

## ALMIDÓN RESISTENTE EN LOS ALIMENTOS

### RESISTANT STARCH IN FOOD

UGARTE M., GIRAUDO, M., PAVESI R., SÁNCHEZ TUERO H., BEAUFORT C., MENÉNDEZ, J.

Universidad Nacional de Lanús, Carrera de Ciencia y Tecnología de los Alimentos.  
29 de Septiembre 3901, Remedios de Escalada, Lanús, Provincia de Buenos Aires, Argentina.  
Correspondencia: [mgiraud@unla.edu.ar](mailto:mgiraud@unla.edu.ar)

#### RESUMEN

El almidón, constituido por amilosa y amilopectina, es el biopolímero más abundante en las plantas y por lo tanto es fuente de gran parte de los carbohidratos de la dieta.

Durante muchos años se consideró que la digestión y absorción del almidón en el tracto digestivo era casi completa. En la presente revisión se expone cómo, en función de la evolución que sufrió el concepto de fibra dietaria debido a los métodos para determinar fibra y los actuales conocimientos sobre cómo se modifica el almidón (natural o tecnológicamente), surge el llamado Almidón Resistente (AR).

Desde un punto de vista fisiológico, se considera al AR como fibra soluble, ya que es almidón no hidrolizado en el tubo digestivo, fermentable en el intestino grueso por bifidobacterias.

Todo esto representa un beneficio para la salud humana dado que mejora la microbiota del colon, favorece el metabolismo del colesterol, regula el crecimiento y función de las células intestinales, entre otros beneficios.

Existen varios tipos de AR que dependen de la fuente alimentaria. Se describen las técnicas más usadas para su determinación y se exponen las diferencias que se aprecian en su contenido en los alimentos, en función del procedimiento tecnológico aplicado y al tiempo de almacenamiento.

#### Palabras clave

Fibra dietaria, almidón resistente, metodología analítica, aspectos nutricionales

English

#### RESISTANT STARCH IN FOOD

##### SUMMARY

*Starch, containing amylose and amylopectin, is the most abundant biopolymer in plants and, therefore, represents one of the main sources of carbohydrates in the diet.*

*For several years, it was believed that the digestion and absorption of starch in the digestive tract was almost complete. In this review we explain how the concept of Resistant Starch (RS) appears as a result of the evolution of the basic concept of this fiber, the methods to determine it and the current knowledge on how starch can be naturally or technologically altered.*

*From a physiological point of view, RS is considered a soluble fiber as it is non-hydrolyzed in the digestive tube and bifidobacteria-fermentable in the large intestine.*

Português

#### AMIDO RESISTENTE NOS ALIMENTOS

##### RESUMO

*O amido, constituído de amilose e amilopectina, é o biopolímero mais abundante nas plantas e, portanto, fonte de grande parte dos carboidratos da dieta.*

*Durante muitos anos, considerou-se que o amido era digerido e absorvido quase por completo no trato digestivo. Nesta revisão, expõe-se como surgiu o denominado de Amido Resistente (AR) em função da evolução que sofreu o conceito de fibra alimentar devido aos métodos para determinar fibra e aos conhecimentos atuais sobre o modo de modificação do amido (natural ou tecnologicamente).*

*De um ponto de vista fisiológico, o AR é considerado fibra solúvel, já que se refere a amido não hidrolisado no tubo digestivo, fermentável no intestino grosso por bifidobactérias. Tudo isto proporciona um benefício para a saúde humana, visto que melhora a microbiota retal, favorece o metabolismo*

*This represents a benefit for human health as it improves colon microbiota and cholesterol metabolism, and controls the growth and operation of intestinal cells, among other benefits.*

*There are many types of RS depending on the food source. The commonly used methods to determine these types of RS are described in this review. Also its presence in different foods, according to storage time and technologies applied, is stated.*

**Key words:** diet starch, resistant starch, analytic methodology, nutritional aspects

*do colesterol, regula o crescimento e a função das células intestinais, entre outros benefícios.*

*Existem vários tipos de AR que dependem da fonte alimentar. Neste artigo, descrevem-se as técnicas de determinação mais usadas e expõem-se as diferenças percebidas no seu conteúdo nos alimentos em função do procedimento tecnológico aplicado e do tempo de armazenagem.*

#### **Palavras-chave**

*Fibra alimentar, amido resistente, metodologia analítica, aspectos nutricionais*

## **INTRODUCCIÓN:**

Para poder comprender las propiedades del almidón resistente (AR) de la fibra dietaria insoluble, es necesario hacer una breve síntesis de la estructura del almidón, lo mismo que de la pared celular presente en las frutas y hortalizas. También, es menester realizar una revisión histórica de los diferentes métodos usados para la cuantificación de la fibra en los alimentos.

