

Retrogradación del almidón en arroz: efecto sobre su índice glicémico

Barón González Mateo, Velásquez López Natalia¹, Muñoz Pérez Diana María²

RESUMEN

Las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) son la primera causa de mortalidad e incapacidad en el mundo. Los alimentos con mayor contenido de almidón resistente pueden ayudar a prevenir este tipo de patologías. El arroz es el alimento de mayor consumo en Colombia y a través de un proceso de retrogradación podría aumentar su contenido de almidón resistente, mejorar sus propiedades nutricionales y contribuir a la prevención de ECNT. Se realizó una revisión sistemática haciendo una búsqueda exhaustiva en las bases de datos PubMed, ScienceDirect, Scopus y Google Académico, con diferentes filtros para una mejor selección de los artículos. Se tuvieron en cuenta únicamente ensayos clínicos, en humanos y con almidón resistente tipo 3. La mayoría de los estudios mostraron que el almidón retrogradado disminuye el índice glicémico e insulínico y tiene efectos benéficos para la salud.

Palabras clave: almidón resistente, arroz, fibra, retrogradación.

1 Estudiantes del programa de Nutrición y Dietética. Facultad de Ciencias de la Salud, Exactas y Naturales. Universidad Libre Seccional Pereira

2 Profesora del programa de Nutrición y Dietética. Universidad Libre Seccional Pereira.
Contacto: natalia-velasquezl@unilibre.edu.co

Retrogradation of starch in rice: Effect on its glycemic index

ABSTRACT

Chronic non-communicable diseases (NCDs) are the leading cause of mortality and disability in the world. Foods with a higher content of resistant starch can help prevent this type of pathologies. Rice is the most consumed food in Colombia and through a retrogradation process could increase its resistant starch content, improving its nutritional properties, contributing to the prevention of NCDs, a systematic review was conducted by doing an exhaustive search in PubMed, ScienceDirect, Scopus and Google academic databases, with different filters for a better selection of articles, only clinical trials were considered, in humans and with resistant starch type 3. Most of the studies showed that retrograded starch decreases the glycemic and insulin index, having beneficial effects on health.

Keywords: resistant starch, rice, fiber, retrogradation.

INTRODUCCIÓN

Las enfermedades crónicas no transmisibles (ECNT) representan la causa de defunción más importante en el mundo, pues comprenden un 63 % del número total de muertes anuales,¹ aumentan los gastos de tratamiento y menoscaban el bienestar individual y familiar; por tanto, constituye una amenaza para el desarrollo social y económico de cualquier país.² Aunque se han venido realizando grandes avances tanto en la prevención como en el control de las ECNT, se siguen planteando retos importantes. Para la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Organización Panamericana de la Salud (OPS), es necesario llevar a cabo intervenciones eficaces, basadas en la evidencia, además, obtener nuevos conocimientos y utilizarlos.³

El *Plan de acción para la prevención y el control de las enfermedades no transmisibles en las Américas 2013-2019* plantea “reducir la mortalidad y la morbilidad prevenibles, reducir al mínimo la exposición a factores de riesgo, aumentar la exposición a factores protectores y reducir la carga socioeconómica de estas enfermedades por medio de enfoques multisectoriales que promuevan el bienestar y reduzcan la inequidad en los Estados miembros y entre ellos”.⁴

Las ECNT, que incluyen enfermedad cardiovascular, diabetes, cáncer, enfermedad pulmonar crónica, entre

otras, son responsables de, al menos, el 70 % de todas las muertes en el mundo de manera prematura,² las cuales pueden ser controladas con cambios en la dieta.^{3,5}

Los alimentos ricos en almidón constituyen la principal fuente de carbohidratos en la nutrición humana.^{4,5} El almidón es digerido y absorbido en el intestino delgado, esta rápida digestión ocasiona que estos alimentos aumenten su índice glicémico (IG) y puedan ser un factor de riesgo para el desarrollo de ECNT.⁶

Sin embargo, factores como el calentamiento, el enfriamiento, el secado y la relación amilosa-amilopectina pueden influir en la calidad del almidón contenido en los alimentos.² Estos almidones son considerados resistentes a la acción de las enzimas digestivas, disminuyendo su IG, lo que les confiere propiedades saludables y funcionales.⁷

El almidón ha sido considerado la principal fuente de carbohidratos en la nutrición humana.⁶ Es digerido y absorbido en el intestino delgado. Sin embargo, esta idea ha ido cambiando. Factores como el calentamiento, el enfriamiento, el secado y la relación amilosa-amilopectina pueden influir en el contenido de almidón resistente de los alimentos.⁷

En los últimos diez años, se han estado reconsiderando algunos componentes nutricionales en cuanto a su importancia en la dieta. Algunos ejemplos claros son la fibra dietética y el almidón resistente.⁸

La fibra dietética es definida como carbohidratos resistentes a la digestión y absorción en el intestino delgado del hombre, con una fermentación parcial por microorganismos en el intestino grueso.⁹

Por otro lado, el almidón resistente (AR) es definido como una fracción del almidón que es capaz de resistir la digestión y se mantiene íntegro a lo largo del tracto gastrointestinal.¹⁰ Una de las ventajas de este almidón es que permite ser utilizado como un ingrediente que refuerza las características tecnológicas de los alimentos, además de otorgar beneficios fisiológicos asociados a la salud.¹¹ Con la fibra dietética insoluble y soluble, el AR es fermentado en el colon por la flora microbiana otorgando importantes beneficios en la salud humana.¹²

Durante la fermentación se producen principalmente tres tipos de ácidos grasos de cadena corta: acético, propiónico y butírico, los cuales son reabsorbidos e interactúan en algunas rutas metabólicas y eventos genéticos de tumorigénesis.¹³ Así es como tanto la fibra como el AR podrían ser ingredientes con un gran potencial en el tratamiento de ECNT.^{14,15}

Esta fracción de AR se ha subdivido en tres tipos. El tipo 1, o almidón físicamente inaccesible, está atrapado en la matriz celular, por ejemplo, en semillas de leguminosas.¹⁵

El AR de tipo 2 se refiere a aquel contenido en granos de almidón nativo cristalino que es poco susceptible a hidrólisis, por

ejemplo, el contenido en papas crudas o plátanos verdes(16), mientras el AR tipo 3 corresponde a aquella fracción de almidón retrogradado, producido en alimentos refrigerados después de su cocción¹⁷ (Figura 1).

Así es como alimentos con bajo IG elevan los niveles de glucosa sanguínea en menor medida después de ingerir alguna comida.⁸ Este hecho podría disminuir la inflamación y el estrés oxidativo que se generan después de comer.⁹

Uno de los alimentos que contiene almidón y es el de mayor consumo en Colombia es el arroz.¹⁰ Es consumido generalmente después de ser cocinado, de modo que es uno de los alimentos que contribuye de manera importante a la carga glicémica en la dieta de los colombianos.

Esta revisión pretende establecer si, al someter alimentos ricos en almidón a un proceso de retrogradación, aumenta la cantidad de almidón resistente y disminuye el IG.

MATERIALES Y MÉTODOS

Usando las palabras clave “resistant starch AND rice”, se hizo una búsqueda sistemática en las siguientes bases de datos: PubMed, Scopus y ScienceDirect, para identificar artículos relevantes publicados entre 2016 y 2021, además, se hizo una búsqueda manual sin límite de lenguaje ni fecha. Los autores prepararon una lista inicial de publicaciones basada en los resultados de la búsqueda. Según

esta lista inicial, todos los autores hicieron la selección de los trabajos y analizaron los estudios científicos utilizados en esta revisión.

Criterios de inclusión y exclusión

Se tuvieron en cuenta únicamente ensayos clínicos en los que se hubiese trabajado la retrogradación de alimentos ricos en almidón. Se excluyeron las revisiones estudios *in vitro*.

Extracción de los datos

Fue realizada por dos de los investigadores usando un formato en Excel que incluyó los siguientes ítems: referencias, alimento,

metodología y resultados. Un tercer investigador participó si era requerido para resolver dudas y diferencias entre los dos primeros.

