de masa para galletas y se observó que el remplazo parcial de harina con preparaciones de estos almidones tiene un impacto significativo en sus propiedades reológicas, aumentando su elasticidad, especialmente en el caso de la formulación adicionada con 15% de AR. Como consecuencia, el proceso tecnológico debe ser modificado y se debe adicionar más agua para obtener una masa con mejor consistencia (Seremesic *et al.*, 2013).

De acuerdo al estudio de Aigster *et al.*, (2011) sobre las propiedades fisicoquímicas de barras y cereales de granola adicionadas con AR, la incorporación de altos niveles de AR (40%) provocan cambios en las características sensoriales como color, pegajosidad y masticabilidad en productos de granola. Así como la actividad de agua, que aumenta con el paso del tiempo.

En otro estudio realizado por Laguna *et al.*, (2010) estudiaron diferentes formulaciones para la preparación de galletas donde reemplazaban 20, 40 y 60 g de harina por cada 100 g de producto por almidón resistente y una formulación control. En las galletas con AR tanto la superficie como la miga eran más pálidas. La aceptación sensorial de las galletas con 20 g de AR no tuvieron diferencia significativa con las galletas control, las galletas con 40 g de AR redujeron la aceptabilidad de color, apariencia y textura sin alterar el sabor y dulzura. Sin embargo, la formulación con 60% de AR formó galletas con menor aceptabilidad sensorial y redujo significativamente la intención de consumo.

Estos resultados prueban que el almidón resistente tiene buen potencial para desarrollar galletas ricas en fibra (20%) sin cambiar las características generales del producto.

Otra opción para obtener una cantidad considerable de AR en alimentos debido a la formación de AR III por efecto de la retrogradación de la amilosa en productos horneados y procesados es el uso de almidones altos en amilosa en harinas. Además que el uso de estos almidones aumentan la cantidad de FD. El almidón de maíz alto en amilosa es de los más usados para preparar dichos productos aunque se prefiere utilizar una mezcla de harina de maíz rico en amilosa con harina de maíz regular para obtener una mejor calidad sensorial y física en el producto final (Van Hung *et al.*, 2006).

Una alternativa del uso de AR es en productos libres de gluten para los celíacos, esta enfermedad es un desorden autoinmune del intestino delgado en individuos genéticamente predispuestos desencadenado por las proteínas del gluten, cebada y centeno. El reemplazo del gluten, principalmente en productos de panificación,

es un reto tecnológico desde que los productos comerciales libres de gluten muestran deficiencias de calidad como poco volumen, poco color, desmoronamiento de la miga y bajo valor nutrimental. El almidón y sus derivados tiene un papel importante en productos libres de gluten, con la ausencia del gluten, el almidón se vuelve el principal componente de textura y estabilidad de una matriz alimentaria, además que el AR mejora la calidad nutricional de alimentos libres de gluten (Tsatsaragkou *et al.*, 2015).

De acuerdo a la investigación realizada por Tsatsaragkou *et al.*, (2015) donde estudiaron el efecto de la adición del AR en pasteles libres de gluten de harina de arroz y de almidón de tapioca sobre las propiedades sensoriales y físicas de éstos se observó que un aumento de la concentración de AR hace que las masas para los pasteles sean menos elásticas y delgadas, el volumen específico de los pasteles también aumentó, durante el almacenamiento la miga del pastel permaneció suave. La evaluación sensorial demostró que la adición del almidón resistente no afecta significativamente los parámetros sensoriales descriptivos.

Otros resultados (Witczak *et al.*, 2012) indican que la adición de AR IV en cantidades superiores al 15% modifican significativamente la reología de la masa, mejora el volumen del pan y disminuye la dureza de la miga, mejorando su elasticidad. La influencia del AR IV en las propiedades de masa y calidad de galletas de arroz fue revisada por Ren and Shin (2013), los resultados mostraron un aumento de la fibra dietética total en el producto final. Por otra parte, se observó que con el aumento de AR IV el hinchamiento, la solubilidad, la capacidad de retención de agua (CRA) y la viscosidad disminuyeron. La prueba de preferencia mostró que el color y la calidad general aumentaron con la adición de AR IV y la calidad en general fue la más alta cuando se añadió 10 % de AR IV.

El estudio realizado por Altuna *et al.*, (2015) muestra una mejor forma de aprovechar la adición de AR tipo II sobre algún producto alimenticio con la incorporación de enzimas. En dicho estudio agregaron el AR a la masa como una alternativa para un mayor consumo de fibra y las enzimas para compensar la

disminución de la fuerza del gluten; ya que el uso de AR tipo II en masas para pan la disminuye, así como a las propiedades de textura en el pan. El AR sustituyó a la harina de maíz en una cantidad de 12.5 g/100 g, las enzimas que se utilizaron fueron la transglutaminasa, que ayuda a la fragilidad de la harina, glucosa-oxidasa, que fortalece el gluten, y xilinasas, que da lugar a una masa más suave, con el efecto de observar el cambio en las propiedades físicas y reológicas del pan. Como resultado se observó que la fragilidad del pan se vio afectada por la adición de las enzimas y en las pruebas de calidad hubo una disminución en el contenido de AR, mientras que las enzimas aceleraron el proceso de envejecimiento, sin embargo estas mismas aumentaron las características de la masa con AR tipo II como la cohesividad, adhesión, pegajosidad y dureza.

