

LOS ALMIDONES RESISTENTES Y LA SALUD

Carmen Carla Quiroga Ledezma

*Centro de Investigaciones Agrícolas y Agroindustriales Andinas – CIAAA
Universidad Privada Boliviana*

ccquiroga@upb.edu

(Recibido el 7 de septiembre 2009, aceptado para publicación el 21 de noviembre 2009)

RESUMEN

El cambio en los hábitos alimenticios es uno de los factores responsables para el incremento en los niveles de obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares e intestinales. Estas tendencias globales han despertado preocupación e interés en la comunidad científica y público en general que han centrado su atención en los macronutrientes (carbohidratos, proteínas y grasas), particularmente en el uso de fibra dietética: fibra dietética soluble, almidón resistente, y carbohidratos de digestión lenta. Investigaciones realizadas sobre almidones resistentes muestran una relación entre la velocidad de degradación de los carbohidratos durante la digestión y la regulación de los niveles postprandiales de azúcar en la sangre e insulina, y el funcionamiento saludable del sistema gastrointestinal.

Para una mejor comprensión de los almidones resistentes y su efecto en la salud se hizo una revisión bibliográfica de los trabajos publicados: estructura del almidón, tipos de modificaciones a la estructura del almidón, digestión del almidón, tipos de almidones, consecuencias fisiológicas del almidón resistente y tendencias futuras.

Palabras Clave: Almidón Resistente, Almidón Lentamente Digerible, Fibra Dietética, Índice Glucémico/Índice Glicémico, Cáncer Colorectal/Cáncer de Colon.

1. INTRODUCCION

El almidón es la mayor reserva de energía en las plantas y representa una de las fuentes principales de energía para animales y seres humanos [1-3]. Por muchos años, alimentos vegetales ricos en almidón fueron parte importante del alimento básico de muchas culturas, aunque hoy en día, especialmente en los países desarrollados, han sido desplazados por alimentos ricos en grasa y/o proteína [4]. Algunos estudios muestran que el cambio en el estilo de vida, cambios en los hábitos alimenticios y falta de actividad física, han influido en el incremento del número de personas que sufren problemas de obesidad, diabetes, enfermedades cardiovasculares y gastrointestinales, particularmente cáncer colorectal, [5], [6], [7], [8], [9], [10].

La diabetes *mellitus* afecta a millones de personas en el mundo, según datos del Organismo Mundial de la Salud (OMS) el año 2000 habían alrededor de 171 millones de personas que padecían esta enfermedad [8]. En los países desarrollados se estima que 1 de cada 4 personas tiene resistencia a la insulina, diabetes *mellitus* tipo 2 [5]. Uno de los factores de riesgo para el desarrollo de esta enfermedad es la obesidad que se ha acelerado en las últimas décadas, por ejemplo en Estados Unidos que tiene la tasa más alta de obesidad en el mundo desarrollado, 1 de cada 3 personas es considerada obesa y más alarmante aún es el número de niños con sobrepeso, que se ha incrementado en un 50 % en los 10 últimos años [6]. La diabetes también se ha convertido en un problema de salud pública en Bolivia, 1 de cada 10 bolivianos padece esta enfermedad [11].

El cáncer colorectal afecta también a millones de personas a nivel mundial, según datos de la Agencia para la Investigación del Cáncer de Francia se registran aproximadamente 1 millón de nuevos casos de cáncer y medio millón de muertes cada año [10]. Si bien esta enfermedad tiene una mayor incidencia en los países desarrollados, se ha detectado que hoy en día los índices y tasas de mortalidad de cáncer colorectal están en descenso debido a un diagnóstico precoz, mejor tratamiento y cambios en la alimentación [12], [13]. En Bolivia el cáncer de colon es uno de los cinco tipos de cáncer más frecuente en la población masculina [14].

En este contexto, fracciones no digeribles de almidón (almidón resistente) han mostrado tener funciones fisiológicas favorables sobre estas enfermedades [15], [16] y debería ser incluida en la dieta humana a través de la ingesta de alimentos no procesados y procesados que contienen almidón con calidad nutricional, lenta digestibilidad y bajo índice glucémico (IG). Hoy en día buena parte de los alimentos que se consumen son procesados e.g. en los países desarrollados casi el 80 % de los alimentos que se consumen son procesados [17], por eso, el rol de la industria de alimentos es sumamente importante en la implementación de una nutrición saludable. Si bien es cierto que se han hecho esfuerzos para ofrecer alimentos que contengan menos energía, grasa, sal, colesterol, azúcar y más minerales, vitaminas y fibra, aún queda mucho por hacer en el desarrollo de nuevos productos y/o la modificación de la producción y

procesamiento de productos tradicionales para ayudar a los consumidores a alcanzar las recomendaciones dietéticas más fácilmente y de manera saludable.

2. ESTRUCTURA DEL ALMIDON

El almidón está presente en la naturaleza como complejas partículas discretas (gránulos). Químicamente es una mezcla de dos polisacáridos muy similares: amilopectina y amilosa. La amilopectina es un polímero ramificado mientras que la amilosa es casi lineal. Ambos polímeros poseen diferentes propiedades y por tanto tienen diferentes aplicaciones [18], [10], [20].

La amilopectina es el principal componente de muchos almidones y está formada por unidades glucosídicas (α -D-glucosa) conectadas por enlaces α -(1 \rightarrow 4) y α -(1 \rightarrow 6) en los puntos de ramificación, Figura 1. El peso molecular de la amilopectina está en el orden de 10^7 - 10^9 Da, cada ramificación contiene entre 20 a 30 unidades glucosídicas y el grado de polimerización es de cerca de 2 millones de unidades; su gran tamaño y naturaleza ramificada reducen su movilidad e impiden una orientación adecuada y acercamiento suficiente de las moléculas para la formación de enlaces de hidrógeno entre ellas. El gránulo de almidón contiene regiones cristalinas y no cristalinas en capas alternas, es el ordenamiento de las cadenas de amilopectina las que forman las regiones cristalinas. La estructura molecular de la amilopectina es descrita por el modelo del clúster, Figura 2, [21],[22], [23], [24], [25].