Resultados analizados

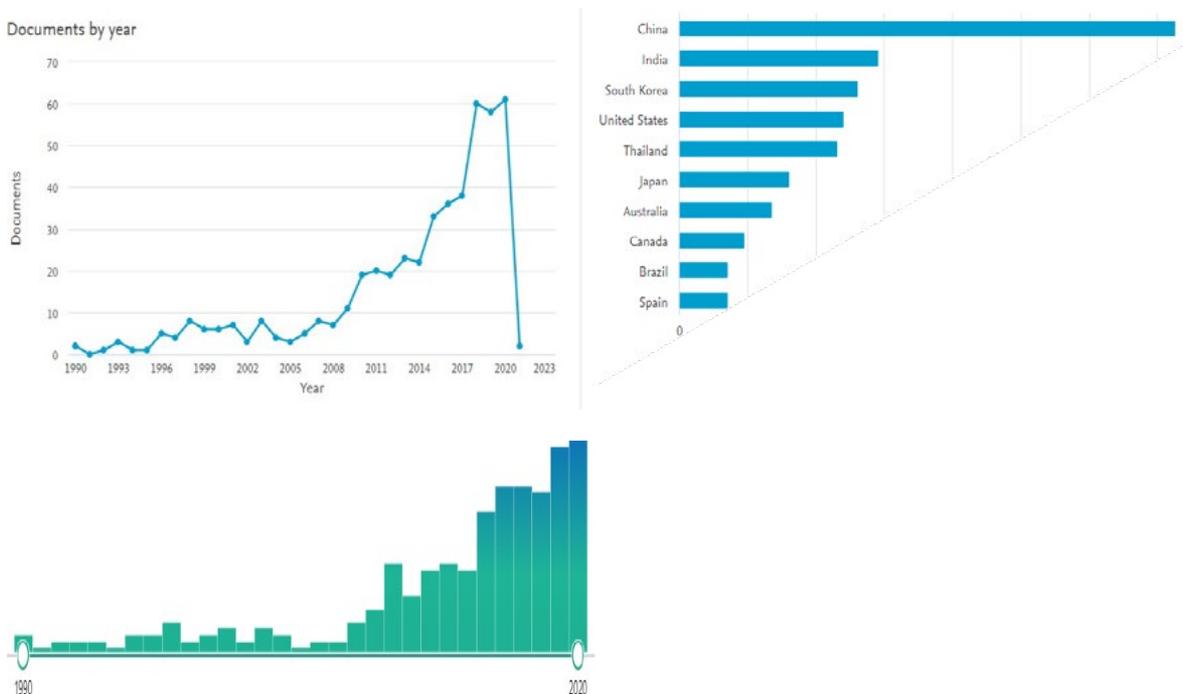
Se analizaron los cambios en el contenido de AR, antes y después de ser sometido a un proceso de retrogradación y el IG.

RESULTADOS

Estudio bibliométrico

Se realizó un estudio bibliométrico en Scopus y en PubMed por años y los países donde se ha publicado sobre el tema.

Figura 1. Análisis bibliométrico por años y países



Búsqueda de los estudios o búsqueda literaria

Un total de 301 estudios fueron identificados en la búsqueda, de ellos 11 cumplieron con los criterios de inclusión.

Inicialmente, todas las publicaciones relevantes de bases de datos y revistas indexadas fueron seleccionadas, que suministraron información teórica o práctica sobre retrogradación del almidón, almidón resistente tipo 3. De esta lista, fueron seleccionadas las publicaciones con artículos de revisión y artículos de investigación, que describieron claramente los mecanismos y resultados de este proceso.

Características de estudios seleccionados

Se incluyeron 11 estudios. Se identificaron cinco métodos de retrogradación del almidón y se evaluaron alimentos, como arroz, papa, maíz y pan (anexo 1).

Tipos de intervenciones

De los 11 estudios, dos con papa, dos intervenciones fueron con derivados del arroz, cinco con arroz, uno con pan y uno con maíz blanco.

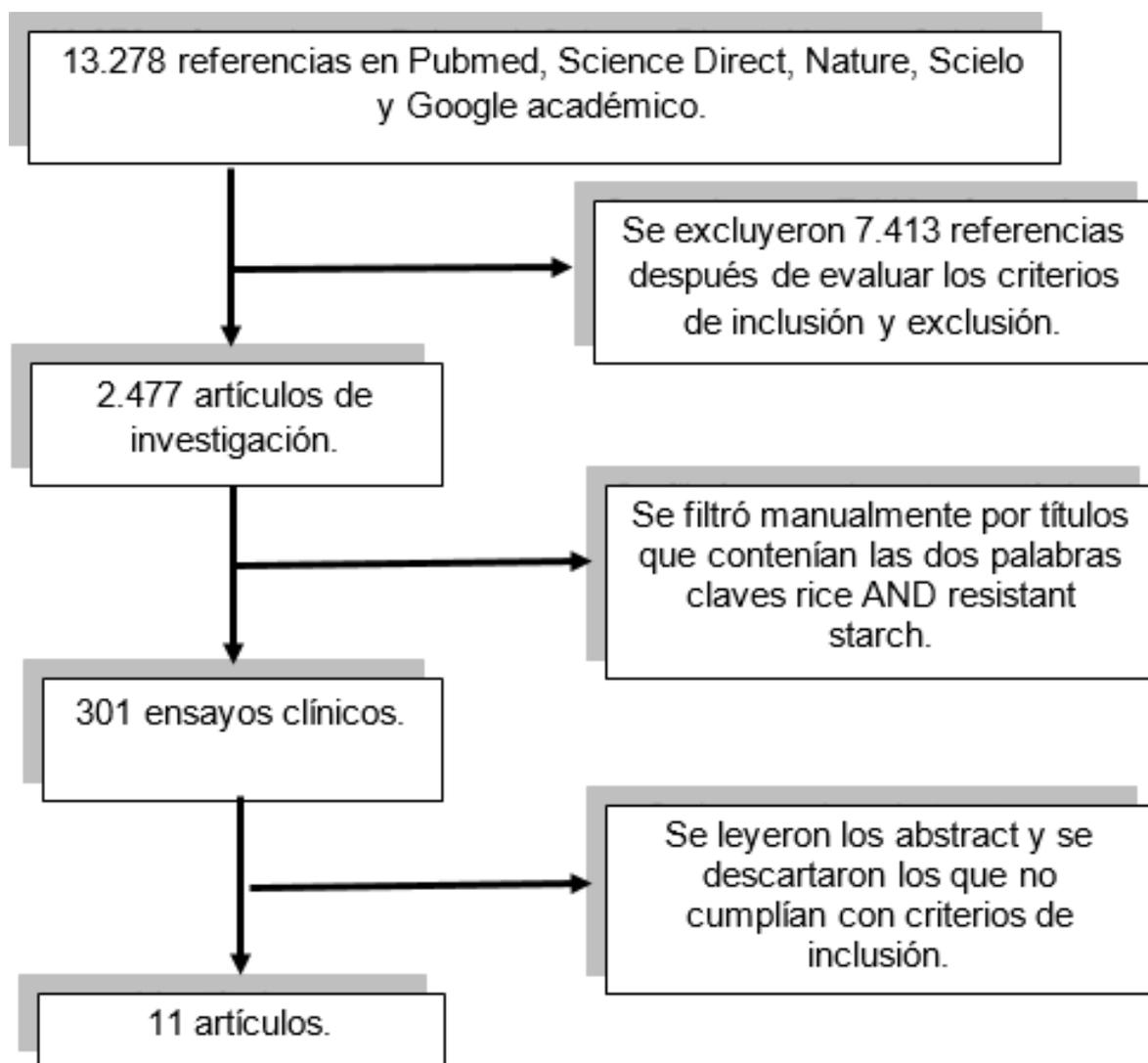
Intervenciones con papa

De los 11 estudios, en dos se analizó la retrogradación de la papa.

En el ensayo clínico de Leeman et al.,¹⁸ se evidenció que el índice glucémico (IG) y el índice insulínico (II) de las papas frías a las cuales se les añadió vinagre (IG/II ¼ 96/128) se redujeron significativamente en un 43 % y un 31 %, en comparación con el IG e II de las papas recién hervidas (168/185). Por tanto, el almacenamiento en frío redujo el II en un 28 % en comparación con el valor correspondiente para las papas recién hervidas. El II a los 120 min fue significativamente más bajo para las papas y las papas frías con adición de vinagreta. Para concluir, los resultados de este ensayo demuestran que el alto IG y el II, normalmente asociados con las harinas de papa, pueden reducirse por medio del uso de aderezo de vinagre o sirviendo productos fríos de papa.

Por otro lado, Alfa et al. 2017 (19) utilizaron el producto MSPrebiótico® (almidón no modificado de papa), (20) en este ensayo se demostró que redujo significativamente los niveles de glucosa e insulina en sangre en adultos mayores y redujo la resistencia a la insulina según lo analizado por los índices HOMA-IR y QUICKI- IR.(21), lo cual sugiere que estos niveles más bajos de glucosa en sangre pueden ser debidos a un mejor uso de insulina endógena. (22)

Figura 2. Flujograma de la búsqueda de publicaciones



Intervenciones con derivados de arroz

Dos de los 11 estudios evaluaron derivados del arroz. La razón por la que se incluyeron ensayos clínicos con derivados de arroz es porque algunos de estos tienen una mayor capacidad de retrogradación que el arroz habitual. Esto no quiere decir que el arroz habitual no pueda adquirir una mayor cantidad de AR e IG inferior, solo que los

derivados tienen una estructura química diferente que propicia la formación de AR.

