



DOI: <http://dx.doi.org/10.23857/dc.v7i4.2110>

Ciencias económicas y empresariales
Artículo de investigación

Bases Científicas para el uso de almidones modificados y resistentes en la elaboración de alimentos prebióticos

Scientific Basis for the use of modified and resistant starches in the preparation of prebiotic foods

Base científica para o uso de amidos modificados e resistentes na preparação de alimentos prebióticos

María José Andrade-Albán ^I

maria.andrade@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0002-5874-4390>

María de los Ángeles Rodríguez-Cevallos ^{II}

maria.rodriguez@epoch.edu.ec

<https://orcid.org/0000-0003-3688-0065>

Mariana Jesús Guallo-Paca ^{III}

maryguallo@hotmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5563-4903>

Correspondencia: maria.andrade@epoch.edu.ec

***Recibido:** 18 de junio de 2021 ***Aceptado:** 17 de julio de 2021 * **Publicado:** 16 de agosto de 2021

- I. Magister en Gestión de la Producción Agroindustrial, Ingeniera en Alimentos, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- II. Magister en Nutrición Clínica, Nutricionista Dietista, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- III. Magister en Nutrición Clínica, Doctora en Nutrición y Dietética, Formación de Formadores, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.

Resumen

El ser humano durante su evolución siempre ha creído en las virtudes de ciertos alimentos y productos sobre la salud. Esta creencia se ha visto reforzada en las últimas décadas investigaciones científicas que demuestra los efectos que tienen ciertos componentes de los alimentos, sobre la salud en dos sentidos: previniendo la aparición de ciertas patologías y mejorando la “funcionalidad” en conjunto del organismo. El rescate de estos alimentos se produce ante el desarrollo de una nueva cultura tecnológica, en la que utilizando tratamientos físicos y químicos se estimula la transformación de sus componentes básicos en subproductos con características funcionales. En este sentido este artículo muestra los resultados de una revisión bibliográfica de las bases científicas sobre las que se ha sustentado la obtención de almidones resistentes y modificados a partir de almidones nativos de tubérculos, cereales y frutos para incorporarlos en alimentos procesados y conferirles características prebióticas funcionales.

Palabras clave: Almidón; alimentos enriquecidos; alimentos funcionales; modificación de almidón.

Abstract

The human being during its evolution has always believed in the virtues of certain foods and products on health. This belief has been reinforced in recent decades by scientific research that demonstrates the effects that certain food components have on health in two ways: preventing the appearance of certain pathologies and improving the overall "functionality" of the body. The rescue of these foods occurs before the development of a new technological culture, in which, using physical and chemical treatments, the transformation of its basic components into by-products with functional characteristics is stimulated. In this sense, this article shows the results of a bibliographic review of the scientific bases on which the obtaining of resistant and modified starches from native starches of tubers, cereals and fruits has been based to incorporate them into processed foods and give them functional prebiotic characteristics.

Keywords: Starch; fortified foods; functional food; starch modification.

Resumo

O ser humano durante sua evolução sempre acreditou nas virtudes de certos alimentos e produtos para a saúde. Essa crença foi reforçada nas últimas décadas por pesquisas científicas que demonstram os efeitos que determinados componentes dos alimentos têm na saúde de duas formas: prevenindo o

aparecimiento de ciertas patologías e mejorando a "funcionalidade" do corpo como um todo. O resgate desses alimentos ocorre antes do desenvolvimento de uma nova cultura tecnológica, na qual, por meio de tratamentos físicos e químicos, é estimulada a transformação de seus componentes básicos em subprodutos com características funcionais. Nesse sentido, este artigo apresenta os resultados de uma revisão bibliográfica das bases científicas nas quais se baseou a obtenção de amidos resistentes e modificados a partir de amidos nativos de tubérculos, cereais e frutas para incorporá-los aos alimentos processados e conferir-lhes características prebióticas funcionais. .

Palavras-chave: Starch; alimentos fortificados; Alimentos Funcionais; modificação de amido.

Introducción

El almidón es la fuente de energía almacenada en todos los alimentos de origen vegetal y el principal polisacárido considerado en la dieta humana como macronutriente asimilable por el organismo para la obtención de energía, sin embargo en los últimos años se ha comprobado que este polisacárido compuesto por dos estructuras: la amilosa y la amilopectina pueden resistir el proceso de digestión y que su resistencia aumenta con la manipulación de las condiciones de humedad y temperatura durante el proceso de cocción. (Villarroel P. , Gómez, Vera, & Torres, 2018). A los subproductos de esta degradación no absorbido sumados al almidón presente en los alimentos denominaremos almidón resistente (AR). (Champ, 2004). (Villarroel P. , Gómez, Vera, & Torres, 2018).