El rendimiento del AR en los alimentos depende de la fuente botánica de almidón y las condiciones de procesamiento. En un estudio se analizaron las condiciones de reacción en el proceso de formación de pastas de almidón de maíz, donde se encontró que la producción de AR podría aumentar en gran medida por el tratamiento con amilasa termoestable (hidroliza α 1-4 de amilosa) antes de desramificarlo con pululanasa (hidroliza enlaces 1,6). Para la reacción de amilasa, se investigaron los efectos de varias condiciones de reacción, incluyendo la temperatura (T), pH, tiempo (t), y la concentración de enzima, en la producción de AR. Las condiciones óptimas de reacción fueron las siguientes: temperatura 90°C; pH= 5.5; tiempo= 15 min; y la cantidad de amilasa, 4 g. Bajo estas condiciones se obtuvo un rendimiento AR de 58.87%. Uno de los factores más importantes en la formación de AR es un aumento en la relación amilosa/amilopectina. Esto podría deberse a que las cadenas de amilosa forman hélices dobles que reorganizan la estructura del almidón. Otra posibilidad podría ser que las cadenas de amilosa con longitud reducida se convertirían en móviles, mejorando así la formación de cristales. Un aumento en la densidad de la estructura cristalina aumenta en gran medida la resistencia de almidón a las enzimas (Huanxin y Zhengyu, 2011).

El muffin es uno de los productos de panificación más conocidos y el cual ha sido muy estudiado en cuanto a cambios en sus propiedades reológicas y sensoriales.

Un ejemplo es en cuanto al color, a mayor concentración de AR añadido a la formulación, los colores en el muffin disminuyen, esto debido a que el color blanco del AR diluye la pigmentación de los otros elementos (Salvador y Fiszman, 2013).

Una de las principales características de los productos de panificación que puede ser más afectada con la adición de fibra a la formulación del producto es la textura. Baixauli *et al.*, (2008) compararon la influencia del reemplazo de la harina de trigo por diferentes concentraciones de AR (5, 10, 15 y 20%) sobre las propiedades de textura en muffins frescos y muffins almacenados por 2 semanas. En dicho estudio se encontró que la dureza de los muffins con AR (20%) fue significativamente más baja, la elasticidad, la cohesión y la resistencia de los muffins disminuyeron a medida que aumentó la cantidad de AR incorporada (15% y 20%). Una posible explicación de la disminución de la resistencia y de la elasticidad al añadir AR es que la matriz del producto se vuelve más densa: a mayor cantidad de AR, el número y el área de las celdas de gas disminuyen.

El enranciamiento es uno de los atributos de calidad de mayor importancia en los muffins, es un proceso muy complejo que incluye la pérdida de sabor, cambio de textura, pérdida de suavidad, redistribución de la humedad y sequedad del producto. Baixauli *et al.*, (2008) también estudiaron los cambios en la textura durante este proceso en los muffins con diferentes cantidades de AR después de 16 días de almacenamiento. En los resultados encontraron que el valor de dureza de los muffins control contra los adicionados con AR a 5, 10, 15, 20% triplicó después de los 16 días de almacenamiento, mientras que los muffins con 20% de AR eran los más suaves. El parámetro de elasticidad no proporcionó información útil ya que las diferencias con el tiempo de almacenamiento no fueron significativas pero los valores más bajos fueron los que tenían el AR. La cohesión y la resistencia mostraron una caída significativa en el período de almacenamiento, aunque estos descensos fueron menores para las concentraciones de 15% y 20% de AR. En consecuencia, las concentraciones más altas de AR fueron eficaces en la conservación de estas propiedades.

Otra alternativa para incrementar la cantidad de AR en productos es la adición de almidón resistente natural a alimentos ricos en almidón. Por ejemplo, del consumo diario común de tortilla (198 g por día) sólo 1.8 g corresponden a la porción de AR. Sin embargo, la tortilla preparada con una mezcla de maíz con semillas de lino (20%) muestra un notable aumento del contenido de AR alcanzando 8.5 g por día, por lo que la combinación de alimentos ricos en almidón con fuentes naturales de AR ayuda a tener más fibra en dichos productos (Sáyago *et al.*, 2011).

El AR no sólo se puede aplicar en productos a base de cereales, la sustitución del 3% de sólidos de la leche en yogurt (del 12% total) con suspensiones de almidón calentado, cortado y microfluidado aumenta la viscosidad y disminuye la sinéresis del yogurt (Fuentes *et al.*, 2010).

En general, estos estudios demuestran que tecnológicamente el AR influye en la consistencia del producto final mejorando sus características físicas y sensoriales. Desde el punto de las proteínas se puede decir que la adición de AR a productos produce cambios en el contenido de agua y en la capacidad de retención de agua. Por lo tanto, el AR es un ingrediente valioso en la industria alimentaria para el diseño de productos funcionales.