Dicho esto, Saito et al.²³ encontraron en un estudio cruzado que el incremento en el área bajo la curva (iAUC, por sus siglas en inglés) de glucosa e insulina en el grupo de almidón retrogradado (ingestión de galletas de arroz) fue significativamente

más bajo que en el grupo control (arroz cocido sin almidón resistente) ($p = 0,006$ y $0,048$). En la segunda fase del estudio, se encontraron resultados similares en cuanto al iAUC de glucosa ($p = 0,021$). Sin embargo, el iAUC de insulina en el grupo almidón resistente fue menor que en el grupo de control, pero no significativamente.

Asimismo, en el estudio de Lin et al.²⁴ se dividieron los sujetos en tres grupos, se incluyeron individuos sanos y con diabetes tipo 2. Las comidas de control contenían un componente de cereal de arroz/fideos blancos, y las comidas del estudio contenían arroz/fideos derivados de PPB-R-203 como componente de cereal. Las concentraciones de glucosa en plasma y los niveles de insulina fueron significativamente más bajos en los sujetos que recibieron comidas a base de PPB- R-203 (almidón retrogradado), en comparación con los que recibieron alimentos disponibles comercialmente. El iAUC para la respuesta de glucosa a las 2 horas fue menor en PPB-R-203 que en los grupos control. En el caso del efecto de los alimentos a base de PPB-R-203 sobre el control de la glucosa y la regulación de la insulina en sujetos con diabetes tipo 2, los niveles de glucosa y la variabilidad fueron más bajos después del régimen basado en PPB-R-203 en comparación con el régimen disponible comercialmente. El nivel medio de glucosa en sangre disminuyó significativamente después del régimen basado en PPB-R-203 en comparación con el régimen disponible comercialmente ($p = 0,023$). El AUC

para la glucosa en sangre total se redujo notablemente para el régimen basado en PPB- R-203 en comparación con el régimen disponible comercialmente ($p = 0,021$).

En ambos artículos de derivados de arroz, se comprobó el impacto que tiene el AR en la insulinemia y glucemia posprandial; es necesario estudiar si estos hallazgos pueden traducirse en un efecto prolongado sobre el control glucémico y la reducción de probabilidad de desarrollar enfermedades crónicas.²⁵

Intervenciones con arroz

Un total de 5 de los 11 estudios evaluaron la retrogradación del arroz. Sonia et al.²⁶ demostraron que el arroz de prueba 2 (enfriamiento) tenía un contenido de almidón resistente más alto que el arroz de prueba 1 (cocido), por lo que se usó en el estudio clínico junto con el arroz de control para caracterizar la respuesta glucémica en 15 adultos sanos; el arroz de prueba 2 redujo significativamente la respuesta glucémica en comparación con el arroz de control ($p = 0,047$). Las iAUC de insulina y glucosa después de la ingestión de arroz de prueba 2 fueron significativamente más bajas que después de la ingestión de arroz de control. Como conclusión, el enfriamiento del arroz blanco cocido aumentó el contenido de almidón resistente. El arroz blanco cocido enfriado durante 24 h a 4 °C y luego recalentado redujo la respuesta glucémica en comparación con el arroz blanco recién cocido.²⁷

Los resultados del ensayo clínico de Wang et al.²⁸ indicaron que, en comparación con el almidón digerible (AD), el AR tiene efectos antiinflamatorios, aumento del anabolismo y disminución del catabolismo, ya que, en comparación con el AD, el aumento de macrófagos y linfocitos B y T, y la inhibición de la actividad de las células grasas, fueron significativamente menores en el caso del AR. Además, el AR podría activar neuronas, en otras palabras, la ingesta de AR podría disminuir la síntesis de grasa en el cuerpo, logrando el control del peso corporal.²⁹ En comparación con el AD, el almidón resistente desempeña un importante papel en la prevención de enfermedades asociadas con la inflamación. Los resultados actuales parecen incompatibles con esta creencia, pero no lo son.

En conclusión, cuando la cantidad de AR en los alimentos forma parte de la dieta cotidiana,³⁰ provoca pérdida de peso e, incluso, simula la restricción calórica. Por tal razón, podría desempeñar un papel positivo y eficiente en las ECNT bastante reconocidas en el siglo XXI.¹⁵

En un ensayo clínico, Li et al.³¹ encontraron que el consumo de arroz con AR disminuyó significativamente los valores del IG y el II, en comparación con la ingesta de arroz tipo salvaje para II ($p = 0,05$). Por otro lado, el consumo de harina de arroz GM enriquecido con AR disminuyó las respuestas glucémica e insulínica posprandial en adultos chinos jóvenes y sanos. Los niveles de glucosa en

sangre después de consumir arroz con AR fueron significativamente más bajos que los del arroz salvaje. Además, el valor del AUC para la harina de arroz con AR fue significativamente menor que el de la harina de arroz tipo salvaje ($p = 0,05$).

Algo importante a tener en cuenta es que el IG para la harina de arroz almidón resistente fue menor que el de la harina de arroz tipo salvaje ($p = 0,05$). Finalmente, los valores del AUC de la insulina después de la ingesta del arroz con AR se redujeron significativamente, en comparación con los del arroz tipo salvaje.³² En conclusión, el consumo de arroz enriquecido con AR redujo las respuestas insulínicas posprandiales en esos sujetos.

Kwak et al.³³ mostraron que el régimen dietario que contenía arroz con AR redujo la insulina en ayunas y la resistencia a la insulina, la glucosa posprandial ($p = 0,010$) y las áreas de glucosa e insulina bajo la curva de respuesta después de la comida estándar. Este ensayo dio como resultado una tendencia hacia una disminución de la glucosa en ayunas ($p = 0,064$) y una reducción significativa de la insulina sérica en ayunas ($p = 0,035$) en cuanto al índice de resistencia a la insulina (HOMA-IR, por sus siglas en inglés) ($p = 0,045$).³⁴ Después de la intervención, el grupo de arroz que contenía almidón resistente mostró una disminución en las áreas de respuesta de glucosa ($p = 0,011$) e insulina ($p = 0,044$) durante la prueba de comida estándar. Los cambios en el índice HOMA-IR ($p = 0,046$) y el área de respuesta de glucosa ($p = 0,008$) durante

la prueba de comida estándar en el grupo de arroz que contenía almidón resistente fueron significativamente diferentes de los del grupo placebo. Este artículo permite concluir que, en sujetos con diabetes tipo 2, 4 semanas de tratamiento dietético con arroz con AR se asoció con una mejor función endotelial con reducción de la glucosa posprandial y el estrés oxidativo en comparación con el control.

En el artículo de Chiu et al.,³⁰ los sujetos consumieron uno de tres tratamientos: bebida de glucosa (control), arroz con alto contenido de AR y arroz bajo en AR, donde las AUC de glucosa fueron significativamente más bajas para alto AR y bajo AR en comparación con el control de glucosa. No hubo diferencia estadística entre el IG de los dos tratamientos de arroz: área de glucosa en sangre bajo la curva arroz AAR $211 \pm 14,1$ vs. arroz BAR $181 \pm 12,0$, IG AAR $83,9 \pm 6,6$ vs. arroz BAR $78,0 \pm 10,6$.³⁵

En ese orden de ideas, en los cinco artículos, se hace énfasis en el alto impacto que tiene el consumo de AR en la glucemia e insulinemia posprandial. Por ende, evita el desarrollo de enfermedades crónicas no transmisibles, además, se tomaron dos artículos en los que participaron individuos con enfermedades crónicas, con el fin de asimilar la importancia de la incorporación de AR en los regímenes dietarios cotidianos.

Otros alimentos (pan y maíz)

Un total de dos de los 11 estudios evaluaron alimentos ricos en almidón, como pan y maíz.

En el caso del ensayo clínico de Bergeron et al.,¹² se evaluó el maíz y se demostró que las dietas altas y bajas en AR no afectaron las concentraciones de insulina y glucosa en ayunas. Sin embargo, en estado posprandial, se evidenciaron menores niveles de insulina y glucosa después de ingerir una comida con un contenido alto de AR ($p = 0,0001$ y $p = 0,007$). Esta intervención tuvo una duración de 4 semanas; pero, a pesar de los resultados positivos, los autores consideran que es necesario realizar intervenciones más largas para que estas tengan mayor beneficio en la salud humana.³⁶

Por el contrario, en el artículo de Boll et al.,³⁷ no se observó una disminución en la respuesta a la glucosa (iAUC 0-180 min) con el aumento del AR ($r = 0,75$; $PAG = 0,77$). Para las respuestas generales a la insulina, según lo descrito por el iAUC, no se observaron diferencias significativas en el desayuno.³⁸

Todos los estudios mencionados, a excepción de Boll et al.,³⁷ tuvieron en común las mismas variables y resultados similares, que comprueban los beneficios a nivel glucémico e insulínico de alimentos ricos en AR.