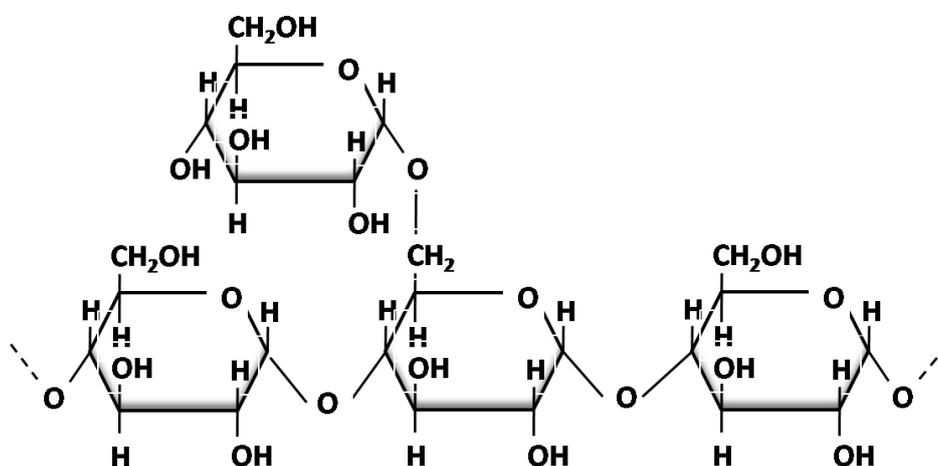


Figura 1 - Estructura química de la amilopectina, cadenas ramificadas con enlaces glucosídicos α -(1 \rightarrow 4) y α (1 \rightarrow 6).

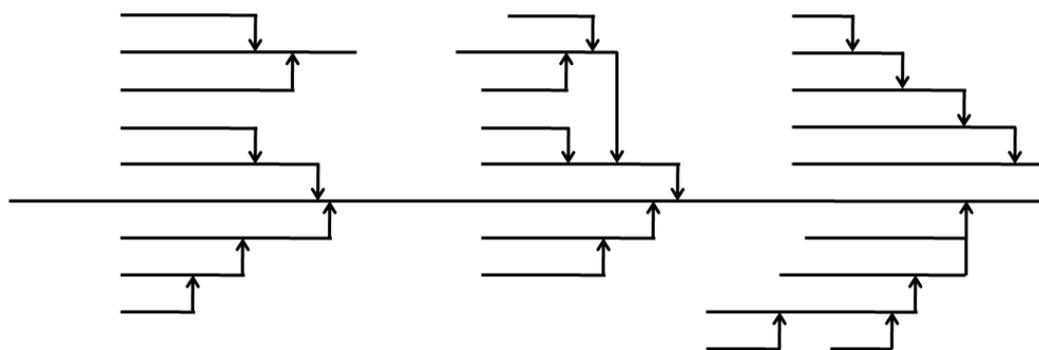


Figura 2 - Segmentos de cadena de la estructura ramificada de la amilopectina, modelo clúster.

La amilosa también está formada por unidades glucosídicas conectadas principalmente por enlaces α -(1 \rightarrow 4) Figura 3. El peso molecular de la amilosa está en el orden de 10^5 - 10^6 Da y tiene un grado de polimerización entre 200 y 2000 unidades glucosídicas. Debido a su linealidad, movilidad y grupos hidroxilos, la amilosa tiende a orientarse en forma paralela y formar enlaces hidrógeno con las moléculas adyacentes. Aunque se dice que la amilosa es un polímero lineal, está establecido que la molécula presenta algunas ramificaciones que no influyen en el comportamiento hidrodinámico de la molécula [24-27].

Los almidones pueden tener un contenido de amilosa entre 20-30 %, sin embargo, existen almidones que pueden tener contenidos de amilosa mucho menores o incluso carecer de este (almidones céreos) o tener contenidos hasta un 85 % [28], [29], [30], [31].

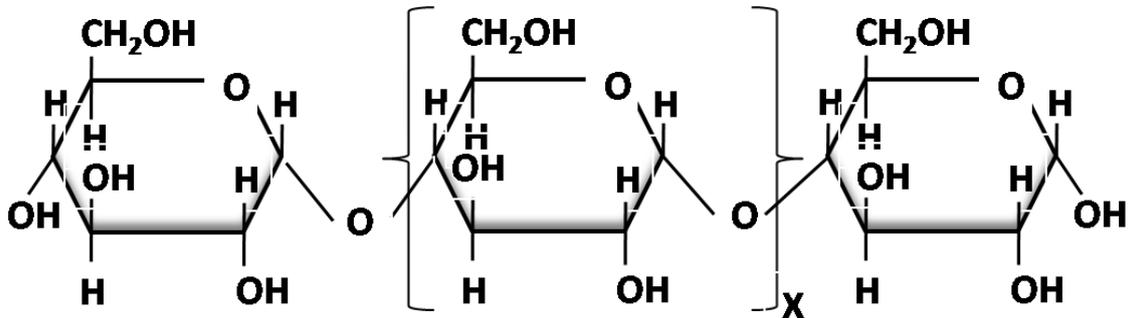


Figura 3 - Estructura química de la amilosa, cadenas lineales con enlaces glucosídicos α -(1 \rightarrow 4) principalmente.

El tamaño y forma de distribución de los gránulos de almidón varía entre especies e incluso entre cultivos. En general, los gránulos de almidón de tubérculos son grandes y esféricos (papa: 15-100 μ m), mientras que de los cereales son pequeños y poliédricos (arroz: 5-9 μ m), Figuras 4 y 5, [24]. Los almidones nativos son parcialmente cristalinos (15-45 %) [32] y presentan diferentes tipos de estructuras cristalinas: A (cereales), B (tubérculos y almidones ricos en amilosa) y C (legumbres y algunos tubérculos tropicales), los tipos A y B son modificaciones cristalinas reales y el tipo C es una mezcla de ambas. El tipo de estructura cristalina depende en parte de la longitud de las cadenas que forman la estructura de la amilopectina, la densidad de empaque dentro del gránulo y la presencia de agua. Los almidones tipo B (redes hexagonales) retienen más agua que los almidones tipo A (redes monoclinicas) [32], [33], [34], [35].

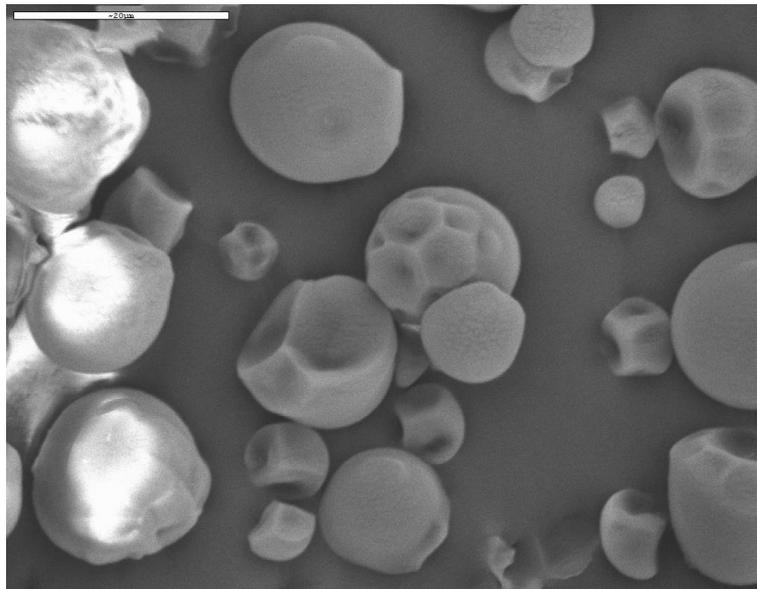


Figura 4 - Gránulos de almidón de yuca, gránulos con forma poliédrica y tamaño entre 5 y 17 μ m.