3.3.6 Efectos fisiológicos del almidón resistente

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS) la obesidad, enfermedades cardiovasculares, diabetes y cáncer son la mayor amenaza para la salud humana en nuestra sociedad.

Hoy en día, México ocupa el segundo lugar de prevalencia mundial de obesidad y el 80% de la diabetes en México es causada por esto. Las enfermedades cardiovasculares son la causa del 26% de las muertes mexicanas (Secretaría de Salud, 2014). El tratamiento médico de dichas enfermedades constituye una gran carga financiera tanto para la población como para el gobierno.

Uno de los factores modificables que tiene un efecto importante para combatir estas enfermedades es la dieta, ya que representa una oportunidad tanto a nivel económico como social para reducir la prevalencia de estas enfermedades. El aumento de la ingesta de FD y la posible absorción lenta de los hidratos de carbono son recomendaciones dietéticas aceptadas para reducir el riesgo de ciertas enfermedades (Chung *et al.*, 2011).

Por lo tanto, el almidón resistente es una gran alternativa para disminuir la prevalencia de estas enfermedades.

De acuerdo a Ugarte *et al.*, (2010) la presencia del AR al intestino delgado y grueso, genera una serie de cambios que tienen efectos benéficos en la salud gastrointestinal, entre ellos:

- Favorecer la producción de ácidos grasos de cadena corta.
- Generar un pH bajo en el colon.
- Disminuir el tiempo del tránsito intestinal, a modo de diluir los carcinógenos fecales, por reducción del tiempo y nivel de exposición en la mucosa colónica.
- Incrementar la masa del bolo fecal.
- Generar una menor densidad energética en el alimento.
- Incrementar, en el intestino delgado, la renovación del epitelio celular.

Se han descrito numerosos efectos fisiológicos del AR, los cuales se enlistan en la Tabla 6. Las propiedades fisiológicas del AR, y por lo tanto el potencial benéfico puede variar ampliamente dependiendo el diseño del estudio y las diferencias en la fuente, tipo y dosis del almidón resistente consumido.

Tabla 6. Efectos fisiológicos del AR

EFECTO PROTECTOR SOBRE	EFECTOS FISIOLÓGICOS POTENCIALES
Salud del colon	Prebiótico
Cáncer de colon, colitis ulcerativa, enfermedad inflamatoria del intestino	Mejora del epitelio intestinal
Diabetes	Control de las respuestas glicémicas e insulinémicas
Enfermedades cardiovasculares	Mejora el perfil de lípidos en la sangre
Obesidad	Aumenta la saciedad y reduce el consumo de energía
Osteoporosis	Aumenta la absorción de nutrientes inorgánicos

FUENTE: Fuentes *et al.*, 2010.

- Prebiótico

Los prebióticos son definidos como ingredientes alimentarios no digeribles y tienen un efecto benéfico en el huésped mediante la estimulación de la actividad de una o más bacterias en el tracto gastrointestinal y promoviendo los efectos benéficos a la salud (Ashraf *et al.*, 2012). Los prebióticos son usados para aumentar el crecimiento benéfico de las bacterias, como *Bifidobacterium* y *Lactobacillus*, pero sobre todo para mejorar el crecimiento y actividad de cualquier bacteria benéfica en el tracto gastrointestinal.

El almidón resistente actúa como componente prebiótico promoviendo el crecimiento y la actividad de bacterias probióticas y puede interactuar con otros compuestos prebióticos de la fibra dietética como β -glucanos (Aigster *et al.*, 2011).

El almidón resistente aumenta la producción de ácidos de cadena corta (AGCC), como son los ácidos láctico, succínico, propiónico y butírico (Ugarte *et al.*, 2010).

La eficacia del AR ha mostrado promover el crecimiento de *Bifidubacterium* y *Lactobacillus*, elevar las concentraciones de butirato, actuar como sinergista junto a otros oligosacáridos y reducir patógenos intestinales (Haugabrooks, 2013). La Figura 12 describe parte de los mecanismos de prebiosis como la producción de ácidos grasos de cadena corta que aumenta la absorción de nutrientes inorgánicos, estimula el crecimiento de microbiota benéfica, mejora el sistema inmune y facilita el mecanismo de lípidos.