### **Estructura del almidón:**

Es el biopolímero más abundante de las plantas y se presenta como gránulos en el cloroplasto de las hojas verdes y en el amiloplasto de semillas, hortalizas y tubérculos.

Existe una excelente referencia bibliográfica sobre la descripción de este biopolímero en Sajilata *et al.* (2006) donde se puede apreciar la estructura química y las propiedades funcionales de la amilosa y de la amilopectina, como también los distintos modos de clasificar al almidón nativo de acuerdo con la difracción de rayos X, la acción de las enzimas y las características nutricionales.

En la clasificación de estos autores, cuando describen la acción de las enzimas y las características nutricionales, aparece la definición de AR (ver más adelante).

Con fines puramente didácticos, se divide la pared celular en:

**1.Pared celular primaria:** desde 0,5 a 1  $\mu\text{m}$  de espesor. Sus componentes principales son:

**a.** Celulosa: de 20-30 % de materia seca (MS). Es el biopolímero más abundante de la tierra y sus uniones son tipo  $\beta$ -1-4. Este polímero, en solución, constituye un gel llamado micela, mientras que en estado sólido presenta una región cristalina (70 %) en conjunto con la lignina como matriz lignocelulósica. El mismo alterna con una región menos ordenada que es amorfa. En pocas palabras, la celulosa es un polimorfo: la

forma I es la nativa; la II es cuando se la trata con hidróxido de sodio; la III se presenta al tratarla con amoníaco y finalmente la IV en presencia de agua caliente.

**b.** Hemicelulosas: de 7-10 % MS.

Son un grupo heterogéneo de polisacáridos constituyentes de las paredes celulares de las plantas superiores, los que en general están unidos por covalencias y no covalencias a celulosa y lignina.

La estructura de las hemicelulosas varía según el origen, pero es posible clasificarlas en varios grupos según sea la cadena principal:

D-mananos: uniones  $\beta$ -D-manosa (1 $\rightarrow$ 4)

D-xilanos: uniones  $\beta$ -D-xilosa (1 $\rightarrow$ 4)

D-xiloglucanos: con residuos de D-xilopiranososa unidos a la cadena celulósica.

D-galactanos con uniones (1 $\rightarrow$ 3)  $\beta$ -D galactosa.

Los tres primeros son muy similares a la celulosa ya que tienen uniones 1 $\rightarrow$ 4 y además son capaces de tomar forma de cinta extendida. De todos modos, muchas de las hemicelulosas están sustituidas por residuos de hidratos de carbono o no hidratos de carbono y, a diferencia de celulosa, son heteropolisacáridos.

Una división relativamente útil es describir la presencia de hemicelulosas atrapadas en la matriz lignocelulósica (representa la fibra dietaria insoluble) y las hemicelulosas no atrapadas en dicha matriz (fibra dietaria soluble).

**c.** Proteínas: 2-5 % MS. En general son glucoproteínas ricas en hidroxiprolina.

**d.** Pectinas: 0,5- 1 % MS. Es el ácido  $\alpha$  D poligalacturónico metoxilado y amidado básicamente. El polímero contiene cadenas laterales de arabinosas, ramosas, xilosas, manosas.

**e.** Sustancias fenólicas, constituidas básicamente por las ligninas: 5 % MS, asociada a las hemicelulosas formando la matriz correspondiente.

**2.Pared celular secundaria:** es un espesamiento de la

pared anterior en donde se deposita básicamente celulosa, xilano, lignina y glucomanos. Su espesor es de aproximadamente 5-10  $\mu\text{m}$ .

**3.Lamela central:** se ubica en el medio de la pared celular de las células vegetales y la misma está cementada con pectina. Contiene aproximadamente 20 % de hemicelulosas atrapada/no atrapada en la matriz lignocelulósica. El resto lo constituye la matriz en sí misma.