Además, se identificaron distintos métodos de retrogradación: cuatro estudios utilizaron un método más acorde con los procesos culinarios cotidianos y seis estudios un método tecnificado.

Métodos de retrogradación y digestión

Leeman et al.¹⁸ El método de almacenar en frío las papas hervidas aumentó significativamente el contenido de almidón resistente del 3,3 al 5,2 %. Para llevar a cabo este proceso, las papas se pelaron, pesaron y pusieron a hervir en 1 L de agua por 21-30 min, se cortaron en cuatro trozos y se sirvieron recién hervidas después de un almacenamiento en frío a 81 °C durante 24 h. Además, las papas almacenadas en frío previamente hervidas se sirvieron con una salsa vinagreta que incluía 28 g de vinagre blanco y 8 g de aceite de oliva.³⁹

Saito et al.²³ Para la preparación de las galletas, la masa se secó al aire caliente durante 80 min a 70 °C y se horneó en una máquina tostadora. Y para el arroz cocido, se lavó y se remojó en agua durante 30 min, luego se esterilizó al vapor durante 30 segundos a 135 °C y se cocinó durante 12 min a 103 °C usando el método de esterilización mediante calentamiento durante 20 min a 110 °C. El arroz cocido se almacenó durante 2 días a 4 °C antes de su consumo.⁴⁰

Sonia et al.²⁶ Los contenidos de AR se analizaron en arroz blanco recién cocido (arroz de control), arroz blanco cocido

enfriado durante 10 horas a temperatura ambiente (arroz de prueba I) y arroz blanco cocido enfriado durante 24 h a 4 °C y luego recalentado (arroz de prueba II). En conclusión, el enfriamiento del arroz blanco cocido aumentó el contenido de AR. El arroz blanco cocido enfriado durante 24 h a 4 °C y luego recalentado redujo la respuesta glucémica en comparación con el arroz blanco recién cocido.⁴¹

Wang et al.²⁸ Se gelatinizó el arroz mezclado con 400 mL de agua destilada mediante agitación continua a 95 °C durante 3 horas y luego se esterilizó en autoclave a 120 °C durante 40 min.⁴² Después de un enfriamiento natural, los almidones gelatinizados se retrogradaron a 4 °C durante 72 horas.⁴³ Posteriormente, se añadieron 0,6 mL de α -amilasa a 90 °C durante 6 horas. Los almidones retrógradados brutos se precipitaron a 3000 g durante 5 min y las fracciones sobrenadantes se descartaron. Los almidones retrogradados se lavaron con agua destilada 3 veces y se secaron a 50 °C en un horno hasta que se alcanzó un peso constante.⁴⁴

Chiu et al.³⁰ Se seleccionaron para el análisis las marcas más comunes de arroz de grano corto, mediano, largo y jazmín. Cada variedad de arroz se cocinó utilizando cada uno de tres métodos (horneado al horno, olla arrocera convencional y olla de presión).¹⁰

Horneado al horno. Se combinó 1 taza de arroz con 1,5 tazas de agua y se horneó en

una fuente de vidrio para hornear cubierta a 175 °C durante 30 min.

Olla arrocera convencional. Se combinó 1 taza de arroz con 1,5 tazas de agua y se cocinó hasta que la olla arrocera se apagó (20-30 min de tiempo de cocción).

Olla de presión. Se combinó 1 taza de arroz con 4 tazas de agua y se cocinó durante 6 min a presión, el agua restante se filtró del arroz. Una porción del arroz se refrigeró inmediatamente después de la preparación.

El contenido de AR del arroz fresco se midió inmediatamente después de la preparación, mientras el contenido de AR del arroz refrigerado se midió después de 3 días de almacenamiento a 4 °C.

La variedad de arroz influyó significativamente en el contenido de AR del arroz refrigerado cuando el arroz se preparó con una olla arrocera y cuando se horneó en el horno. La refrigeración disminuyó significativamente el contenido de AR del arroz jazmín cocido a presión y horneado al horno, pero no tuvo ningún efecto sobre las otras variedades de arroz o métodos de cocción. El arroz de grano largo refrigerado preparado con la olla arrocera tuvo el mayor contenido de AR.⁴⁶

Lin et al.²⁴ Los componentes de almidón de los alimentos basados en PPB- R-203 incluyen almidón retrogradado (10 %), amilosa (20 %) y amilopectina (70 %).

Li et al.³¹ El arroz enriquecido con AR se generó por expresión transgénica

del antisentido complementario a la transcripción del gen de la enzima ramificadora del almidón en un arroz índica.³⁶

Kwak et al.³³ CJ CheilJedang Corporation (empresa mundial de alimentos) proporcionó dos tipos de arroz (210 g de arroz refinado cocido/paquete de porción), uno que contenía AR derivado de almidón de maíz, con 6,51 g de AR/paquete (arroz de prueba: IG bajo carbohidrato).⁴⁵

Bergeron et al.¹² y Boll et al.³⁷ utilizaron AR comercial de HI-MAIZE®.¹⁷

DISCUSIÓN

En esta revisión, se incluyeron 11 estudios y se evaluaron alimentos, como arroz, derivados del arroz, papa, maíz y pan. Se identificaron cinco métodos de retrogradación que variaron en cuanto a temperatura de cocción y de refrigeración. Otros métodos se basaron en modificaciones genéticas. Los demás métodos identificados eran más tecnificados. Se observó que con la mayoría de ellos disminuyó el IG y el II.

Hoy día, hay un aumento en el mundo de enfermedades relacionadas con la resistencia a la insulina. Aunque el estilo de vida es importante, los factores dietéticos están fuertemente involucrados en el incremento de su resistencia. Un parámetro de calidad de la dieta que ha ganado importancia es el IG. El IG clasifica los alimentos ricos en carbohidratos según su efecto de aumentar el azúcar en sangre.

Varios estudios han demostrado los efectos beneficiosos de las dietas con IG bajo en la prevención y el tratamiento de la resistencia a la insulina, ya que los niveles más altos de glucémica posprandial están implicados en el desarrollo de ECNT, en particular diabetes *mellitus* tipo 2 y enfermedades cardiovasculares.¹⁸

Tampoco se recomienda la eliminación completa de carbohidratos de la dieta o la implementación de dietas bajas en carbohidratos porque otras enfermedades pueden verse deterioradas y la sustitución de proteínas y grasas de origen animal puede tener, incluso, efectos más nocivos para la salud. Es posible desde el punto de vista dietético modificar la composición y la estructura de los alimentos por medio de sus ingredientes y el procesamiento de estos, con el objeto de reducir la cantidad de hidratos de carbono disponibles, limitar la velocidad de digestión y controlar la actividad o accesibilidad enzimática dando como resultado la ralentización de la absorción de la glucosa.⁴⁷

Diversos estudios han demostrado que el consumo de arroz enfriado después de la cocción y posteriormente recalentado han dado lugar a una menor respuesta glicémica posprandial en comparación con el arroz recién cocido.²⁶ Igualmente, se observaron efectos similares en papa.^{18,48}

Sin utilizar ingredientes alternativos ni añadir otros, es posible manipular la matriz alimentaria de los alimentos y su digestibilidad mediante diferentes condiciones de almacenamiento. Los

principales parámetros que afectan la matriz alimentaria son la temperatura-tiempo de enfriamiento (condiciones de almacenamiento), el grado de gelatinización y la relación almidón-agua, los cuales pueden modificarse para influir en la retrogradación y la posterior digestibilidad de los productos almidonados.⁴⁷

Cummings et al.⁴⁹ mencionan las propiedades del almidón en la reducción de la respuesta glucémica y la mejora de la sensibilidad a la insulina. En el estudio de Dhar et al.,⁴⁷ los niveles de glucosa en sangre fueron significativamente más bajos tras la ingestión de arroz enfriado y recalentado en comparación con el arroz caliente recién preparado. Yamada et al.⁵⁰ reportaron en su ensayo clínico que la ingesta de pan con almidón resistente inhibió significativamente los aumentos posprandiales tanto de la glucosa en sangre como de la insulina.