Micrografía SEM (Microscopía Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 μ m.

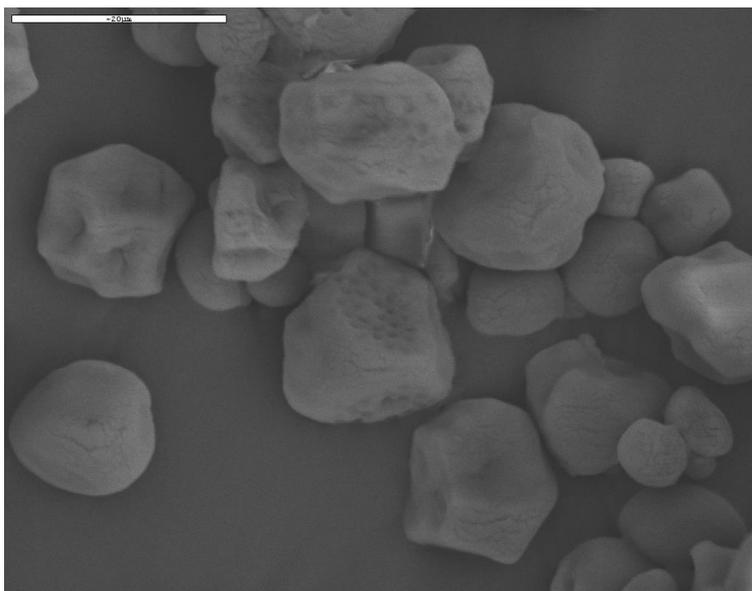


Figura 5 - Gránulos de amilopectina (almidón de maíz céreo), gránulos con forma poliédrica y tamaño entre 6 y 18 µm. Micrografía SEM (Microscopia Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 µm.

3. MODIFICACION DE LA ESTRUCTURA DEL ALMIDON

Muy poco almidón crudo se consume en las dietas normales y su procesamiento casi siempre involucra la aplicación de calor (y humedad) por diferentes periodos de tiempo. Los gránulos de almidón son insolubles en agua fría, pero pueden absorber algo de agua de manera reversible. Sin embargo, cuando se calientan en exceso de agua ocurre la gelatinización, proceso en el cual la estructura al interior del gránulo se altera por la ruptura de enlaces intermoleculares y la formación de enlaces de hidrógeno con el agua. El calentamiento continuo resulta en la pérdida completa de la cristalinidad y la desintegración del gránulo, Figuras 5 y 6 para la amilopectina; Figuras 7 y 8 para la amilosa. La gelatinización total se produce dentro de un rango de temperatura, siendo generalmente los gránulos más grandes los que primero gelatinizan. Durante la gelatinización también se produce la lixiviación de la amilosa, [36-39].

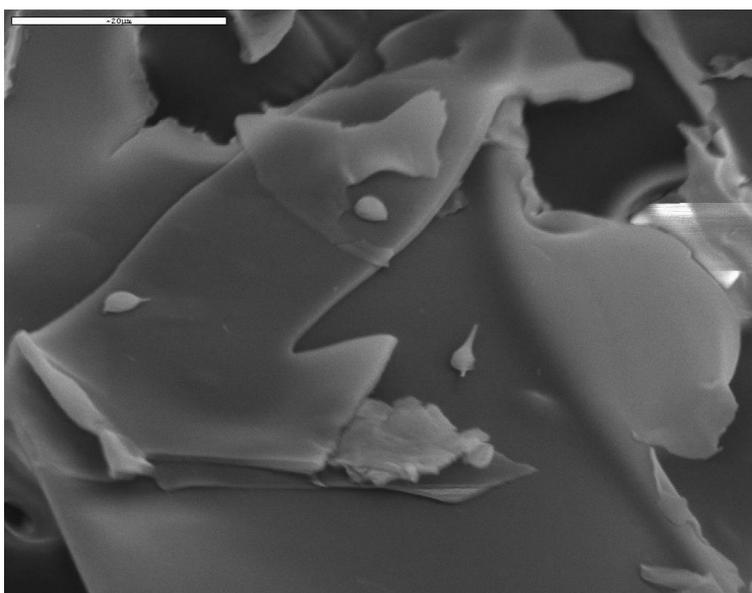


Figura 6 - Amilopectina totalmente gelatinizada durante 1 h a 120 °C y posteriormente liofilizada, estructura uniforme. Micrografía SEM (Microscopia Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 µm.

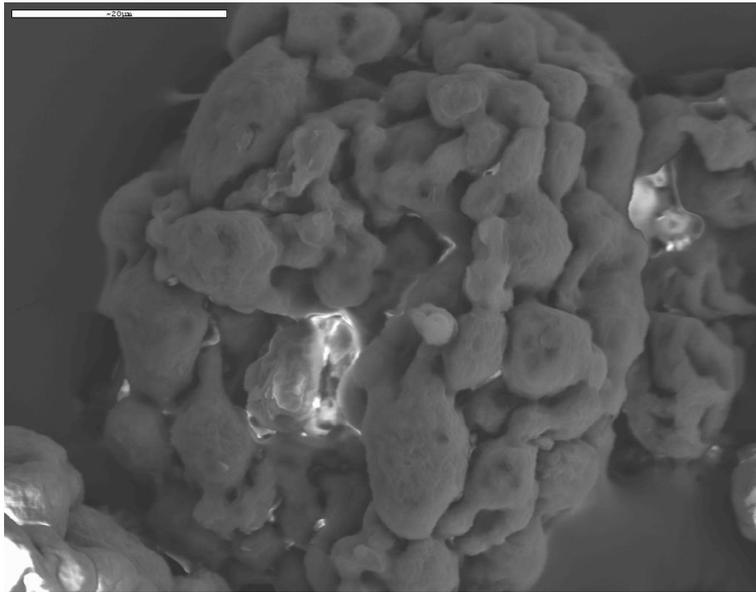


Figura 7 - Amilosa extraída del almidón de la papa, agregados de amilasa.

Micrografía SEM (Microscopia Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 µm.