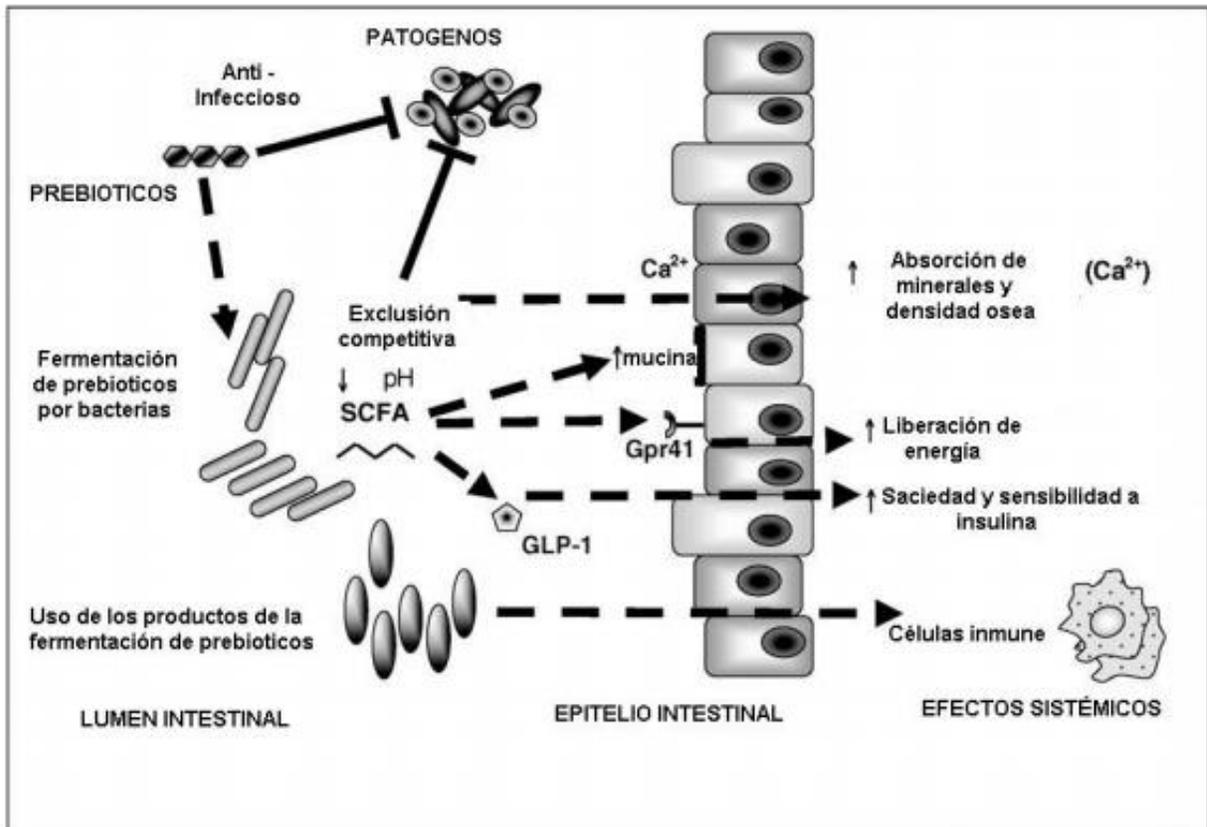


Figura 12. Mecanismo de acción de los prebióticos en el colon (Saulnier *et al.*, 2009)

El AR como prebiótico ayuda a incrementar la formación de ácido butírico debido a la presencia de bacterias como *Faecalibacterium prausnitzii* o *Roseburia intestinalis* que tienen la habilidad de degradar este tipo de compuestos (Saulnier *et al.*, 2009).

- Salud del colon

El AR tiene un potencial para aumentar la salud del intestino grueso y reducir el riesgo de varias enfermedades del intestino, como cáncer de colon y la prevención de diarrea.

Las células de mamíferos contribuyen en gran medida a la digestión en el tracto gastrointestinal pero otros colaboradores clave son los microorganismos residentes.

Los estudios de intervención dietética en humanos y pruebas de alimentación experimentales utilizando modelos de animales demuestran que el AR tiene efectos positivos sobre una serie de índices de salud del intestino. Estos son en gran medida una consecuencia de los cambios en el ambiente intracolónico provocados por el aumento en la proliferación y actividad metabólica de la microbiota con la provisión de sustrato extra, AR. El aumento en la biomasa puede mejorar el hábito intestinal a través de la producción de heces más blandas y voluminosas (Bird *et al.*, 2009). Las propiedades fermentativas del AR en el intestino pueden actuar como un débil laxante por lo que se sugirió como ayuda para el estreñimiento y la enfermedad diverticular (Haugabrooks, 2013).

Una de las razones principales por las que el AR ha sido de gran interés es debido a que su fermentación favorece la producción de butirato. A pesar de que todos los AGCC tienen un papel importante en el mantenimiento fisiológico normal del colon, el butirato es particularmente potente en la prevención de carcinogénesis. El butirato regula la expresión de cierto rango de genes involucrados en el crecimiento celular, diferenciación y apoptosis, y de los principales AGCC, es el más eficaz en la supresión del crecimiento de líneas celulares de cáncer de colon (Bird *et al.*, 2009), además que el butirato inhibe el crecimiento de células de cáncer de colon (Saulnier *et al.*, 2009).

Se ha mostrado que las dosis dependientes de AR suprimen la formación de ACF (las primeras lesiones neoplásicas identificables en la carcinogénesis de colon)

sólo cuando está presente durante la fase de promoción a un carcinógeno genotóxico en el colon medio y distal, lo que sugiere que la administración de AR puede retardar el crecimiento o el desarrollo de lesiones neoplásicas en el colon. Por lo tanto, la tumorigénesis de colon puede ser altamente sensible a la intervención dietética. Los adultos con lesiones preneoplásicas en el colon pueden beneficiarse de AR. Esto sugiere la utilidad de AR como agente preventivo para las personas con alto riesgo para el desarrollo de cáncer de colon (Fuentes *et al.*, 2010). Comparado con la fibra dietética, la fermentación del AR produce una mayor proporción de ácido butírico en el intestino grueso, generando un beneficio en el estado fisiológico del colon, ya que mejora la regulación del crecimiento y la función de las células intestinales, permitiendo suprimir la proliferación de células tumorales (Ugarte *et al.*, 2010).