### **Breve reseña de los métodos usados para determinar la fibra presente:**

#### **Fibra cruda por Método Weende:**

Desde 1859 a 1955, la fibra fue determinada por Stohmann y Rautenberg en forrajes en la Estación Experimental de Weende, Alemania. Corresponde a la FIBRA BRUTA o CRUDA o FIBRA WEENDE y su esquema básico se puede describir como sigue:

La muestra seca se divide en dos partes:

A la primera se le determina el contenido en proteínas por Kjeldahl (será la proteína bruta o cruda).

A la segunda se la trata con n-hexano de modo de extraer y cuantificar las grasas (a la fracción obtenida se la llama Extracto Etéreo por ser éter el solvente primeramente usado por los autores). El residuo sin grasa se refluja con ácido sulfúrico 1,25 % (simulando la acción del estómago) y después con hidróxido de sodio 1,25 % (simulando la acción del intestino delgado). Se filtra. La parte soluble representa los azúcares a los que se los denominó Extracto Libre de Nitrógeno (ELN). El residuo insoluble, constituyente de la fibra bruta o cruda, se pesa. Se le deben restar las cenizas (minerales) presentes calentando la muestra a 550 °C. La desventaja principal del método es que la fibra bruta representa solamente celulosa y lignina. Posteriormente, al quedar en evidencia que el residuo no digerido era mayor que los valores de fibra bruta, el método se cambió por

#### **Fibra van Soest o Fibra Detergente:**

Corresponde al residuo que se obtiene después de tratar consecutivamente el alimento con detergentes neutro y ácido. El detergente ácido usado que se usa es cetrimida (bromuro de cetiltrimetilamonio en medio ácido sulfúrico diluido) y el detergente neutro es laurilsulfato de sodio en un buffer.

El alimento seco y desengrasado se trata con el detergente neutro: la parte soluble está compuesta por los componentes celulares (lípidos, azúcares, almidón, Nitrógeno No Proteico (NNP) y proteínas solubles). La parte insoluble se trata con el detergente ácido: la fracción soluble contiene las hemicelulosas y la insoluble la celulosa, lignina y cenizas.

Los valores de fibra van Soest se siguen usando en alimentación animal pero no son válidos en la humana

porque no se correlacionan con los hidratos de carbono no digeribles, especialmente los solubles.

A partir de 1980 aparece el concepto de fibra dietaria, de los cuales se pueden citar como los más conocidos el método Prosky (gravimétrico-enzimático) y el método químico de Englyst y Cummings.

#### **Fibra Prosky o Fibra dietaria o fibra fisiológica:**

Este método permite obtener la celulosa presente y la eventualmente agregada, lignina, hemicelulosas atrapadas y no atrapadas en la matriz lignocelulósica, pectinas e hidrocoloides agregados y el AR.

La fibra dietaria total (AOAC 991.43 y 985.29; AACC 32-07 y 32-05) se aplica a granos de cereales, frutas y hortalizas, alimentos en general y se fundamenta en que la muestra seca y desengrasada (para contenidos superiores al 10 % en grasa) se dispersa en un buffer de pH 8,2 a 24 °C. Se agrega a continuación la enzima  $\alpha$ -amilasa estable al calor (100 °C, 35 minutos) para lograr la gelatinización, hidrólisis y despolimerización del almidón.

A continuación se agrega la enzima proteasa (60 °C y pH 7,5 durante 30 minutos) para solubilizar y despolimerizar las proteínas.

La última enzima agregada para obtener glucosa libre es la amiloglucosidasa, glucoamilasa o enzima sacarificante a 60 °C, pH 4,5 y 30-60 minutos, de modo de hidrolizar los fragmentos de almidón.

Terminada la acción de las enzimas, se le agrega a la solución 4 volúmenes de etanol 95 % a 60 °C, con lo que la fibra total precipita. Se lava el residuo con etanol 78 %, después 95 % y finalmente acetona para secarlo. Finalmente se pesa.

Al residuo obtenido se le debe determinar proteínas por Kjeldahl y cenizas (525 °C) que deberán restarse de la fibra dietaria total.

#### **Fibra dietaria soluble e insoluble:**

(Aplicable a alimentos procesados, materias primas, productos de la industria cerealera, frutas y hortalizas, etc.)

El tratamiento con enzimas es idéntico al descrito anteriormente y el cambio se produce al finalizar el procedimiento: se calienta la solución obtenida en baño maría a 60 °C durante 30 minutos.