Los hidratos de carbono, como los granos de arroz, se cocinan con agua en condiciones de ebullición y se transforman de un alimento no comestible en uno comestible. Durante ese proceso, se producen muchos cambios microestructurales dentro de la macromolécula de almidón que modifican su digestibilidad a medida que el arroz se cuece con agua; el almidón sufre un proceso llamado gelatinización.⁴⁷

El almidón se encuentra formado por dos polisacáridos estructurales, la amilosa y la amilopectina; es la relación

amilosa-amilopectina la que determina la digestibilidad del almidón en el intestino. Cuanto mayor sea la relación amilosa-amilopectina, mayor será la resistencia a la digestibilidad del almidón, lo que lo convierte en almidón resistente.⁴⁹

Los gránulos de almidón contenidos en los granos de arroz comienzan a hincharse, las cadenas de amilosa y amilopectina empiezan a perder su cristalinidad, ya que se caracterizan por ser estructuras de empaquetamiento apretadas, y finalmente se desordenan. Este estado estructural es transitorio y las moléculas de amilosa y amilopectina comienzan a realinearse de nuevo en estructuras compactas al enfriarse y almacenarse. Este proceso se denomina retrogradación, y el almidón retrogradado es resistente a la digestión debido a su estructura ordenada y cristalina.⁴⁷

Los almidones que contienen una mayor cantidad de amilosa son más resistentes a la digestión, además, una de las razones de las respuestas de glucosa posprandial más bajas a las variedades con alto contenido de amilosa es la gelatinización incompleta de la amilosa en condiciones normales de cocción.

Una cantidad elevada de almidón resistente puede atenuar la respuesta de insulina y glucosa en sangre posprandial en comparación con las del cultivo de arroz habitual.

El almidón resistente es la proporción de almidón que no se absorbe en el intestino delgado de personas sanas y, por tanto, proporcionan a la microflora del colon un sustrato de carbohidratos fermentables, sustrato fermentable que promueve la producción en el colon de ácidos grasos de cadena corta (AGCC). Los estudios indican que, durante la fermentación del colon de RS, en particular, se forma butirato. El butirato es un sustrato importante para los colonocitos, además, no solo se asocia con beneficios relacionados con la salud del colon en general.¹⁸

LIMITACIONES

Una de las limitaciones de esta revisión fue la variedad de métodos de retrogradación en relación con el tiempo y las temperaturas. Algunos de los alimentos fueron modificados genéticamente, con el fin de aumentar la relación amilosa-amilopectina. Se requieren más estudios con procesos que se acerquen más a la forma cotidiana de preparar los alimentos en cada país.

CONCLUSIONES

En la mayoría de los estudios, se evidencia una disminución del IG tanto con el almidón retrogradado como con prebióticos y con alimentos enriquecidos con almidón resistente.

REFERENCIAS

1. Mockus-Sivickas I, Trujillo-Güisa ML. *Obesidad y enfermedades asociadas*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia; 2013.
2. Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud. Informe quinquennial 2008-2012 del director de la Oficina Sanitaria Panamericana; 2012. https://iris.paho.org/bitstream/handle/10665.2/4140/Documento%20Oficial%20343_es.pdf?sequence=1&isAllowed=y.
3. International Monetary Fund. World Economic Outlook Database April 2015 [internet]. <https://www.imf.org/en/Publications/WEO/weo-database/2015/April>
4. World Health Organization/Food and Agriculture Organization of the United Nations. Diet, Nutrition and the Prevention of Chronic Diseases [internet]. 2012. <https://www.fao.org/3/ac911e/ac911e00.htm>
5. Watanabe K. Anti-inflammatory diet: necessity of scientific spotlight and challenges. *Complement Ther Med*. 2020;50:102281. DOI: 10.1016/j.ctim.2019.102281
6. Ma Z, Hu X, Boye JI. Research advances on the formation mechanism of resistant starch type III: a review. *Crit Rev Food Sci Nutr*. 2020;60(2):276-97. <https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1523785>
7. Saura-Calixto F, Goñi I, Bravo L, Mañas E.. Resistant starch in foods: modified method for dietary fiber residues. *J Food Sci*. 1993;58(3):642-643. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb04346.x>
8. Sotelo A, Argote RM, Cornejo L, et al. Medición de fibra dietética y almidón resistente: reto para alumnos del Laboratorio de Desarrollo Experimental de Alimentos (LabDEA). *Educ Quím*. 2008;19(1):42-49. <https://www.scielo.org.mx/pdf/eq/v19n1/v19n1a7.pdf>
9. Kovatcheva-Datchary P, Nilsson A, Akrami R, et al. Dietary fiber-induced improvement in glucose metabolism is associated with increased abundance of *Prevotella*. *Cell Metabolism*. 2015;22(6):971-982. <https://doi.org/10.1016/j.cmet.2015.10.001>

10. Gani A, Wani SM, Masoodi FA, et al. Characterization of rice starches extracted from Indian cultivars. *Food Sci Technol Int.* 2013;19(2):143-52. <https://doi.org/10.1177/108201321244>
11. MacNeil S, Rebry RM, Tetlow IJ, et al. Resistant starch intake at breakfast affects postprandial responses in type 2 diabetics and enhances the glucose-dependent insulinotropic polypeptide-insulin relationship following a second meal. *Appl Physiol Nutr Metab.* 2013;38(12):1187-1195. <https://doi.org/10.1139/apnm-2013-0023>
12. Bergeron N, Williams PT, Lamendella R, et al. Diets high in resistant starch increase plasma levels of trimethylamine-N-oxide, a gut microbiome metabolite associated with CVD risk. *Br J Nutr.* 2016;116(12):2020-2029. <https://doi.org/10.1017/S0007114516004165>
13. Kasubuchi M, Hasegawa S, Hiramatsu T, et al. Dietary gut microbial metabolites, short-chain fatty acids, and host metabolic regulation. *Nutrients.* 2015;7(4):2839-2849. <https://doi.org/10.3390/nu7042839>
14. Yaribeygi H, Farrokhi FR, Butler AE, et al. Insulin resistance: review of the underlying molecular mechanisms. *J Cell Physiol.* 2019;234(6):8152-8161. <https://doi.org/10.1002/jcp.27603>
15. Birt DF, Boylston T, Hendrich S, et al. Resistant starch: promise for improving human health. *Adv Nutr.* 2013;4(6):587-601. [https://advances.nutrition.org/issue/S2161-8313\(23\)X0006-4](https://advances.nutrition.org/issue/S2161-8313(23)X0006-4)
16. Villarroel P, Gómez C, Vera C, et al. Almidón resistente: características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Rev Chil Nutr.* 2018;45(3):271-278. <http://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
17. Maki KC, Pelkman CL, Finocchiaro ET, et al. Resistant starch from high-amylose maize increases insulin sensitivity in overweight and obese men. *J Nutr.* 2012;142(4):717-723. [https://jn.nutrition.org/issue/S0022-3166\(23\)X0011-X](https://jn.nutrition.org/issue/S0022-3166(23)X0011-X)
18. Leeman M, Östman E, Björck I. Vinegar dressing and cold storage of potatoes lowers postprandial glycaemic and insulinaemic responses in healthy subjects. *Eur J Clin Nutr.* 2005;59(11):1266-71. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602238>
19. Alfa MJ, Strang D, Tappia PS, et al. A randomized placebo controlled clinical trial to determine the impact of digestion resistant starch MSPrebiotic® on glucose, insulin,

- and insulin resistance in elderly and mid-age adults. *Front Med.* 2017;4. <https://doi.org/10.3389/fmed.2017.00260>
20. Zaman SA, Sarbini SR. The potential of resistant starch as a prebiotic. *Crit Rev Biotechnol.* 2016;36(3):578-584. <https://doi.org/10.3109/07388551.2014.993590>
21. Bindels LB, Walter J, Ramer-Tait AE. Resistant starches for the management of metabolic diseases. *Curr Opin Clin Nutr Metab Care.* 2015;18(6):559-565. DOI: 10.1097/MCO.0000000000000223
22. Yaribeygi H, Farrokhi FR, Butler AE, et al. Insulin resistance: review of the underlying molecular mechanisms. *J Cell Physiol.* 2019;234(6):8152- 8161. <https://doi.org/10.1002/jcp.27603>
23. Saito Y, Watanabe T, Sasaki T, et al. Effects of single ingestion of rice cracker and cooked rice with high resistant starch on postprandial glucose and insulin responses in healthy adults: two randomized, single-blind, cross-over trials. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2020;84(2):365-371. [https://doi.org/10,1080/09168451.2019.1687282](https://doi.org/10.1080/09168451.2019.1687282)
24. Lin CH, Chang DM, Wu DJ., et al. Assessment of blood glucose regulation and safety of resistant starch formula-based diet in healthy normal and subjects with type 2 diabetes. *Med (United States).* 2015;94(33):e1332. DOI: 10.1097/MD.0000000000001332
25. Keenan MJ, Zhou J, Hegsted M, et al. Role of resistant starch in improving gut health, adiposity, and insulin resistance. *Adv Nutr.* 2015;6(2):198-205. [https://advances.nutrition.org/issue/S2161-8313\(23\)X0006-4](https://advances.nutrition.org/issue/S2161-8313(23)X0006-4)
26. Sonia S, Witjaksono F, Ridwan R. Effect of cooling of cooked white rice on resistant starch content and glycemic response. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2015;24(4):620-625.
27. Venn BJ, Green TJ. Glycemic index and glycemic load: measurement issues and their effect on diet-disease relationships. *Eur J Clin Nutr.* 2007;61:S122-31. <https://doi.org/10.1038/sj.ejcn.1602942>
28. Wang H, Pang G. Effect of resistant and digestible rice starches on human cytokine and lactate metabolic networks in serum. *Cytokine.* 2017;93:57-65. <https://doi.org/10.1016/j.cyto.2017.05.009>