La microbiota intestinal constituye el conjunto de millones de microorganismos que conviven en simbiosis en nuestro tracto digestivo, mayoritariamente ubicados en el intestino grueso. Las tres cuartas partes son específicas para cada individuo y dependen básicamente de la influencia materna en el útero, del modo de nacer (parto normal o cesárea) y de la alimentación inicial (pecho materno o fórmula infantil) (Robetto, 2019). Las bacterias intestinales desempeñan un papel esencial en el desarrollo y el equilibrio del sistema inmunitario. Existe evidencia científica que demuestra que la velocidad de degradación de los hidratos de carbono durante el metabolismo y la regulación de los niveles postprandiales de azúcar en la sangre e insulina, tiene una relación muy estrecha con el funcionamiento saludable del sistema gastrointestinal. (Quiroga Ledezma, 2008).

Los alimentos prebióticos se componen de carbohidratos complejos no digeribles entre los más estudiados esta la inulina presente en la raíz de achicoria, avena, cebada, trigo y banana, el FOS que se encuentran en el ajo, cebolla, puerro, espárragos y GOS de legumbres, papa, batata, lactulosa. Pese a esto la ingesta a partir de la dieta es muy baja, pues todos estos componentes se hallan de forma

natural en cantidades muy pequeñas y para aumentar su consumo se debe recurrir a la obtención de AR y la posterior incorporación de estos en la industrialización de alimentos. (Robetto, 2019).

Con el fin de establecer las limitaciones y potencialidades de la extracción y uso de almidones modificados y resistentes que están presentes en los cereales, tubérculos y frutos característicos de nuestro país, se planteó la realización de una revisión bibliográfica de los fundamentos científicos que respaldan la producción de alimentos funcionales con características prebióticas a partir de la utilización de estos subproductos en su formulación.

Metodología

Se aplicó un proceso de revisión bibliográfica exhaustiva de distintos documentos científicos de investigaciones y estudios que describan las características físico-química de almidones nativos de cereales, tubérculos y frutos y los tratamientos tecnológicos e industriales que se han probado para modificar la estructura nativa del almidón y elevar el porcentaje de almidón resistentes contenido de forma natural en los alimentos, para utilizarlos en la preparación de alimentos funcionales con características prebióticas.

A continuación, en la siguiente tabla se describe el método empleado para la búsqueda y localización de la información, así como los criterios que definieron los artículos que se incluyeron o no en la revisión.

Tabla 1: Methodoly Research

PREGUNTA DE INVESTIGACIÓN	¿LA SUSTITUCIÓN DE HARINA DE TRIGO POR ALMIDONES RESISTENTES EN LA ELABORACIÓN ALIMENTOS, LE PROVEERÁ CARACTERÍSTICAS FUNCIONALES AL PRODUCTO FINAL?
ESTRATEGIA DE BÚSQUEDA	USO DE ALMIDONES RESISTENTES OBTENCIÓN DE ALMIDONES RESISTENTES ALIMENTOS FUNCIONALES ALIMENTOS PREBIÓTICOS
FUENTES DE INFORMACIÓN	ARTÍCULOS CIENTÍFICOS, TESIS DE GRADO, ACTAS DE CONGRESO, REVISTAS
MOTOR DE BÚSQUEDA	GOOGLE ACADÉMICO, SCIELO, MICROSOFT ACADEMIC, REDALYC
CRITERIO DE BÚSQUEDA	GOOGLE ACADÉMICO "almidón resistente"+obtención+cereales+tuberculos Año 2016 en adelante MICROSOFT ACADEMIC "resistant starch" + corn + potato+yucca Año 2017 en adelante

Bases Científicas para el uso de almidones modificados y resistentes en la elaboración de alimentos prebióticos