Se filtra la solución y se lava el residuo con agua a 70 °C: el filtrado (Fibra dietaria soluble) se trata con 4 volúmenes de etanol 95 % a 60 °C, dejando precipitar durante una hora. Se filtra y seca (determinar en el residuo la proteína y la ceniza presente que se deberán restar).

Al residuo obtenido de la filtración anterior (Fibra dietaria insoluble) se le deberá descontar el contenido de proteína y cenizas.

En la fibra dietaria soluble se encuentran las hemicelulosas no atrapadas en la matriz lignocelulósica, las pectinas nativas y los hidrocoloides agregados

en el alimento en cuestión.

En la fibra dietaria insoluble se hallan la celulosa presente, la celulosa eventualmente agregada como aditivo, lignina, hemicelulosas atrapadas en la matriz lignocelulósica y el AR.

En la bibliografía presentada se encuentran tablas comparativas de los datos obtenidos de fibra cruda y de fibra dietaria total.

El método Prosky es un método oficialmente aceptado para alimentos a pesar que resta material no identificado en el residuo que puede aumentar los valores de la fibra. Además, la filtración puede ser dificultosa si el material es muy viscoso.

Es muy importante que el material sea molido suficientemente y de una manera estándar sino los valores de AR cambiarán.

Las fuentes de error que presenta este método son:

- Los tratamientos enzimáticos se realizan a 60 y 100 °C y esas temperaturas son muy diferentes a las fisiológicas: los resultados de fibra soluble e insoluble no serán concordantes con los datos reales.
- Los resultados obtenidos corresponden exclusivamente a alimentos secados, molidos y calentados a 100 °C, es decir hervidos (y así no se ingieren los alimentos).
- El tratamiento con la primera y la tercera enzima elimina el almidón, pero siempre queda una parte de AR en la fibra insoluble.
- En los residuos de fibra aparecen constituyentes que no son fibra y, simultáneamente, algunas pectinas y hemicelulosas pueden perderse durante los lavados.
- La determinación de cenizas y proteínas no son adecuados cualitativamente ni cuantitativamente desde un punto de vista tanto estadístico como matemático.
- El método Prosky se ha desarrollado exclusivamente para cereales y alimentos con alto contenido en almidón, por lo que no es totalmente válido para frutas y hortalizas.

### Fibra Englyst:

Son varias las referencias seguidas por este autor y sus colaboradores (Southgate, 1969; Englyst *et al.*, 1982; Faulks y Timms, 1985; Englyst y Hudson, 1987; Englyst *et al.*, 1994).

En este método, se digiere la muestra con dimetilsulfóxido en presencia de numerosas enzimas a diferentes pH con el objetivo central de destruir los polisacáridos amiláceos: amilasa pancreática, amiloglucosidasa, pululanasa, etc.

Se filtra, se miden los productos de la hidrólisis por colorimetría, GLC, HPLC y los mismos corresponden a los polisacáridos no amiláceos (PNA) totales, incluyendo fracciones solubles e insolubles.

El mismo Englyst observó diferencias entre los conte-

nidos de PNA presentes en los alimentos procesados y las materias primas usadas en su preparación (siendo mayores los valores de los primeros) (Cummings y Englyst, 1991; Englyst *et al.*, 1992). Evidentemente que dicha diferencia no era debida al procesado y por lo tanto surgió el concepto de ALMIDÓN RESISTENTE definido como el almidón no hidrolizado (y no absorbido) en el tracto digestivo (intestino delgado) de individuos sanos. Como ésta es una definición fisiológica, antes que química, el AR tiene funciones fisiológicas similares a la fibra dietaria (Asp, 1994; Eerlingen y Delcour, 1995). En su análisis se deberán tener en consideración una gran cantidad de situaciones que afectan a la digestibilidad del almidón, siendo difícil desarrollar un método *in vitro* que lo simule.

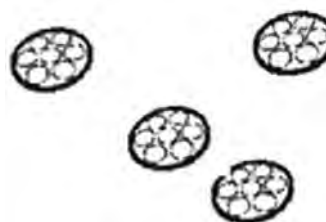
El AR es un componente minoritario de los alimentos naturales, pero está presente en su mayoría en los alimentos procesados y en donde se han producido cambios que a continuación se describen (en Sajilata *et al.*, 2006 se proponen métodos para cuantificar cada fracción):

### Almidón resistente tipo I:

Es el almidón que está protegido físicamente o también está encapsulado o atrapado en una matriz (ver Figura 1). Son ejemplos los granos particulares presentes en el almidón de las leguminosas, en donde no hay una molienda exhaustiva o cuyo procesado no implica una rotura de la estructura grande, es decir en los granos y semillas enteros o parcialmente molidos.