29. Wani AA, Singh P, Shah MA, et al. Rice starch diversity: Effects on structural, morphological, thermal, and physicochemical properties: a review. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2012;11(5):417-436. <https://doi.org/10.1111/j.1541-4337.2012.00193.x>
30. Chiu YT, Stewart ML. Effect of variety and cooking method on resistant starch content of white rice and subsequent postprandial glucose response and appetite in humans. *Asia Pac J Clin Nutr.* 2013;22(3):372-379.
31. Li M, Piao JH, Tian Y, et al. Postprandial glycaemic and insulinaemic responses to GM-resistant starch-enriched rice and the production of fermentation-related H₂ in healthy Chinese adults. *Br J Nutr.* 2010;103(7):1029-1034. <https://doi.org/10.1017/S0007114509992820>
32. McCleary B V, Monaghan DA. Measurement of resistant starch. *J AOAC Int.* 2002;85(3):665-675. <https://doi.org/10.1093/jaoac/85.3.665>
33. Kwak JH, Paik JK, Kim HI, et al. Dietary treatment with rice containing resistant starch improves markers of endothelial function with reduction of postprandial blood glucose and oxidative stress in patients with prediabetes or newly diagnosed type 2 diabetes. *Atherosclerosis.* 2012;224(2):457-464. <https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2012.08.003>
34. Lu LW, Monro J, Lu J, et al. The effect of cold treatment of parboiled rice with lowered glycaemic potency on consumer liking and acceptability. *Foods.* 2018;7(12):207. <https://doi.org/10.3390/foods7120207>
35. Ranawana D V, Henry CJK, Lightowler HJ, et al. Glycaemic index of some commercially available rice and rice products in Great Britain. *Int J Food Sci Nutr.* 2009;60(sup4):99-110. <https://doi.org/10.1080/09637480802516191>
36. Chung HJ, Lim HS, Lim ST. Effect of partial gelatinization and retrogradation on the enzymatic digestion of waxy rice starch. *J Cereal Sci.* 2006;43(3):353-359. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2005.12.001>
37. Boll EVJ, Ekström LMNK, Courtin CM, et al. Effects of wheat bran extract rich in arabinoxylan oligosaccharides and resistant starch on overnight glucose tolerance and markers of gut fermentation in healthy young adults. *Eur J Nutr.* 2016;55(4):1661-1670. <https://doi.org/10.1007/s00394-015-0985-z>

38. He J, Han Y, Liu M, et al. Effect of 2 types of resistant starches on the quality of yogurt. *J Dairy Sci.* 2019;102(5):3956-3964. <http://dx.doi.org/10.3168/jds.2018-15562>
39. Kowsik PV, Mazumder N. Structural and chemical characterization of rice and potato starch granules using microscopy and spectroscopy. *Microsc Res Tech.* 2018;81(12):1533-1540. <https://doi.org/10.1002/jemt.23160>
40. Doan HXN, Song Y, Lee S, et al. Characterization of rice starch gels reinforced with enzymatically-produced resistant starch. *Food Hydrocoll.* 2019;91:76-82. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.01.014>
41. Sakuma M, Yamanaka-Okumura H, Naniwa Y, et al. Dose-dependant effects of barley cooked with white rice on postprandial glucose and desacyl ghrelin levels. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 2009;44:151-159. <https://doi.org/10.3164/jcbn.08-232>
42. Raungrusmee S, Anal AK. Effects of lintnerization, autoclaving, and freeze-thaw treatments on resistant starch formation and functional properties of pathumthani 80 rice starch. *Foods.* 2019;8(11):558. <https://doi.org/10.3390/foods8110558>.
43. Denchai N, Suwannaporn P, Lin J, et al. Retrogradation and digestibility of rice starch gels: the joint effect of degree of gelatinization and storage. *J Food Sci.* 2019;84(6):1400-1410. <https://doi.org/10.1111/1750-3841.14633>
44. Eliasson AC. Gelatinization and retrogradation of starch in foods and its implications for food quality. En: Skibsted LH, Risbo J, Andersen ML, editores. *Chemical deterioration and physical instability of food and beverages.* Sawston: Woodhead Publishing; 2010. p. 296-323. <https://doi.org/10.1533/9781845699260.2.296>
45. Ma Y, Sun DW. Hardness of cooked rice as affected by varieties, cooling methods and chill storage. *J Food Process Eng.* 2009;32(2):161-176. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4530.2007.00206.x>
46. Siljeström M, Asp NG. Resistant starch formation during baking: effect of baking time and temperature and variations in the recipe. *Z Lebensm Unters Forsch.* 1985;181(1):4-8. <https://doi.org/10.1007/BF01124798>.
47. Wee MSM, Henry CJ. Reducing the glycemic impact of carbohydrates on foods and meals: Strategies for the food industry and consumers with special focus on Asia. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2020;19(2):670-702. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12525>

48. Tahvonen R, Hietanen RM, Sihvonen J, et al. Influence of different processing methods on the glycemic index of potato (Nicola). *J Food Compos Anal.* 2006;19(4):372-378. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2005.10.008>
49. Dhar A, Kumar D, Sharma A, et al. Effect of hot and cooled carbohydrate diet on glycemic response in healthy individuals : a cross over study. *J Res Med Sci.* 2021;9(3):828-832. <https://doi.org/10.18203/2320-6012.ijrms20210886>
50. Yamada Y, Hosoya S, Nishimura S, et al. Effect of bread containing resistant starch on postprandial blood glucose levels in humans. *Biosci Biotechnol Biochem.* 2005;69(3):559-566. [HTTPS://DOI.ORG/10.1271/BBB.69.559](https://doi.org/10.1271/BBB.69.559)

Referencias	Alimento	Proceso de retrogradación	Población	Diseño del estudio	Descripción de la intervención	Duración de la intervención	Marcadores	Resultados	Conclusiones
1 Lee-man et al. 2005	Papa	Las papas se pelaron, se pesaron y se hirvieron en 1 L de agua durante 21-30 min para alcanzar la misma consistencia de consumo. Se cortaron en cuatro trozos y se almacenaron a 8 °C durante 24 h. Åkerberg et al. (1998)	Un total de 13 voluntarios sanos (10 mujeres y 3 hombres) de 19-32 años, con IMC normales de 20,4-24,6 kg/m ²	Cruzado aleatorizado con 4 intervenciones.	Se formaron 4 grupos: papa hervida (PH); papa hervida y refrigerada a 8 °C (PHR); papa hervida y refrigerada a 8 °C con vinagreta (PHRV); grupo control (C): pan blanco de trigo. Todas las comidas contenían 50 g de almidón disponible, se consumieron durante 12 minutos y se acompañaron con 250 mL de agua o 150 mL de café/té. La vinagreta constaba de 28 g de vinagre blanco (6 % de ácido acético) y 8 g de aceite de oliva.	4 semanas	Almidón Resistente (AR) % AD % IG (120 min) II (120 min)	(PH) 3,3 ± 0,1 vs. (PHR) 5,2 ± 0,2 * (PH) 89 ± 1,9 vs. (PHR) 88 ± 3,3 (PH) 168 ± 31 vs. (PHR) 125 ± 17 vs. (PHRV) 96 ± 15 * (PH) 185 ± 19 vs. (PHR) 134 ± 12 vs. (PHRV) 128 ± 20 *	Las papas hervidas y refrigeradas (PHR) a 8 °C por 24 h aumentan su concentración de AR. El IG e II es menor cuando se les adiciona a las PHR vinagre y aceite de oliva.
2 Sonia et al. 2015	Arroz IR-64 (Bandung, Indonesia).	Para preparar arroz blanco recién cocido (arroz de control), se lavaron 4 tazas de arroz, se combinaron con unos 750 mL de agua y se cocinaron (hasta ± 100 °C, 22 min) hasta que se puso en modo caliente automáticamente. Se refrigeró durante 24 h a 4 °C, luego se recalentó con 240 mL de agua en la arrocera hasta que se puso en modo caliente (unos 15 min). Se dejó en la arrocera en modo caliente durante 15 min y se mezcló uniformemente antes de utilizarlo. El contenido de RS se analizó mediante el método de Kim et al. ¹³	Un total de 15 adultos sanos (5 hombres y 10 mujeres). Criterios de inclusión: estar sanos, tener entre 20-40 años, no estar bajo algún tipo de medicación, no tener un nivel de glucosa plasmática en ayunas ≥ 100 mg/dL, tener un IMC 22,2 ± 1,8 kg/m ² , nivel de glucosa en plasma en ayunas en 4,97 ± 0,32 (mmol/L), no tener antecedentes de diabetes mellitus. No tener alergias alimentarias.	Cruzado aleatorio y a ciegas	Se analizó el contenido de AR en el arroz blanco recién cocido (arroz de control), arroz blanco cocido enfriado durante 10 h a temperatura ambiente (arroz de prueba I), y arroz blanco cocido enfriado durante 24 h a 4 °C y luego recalentado (arroz de prueba II). Los resultados mostraron que los contenidos de almidón resistente en el arroz de control, el arroz de prueba I y el arroz de prueba II era de 0,64 g/100 g, 1,30 g/100 g y 1,65 g/100 g, respectivamente. El arroz de prueba II tenía un mayor contenido de almidón resistente que el arroz de prueba I, por lo que se utilizó en el estudio clínico junto con el arroz de control para caracterizar la respuesta glucémica. En el estudio clínico, el arroz II redujo significativamente la respuesta glucémica en comparación con el arroz de control (125 ± 50,1 frente a 152 ± 48,3 mmol min/L, (p = 0,047).	—	Niveles de glucosa en sangre (mmol/L) 60 min) p = 0,037 AR (g/100 g) iAUC (mmol min/L) p = 0,047	(Arroz control 6,49 ± 1,03) vs. (Arroz prueba II 5,83 (5,33-7,10)))* (Arroz Control 0,64) vs. (Arroz prueba I 1,30) vs. (Arroz prueba II 1,65) (Arroz Control 152 ± 48,3) vs. (Arroz prueba II 125 ± 50,1)*	Este estudio demostró que el enfriamiento del arroz blanco cocido aumenta su contenido en AR. El arroz blanco cocido y enfriado a 4 °C durante 24 h y luego recalentado tenía un mayor contenido de RS que el arroz blanco cocido y enfriado a temperatura ambiente durante 10 horas. En el estudio clínico, la ingestión de arroz blanco cocido enfriado a 4 °C durante 24 h y recalentado produjo una menor respuesta glucémica en comparación con la ingestión de arroz blanco recién cocido en la misma porción.