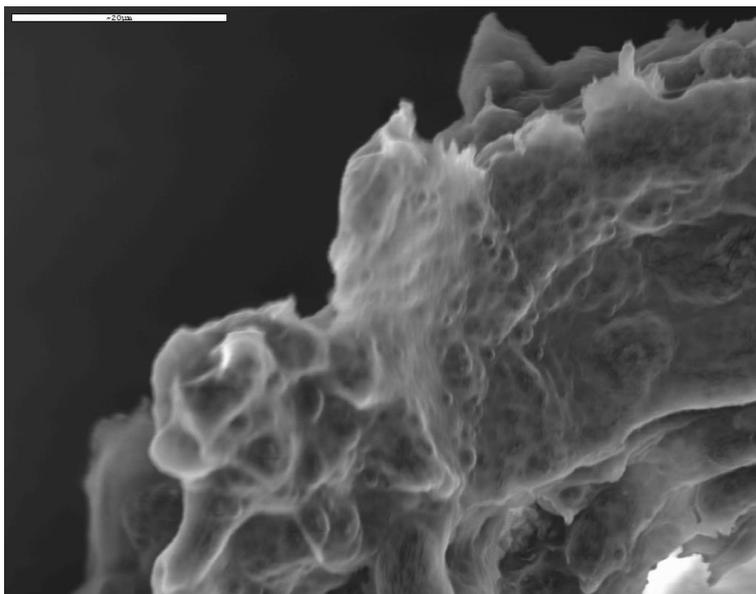


Figura 8 - Amilosa parcialmente gelatinizada durante 1 h a 140 °C y posteriormente liofilizada, estructura no uniforme.

Micrografía SEM (Microscopia Electrónica de Barrido). Tamaño de la barra de referencia, 20 µm.

Durante el enfriamiento, el almidón pasa por un proceso lento de reordenamiento y reasociación denominado retrogradación o recristalización. Durante la retrogradación porciones lineales de varias moléculas se orientan paralelamente y forman enlaces de hidrógeno intermoleculares Figura 9, expulsando así de la red el agua retenida (proceso conocido como sinéresis). Estas estructuras son térmicamente estables y la retrogradación puede incrementarse a través de ciclos de calentamiento y enfriamiento repetitivos. La retrogradación de la amilosa es mucho más rápida que de la amilopectina [38], [39], [40], [41].

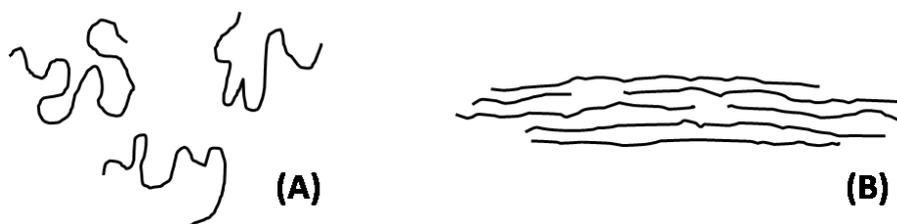


Figura 9 - Esquematación del proceso de retrogradación de la amilosa. (A) Moléculas de amilosa lixiviadas y ordenadas aleatoriamente en el sistema durante el proceso de gelatinización y (B) Moléculas de amilosa con algún grado de orden después del proceso de enfriamiento.

4. DIGESTION DEL ALMIDON

El almidón debe estar completamente despolimerizado a glucosa antes de que pueda ser absorbido en el intestino delgado. La despolimerización la realizan varias enzimas digestivas que rompen los enlaces glucosídicos α -(1→4) y α -(1→6) de la amilosa y la amilopectina. En una primera instancia, las enzimas α -amilasas rompen los enlaces glucosídicos α -(1→4) liberando glucosa, maltosa y dextrinas mayores a partir de las terminaciones de azúcares no reductores. Posteriormente, estos oligosacáridos son degradados a monosacáridos por otras enzimas como los complejos enzimáticos sucrasa-isomaltasa y maltasa-glucoamilasa que atacan además los enlaces glucosídicos α -(1→6) [42].

No todo el almidón que se ingiere es degradado a glucosa y absorbido en el intestino delgado sino que hay fracciones de almidón que escapan a la digestión, las mismas que son digeridas y fermentadas en el intestino grueso. Estas fracciones no digeribles se denominan almidones resistentes (AR) [43], [44], [45].

5. TIPOS DE ALMIDONES

Englyst y sus colaboradores clasificaron los almidones resistentes de acuerdo a los factores intrínsecos del alimento o al proceso usado en su preparación, Tabla 1 [46]. De acuerdo a la clasificación que sigue.

TABLA 1 - CLASIFICACIÓN DE LOS ALMIDONES RESISTENTES

Tipo de almidón	Fuentes	Digestión en el intestino delgado
Almidón rápidamente digerible (ARD)	Alimentos en base a almidón recién cocidos	Rápida
Almidón lentamente digerible (ALD)	Mayoría de los cereales crudos	Lenta pero completa
Almidón resistente (AR)		
1. Almidón físicamente inaccesible (AR ₁)	Granos enteros o parcialmente molidos, semillas y legumbres	Resistente
2. Gránulos de almidón resistente, no gelatinizado (AR ₂)	Papa cruda, plátano verde, algunas legumbres y almidón de maíz con alto contenido de amilosa	Resistente
3. Almidón retrogradado (AR ₃)	Papas cocidas y enfriadas, pan y hojuelas de maíz	Resistente
4. Almidón modificado químicamente (AR ₄)	Alimentos procesados con este tipo de almidones modificados químicamente	

Fuente: H.N. Englyst, S.M. Kingman y J.H. Cummings (1992). Classification and measurement of nutritional important starch fractions.

- El **almidón rápidamente digerible (ARD)** consiste principalmente de almidón amorfo y disperso y se encuentra en grandes cantidades en los alimentos a base de almidón cocidos, tales como el pan y las papas. Se mide químicamente como el almidón que se convierte a moléculas de glucosa en 20 min de digestión enzimática.