	Top Topics: Resistant starch SCIELO(“almidón resistente”) and (cereal) and (tubers) Filtros: Colección – todos Idioma: español Citables ERIC “Almidón resistente” +papa +maíz+yuca Filtros Año 2017, 2018, 2019 y 2020 Idioma español Área Ingeniería
CRITERIO DE INCLUSIÓN	ALMIDON RESISTENTE ALMIDÓN DE CEREALES, TUBERCULOS ALIMENTOS FUNCIONALES ALIMENTOS PREBIOTICOS PUBLICACIÓN DESDE 2016 EN ADELANTE ESPAÑOL
CRITERIOS DE EXCLUSIÓN	ALMIDON HARINA ALIMENTOS PROBIÓTICOS
CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PROBLEMA: DESCONOCIMIENTO DE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES DE LOS ALMIDONES RESISTENTES METODOLOGÍA UTILIZADA SERÁ CONVERSIÓN DEL ALMIDÓN NATIVO EN ALMIDÓN RESISTENTE SOLUCIONES: USO DE ALMIDONES RESISTNTES EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS
ANÁLISIS DE INFORMACIÓN	TAXONOMÍA, TABLA COMPARATIVA, RESUMEN

Fuente: Autores

Desarrollo y discusión

Los polisacáridos constituyen un grupo heterogéneo de polímeros, en el que intervienen más de 10 monosacáridos unidos por distintos enlaces glucosídicos. Casi todos los polisacáridos naturales contienen cientos de monómeros y, en ocasiones, varios miles. De acuerdo con su función biológica, los polisacáridos se han dividido en dos grandes grupos: los que constituyen la estructura celular y le confieren rigidez a los tejidos (celulosa, pectinas, gomas, etc.), y los que representan la reserva energética de animales (glucógeno) y vegetales (inulina y almidón); cada grupo tiene propiedades físicas y químicas muy distintas (Badui Dergal, 2006).

(Trancoso Reyes, Ochoa Martínez, & Morales Castro, 2015) señalan que el almidón es un biopolímero formado por residuos de D-glucopiranosas unidos por enlaces glucosídicos. Existe en entidades discretas semicristalinas, las cuales reciben el nombre de gránulos, los cuales varían en composición, estructura y tamaño entre las fuentes botánicas tomado de (Blazek & Copeland, 2008). Se distinguen

dos tipos de polímeros en el almidón, la amilosa y la amilopectina. La amilosa es un polímero esencialmente lineal conformado por unidades de α -D-glucopiranosas unidas por enlaces α (1-4), con un peso molecular de 1×10^5 a 1×10^6 Da. Su arreglo estructural usualmente existe en forma de hélice, lo cual permite formar complejos con ácidos grasos, monoglicéridos y yodo, así como la formación de muchos sitios de enlace entre las moléculas adjuntas por lo cual la retrogradación se asocia en gran parte a la fracción de amilosa. Tomado de (Belitz, Grosch, & Schieberle, 2009). Por su parte la amilopectina tiene un peso molecular entre 107 y 109 Da. representando una estructura altamente ramificada tomado de (Hoover, Hughes, Chung, & Liu, 2010). Las ramificaciones se localizan a una distancia de 10 a 15 residuos de glucosa en la cadena principal de la molécula, a la cual se unen mediante enlaces glucosídicos α (1-6).

El almidón es un producto importante en las industrias alimenticias, farmacéuticas y de materiales debido a la gran diversificación de sus usos. La búsqueda de fuentes alternativas de obtención de almidón se debe tanto a la demanda como a las propiedades funcionales deseadas y únicas de cada almidón. Los almidones de raíces y tubérculos están representando una gran línea de investigación, debido a que gran parte de estos cultivos han pasado desapercibidos durante décadas, sin embargo, el almidón de plátano se ha colocado como el almidón con mayor proyección industrial para los próximos años (Trancoso Reyes, Ochoa Martínez, & Morales Castro, 2015).

(Néder Suarez, Quintero Ramos, & Amaya Guerra, 2016) define a los almidones resistentes como los polisacáridos que escapan a la digestión en el intestino delgado y pueden ser digeridos en el intestino grueso donde es fermentado por la microflora del colon. Información tomada de (Kim, Tanhehco, & Ng P, 2006).

Considerando la naturaleza del almidón resistente y su localización en los alimentos podemos dividirlos en cinco categorías:

Tabla 2: Categorización del Almidón Resistente

Categoría	Símbolo	Característica
Tipo 1	AR1	<ul style="list-style-type: none">- Rodeados por una matriz indigerible.- Estable al calor en la mayoría de las operaciones normales de cocción- Ingrediente de una amplia variedad de alimentos- Se encuentra de forma natural en granos enteros y legumbres.
Tipo 2	AR2	<ul style="list-style-type: none">- Resistente a la digestión enzimática- En el almidón crudo su estructura compacta impide la acción de las enzimas digestivas.- Se encuentra en alimentos crudos como papas y plátanos verdes (Sajilata, Rekha, Singhal, Pushpa, & Kulkarni, 2006)