En el estudio realizado por Qian *et al.*, (2013) en ratones se muestra que el AR III es el tipo de almidón que muestra los mejores efectos preventivo de la úlcera gástrica comparado con el AR II y IV. El estudio también mostró que el consumo de alimento aumentó, mientras que la ganancia de peso disminuyó significativamente con el consumo de AR. La cantidad de ácidos grasos de cadena corta que se produjeron ayudaron a disminuir el pH del colon, lo que hace que se inhiba el crecimiento de bacterias saprófitas (bacterias que no se desarrollan en el organismo vivo y que se alimentan de los desperdicios de alimentos generados por el propio organismo), las cuales pueden producir sustancias carcinogénicas fácilmente. Por eso el descenso del pH es importante para la prevención y el tratamiento de enfermedades del intestino.

- Efectos hipoglicémicos/diabetes

Una estrategia nutricional para reducir el número de personas diagnosticadas con prediabetes o diabetes tipo 2 es alentar a las personas a consumir más fibra. El consumo de AR reduce la respuesta glicémica y de insulina hacía los alimentos y mejora la sensibilidad a la insulina en personas sanas y con diabetes tipo 2.

La digestión lenta del AR tiene implicaciones para su uso en la liberación de glucosa y por lo tanto, una respuesta baja de insulina y un mayor acceso para uso de la grasa almacenada.

El metabolismo del AR ocurre de 5 a 7 horas después de su consumo, esto reduce la glicemia postprandial y la insulinemia y tiene el potencial para aumentar el período de saciedad (Fuentes *et al.*, 2010). Por lo tanto, el AR retarda el aumento de glucosa en la sangre al desacelerar la velocidad y la cantidad de la digestión de hidratos de carbono, haciéndolo ideal para diabéticos (Ashraf *et al.*, 2012).

Se necesita el consumo mínimo de 5 a 6 gramos de AR para observar reducción en la respuesta de insulina en humanos (Fuentes *et al.*, 2011).

En el estudio realizado por Bodinham *et al.*, (2010) se encontró que después de consumir 48 g de AR hubo una ingesta menor de energía, sin ningún efecto asociado a valoraciones subjetivas del apetito, este estudio también encontró un efecto significativo en el suplemento de AR en disminuir la respuesta de la insulina postprandial.

La harina de maíz de alta amilosa de grano entero es un ingrediente funcional con un alto contenido de AR que puede ser utilizado en la formulación de alimentos para el control de índices glicémicos y saciedad. El estudio realizado por Luhovy *et al.*, (2014) demuestra un efecto positivo en un producto con 50 g de harina de maíz de alta amilosa sobre la glucosa en la sangre en jóvenes. La concentración de glucosa en la sangre fue menor después de 30 a 45 minutos de haber ingerido el alimento con AR. Las posibles formulaciones usando harina de maíz de alta amilosa de grano entero incluyen cereales, pan, muffins, pastas, galletas, pasteles y otras que pueden beneficiar a los consumidores mediante el apoyo a un control glucémico sobre todo en individuos que están en riesgo de padecer diabetes.

De acuerdo a MacNeil *et al.*, (2013) el AR tiene dos posibles funciones en la dieta para personas con diabetes tipo 2. En primer lugar, el AR puede ser sustituido por

los hidratos de carbono disponibles en los alimentos horneados para disminuir la concentración de glucosa en la sangre. En segundo lugar, un producto rico en hidratos de carbono con AR parece tener un impacto en el polipéptido insulino-trópico dependiente de glucosa (hormona que prepara al organismo para almacenar los alimentos recibidos; estimula la secreción de insulina) después de su ingestión.

La adición de almidón resistente en productos comerciales puede ser una vía en que las personas con diabetes tipo 2 pueden continuar consumiendo alimentos ricos en hidratos de carbono disponibles; es una simple forma de disminuir la disponibilidad de los hidratos de carbono que se consumen.

Las recomendaciones de AR en adultos sanos para que tenga un efecto positivo resultan en el consumo de 15 a 60 g/día de AR. El consumo puede ser en alimentos que contienen naturalmente el almidón resistente o aquellos a los cuales se les ha adicionado (Maziarz, 2013).

- Efectos hipocolesterolémicos

El AR aparentemente afecta el metabolismo de lípidos, esto se ha visto en estudios con ratas, donde se han observado disminuciones en la concentración de lípidos en sangre. Estos números incluyen los lípidos totales, colesterol total, lipoproteínas de baja densidad (LDL), lipoproteínas de alta densidad (HDL) y triglicéridos (Fuentes *et al.*, 2010). El AR tipo III disminuye el colesterol y triglicéridos sanguíneos en ratas mediante la modulación del ácido biliar y del metabolismo neutral del esterol.