3	Saito et al. 2019	Galletas de arroz	Método propuesto por McCleary, consiste en restar la suma del almidón de fácil digestión más el almidón de digestión lenta del almidón total.	Un total de 20 voluntarios fueron asignados al azar, 10 sujetos para cada grupo (A y B), de 20 a 50 años e IMC igual o menor de 30.	Aleatorizado, simple ciego y cruzado, única ingestión.	Ensayo 1: Grupo A: Galleta de arroz Control + Galleta de arroz AR. Grupo B: Galleta de arroz AR + Galleta de arroz control. Ensayo 2: Grupo A: Arroz cocido Control + Arroz cocido AR. Grupo B: Arroz cocido AR + Arroz cocido control. Los sujetos ingirieron los alimentos de prueba durante 12 min. Se recogió sangre venosa en 5 puntos de tiempo: línea de base 30, 45, 60 y 120 min después de la ingestión del alimento de prueba.	2 meses	Carbohidratos disponibles	Galleta de arroz 23,7 g vs. Arroz cocido 50,0 g	La galleta de arroz y el arroz cocido que tienen un AR alto pueden atenuar la glucosa e insulina en sangre posprandial, en comparación con los del cultivo de arroz habitual.
								AR	Galleta de arroz 1,9 g vs. Arroz cocido RS 6,0 g vs. Control de arroz cocido 1,0 g	
								iAUC de glucosa en sangre (min · mmol/L)	Control de galleta de arroz 140 ± 69, Galleta de arroz AR 100 ± 37* vs. Arroz cocido control 139 ± 68, Arroz cocido AR 103 ± 60*	
									iAUC de insulina (min · pmol/L)	Control de galleta de arroz 16098 ± 10416, Arroz cocido control 14084 ± 9433 vs. Galleta de arroz AR 12464 ± 6179, Arroz cocido AR 12434 ± 7594
4	Wang et al. 2017	Arroz <i>Oryza sativa</i> L.	Se gelatinizó el arroz mezclado con 400 mL de agua destilada mediante agitación continua a 95 °C durante 3 h, luego se esterilizó en autoclave a 120 °C durante 40 min. Después de un enfriamiento natural, los almidones gelatinizados se retrogradaron a 4 °C durante 72 h. Posteriormente se añadió 0,6 mL de α -amilasa a 90 °C durante 6 h. Por último, los almidones retrogradados se lavaron con agua destilada tres veces y se secaron a 50 °C en un horno hasta que se alcanzara un peso constante.	Un total de 16 voluntarios sanos de 22 a 26 años, 50 % hombres y 50 % mujeres.	Cruzado aleatorizado	Se mezclaron muestras de 40 g de almidones de arroz resistentes y digeribles con agua hirviendo y se agitaron hasta formar una pasta. Día 1: Pan al vapor + comida imparcial. Día 2: Pan al vapor + comida imparcial; se extrajo sangre como control. Día 3: Pan al vapor + comida imparcial, almuerzo + 40 g de almidón de arroz digerible (mezclado en una pasta); se extrajo sangre. Día 4: Pan al vapor + alimento imparcial; no se extrajo sangre. Día 5: Almuerzo + 40 g de almidón de arroz resistente (mezclado en una pasta); se extrajo sangre.	5 días	Almidón de arroz	100 g	El AR tiene efectos antiinflamatorios en comparación con el almidón digerible, además, aumento del anabolismo y disminución del catabolismo. En ese orden de ideas, podría afectar y controlar la secreción de citocinas, para regular la red metabólica del lactato en el cuerpo, promoviendo el desarrollo inmuno-metabólico.
								Amilosa	25 %	
								Granularidad mediana	5,43 μ m	

5	Li 2009	Arroz	El arroz enriquecido con AR se generó mediante la expresión transgénica del antisentido complementario a la transcripción del gen de la enzima ramificadora de almidón en un arroz indica. El arroz transgénico produjo altos niveles de amilosa y AR debido a la inhibición de la enzima ramificadora del almidón, que es crítica para la síntesis de amilopectina. El contenido de AR en arroz enriquecido y salvaje se analizó utilizando un kit disponible (RSTAR11/02, Megzyme, Irlanda), según las instrucciones del fabricante.	Un total de 16 adultos jóvenes (9 hombres voluntarios de 23-26 años y 7 mujeres de 24-26 años, IMC de 18-24 kg/m ² , fueron divididos en tres grupos.	Cruzado.	Consumieron uno de los 40 g de glucosa, 40 g de carbohidratos de RS y harina de arroz tipo salvaje en 300 mL de agua. El arroz tipo salvaje y AR se cocinó como harina de arroz. Una semana después, se les administró el segundo tipo de alimento y, después de otra semana, se les proporcionó el tercer tipo de alimento.	3 semanas	AR Enriquecido AR Mean 8-05 SEM 0-23 Salvaje Mean 0-97 SEM 0-14 Proteína Enriquecido AR Mean 6-12 SEM 0-05 Salvaje Mean 4-67 SEM 0-07 Glucosa preprandial (mmol/L) 4 -7 (SEM 0-3) vs. 4-6 (SEM 0-4) vs 4-7 (SEM 0-3) Glucosa posprandial (mmol/L) Arroz AR 6-8 (SEM 0-4) vs. Arroz Salvaje 7-2 (SEM 0-6)* IG Harina de arroz AR 48-4 (SEM 21-8) vs. Harina de arroz tipo salvaje 77-4 (SEM 34-9) * II Harina de arroz AR 34-2 (SEM 18-9)* vs. Harina de arroz tipo salvaje 54-4 (SEM 22-4)	El consumo de arroz enriquecido con AR disminuyó significativamente los valores de IG e II, en comparación con la ingesta de arroz tipo salvaje (regular). Por otro lado, el consumo de harina de arroz enriquecida genéticamente RS disminuyó las respuestas glucémica e insulinemia posprandial.
6	Kwak et al. 2012	Arroz	CJ CheilJedang Corporation proporcionó dos tipos de arroz (210 g de arroz refinado cocido/paquete de porción), uno que contenía almidón resistente derivado de almidón de maíz, con 6,51 g de almidón resistente/paquete.	Un total de 85 pacientes con alteración de la glucosa en ayunas (IFG), alteración de la tolerancia a la glucosa (IGT) o diabetes tipo 2 recién diagnosticada fueron asignados aleatoriamente a un grupo que ingirió arroz que contenía 6,51 g de almidón resistente al día o un grupo de arroz de control.	Cruzado aleatorizado, doble ciego, controlado con placebo.	Como carbohidrato de bajo IG, se preparó arroz que contenía 6,51 g de almidón resistente/paquete de 210 g (prueba) para ingestión diaria durante 4 semanas. Se utilizó como control arroz que no contenía almidón resistente (placebo). Dos fases: Fase de rodaje: 2 semanas de dieta habitual con arroz refinado cocido. Fase de intervención: 4 semanas de consumo de arroz refinado (carbohidrato de alto IG: placebo), comida o consumo de arroz que contenga almidón resistente (comida con carbohidratos de bajo IG: prueba).	4 semanas	HOMA-IR Después Placebo 2,21 ± 0,17 vs. Después Prueba 2,18 ± 0,18 Índice Gutt Después Placebo 32,2 ± 1,37 vs. Después Prueba 34,3 ± 2,26 Área de respuesta a la insulina (uU/ mL h) Después Placebo 68,9 ± 5,20 vs. Después Prueba 63,5 ± 4,75	El arroz que contiene AR se asoció con una mejor función endotelial con reducción de la glucosa posprandial y el estrés oxidativo en comparación con el control, además, redujo la insulina en ayunas, la resistencia a la insulina, la glucosa posprandial y los niveles de insulina a los 30 min de su ingestión.