- El **almidón lentamente digerible (ALD)** al igual que el ARD es digerido completamente en el intestino delgado, pero por una razón u otra, es digerido muy lentamente. Esta categoría consiste de almidón amorfo físicamente inaccesible y almidón crudo con estructuras cristalinas del tipo A y C, tal como cereales y almidones tipo B, ya sea en forma de gránulo o alimentos cocidos en forma retrogradada. Se mide químicamente como el almidón convertido a glucosa después de más de 100 min de digestión enzimática.
- El **almidón resistente (AR)** fue definido por primera vez como aquella fracción de almidón resistente a la hidrólisis por tratamiento exhaustivo con α -amilasa y pullulanasa [47]. Sin embargo, el almidón que alcanza el intestino grueso puede ser más o menos fermentado por la microflora del intestino, el AR es ahora definido como la fracción de fibra dietética, la cual escapa a la digestión en el intestino delgado. Se mide químicamente como la diferencia entre el almidón total (AT) obtenido de la homogenización y tratamiento químico de la muestra y la suma de ARD y ALD obtenidos de la no homogenización y tratamiento enzimático de la muestra. Los AR son inaccesibles a las enzimas del cuerpo y se subdividen en 4 fracciones AR₁, AR₂, AR₃ y AR₄, también se los llama almidones tipo I, II, III y IV [48], [49], [50].
 - **AR₁** son almidones físicamente inaccesibles, se encuentra en alimentos en base a almidón los cuales no han sido fraccionados o refinados y mayormente en legumbres y algunos cereales. Las legumbres se caracterizan por tener paredes celulares gruesas que no son perturbadas durante la preparación de los alimentos y en el estómago. Los granos de cereales cuando no están finamente molidos pueden también aparecer al final del intestino delgado. Se mide químicamente como la diferencia entre la glucosa liberada durante la digestión enzimática de una muestra de alimento homogenizada y una no homogenizada. El AR₁ es térmicamente estable en la mayoría de las operaciones normales de cocción y puede usarse como ingrediente en una amplia gama de alimentos convencionales.
 - **AR₂** son gránulos de almidón nativo resistente a la digestión enzimática, generalmente almidones del tipo B. La estructura compacta de los gránulos de almidón limita la accesibilidad de las enzimas digestivas. Se mide químicamente como la diferencia entre la glucosa liberada por la digestión enzimática de una muestra de alimento homogenizada y hervida y una no homogenizada y no hervida. Hasta hace poco, tales almidones eran ingeridos solamente a través del consumo de plátano verde, sin embargo, el interés por los almidones resistentes ha puesto a disposición una variedad de almidones con un alto contenido de amilosa. Este tipo de almidones resistentes se caracteriza por una alta resistencia a la gelatinización, por ejemplo se necesitan temperaturas por encima de los 120 °C para gelatinizar almidones con alto contenido de amilosa. El almidón nativo de papa también es una fuente de AR₂ pero es fácilmente gelatinizado en presencia de agua alrededor de 60 °C.
 - **AR₃** son almidones retrogradados y totalmente resistentes a la digestión por las amilasas pancreáticas. La retrogradación como mencionamos anteriormente ocurre cuando los almidones son gelatinizados y luego enfriados o mantenidos a temperatura ambiente, por ejemplo las papas cocidas y enfriadas. La retrogradación puede afectar la mayoría de los alimentos en base a almidones los cuales son cocidos y no inmediatamente secados o comidos. Varios ciclos de re-calentamiento y enfriamiento incrementan la cantidad de AR₃. Se mide químicamente como la fracción que resiste a la dispersión ya sea por ebullición o digestión enzimática, puede ser dispersado solamente con hidróxido de potasio o sulfóxido de dimetilo [43]. Hoy en día, los AR₃ están disponibles comercialmente para ser introducidos en alimentos tales como pan, galletas o productos lácteos.
 - **AR₄** son almidones modificados químicamente que han sido introducidos recientemente en la clasificación de los almidones resistentes. Las modificaciones químicas que principalmente se realizan son esterificación, eterificación y entrecruzamiento. Los AR₄ son usados como ingredientes en muchos alimentos procesados como sopas y alimentos para bebés. El uso de este tipo de almidones aún está restringido en muchos países.

6. CONSECUENCIAS FISIOLÓGICAS DEL ALMIDÓN

Los almidones resistentes y lentamente digeribles tienen una serie de efectos positivos en la salud de los individuos que los consumen.

▪ **Prevención de cáncer de colon**

El almidón que escapa a la digestión en el estómago e intestino delgado sufre un proceso de fermentación anaerobia en el colon, produciendo ácidos grasos de cadena corta (AGCC), fundamentalmente ácido acético, ácido propiónico y ácido butírico [45, 51-54]. Aproximadamente entre el 95-99 % de los AGCC son rápidamente absorbidos y metabolizados por los colonocitos, para los que son su principal fuente de energía, además de ejercer algunos efectos

como el aumento de flujo sanguíneo del colon, absorción de sodio y agua, estimulación de la producción de moco y disminución del pH del colon [52]. De los tres AGCC, el ácido butírico es el de mayor importancia por sus propiedades anti-inflamatorias que son importantes para mantener el colon saludable y sus propiedades anti-cancerogénicas (antineoplásticas) al inhibir el crecimiento y proliferación de células tumorales, inducir a la diferenciación de éstas de las células normales e inducir a la apoptosis de estas células malignas [43, 55-58].

▪ **Efectos hipoglucémicos**

Mantener los niveles de glucosa en el plasma (azúcar en la sangre) en un rango estrecho de variación (concentración normal entre 3.3 y 8.3 mmol/L) es de vital importancia para los seres humanos. Un aumento (hiperglucemia) o disminución (hipoglucemia) de glucosa en el plasma pueden ser peligrosos para las células, tejidos y órganos [59]. Los alimentos que contienen AR moderan la velocidad de la digestión. La digestión lenta de los AR tiene implicaciones en su uso en aplicaciones donde se requiere una liberación de glucosa controlada. El metabolismo del AR ocurre después de 5 a 7 horas de su consumo, en contraste al del almidón normal cocido que es digerido casi de manera inmediata. Periodos de digestión por encima de las 5 a 7 horas reduce la glucemia y la insulinemia postprandial y tiene el potencial para incrementar el periodo de saciedad [60-61]. Es decir el AR ayuda a mantener niveles saludables de glucosa en la sangre e incrementa la sensibilidad a la insulina, contribuyendo así a reducir el riesgo de diabetes mellitus tipo 2.

Una manera de comparar la calidad de los distintos carbohidratos contenidos en los alimentos es a través del índice glucémico (índice glicémico) que es una forma de cuantificar la respuesta glucémica [62-63]. En la Tabla 2 se pueden ver los índices y cargas glucémicas de algunos alimentos [64].

▪ **Como prebiótico**

Se ha sugerido el uso de AR en composiciones probióticas para promover el crecimiento de microorganismos beneficiosos tales como las bifidobacterias [65]. El AR puede servir de sustrato para el crecimiento de estos microorganismos probióticos. Pero además, el AR puede ser considerado como un prebiótico al estimular de manera selectiva a la bacteria que produce butirato y así mantener un colon saludable en el individuo [50].

▪ **Reducción de la formación de cálculos**

Los almidones de fácil digestión contribuyen a la formación de cálculos a través de una mayor secreción de insulina que estimula la síntesis del colesterol. Los países con dietas pobres en almidones resistentes tienen un mayor número de casos de personas con cálculos que aquellos países donde el AR está presente en mayores cantidades en las dietas, lo que parece indicar que el AR reduce la incidencia de cálculos [66].