La evidencia de que el AR tiene un efecto sobre el colesterol en la sangre y los niveles de triglicéridos en humanos sigue siendo inconsistente (Bird *et al.*, 2009).

El almidón digerible ayuda a la formación de cálculos biliares a través de una buena secreción de insulina, y la insulina a su vez conduce a la estimulación de la

síntesis de colesterol, entonces el AR reduce la incidencia de cálculos biliares (Fuentes *et al.*, 2010).

- Obesidad

El AR puede ayudar con la pérdida de peso a través de algunos mecanismos. Puede reducir el consumo de energía cuando es usado para reemplazar algún ingrediente en un alimento preparado e incluso, tiene efecto en la saciedad del consumidor.

Como ingrediente, el almidón resistente tiene menor poder energético (8 kJ/g) comparado con el almidón totalmente digerible (15 kJ/g), por lo que puede ser un sustituto de hidratos de carbono digeribles, disminuyendo el contenido de energía en el producto final (Fuentes *et al.*, 2011).

No hay suficiente evidencia de que el AR promueve la pérdida de peso, especialmente en humanos. Sin embargo, hay implicaciones que el AR puede disminuir la acumulación de grasa a largo plazo mediante el aumento significativo de la oxidación de lípidos (Haugabrooks, 2013).

- Absorción de nutrimentos inorgánicos

El AR mejora la absorción de varios nutrimentos inorgánicos en ratas y humanos. Se ha reportado un aumento en la absorción de calcio, magnesio, zinc, hierro, y cobre en ratas alimentadas con dietas ricas en almidón resistente, mientras que en humanos, estos efectos parecen ser limitados para el calcio (Fuentes *et al.*, 2010).

La absorción de nutrimentos inorgánicos se ve favorecida ya que con los AGCC, productos de la fermentación de los prebióticos, se acidifica el contenido colónico incrementando la solubilidad de calcio, magnesio y hierro, lo cual favorece su difusión pasiva (Roberfroid, 2000).

4 CONCLUSIONES

- A partir de la redefinición del concepto de fibra dietética, el almidón resistente se incluye dentro de ésta por la similitud de sus propiedades fisiológicas con otros componentes de la misma.
- La determinación de almidón resistente en productos alimentarios es indispensable para proveer información nutrimental a consumidores e investigadores para un mejor aprovechamiento de dichos productos.
- Es posible modificar la cantidad de AR presente en los alimentos, ya sea por adición del mismo o por medio de procesos que aumentan su presencia, como el horneado, freído o cocción.
- El uso de AR en productos alimentarios es tanto una alternativa como una ventaja para incrementar el consumo de productos ricos en fibra ya que mejora la palatabilidad y su apariencia.
- Los alimentos adicionados con AR presentan mejoras en la textura del producto debido al incremento en la capacidad de retención de agua, aumento de viscosidad y de volumen.
- El almidón resistente es un hidrato de carbono versátil que potencialmente ofrece una manera económica, fácil y práctica para mejorar la absorción de algunos nutrimentos y tener efectos benéficos sobre enfermedades crónicas en la población.
- El AR juega un papel importante como prebiótico por la producción de ácidos grasos de cadena corta, principalmente ácido butírico, el cual está asociado con la prevención de cáncer.

→ El uso de AR como parte de la dieta de personas con diabetes ha mostrado una reducción en la respuesta a la insulina, la glicemia postrandial y la insulinemia.

5 BIBLIOGRAFÍA

Aigster, A., Duncan, S., Conforti, F., Barbeau, W. 2011. Physicochemical properties and sensory attributes of resistant starch-supplemented granola bars and cereals. *LWT-Food Science and Technology*. 44, 2159-2165.

Altuna, L., Ribotta, P. y Tadini, C. 2015. Effect of a combination of enzymes on dough rheology and physical and sensory properties of bread enriched with resistant starch. *LWT – Food Science and Technology*. 64 (2), 867-873.

American Association of Cereal Chemist. 2001. *Cereal Food World*. 46 (3), 112-126.

Ashraf, S., Anjum, F., Nadeem, M. y Riaz, A. 2012. Functional & Technological aspects of Resistant Starch. *Pakistan Journal of Food Sciences*. 22 (2), 90-95.

Baixauli, R., Salvador, A. y Fiszman, S. 2008. Textural and color changes during storage and sensory shelf life of muffins containing resistant starch. *European Food Research and Technology*. 226 , 523–30.

Belitz, H., Grosch, W. y Schieberle, P. 2009. *Food Chemistry*. 4ta ed. Alemania: Springer. pp: 315-320.

BeMiller, J. yWhustler, R. 2010. Carbohidratos. **En:**Fennema, O., Damodaran, S. eds. *Química de los Alimentos*. Zaragoza: Acribia. pp: 230-237

Bird, A., Lopez, A., Shrestha, A. y Gidley, M. 2009. Resistant starch in vitro and in vivo: factors determining yield, structure, and physiological relevance. **En:** Stefan Kasapis, Ian Norton and Johan Ubbink (Ed.), *Modern Biopolymer Science* London, United Kingdom: Academic Press, Elsevier Inc. pp: 449-510

Bondinham, C., Frost, G. y Robertson, M. 2010. Acute ingestion of resistant starch reduces food intake in healthy adults. *British Journal of Nutrition*. 103, 917-922.