FIGURA 1:

Estructura del AR Tipo I (adaptada de Asp y Bjorck)



### Almidón resistente tipo II:

Es el almidón presente en un número limitado de alimentos (son los almidones nativos) como los que contienen las papas crudas, las bananas verdes y el grano de maíz de alta amilosa (ver figura 2). Como el primero se consume cocido y las bananas se ingieren maduras, estas dos fuentes no son importantes desde el punto de vista nutricional. Con relación al grano de maíz, éste es uno de los productos más vendidos como fuente de AR (prebiótico) ya que posee una pared particularmente resistente a las enzimas digestivas.

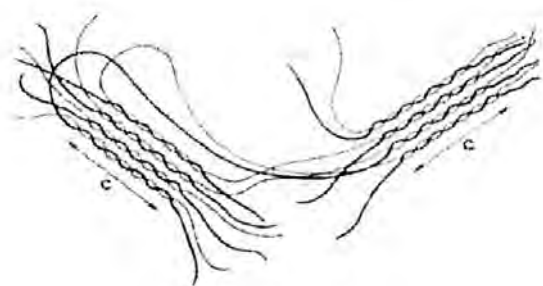
FIGURA 2:  
**Estructura del AR tipo II (adaptada de Asp y Bjorck)**



### Almidón resistente Tipo III:

Corresponde al almidón que por el proceso tecnológico, se ha gelatinizado y posteriormente se ha enfriado, estando por lo tanto retrogradada la amilosa fundamentalmente, es decir que esta molécula ha pasado de un estado amorfo a otro cristalino (ver figura 3). Corresponde a los alimentos que han sido calentados y posteriormente enfriados en donde existe una matriz tridimensional de material indigestible con regiones ordenadas inaccesibles a la enzima. El pan obtenido con la harina de trigo, con harina de maíz y con papas cocidas que han sido luego 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.

FIGURA 3  
**(adaptada de Asp y Bjorck): Representación esquemática del AR tipo III formado por amilosa en solución (modelo micelar).**

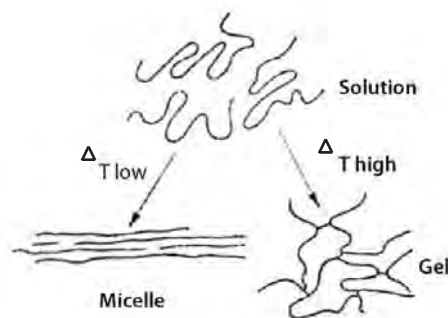


Las dobles hélices están ordenadas en estructuras cristalinas C, sobre una región particular de la cadena mezcladas con regiones amorfas que son atacadas por la enzima.

### Almidón resistente tipo IV:

Son los almidones modificados químicamente por enlaces éteres, éster y entrecruzados, lo que los hace difíciles de cocinar como también de digerir (ver figura 4).

FIGURA 4  
**(adaptada de Asp y Bjorck): Comportamiento de la molécula de amilosa durante el enfriamiento de una solución acuosa concentrada.**



El AR NO es un aditivo, sino que es un componente natural de la dieta. Como se observa en la clasificación anterior, algunos cereales y legumbres pueden aportar AR en cantidades variables. La misma depende, entre otros factores, del proceso tecnológico que han experimentado, de la mayor susceptibilidad del almidón al ataque enzimático asociado a una pérdida de la integridad del gránulo, de la cristalización de sus integrantes (particularmente amilosa), de la presencia de otras especies químicas capaces de interactuar con el almidón, etc.

El carácter indigestible del AR ha generado dificultades para definir el concepto de fibra dietaria. De todos modos, el método Prosky lo engloba en la fibra dietaria insoluble. Englyst prefiere no incluir el AR en el análisis de fibra dietaria. Para ello se han propuesto diferentes técnicas para valorarlo *in vitro* que, en principio debieran correlacionar con las metodologías *in vivo*, realizadas en pacientes con ileostomía (sin intestino grueso). Las más usadas son:

1. Champ. et al (2001):

Preparación de la muestra: por molienda que pase el tamiz de 9 mm.

Enzimas usadas: amilasa pancreática y amiloglicosidasa.