TABLA 2 - ÍNDICES Y CARGAS GLUCÉMICAS DE VARIOS ALIMENTOS

	IG^a	CG^b		IG^a	CG^b
Productos de Panificación			Frutas		
Cruasán	67	17	Manzana	38	6
Donut	76	17	Naranja	42	5
Quequecillo de manzana con azúcar	44	13	Plátano	52	12
Quequecillo de manzana sin azúcar	48	9	Jugos		
Baguette blanco simple	95	15	Manzana	40	12
Pan de trigo (80 % granos intactos y 20 % harina de trigo blanco)	52	10	Naranja	50	13
Cereales para el desayuno			Legumbres		
Todos los salvados (Kellogg's)	38	9	Garbanzos	28	8
Musli	66	12	Frijoles	28	7
Avena Instantánea	66	17	Lentejas rojas secas y hervidas	26	5
Granos de cereales			Soya seca y hervida	18	1
Cebada	25	11	Vegetales		
Arroz blanco hervido	64	23	Habas congeladas y hervidas	48	3

QUIROGA

Granos enteros de trigo	41	14	Zanahoria	47	3
Pasta			Papas blancas hervidas o cocidas	50	14
Macarrones simples cocidos 5 min	47	23	Productos Lácteos		
Espagueti blanco cocido 5 min	38	18	Helado	61	8
Bebidas refrescantes			Leche entera	27	3
Coca Cola	53	14	Yogurt	36	3
Fanta	68	23			

Fuente: K. Foster-Powell, S.H. A. Holt, y J.C. Brand-Miller (2002). International table of glycemic index and glycemic load values: 2002 (Special Article)

^(a) = Índice glucémico, la glucosa fue usada como alimento de referencia

^(b) = Carga glicémica, estimada a partir de la multiplicación del IG y una porción de alimento en g y dividida por 100

▪ Efectos hipocolesterolémicos

Los efectos hipocolesterolémicos de los AR han sido ampliamente probados. Alimentos con contenido de AR, además de incrementar la cantidad de AGCC y su absorción, reducen la cantidad de triglicéridos y colesterol en el plasma sanguíneo. Las fracciones lipoproteicas muestran un menor contenido de triglicéridos y colesterol, especialmente en las HDL (lipoproteínas de alta densidad) que equilibran las LDL (lipoproteínas de baja densidad) frecuentemente nocivas cuando las dietas no son equilibradas, este efecto se debe principalmente a la reducción de glucosa e insulina postprandial y por ende a la disminución de la biosíntesis del colesterol y las lipoproteínas de muy baja densidad.

El almidón de frijoles (porotos) redujo los niveles de colesterol total del suero y el colesterol VLDL (lipoproteínas de muy baja densidad) + IDL (lipoproteínas de densidad intermedia) + LDL, e incrementó la concentración cecal de AGCC, así como la excreción fecal de esterol neutro. Algunos otros estudios también sugieren que su uso en alimentos mejora la salud cardiovascular [67], [68], [69], [70].

▪ Inhibición de la acumulación de grasa

El reemplazo de un porcentaje del total de carbohidratos en la dieta por AR incrementa la oxidación lipídica postprandial, sugiriendo una reducción en la acumulación de grasa a largo plazo. Estudios clínicos recientes con almidón de maíz resistente con alto contenido de amilosa mostraron que la oxidación de grasa incrementó después de la ingesta del alimento. También cambió la secuencia en la cual el cuerpo quema el alimento, es decir las grasas fueron quemadas en primer lugar y los carbohidratos y las proteínas posteriormente [71].

▪ Efectos sobre el control de peso y obesidad

El AR tiene la habilidad de incrementar la saciedad y mitigar el hambre con un efecto positivo contra el aumento de peso y la obesidad. El aporte energético de AR es menor que el de los almidones fácilmente digeribles, 1.6-2.5 kcal/g versus 4 kcal/g [63].

▪ Absorción de minerales

El AR parece tener un efecto positivo en la absorción intestinal de ciertos minerales. Estudios publicados muestran que alimentos con un contenido de AR incrementan la absorción aparente de hierro y calcio en comparación a alimentos con almidón completamente digerible [72].

7. CONCLUSIONES

Los estudios científicos sobre el almidón resistente apuntan a que tiene un efecto positivo en la salud de los seres humanos cuyas dietas alimenticias incluyen este tipo de almidón.

El almidón resistente tiene propiedades funcionales que ayudan a prevenir el cáncer de colon, reducir la formación de cálculos, biosíntesis del colesterol y formación de lipoproteínas de baja densidad.

Los alimentos que contienen cantidades de almidón resistente tienen un valor energético e índice glucémico menor que los alimentos que contienen almidones de fácil digestión y por tanto contribuyen a controlar los niveles postprandiales de azúcar en la sangre e insulina, inhibir la acumulación de grasa y por ende el aumento de peso y obesidad.

El contenido de almidón resistente en los alimentos naturales puede incrementarse a través de la modificación de las condiciones de procesamiento tales como: pH, temperatura y tiempo de calentamiento, número de ciclos de calentamiento y enfriamiento, congelación, deshidratación, modificaciones químicas.

Los almidones tradicionales que se comercializan a nivel mundial provienen principalmente de la papa, maíz, yuca y trigo. Bolivia, además de esos productos, tiene una gran variedad de raíces y tubérculos andinos y tropicales, por ejemplo: la achira (*Canna edulis*), la arrachaca (*Arracacia xanthorrhiza*), la mashua o isaño (*Tropaeolum tuberosum*), la oca (*Oxalis tuberosa*), el ulluco o papalisa (*Ullucus tuberosus*), la gualusa (*Xanthosoma sagittifolium*), camote o papa dulce (*Ipomoea batatas*), etc., que podrían ser fuentes alternativas de almidón con mejores propiedades nutricionales y funcionales. Sin embargo, para definir si estos almidones entran en la categoría de los almidones resistentes es necesario realizar estudios adicionales que permitan completar información sobre sus características físico-químicas, nutricionales y funcionales.

8. TENDENCIAS FUTURAS

Las tendencias futuras en el campo de los almidones resistentes probablemente sean en el área de:

- La producción de almidones resistentes y alimentos con contenidos de almidón resistente con propiedades organolépticas y nutricionales mejoradas.
- La optimización de las tecnologías de procesamiento y transformación de alimentos.
- La optimización de los beneficios del almidón resistente para la salud a través de una mejor comprensión de sus mecanismos y efectos fisiológicos.