Chung, H., Donner, E. y Liu, Q. 2011. Resistant Starches in Foods. *Food Systems*. 527-534.

Escudero, E. y González, P. 2007. La fibra dietética. *Nutrición Hospitalaria*. 21. 61-72

EUROFINS. 2012. *Dietary fiber: what is it and how to measure it correctly*. Carbohydrates Testing.

Fuentes, E., Riquelme, M., Sánchez, E. y Pérez, J. 2010. Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Research International*. 43, 931-942

Fuentes, E., Sánchez, E., Sendra, E., Sayas, E., Navarro, C., Fernández, J. y Pérez, J. 2011. Resistant starch as prebiotic: A review. *Starch*. 63, 406-415.

Gray, J. 2006. *Fibra dietética: definición , análisis, fisiología y salud*. International Life Sciences Institute: Bélgica. pp 2-6

Haugabrooks, E. 2013. *Evaluating the use of resistant starch as a beneficial dietary fiber and its effect on physiological response of glucose, insulin and fermentation*. Tesis de Doctorado. Universidad del Estado de Iowa. Ames, Iowa.

Hernández, M., Torruco, J., Chel, L. y Betancur, D., 2006. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en la península de Yucatán, México. *IX Congreso de Ciencia de los Alimentos y V Foro de Ciencia y Tecnología de Alimentos*.

Hong, S. y Yoo, B. 2012. Effect of Resistant Starch (RS3) addition on rheological properties of wheat flour. *Starch*. 64, 511-516.

Huanxin, Z. y Zhengyu, J. 2011. Preparation of products rich in resistant starch from maize starch by an enzymatic method. *Carbohydrate Polimers*. 86, 1610-1614.

Kirk, R., Sawyer, R. y Egan, H. 2011. *Composición y análisis de alimentos de Pearson*. 2da ed. México: Grupo Editorial Patria. pp: 363-364

Laguna, L., Salvador, A., Sanz, T. y Fiszman, S. 2010. Performance of a resistant starch rich ingredient in the baking and eating quality of short-dough biscuits. *LWT-Food Science and Technology*. 44, 737-746.

Luhovyy, B., Mollard, R., Yurchenko, S., Nunez, F., Berengut, S., Liu, T., Smith, C., Pelkman, C. y Harvey, G. 2014. The Effects of Whole Grain High-Amylose Maize Flour as a Source of Resistant Starch on Blood Glucose, Satiety, and Food Intake in Young Men. *Journal of Food Science*. 79, 2550-2556.

MacNeil, S., Reby, R., Tetlow, I., Emes, M., McKeown. y Graham, T. 2013. Resistant starch intake at breakfast affects postprandial responses in type 2 diabetics and enhances the glucose-dependent insulinotropic polypeptide-insuline relationship following a second meal. *Physiological Nutrition Metabolism* 38, 1187-1195.

Maziarz, M. 2013. Role of fructans and resistant starch in diabetes care. *Diabetes Spectrum*. 26, 35-39.

MINTEL, 2015. Disponible en: <http://es.mintel.com/gnpd-base-de-datos-global-de-nuevos-productos> (13-Sep-15)

Moongngarm, A. 2013. Chemical Compositions and Resistant Starch Content in Starchy Foods. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences*. 8 (2), 107-113.

Núñez, L. 2009. *Importancia del almidón (aspectos fisicoquímicos, usos y aplicaciones)*. Trabajo monográfico de actualización. UNAM. México.

Olmedilla-Alonso, B.; Rovilla, R.F.; Vegas, C.A. y Pedrosa, M.M. 2010. *Papel de las leguminosas en la alimentación actual*. *Actividad Dietética*, 14 (2), 72-76.

Ozturk, S., Koksel, H., Ng, Perry. K. W., 2009. Farinograph properties and bread quality of flours supplemented with resistant starch. *International Journal Food Science Nutrition*. 60, 449–457.

Parker, R., Ring, G., 2011. Aspects of the physical chemistry of starch. *Journal of Cereal Science*. 34, 1-17.

Peña, A. 2004. *Bioquímica*. 2da ed. México: LIMUSA. pp: 256

Perera, A., Meda, V. y Tyler, R. 2010. Resistant Starch: A review of analytical protocols for determining resistant starch and of factors affecting the resistant starch content of foods. *Food Research International*. 43, 1959-1974.

Qian, Y., Jie, G., Zhu, K., Yi, H., Sun, P. y Zhao, X. 2013. Effects of Three Types of Resistant Starch on Intestine and Their Gastric Ulcer Preventive *in vivo*. *Journal of the Korean Society for Applied Biological Chemistry*. 56, 739-746.

Ren, C., Shin, M., 2013. Effects of cross-linked resistant rice starch on the quality of Korean traditional rice cake. *Food Science Biotechnology*. 22 (3), 697-704.