Digestión de la muestra: no se realiza tratamiento con pepsina. La misma se dispersa en un buffer de pH 5,25 a la que se agrega la amilasa pancreática y la amiloglicosidasa.

Separación del AR: con etanol 95 % que la precipita. Después se lava con etanol 80 %.

Digestión del AR: se suspende el residuo en agua hirviendo, se enfría a 0 °C y se añade KOH para extraer el AR. Se le agrega amiloglicosidasa y se deja actuar. Medición del AR: la glucosa se libera mediante la enzima glucosa oxidasa.

Nota general: es un método sencillo que no usa pepsina para digerir la muestra y sí usa 2 veces la enzima glucosidasa para reducir los subproductos que inhi-

be la amilasa. Presenta correlación con el método *in vivo*.

## 2. Mc Leary et al (2002):

Pretratamiento de la muestra: las muestras congeladas son molidas de modo de pasar el tamiz de 1 mm. Si la misma es fresca se la lleva a 4 mm.

Enzimas usadas: la muestra se trata con amilasa pancreática en un buffer de pH 6 y posteriormente con la enzima amiloglucosidasa.

Separación del AR: con metanol 99 %. El residuo obtenido se resuspende con el mismo alcohol.

Digestión del AR: el residuo se dispersa en KOH y entonces se agrega amiloglucosidasa con posterior incubación.

Medición del AR: por acción de la enzima glucosa-oxidasa que libera glucosa.

Nota general: el método es reproducible y sencillo, pero fuertemente influenciado por el tamaño de la molienda. Es el método oficial adoptado por AOAC que correlaciona con el método *in vivo*.

### Importancia nutricional del AR:

Según Englyst et al. (1992), en función a la velocidad y grado de hidrólisis del almidón provocado por la  $\alpha$ -amilasa, se clasifica al almidón en tres tipos:

- Almidón rápidamente digerible
- Almidón lentamente digerible
- Almidón resistente

Existen múltiples factores que influyen en la digestibilidad del almidón, entre ellos el grado de dificultad que presente la estructura química y conformación espacial de la molécula para la llegada 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.

La llegada del AR al intestino delgado y grueso, genera una serie de cambios que tienen efectos beneficiosos en la salud gastrointestinal, entre ellos:

- 1) Favorecer la producción de ácidos grasos de cadena corta.
- 2) Generar un pH bajo en el colon.
- 3) Disminuir el tiempo del tránsito intestinal, de modo de diluir los carcinógenos fecales, por reducción del tiempo y nivel de exposición en la mucosa colónica.
- 4) Incrementar la masa del bolo fecal.
- 5) Generar una menor densidad energética en el alimento consumido, pero manteniendo la densidad de nutrientes del mismo.
- 6) Incrementar, en el intestino delgado, la renovación del epitelio celular.

Comparado con la fibra dietaria, la fermentación del AR produce una mayor proporción de ácido butírico

en el intestino grueso, generando de este modo un beneficio del 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.

También aumenta la producción de otros ácidos orgánicos de cadena corta, como son los ácidos láctico, succínico y propiónico. Por ello actúa como prebiótico, favoreciendo el desarrollo de bifidobacterias (bacterias benéficas).

El AR, a pesar de ser un constituyente mayoritariamente insoluble, por su **potencial fermentabilidad en el intestino grueso**, se podría englobar dentro de los compuestos que constituyen la fibra dietética soluble.

Presenta además otros beneficios por ejemplo:

- Mejorar el metabolismo del colesterol.
- Disminuir la respuesta glucémica (aumento de la glucemia post- ingesta), e insulinémica (liberación pancreática de insulina post-ingesta). La insulina postprandial disminuye un 33% al consumirse AR.
- Disminuir los triglicéridos plasmáticos (al igual que otros prebióticos): reduce la incidencia de aterosclerosis.

Si bien el AR es considerado menos efectivo que las fibras solubles (gomas, pectinas, y algunas hemicelulosas) en su capacidad de interferir con la absorción de lípidos en el intestino delgado, es en el intestino grueso donde es más efectivo que las otras fibras solubles, ya que tiene la capacidad de promover la fermentación ácida por la microflora. Esto favorece la insolubilización de los ácidos biliares que no pueden ser reabsorbidos en la circulación enterohepática, pero aún falta conocer más acerca de este mecanismo.