7	Chiu et al 2013	Arroz	El contenido de AR del arroz fresco se midió inmediatamente después de la preparación, mientras el contenido de AR del arroz refrigerado se midió después de 3 días de almacenamiento a 4 °C. Se midió mediante el método oficial AOAC 2002.02, utilizando un kit de ensayo disponible comercialmente (Megazyme International, Irlanda). La cocción a presión redujo significativamente el contenido de AR del arroz jazmín fresco, en comparación con la olla arrocera y la cocción en el horno.	Un total de 21 adultos sanos de 18-65 años (12 hombres y 9 mujeres).	Cruzado, simple ciego, aleatorizado.	En cada visita del estudio, los sujetos consumieron uno de tres tratamientos: Bebida de glucosa (control, 50 g de glucosa). Arroz con alto contenido de AR (AAR). Arroz bajo en AR (BAR). Todos los tratamientos de arroz se recalentaron en el microondas antes de servirlos a los sujetos del estudio. Las porciones de arroz cocido contenían 50 g de carbohidratos disponibles cada una (AAR: 4,4 g RS/50 g de carbohidratos disponibles, BAR: 0,4 g RS/50 g carbohidratos disponibles).	—	AR	Arroz AAR 4,4 g vs. Arroz BAR 0,4 g OA 2,55 g/100 g vs. OP 0,2 g/ 100 g arroz *	El contenido de AR del arroz es variable, según la variedad de arroz y el método de cocción. Aunque las muestras de arroz estudiadas tenían un contenido de AR significativamente diferente, estas diferencias no dieron como resultado diferencias fisiológicas en la respuesta glucémica posprandial en adultos sanos.
8	Bergeron et al. 2016	Maíz	El contenido de almidón resistente de los almidones de prueba se analizó mediante un método AOAC modificado 2009.01, utilizando un kit de ensayo Megazyme K INTDF (Megazyme International Ireland Ltd).	52 hombres y mujeres (32 mujeres, 20 hombres), con IMC ≥ 20 y ≤ 35 kg/m ² , hombres mayores de 20 años y mujeres posmenopáusicas, mayores a 43 años.	Cruzado, aleatorizado y controlado.	Todos los participantes del estudio consumieron primero la dieta de referencia baja en CHO durante 2 semanas, después de lo cual siguieron la dieta alta en CHO (los primeros 26 sujetos reclutados) o la dieta baja en CHO (los segundos 26 sujetos reclutados). Dieta de referencia se componía de 41 % CHO, 40 % de grasa, 19 % de proteína), mientras las dietas de 2 semanas con alto y bajo contenido de AR separadas por lavados de 2 semanas, durante el cual se les indicó que consumieran su dieta habitual durante 7 días. Las dietas AR se asignaron al azar en el contexto de una ingesta mayor (51-53 % E) frente a una menor ingesta de CHO (39-40 % E).	4 semanas	Carbohidratos (%E) Almidón Resistente (%E) Almidón Resistente (g) Glucosa (mmol/l) Insulina (mU/l) HOMA-IR iAUC insulina (mU/l/h) iAUC glucosa (mmol/l por h)	Dieta alta en CHO Alta en AR 51 Baja en AR 53 Dieta baja en CHO Alta en AR 40 Baja en AR 39 Dieta alta en CHO Alta en AR 10 Baja en AR 0-6 Dieta baja en CHO Alta en AR 8 Baja en AR 0-5 Dieta alta en CHO Alta en AR 66 Baja en AR 4 Dieta baja en CHO Alta en AR 48 Baja en AR 3 Dieta alta en CHO Mean 5·52 SD 0·48 Dieta baja en CHO Mean 5·54 SD 0·43 Dieta alta en CHO Mean 11·2 SD 5·2 Dieta baja en CHO Mean 10·8 SD 8·7 Dieta alta en CHO Mean 2·74 SD 1·26 Dieta baja en CHO Mean 2·69 SD 2·35 Dieta alta en CHO Alta en AR Mean 132·8 SD 73·6 Baja en AR Mean 157·8 SD 111·6 Dieta baja en CHO Alta en AR Mean 76·6 SD 34·7 Baja en AR Mean 103·8 SD 45·7 Dieta alta en CHO Alta en AR Mean 1·85 SD 1·62 Baja en AR Mean 2·51 SD 1·68 Dieta baja en CHO Alta en AR Mean 1·45 SD 1·32 Baja en AR Mean 2·44 SD 1·85	Las dietas bajas en carbohidratos y altas en almidón resistente se asociaron con niveles más altos de N-óxido de trimetilamina en plasma (biomarcador de riesgo de ECV). Estos hallazgos, junto con cambios en los lípidos en ayunas, sugieren que las dietas altas en almidón resistente a corto plazo no mejoran los marcadores de salud cardiometabólica.

11	Boll et al. 2015	Pan blanco	Se realizó el análisis del almidón total y potencialmente disponible en los productos secados al aire y molidos, y el AR se analizó en los productos consumidos. Para determinar el tamaño de las porciones de los productos de prueba, el contenido de almidón disponible se calculó restando AR del almidón total, mientras el tamaño de la porción del desayuno estandarizado y el WWB de referencia se basó en su contenido de almidón potencialmente disponible.	Un total de 19 voluntarios sanos, 9 hombres y 10 mujeres de 23 ± 0,4 años, IMC normal, 22,2 ± 0,4 kg/m ² .	Cruzado aleatorio	Se incluyeron cuatro productos de pan (tres productos de prueba y un producto de referencia): Pan de harina de trigo blanco como producto de referencia y como desayuno estandarizado (WWB). Pan blanco suplementado con AXOS y AR (WWB + AXOS + RS). WWB con mayor contenido de AXOS (WWB + hiAXOS) y sin AR agregado. (WWB + hiAXOS) WWB complementado con un mayor contenido de AR únicamente (WWB + hiAR). Los panes con contenido de AR se prepararon con 120 y 270 g de almidón de maíz con alto contenido de amilosa.	4 semanas	AR	WWB 1,2 vs. WWB + AXOS + AR 6,6 vs. WWB + hiAXOS 1,0 vs. WWB + hiAR 15,0	Según este estudio, es posible que el pico de fermentación de AR pueda ocurrir en un momento anterior o posterior. Por tanto, el impacto metabólico de AR necesita más investigación y estudios con mayor duración para describir su efecto beneficioso.
								Glucosa en ayunas (mmol/L)	WWB 5,39 vs. WWB + AXOS + AR 5,46 vs. WWB + hiAXOS 5,45 vs. WWB + hiAR 5,31	
								Glucosa, iAUC 0-120 min (mmol min/L)	WWB 183,3 vs. WWB + AXOS + AR 168,3 vs. WWB + hiAXOS 154,4 vs. WWB + hiAR 173,7	
								Glucosa, iAUC 0-180 min (mmol min/L)	WWB 211 vs. WWB + AXOS + AR 189 vs. WWB + hiAXOS 172 vs. WWB + hiAR 204	
								Glucosa, Perfil glucémico (min/mmol)	WWB 42,3 vs. WWB + AXOS + AR 44,5 vs. WWB + hiAXOS 48,1 vs. WWB + hiAR 45,3	
								Insulina en ayunas (nmol/L)	WWB 0,050 vs. WWB + AXOS + AR 0,042 vs. WWB + hiAXOS 0,038 vs. WWB + hiAR 0,040	
								HOMA-IR	WWB 0,27 vs. WWB + AXOS + AR 0,23 vs. WWB + hiAXOS 0,21 vs. WWB + hiAR 0,21	