Roberfroid, M. 2000. Prebiotics and probiotics: are they functional foods? *The American Journal of Clinical Nutrition*. 71: 16825-16875

Rooney, L. y Huang, D. 2001. Starches for snack foods. **En:** Rooney, E., Lancaster, L. *Snack Foods Processing*. Pennsylvania: Technomic Publishing Company.pp: 120-122.

Salvador, A. y Fiszman, S. 2013. Performance of resistant starches in baking: a case study on fibre-rich and wholegrain muffins. *Woodhead Publishing Limited*. 236-255.

Sandoval, A., Rodríguez, E. y Fernández, A. 2005. Aplicación del análisis por calorimetría diferencial de barrido (CDB) para la caracterización de las modificaciones del almidón. *Dyna*. 146. 45-53.

Sanz, T., Salvador, A. y Fiszman, S. M. 2008. Evaluation of four types of resistant starch in muffin baking performance and relationship with batter rheology. *European. Food Research. Technology*. 227, 813–819

Sarmiento, R. 2012. *Impacto del procesamiento sobre la pared celular y las propiedades hipoglucémicas y tecnofuncionales de leguminosas*. Tesis Doctoral. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España.

Saulnier, D., Spinler, J., Gibson, G. yVersalovic, J. 2009. Mechanism of probiosis and prebiosis: considerations for enhanced functional foods. *Current Opinion in Biotechnology*. 20: 1-7.

Sáyago, S., Tovar, J., Blancas, F. y Bello, L. 2011. Resistant starch in common starchy foods as an alternative to increase dietary fibre intake. *Journal of Food and Nutrition Research*. 50, 1-12.

Secretaría de Salud. 2014. Disponible en: <http://portal.salud.gob.mx/> Fecha de consulta: 15-Julio-2015

Seremesic, M.M., Dokic, L., Nikolic, I., Radosavljevic, M. y Simovic, D.S., 2013. Rheological and textural properties of short (cookie) dough made with two types of resistant starch. *Journal of Texture Studies*. 44 (2), 115-123.

Shi, M., Chen, Y., Yu, S. y Gao, Q. 2013. Preparation and properties of RS III from waxy maize starch with pullulanase. *Food Hydrocolloids*. 33, 19-25.

Singh, B. 2011. Effect of frying, baking and storage conditions on resistant starch content of foods. *British Food Journal*. 113, 710-719.

Singh, J., Kaur, L. y McCarthy, O. 2007. Factors influencing the physic-chemical, morphological, thermal and rheological properties of some chemically modified starches for food applications-A review. *Food Hydrocolloids*. 21, 1-22.

Soriano, J. 2011. *Nutrición Básica Humana*. 2da ed. España: PUV.

Sozer, N., Dalgic, A. C. y Kaya, A. 2007. Thermal, textural and cooking properties of spaghetti enriched with resistant starch. *Journal of Food Engineering*. 81, 476–484.

Tester, R. y Debon, S. 2000. Annealing of starch: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*. 27. 1-12

Tsatsaragkou, K., Papantoniou, M. y Mandala, I. 2015. Rheological, Physical, and Sensory Attributes of Gluten-Free Rice Cakes Containing Resistant Starch. *Journal of Food Science*. 80, 341-348.

Ugarte, M., Giraud, M., Pavesi, R., Sánchez, H., Beaufort, C. y Menéndez, J. 2010. *Almidón Resistente en los alimentos*. Actualización en Nutrición. 11, 48-55.

Van Hung, P., Maeda, T. y Morita, N. 2006. *Trends in Food Science & Technology*. 17, 448-456

Vásquez, R. 2013. *Efecto de la modificación química del almidón de plátano obtenido a partir de dos diferentes variedades sobre el contenido de AR: caracterización fisicoquímica, de digestibilidad, térmica, estructural y morfológicas*. Tesis de licenciatura. Universidad del Papaloapan, Oaxaca, México.

Witczak, M., Juszczak, L., Ziobro, R. y Korus, J., 2012. Influence of modified starches on properties of gluten-free dough and bread. Part I: rheological and thermal properties of gluten-free dough. *Food Hydrocolloids*. 28 (2), 353-360.

Westenbrink, S., Brunt, K. y Van der Kamp, J. 2013. Dietary fibre: Challenges in production and use of food composition data.

Food Chemistry. 140, 562-567.

Wojciechowicz, A., Gil, Z., Kapelko, M. y Zięba, T., 2008. Effect of resistant starch addition on the dough properties and wheat bread quality. *Food Science Technology*. 5 (60), 24-33.

Zheng, J., Enright, F., Keenan, M., Finley, J., Zhou, J., Ye, J., Greenway, F., Senevirathne, R., Gissendanner, C., Manaois, R., Prudente, A., King, J. y Martin, R. 2010. Resistant Starch, Fermented Resistant Starch, and Short-Chain Fatty Acids Reduce Intestinal Fat Deposition in *Caenorhabditis elegans*. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 58, 4744-4748.

Zhou, X., Chung, J., Kim, J. y Lim, S. 2013. In vitro analyses of resistant starch in retrograded waxy and normal corn starches. *International Journal of Biological Macromolecules*. 55, 113-117.