Bases Científicas para el uso de almidones modificados y resistentes en la elaboración de alimentos prebióticos

Tipo 3	AR3	<ul style="list-style-type: none"> - Almidón retrogradado - Se forma cuando el almidón procesado se enfría, y ocurre la reorganización molecular de la amilosa producto de la gelatinización. (Thompson, 2000). Los ciclos de calentamiento/refrigeración aumentan la formación de AR en leguminosas, cereales y tubérculos. (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).
Tipo 4	AR4	<ul style="list-style-type: none"> - Modificados químicamente - Producen nuevos enlaces químicos a través de esterificación, reticulación o transglicosilación y no pueden descomponerse. - La estructura es inaccesible a la digestión por amilasas. - Se usan como aditivos en gran variedad de productos alimentarios. (Lau, Zhou, & Henry, 2016).
Tipo 5	AR5	<ul style="list-style-type: none"> - Es un complejo lípido-amilosa - Se forman cuando la amilosa y las largas cadenas ramificadas de amilopectina interactúan con ácidos grasos y alcoholes. (Ai, Hasjim, & Jane, 2013). - Se forman en el procesamiento cuando uno de los ingredientes es una grasa. (Lau, Zhou, & Henry, 2016).

(Villarroel P., Gómez, Vera, & Torres, 2018) en su documento Almidones resistentes: Características tecnológicas e intereses fisiológicos describe la como la distribución física original de un almidón se transforma en una estructura cuya cantidad de amilosa es alta en relación a la amilopectina, para justificar la resistencia que estos subproductos tienen a la hidrólisis enzimática. (Lehmann & Robin, 2007). Por ejemplo, en la harina de maíz se puede ver que hay un incremento de AR7 de hasta el 70% respecto al 25 % que normalmente esta contenido. (Ao, y otros, 2007).

Por su parte, investigadores de la Universidad de La Salle en Colombia han realizado estudios con tubérculos y raíces tuberosas, estableciendo que a partir de la composición de algunos cultivos andinos ancestrales se pueden desarrollar proyectos para aprovechar los metabolitos de interés presentes en estos como el AR, dándole un valor agregado a los productos procesados. (Fonseca Santanilla, 2018).

Se revisaron varios métodos para la obtención de almidones resistentes entre los que destacan:

El uso del proceso de extrusión que permite una excelente mezcla de los componentes del almidón resistente en tiempos relativamente cortos en sus procesos, (Néder Suarez, Quintero Ramos, & Amaya Guerra, 2016). El autor concluye que la extrusión-cocción en el almidón nativo de maíz generó cambios en sus propiedades incrementando tanto el Índice de Absorción de Agua (IAA) como el Índice de Solubilidad en Agua (ISA), en los resultados de su experimentación demuestra la disminución de la entalpía de gelatinización generando un aumento en la cantidad de AR producido después del almacenamiento. La temperatura de extrusión y el contenido de humedad generan un alto impacto sobre el AR de las harinas, el factor que presentó un mayor efecto sobre el AR fue la humedad

de extrusión. Cuando se incrementó el contenido de AR, los valores de ISA fueron menores que aquellos con bajo contenido de AR esto puede ser explicado debido a la formación de zonas cristalinas.

Los ciclos de calentamiento/refrigeración y la recristalización incrementan la formación de AR en leguminosas, cereales y tubérculos. La retrogradación de la amilosa ocurre de forma rápida (48 h), luego de someterla a temperaturas que varían entre de 120 a 170 °C. por lo que (Tharanathan & Mahadevamma, 2003) concluyen que los factores determinantes para la retrogradación del almidón son composición del almidón, el producto de la matriz y el contenido de humedad, esto a su vez influiría en valor de AR obtenido.

(Peñaranda Contreras, Perilla Perilla, & Algecira Enciso, 2008), concluye que las modificaciones químicas del almidón con ácidos orgánicos empezaron empleando como catalizador la piridina y que en el pasar del tiempo se han desarrollado varios procedimientos: usando un reactor con métodos convencionales de calentamiento y presión; activando el almidón y modificando con ácido orgánico; otros, mediante la reacción reactiva con una extrusora mohosillo o doblehusillo; y algunos, usando como método de calentamiento el microondas. Tomado de (Aburto, y otros, 1999). (Aburto, Alric, & Borredon, 1999)

Factores a considerar en el tratamiento químico es la elección del catalizador, la temperatura y el solvente, que afectan la estabilidad del almidón y la reacción de modificación.