Varias investigaciones indican que el AR juega un rol regulador en los valores de trigliceridemia postprandial y en las concentraciones de colesterol plasmático. Entre los alimentos con AR podemos mencionar: almidón de papa cruda (85% en base seca), Harina de plátano verde (57%), porotos tipo alubia cocidos durante 40 min. (18%), lentejas -cocción 20 min- (9%), papa cocida y fideos recién cocidos (5%).

Cuanto más días pasan de la cocción, o si se somete al alimento a cocción y enfriado posterior, el contenido de AR se incrementa. Por ejemplo: el almidón de ciertos granos y legumbres cocidos por inmersión o por vapor, aumentó el contenido de AR retrogradado tres veces más que en el grano crudo.

Cuando a los alimentos, luego de la cocción, se los almacena a -20°C durante 30 días, el contenido de AR se incrementa considerablemente. Por ejemplo, las papas pasaron de 3,38 a 7,35% (materia seca) en la muestra almacenada. También los porotos pasaron de 4,75 % a 6,99%. El pan blanco y la pasta seca blanco mostraron incrementos menores, respecto del producto crudo, de 0,78% a 0,84% y de 1,38% a 2,22% respectivamente.

Respecto del procesamiento industrial, por ejemplo el secado y el enlatado disminuyen el contenido de AR. Los procesos térmicos, como la extrusión-, aumentan el contenido de AR.

Diversos autores han calculado que, además de la fibra dietaria, cerca de 40 g. diarios podrían ser requeridos para mejorar el crecimiento bacteriano. Se ha sugerido que el 5-10% del almidón escapa a la digestión y

absorción, con diferencias interindividuales.

#### Fuentes comerciales de AR:

Con el fin de obtener mayores rindes de AR, es ventajoso utilizar como materia prima almidón nativo con alto contenido de amilosa.

En la tabla I se presentan los AR comerciales a nivel mundial:

TABLA 1  
**Listado de almidones resistentes del mercado**

Nombre Comercial	Fabricante	Uso	%AR
Hi-maize	National Starch & Chem Co.	Panadería	42
CrystaLean	Opta Food Ingredients	Prod. para diabéticos	41
Novelose 240,260,330	National Starch & Chem Co.	Pasta, cereales, snacks	60
Amilomaize VII	Cerestar Inc.	Pan	s/d
Actistar	Cerestar Inc.	Pan, biscuits, barra cereal	58
Fibersym HA,70,80ST	MGP Ingredients	Pan, pizza, galletas, waffles	s/d
Nutriose FB	Roquette Freres, Francia	Es soluble	s/d
Fibersol-2	ADM/Matsutani	Dieta restringida en carbohidratos	s/d

#### Conclusiones:

El AR no es una entidad química sino fisiológica ya que está referida al tracto digestivo de una población de individuos sanos. Hacemos notar que los métodos *in vitro* pueden ayudar a una mayor comprensión siempre y cuando no se confunda el concepto fisiológico con el químico.

Actualmente el AR es un ingrediente comercial que se obtiene principalmente de granos de maíz de alta amilosa.

El AR es un componente de los alimentos. El objetivo de considerarlo como tal debiera estar relacionado a su funcionalidad, estabilidad del procesado y al aspecto nutricional. El primero de ellos implica conceptos como textura, capacidad de retención de agua, etc. 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 y la fermentación en el colon.

Respecto de la categorización del AR en cuatro grupos, dichas categorías son sólo didácticas. La digestión de los materiales conteniendo almidón puede ser manipulada ya sea física como químicamente, por eso es necesario investigar los procesos y la naturaleza de los productos obtenidos. Eventualmente debiéramos poder diseñar y producir materiales amiláceos con una velocidad y posibilidad deseable de digestión y para los almidones no digeribles, características deseables de fermentación en el colon.

El AR está siendo estudiado por sus beneficios para la salud y sus propiedades funcionales. Como fibra funcional, sus finas partículas y su consistencia blanda mejoran la formulación con respecto a las fibras tradi-

cionales, lo que lleva a una mayor aceptabilidad por el consumidor. También mejoran la cualidad crocante y el volumen (agente de cuerpo) de ciertos alimentos, y en otros se beneficia el gusto, color y sabor. Es ideal para cereales, snacks, pastas, productos horneados y fritos con propiedades nutraceuticas particulares. Es un prebiótico por tener efectos benéficos en el huésped ya que estimula el crecimiento selectivo y/o la actividad de una ó más bacterias en el colon. Siendo no digerible, el AR puede ser usado en formulaciones reducidas en grasas y azúcar, ya que tiene propiedades similares a la fibra y muestra beneficios fisiológicos promisorios en humanos tal como prevención de enfermedades, disminución de la absorción de tóxicos, aumento de la absorción de minerales, etc. Los alimentos que contienen altas concentraciones de AR aportan pocas calorías y bajan la carga glucémica, característica interesante para diabéticos y aquellos que realizan dietas hipocalóricas. 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 calentado y enfriado, congelado y secado, etcétera.