9. REFERENCIAS

- [1] A. Guilbot y C. Mercier, *Starch* en *The Polysaccharides*, ed. G.O. Aspinall, New York: Academic (1985), 209-82
- [2] R. L. Whistler y J. R. Daniel, *Carbohidratos*, en *Química de los alimentos*, ed. O. R. Fennema, Editorial Acribia S.A. (1993), 81-156
- [3] R. P. Ellis, M. P. Cochrane, M. F. B. Dale, C. M. Duffus, A. Lynn, I. M. Morrison, R. D. M. Prentice, J. S. Swanston y S. A. Tiller, *Starch production and industrial use*, *Journal of the Science of Food Agricultural*, 77 (1998), 289-311
- [4] P. Wursch, *Starch in human nutrition*, *World Review of Nutrition and Dietetics*, 60 (1989), 199-256
- [5] K. M. Flegal, M. D. Carroll, C. L. Ogden, y L. Clifford, *Prevalence and trends in obesity among US adults*, *Journal of the American Medical Association*, 288 (2002), 1723-1727
- [6] C. L. Ogden, K. M. Flegal, M. D. Carroll, y C. L. Johnson, *Prevalence and trends in overweight among US children and adolescent*, *Journal of the American Medical Association*, 288 (2002), 1728-1732
- [7] M. A. Pereira, A. I. Kartashov, C. B. Ebbeling, L. Van Horn, M. L. Slatery, D. R. Jacobs y D. S. Ludwig, *Fasts food habits, weight gain, and insulin resistance the CARDIA study: 15 year perspective análisis*, *Lancet*, 365 (2005), 36-42
- [8] J. F. Guthrie, B-H. Lin y E. Fazaó, *Role of food prepared away from home in American diet, 1977-1978 versus 1994-1996: changes and consequences*, *Journal of Nutrition Education and Behavior*, 34 (2002), 140-150
- [9] S. Wild, G. Roglic, A. Green, R. Sicree y H. King, *Global prevalence of diabetes: estimates for the year 2000 and projections for 2030*, *Diabetes Care*, 27 (2004), 1047-1053
- [10] Cancermondial - International Agency for Research on Cancer, *Statistical Information System*, disponible en: <http://www-dep.iarc.fr/>, acceso: 13 de octubre de 2008
- [11] A. Barceló, M-C Daroca, R. Ribera, E. Duarte, A. Zapata y M. Vohra, *Diabetes in Bolivia*, *Revista Panamericana de Salud Pública*, 10 (2001), 318-323
- [12] D. F. Ransohoff y R. S. Sandler, *Screening for colorectal cancer*, *New England Journal of Medicine*, 346 (2002), 40-44
- [13] J. M. Walsh y J. P. Terdiman, *Colorectal cancer screening: scientific review*, *Journal of the American Medical Association*; 289 (2003), 1288-1296
- [14] J. Ríos, S. Rolando, L. Medina y A. Velasco, *El cáncer en una población urbana de la altura*, *Acta Andina*, 4 (1995), 65-70
- [15] I. Goñi, L. García-Diz, E. Mañas y F. Saura-Calixto, *Analysis of resistant starch: a method for foods and food products*, *Food Chemistry*, 56 (1996), 445-449.
- [16] J. H. Cummings, E. R. Beatty, S. M. Kingman, S. A. Bingham y H. N. Englyst, *Digestion and physiological properties of resistant starch in the human bowel*, *British Journal of Nutrition*, 75 (1996), 733-747

- [17] J. T. Dwyer y C. M. Ouyang, *What can industry do to facilitate dietary and behavioural changes?*, British Journal of Nutrition, 83 (2000), 173-180
- [18] D. French, *Organization of starch granules*. En Starch Chemistry and Technology, ed. R. L. Whistler, J. N. BeMiller y E. F. Paschall, London:Academic Press Inc., 7 (1984), 183-247
- [19] J. Swinkels, *Composition and Properties of Commercial Native Starches*, Starch/Stärke, 37 (1985), 1-5.
- [20] H. F. Zobel, *Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review*, Stach/Stärke, 40 (1988), 44-50
- [21] D. J. Manners, *Recent developments in our understanding of amylopectin structure*, Carbohydrate Polymers, 11 (1989), 87-112
- [22] A. Buléon y V. Tran, *Systematic conformational search for the branching point of amylopectin*, International Journal of Biological Macromolecules, 12 (1990), 345-352
- [23] D. B. Thompson, *On the non-random nature of amylopectin branching*, Carbohydrate Polymers, 43 (2000), 223-239
- [24] D. J. Gallant, B. Bouchet, A. Buleon y S. Perez, *Physical characteristics of starch granules and susceptibility to enzymatic degradation*, European Journal of Clinical Nutrition, 46 (1992), 3-16
- [25] T. Aberle, W. Bruchard, W. Vorwerg y S. Radosta, *Conformational contributions of amylose and amylopectin to the structural properties of starches from various sources*, Starch/Stärke, 46 (1994), 329-35
- [26] C. Takeda, Y. Takeda y S. Hizukuri, *Structure of amylozyme amylose*, Cereal Chemistry, 66 (1989), 22-25
- [27] Y. Takeda, N. Maruta y S. Hizukuri, *Structures of amylose subfractions with different molecular sizes*, Carbohydrate Research, 226 (1992), 279-285
- [28] W. Banks, C. T. Greenwood y J. T. Walker, *Studies on the starches of barley genotypes : the waxy starch*, Starch/Stärke, 22 (1970), 149-152
- [29] W. Banks, C. T. Greenwood y D. D. Muir, *Studies on starches of high amylose content. Part 17. A review of current concepts*, Starch/Stärke 26 (1974), 289-328
- [30] T. Vasanthan y R. S. Batí, *Physicochemical properties of small- and large- granule starches of waxy, regular, and high-amylose barleys*, Cereal Chemistry, 73 (1996), 199-207
- [31] G. P. Schwall, R. Safford, R. J. Westcott, R. Jeffcoat, A. Tayal, Y-C. Shi, M. J. Gidley y S. A. Jobling, *Production of very-high-amylose potato starch by inhibition of SBE A and B*, Nature Biotechnology, 18 (2000), 551-54
- [32] H. F. Zobel, *Starch crystal transformations and their industrial importance*, Starch/Stärke, 40 (1988), 1-7
- [33] H.C. Wu y A. Sarko, *The double helical molecular structure of crystalline A-amylose*, Carbohydrate Research, 61 (1978), 7
- [34] J. Gidley y V. Bulpin. *Crystallisation of malto-oligosaccharides as models of the crystalline forms of starch*, Carbohydrate Polymers, 161 (1987), 291-300
- [35] A. Imberty, H. Chanzy, S. Pérez, A. Buléon y V. Tran, *The double-helical nature of the crystalline part of A-starch*, Journal of Molecular Biology 201 (1988), 365-378
- [36] P. Colonna y C. Mercier, *Gelatinization and melting of maize and pea starches with normal and high amylose genotypes*, Phytochemistry, 24 (1985), 1667-1674
- [37] L. Jing-ming y Z. Sen-fin, *Scanning electron microscopy study on gelatinization of starch granules in excess water*, Starch/Stärke, 42 (1990), 96-98
- [38] M. J. Miles, V. J. Morris, P. D. Orford y S. G. Ring, *The roles of amylose and amylopectinin the gelation and retrogradation of starch*, Carbohydrate Research, 135 (1985), 271-81
- [39] H. Fredriksson, J. Silverio, R. Andersson, A-C. Eliasson y P. Åman, *The influence of amylose and amylopectin characteristics on gelatinisation and retrogradation properties of different starches*, Carbohydrate Polymers, 35 (1998), 119-134.
- [40] J. Jane, Y. Y. Chen, L. F. Lee, A. E. McPherson, K. S. Wong, M. Radosavljevic y T. Kasemsuwan, *Effects of amylopectin branch chain length and amylose content on gelatinisation and pasting properties of starch*, Cereal Chemistry, 76(1999), 629-637
- [41] V. J. Morris, *Starch gelation and retrogradation*, Trends in Food Science & Technology, 1 (1990), 2-6
- [42] G. M. Gray, *Starch digestion and absorption in nonruminants*, Journal of Nutrition, 122 (1992), 172-177
- [43] N. G. Asp y I. Bjorck, *Resistant Starch*, Trends in Food Science and Technology, 3 (1992), 11-114
- [44] N. G. Asp, *Nutritional classification of food carbohydrates*, American Journal of Clinical Nutrition, 59 (1994), 679-681
- [45] J. H. Cummings, E. R. Beatty, S. M. Kingman, S. A. Bingham y H. N. Englyst, *Digestion and physiological properties of resistant starch in the human bowel*, British Journal of Nutrition, 75 (1996), 733-747
- [46] H. N. Englyst, S. M. Kingman y J. H. Cummings, *Classification and measurement of nutritionally important starch fractions*, European Journal of Clinical Nutrition, 46 (1992), 33-50
- [47] H. N. Englyst, H. S. Wiggins y J. H. Cummings, *Determination of the non-starch polysaccharides in plant foods by gas-liquid chromatography of constituent sugars as alditol acetates*, Analyst, 107(1982), 307-318.
- [48] G. Annison y D. L. Topping, *Nutritional Role of Resistant Starch: Chemical Structure vs Physiological Function*, Annual Review of Nutrition, 14 (1994), 297-320