Uno de los métodos más actuales que se ha probado para obtener almidón resistente es la utilización de altas presiones, (Fernández Ruano & Martín Diana, 2020) reportan que la aplicación de este principio redujo la gelatinización del almidón y que probablemente también se obtuvo un incremento del contenido de almidón resistente, ya que con la aplicación de bajas presiones el porcentaje de almidón de las harinas con alta humedad incrementó, pero se vio un efecto inverso al aplicar altas presiones. En harinas con valores reducidos de humedad las altas presiones redujeron el índice glucémico y en valores intermedios de humedad y presión la capacidad antioxidante de alimento alcanzo los valores más altos. Este tipo de estudios deberían reproducirse y se debería ampliar un poco más los análisis en el producto terminado de modo que la hipótesis de la posible generación de almidón resistente mediante altas presiones se compruebe o se descarte.

Para la caracterización de las modificaciones en almidones (Peñaranda Contreras, Perilla Perilla, & Algecira Enciso, 2008) cita las investigaciones realizadas por titulaciones potenciométricas, análisis por infrarrojo por el método de Fourier, resonancia magnética, análisis térmicos, así como la capacidad de biodegradación del almidón modificado. (Heinze, Liebert, & Koschella, 2006).

La resonancia magnética nuclear (RMN) es una herramienta analítica útil usada para identificar el grado de sustitución y la posición específica del grupo del sustituto respecto a la molécula de glucosa dentro del polímero del almidón.

Las propiedades mecánicas, y en particular la fuerza tensil y la elongación al rompimiento dependen del tamaño de la longitud de la cadena y el grado de sustitución. Así mismo, se ha encontrado que estos nuevos materiales son biodegradables y la velocidad de la biodegradación desciende con un incremento del grado de esterificación (Kapusniak, 2004).

El poder energético de los AR está dentro del rango de 1,6-2 Kcal/g, que comparado con el del almidón completamente digerible que aporta 4 Kcal/ g es inferior, por lo que a partir de un procesamiento en harina de plátano o leguminosas se podrían modificar sus almidones nativos y obtener subproductos que serían una alternativa para elaborar alimentos bajos en calorías a nivel de panadería, pastelería, galletería y de cereales extruidos. (Tharanathan & Mahadevamma, 2003).

En este contexto (Pacheco & Testa, 2005) reportan haber elaborado un pan sustituyendo hasta un 7% de la harina de trigo por harina de plátano con el 16% de AR. En la fabricación de pastas de sémola la sustitución parcial de este componente alcanzo un 10-12% introduciendo harinas de leguminosas según lo reporta (Granito, Pérez, & Valero, 2014). Por otro lado, en el (XVIII Congreso de la Sociedad Chilena de Nutrición, 2008) estudios piloto reportaron una buena aceptabilidad del pan con harina de piñón como fuente de AR con una sustitución del 30%. (Villarroel P., Gómez, Vera, & Torres, 2018).

En adolescentes el consumo de alimentos probióticos como el yogurt ha demostrado que los AR estimulan directamente la producción de acetato y butirato, mediante la fermentación colónica, lo que beneficia a la salud microbiota intestinal; por lo que los AR se pueden considerar un ejemplo de alimento probiótico. (Aryana, y otros, 2015).

Los efectos positivos de los almidones resistentes en humanos son múltiples, existe evidencia por ejemplo de que los almidones resistentes pueden generar ácidos grasos de cadena corta conocidos como AGCC y formar compuestos en el lumen intestinal con característica viscosa lo que favorable notablemente la disminución de los depósitos de grasa por acumulación de esta, la disminución de la sensibilidad a la insulina y por ende la normalización de la glicemia y el control metabolismo lipídico. (Fuentes-Zaragoza, Riquelme-Navarrete, Sánchez-Zapata, & Pérez-Álvarez, 2010).

(Villarroel P. , Gómez, Vera, & Torres, 2018), concluyen que los beneficios tecnológicos y fisiológicos de los almidones resistentes cada vez son de más interés ya que su efecto es cada vez

más fundamentado tanto en las características reológicas de los alimentos como en la salud de la población.