## Bibliografía

- American Association of Cereal Chemists. (2001), The definition of dietary fiber. Report of the Dietary Fiber Definition Committee of the board of directors of the American Association of Cereal Chemists, *Cereal Food world*;46:112-126.
- Asp N. and Bjorck I., (1992), Resistant starch, *Trends Food Sci. Technol*;3:4-13.
- Asp N. (1994), Nutritional classification of food carbohydrates, *Am J Clin Nutr*; 59;5:679-81.
- Champ, M., *et al*, In vivo techniques to quantify resistant starch, in *Complex carbohydrates in foods* en Cho, S., Prosky, L., Dreher, Eds, Marcel Dekker, NYC, 1999; 157.
- Champ, M., Kozlowski, F., Lecannut, G., (2001) In vivo and in vitro methods for resistant starch measurement, in *Advanced Dietary Fiber Technology*, McCleary, B., and Prosky, L. - Blackwell Science Ltd.; Oxford;106.
- Champ, M., Langkild, A., Brouns, F., *et al*, (2003a), Advances in dietary fibre characterization. 1. Definition of dietary fibre, physiological relevance, health benefits and analytical aspects. *Nutr. Res. Rev.*;16:71-82.
- Cho S., Dreher M. (2001), *Handbook of dietary fiber*, cap. 8, 9, 10, 11, M. Dekker, NYC.
- Cummings J., Englyst H. (1991), Measurement of starch fermentation in the human large intestine, *Cann J Physiol Pharmacol*;69:121-129.
- Cui S. (2005), *Food carbohydrates*, cap. 6 y 7, CRC Press, Boca Raton.
- Eerlingen R., Delcour J. (1995), Formation, analysis, structure and properties of Type III enzyme resistant starch, *J Cereal Chem Sci*;22:129-138.
- Englyst, H. and Hudson G., (1987), Colorimetric method for routine measurement of dietary fibre as non-starch, *Food Chemistry*;24:63-76.
- Englyst H., Kingman S., Cumming J. (1992), Classification and measurement of nutritionally importance starch fraction, *Eur J Clin Nutr*;46;S:33-S:50
- Englyst, H. N., Quigley, M. E. & Hudson, G. J. (1994) Determination of dietary fibre as non-starch polysaccharides with gas-liquid chromatographic, high-performance liquid chromatographic or spectrophotometric measurement of constituent sugars. *Analyst*; 119: 1497-1509
- Faulks, R. M. & Timms, S. B. (1985). A rapid method for determining the carbohydrate component of dietary fibre. *Food Chemistry*;17:213-287.
- Lajolo F, Wenzel de Menezes E. (2006), *Carbohidratos en alimentos regionales iberoamericanos*, cap. 3, EDUSP, San Pablo.
- Mc Cleary B., Mc Nally M., Rossiter P. (2002), Measurement of resistant starch by enzymatic digestion in starch and selected plant material. A collaborative study, *J AOAC Intl*;85:1103-1110.
- Mc Cleary B., Monaghan, D. A., (2002), Measurement of resistant starch, *J Anal Off Anal Chem*;85:665-675.
- Nollet L., (2002), *Handbook of Food Analysis*, vol. 1, cap. 13 y 22, M Dekker, NYC.
- Prosky, L., *et al*, (1988), Determination of total dietary fiber in foods and food products: collaborative study, *J Assoc Off Anal Chem*;71:1017-1023.
- Sajilata M., Singhal R., Kulkarni P. (2006), *Comprehensive reviews in food science and food safety*, Institute of Food Technologist;5:1-17.
- Southgate D. (1969, Determination of carbohydrates in foods. Unavailable carbohydrate. *J Sci Food Agric*;20:331-335.
- Spiller G. (2001), *CRC Handbook of Dietary Fiber in Human Nutrition*, cap. 2.1, 2.4, 2.5, y 7.3, CRC Press, Boca Raton.