- [49] M. Champ, *Resistant Starch* en *Starch in food: Structure, function and applications*, ed. A-C. Eliasson, Cambridge: Woodhead Publishing (2006), 560-574
- [50] M.G. Sajilata, R. S. Singhal y P. R. Kulkarni, *Resistant Starch – A Review*, *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Technology*, 5 (2006), 1-17
- [51] J. H. Cummings, *Short chain fatty acids in the human colon*, *Gut*, 22 (1981), 763–779
- [52] J. H. Cummings, *Short-chain fatty acid enemas in the treatment of distal ulcerative colitis*, *Journal of Gastroenterology and Hepatology*, 9 (1997), 149–153.
- [53] P. B. Mortensen y M. E. Clausen, *Short-chain fatty acids in the human colon: Relation to gastrointestinal health and disease*, *Scandinavian Journal of gastroenterology*, 216 (1996), 132-148
- [54] T. Morita, S. Kasaoka, K. Hase y S. Kiriyaama, *Psyllium shifts the fermentation site of high-amylose cornstarch toward the distal colon and increases fecal butyrate concentration in rats*, *Journal of Nutrition*, 129 (1999), 2081–2087
- [55] A. McIntyre, P. R. Gibson y G. P. Young, *Butyrate production from dietary fibre and protection against large bowel cancer in a rat model*, *Gut*, 34 (1993), 386-391
- [56] A. Cassidy, S. A. Bingham y J. H. Cummings, *Starch intake and colorectal cancer risk: an international comparison*, *British Journal of Cancer*, 69 (1994), 937–942
- [57] B. Singh, A. P. Halestap y C. Paraskeva, *Butyrate can act as a stimulator of growth or inducer of apoptosis in human colonic epithelial cell lines depending on the presence of alternative energy sources*, *Carcinogenesis*; 18 (1997), 1265-1270
- [58] R. K. Leu, Y. Hu y G. P. Young, *Effects of resistant starch and nonstarch polysaccharides on colonic luminal environment and genotoxin-induced apoptosis in the rat*, *Carcinogenesis* 23(2002), 713–719
- [59] R. E. Wachtters-Hagedoorn, M. G. Priebe y R. J. Vonk, *Analysing starch digestion* en *Starch in food: Structure, function and applications*, ed. A-C. Eliasson, Cambridge: Woodhead Publishing (2006), 575-589
- [60] A. Raben, A. Tagliabue, N. J. Christensen, J. Madsen, J. J. Hols y A. Astrup, *Resistant starch: the effect on postprandial glycemia, hormonal response and satiety*, *American Journal of Clinical Nutrition*, 60 (1994), 544–551
- [61] D. Reader, M. L. Johnson, P. Hollander y M. Franz, *Response of resistant starch in a food bar vs. two commercially available bars in persons with type II diabetes mellitus*, *Diabetes*, 46 (1997), 254
- [62] D. J. A. Jenkins, C. W. C. Kendall, L. S. A. Augustin, S. Franceschi, M. Hamidi, A. Marchie, A. L. Jenkins y M. Axelsen, *Glycemic index: overview of implications in health and disease*, *American Journal of Clinical Nutrition*, 76(2002), 266–273
- [63] D. J. A. Jenkins, T. M. Wolever, R. H. Taylor, H. Barker, H. Fielden, J. M. Baldwin, A. C. Bowling, H. C. Newman, A. L. Jenkins y D. V. Goff, *Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange*, *American Journal of Clinical Nutrition*, 34 (1981), 362–366.
- [64] K. Foster-Powell, S.H. A. Holt, y J.C. Brand-Miller, *International table of glycemic index and glycemic load values: 2002 (Special Article)*, *American Journal of Clinical Nutrition*, 76 (2002), 5-56
- [65] I. L. Brown, *Applications and uses of resistant starch*, *Journal of the Association of Official Analytical Chemists*, 87(2004), 727–732
- [66] A. M. Birkett, J. C. Mathers, G. P. Jones, K. Z. Walker, M. J. Roth y J. G. Muir, *Changes to the quality and processing of starchy foods in a Western diet can increase polysaccharides escaping digestion and improve in vitro fermentation variables*, *British Journal of Nutrition*, 84 (2000), 63–72
- [67] H. E. Martinez-Flores, Yoon-Kil-Chang, F. Martinez-Bustos, V. Sgarbieri, *Effect of high fiber products on blood lipids and lipoproteins in hamsters*, *Nutrition Research*, 24 (2004), 85–93
- [68] D. L. Topping, y A. R. Bird, *Foods, nutrients and digestive health*, *Australian Journal of Nutrition and Dietetics*, 56 (1999), 22–34
- [69] R. J. Illman, D. L. Topping, G. H. McIntosh, R. P. Trimble, G. B. Storer y M. N. Taylor, *The hypocholesterolaemic effects of dietary propionate: studies in whole animals and perfused rat liver*, *Annals of Nutrition and Metabolism*, 32 (1988), 97-107
- [70] Z. Madar y I. Shomer, *Polysaccharide composition of a gel fraction derived from fenugreek and its effect on starch digestion and bile acid absorption in rats*, *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 38 (1990), 1535-1539
- [71] J. A. Higgins, H. R. Dana, W. T. Donahoo, I. L. Brown, M. L. Bell y D. H. Bessesen, *Resistant starch consumption promotes lipid oxidation*. *Nutrition and Metabolism*, 1 (2004), 1–8
- [72] M. B. Morais, A. Feste, R. G. Miller y C. H. Lifichitz, *Effect of resistant starch and digestible starch on intestinal absorption of calcium, iron and zinc in infant pigs*, *Paediatric Research*, 39 (1996), 872–876