Los Prebióticos constituyen hidratos de carbono de estructura compleja no digerible. Entre los más destacados están la inulina que se puede encontrar en la raíz de achicoria, avena, cebada, trigo y banana, el FOS que está en el ajo, cebolla, puerro, espárragos y GOS presente en legumbres, papa, batata, lactulosa. Todas estas unidades se encuentran de forma natural en cantidades mínimas de tal forma que su ingesta a través de la dieta es casi imperceptible, es entonces necesario incrementar su consumo enriqueciendo los alimentos de consumo masivo como bebidas, productos de panificación, productos lácteos, alimentos infantiles y suplementos nutricionales. Múltiples estudios destacan que en la dieta es el almidón resistente que proviene de tubérculos, legumbres y cereales los que se consumen principalmente ya que aparecen producto de la retrogradación del almidón nativo luego de ser cocidos y enfriados a temperaturas de refrigeración. (Robetto, 2019).

La harina de arroz puede ser usada en lugar de la harina de trigo para la elaboración de una pasta alimenticia, con similares características a la pasta normal. En Ecuador es muy consumido el arroz como cereal, pero como harina todavía no hay un gran conocimiento de la utilidad de este producto en el mercado nacional, existen pocos productos tipo fideo o pasta, adecuado a personas celiacas. (Romero Machado, Cardenas Mazón, Salazar Yacelga, & Cevallos Hermida, 2018).

La ingesta del pan preparado con ajo y almidón resistente ocasionaría un descenso del pH debido a la fermentación producida, manteniendo el crecimiento de lactobacilos y disminuyendo el de enterobacterias en comparación al pan blanco. Los resultados obtenidos permitirían suponer que el diseño de panes con ingredientes prebióticos, daría lugar a panificados más saludables en comparación al pan blanco a base de harina de trigo. (Weisstaub, Correa, Salinas, De La Casa, & Zuleta, 2018)

Después de la revisión bibliográfica realizada se puede decir que en términos generales los almidones constituyen una alternativa tecnológica y nutricional con beneficios muy amplios que van desde sus propiedades reológicas al actuar como espesante y estabilizante en salsas, embutidos, aderezos y más hasta el aporte de propiedades funcionales que se puede alcanzar a partir de su modificación aplicando procesos químicos como ácidos orgánicos o físicos como la extrusión bajo parámetros controlados de presión, temperatura y humedad, este último procedimiento evidencia ser la técnica más efectiva y viable para incrementar el contenido natural de AR en los alimentos ya que al compararlo con los resultados obtenidos en otras técnicas como el uso de compuestos orgánicos o la aplicación de pulsos eléctricos y altas presiones la extrusión controlada alcanzó un incremento de hasta el 70 % respecto

al que contenido natural de los alimentos utilizados en la experimentación. Por otro lado, las evidencias científicas respaldan el uso de la papa, maíz y plátano como principal fuente de obtención de AR. En nuestro país la producción de estos tres cultivos es alta lo que abre una ventana a la reproducibilidad de este tipo de investigaciones y al desarrollo de alimentos prebióticos que se incluyan en la dieta a través de alimentos de consumo diario como pan, pastas, galletas y que además de nutrir actúen para la prevención de enfermedades no transmisibles como cáncer de colon, diabetes, obesidad, entre otras.

Desde la perspectiva de salud además existe un gran interés por investigar esta área tecnológica, ya que en la última década existen muchas hipótesis relacionan la salud de la microbiota intestinal y el funcionamiento del cerebro como una viable explicación a algunos trastornos neurológicos frecuentes en la actualidad, como la enfermedad de Alzheimer, Parkinson, Esclerosis Múltiple o Trastornos del Espectro Autista. (Robetto, 2019).

Conclusiones

La obtención de almidones resistentes de cereales, tubérculos y leguminosas a partir de extrusión-cocción constituye el procedimiento más efectivo para la modificación de almidones nativos ya que además de incrementar el contenido de AR en el producto final también generó incrementos en el índice de absorción de agua como en el índice de solubilidad de agua, además que disminuyó la entalpía de gelatinización.

El desarrollo de nuevos alimentos que combinen el rescate de productos autóctonos y el aprovechamiento de sus propiedades funcionales con técnicas eficientes para alcanzar los máximos porcentajes de AR y la formulación mas adecuada para implementarlos en alimentos de consumo masivo sin que sus características sensoriales resulten afectadas es un reto para quienes trabajamos en el área de los alimentos y la salud.

Referencias

1. Aburto, J., Alric, I., & Borredon, E. (1999). Preparation of long-chain esters of starch using fatty acid chlorides in the absence of an organic solvent. *Starch*, 52(4), 132-135.
2. Aburto, J., Alric, I., Thiebaud, S., Borredon, E., Bikjaris, D., & Prinos, J. (1999). Synthesis, characterization and biodegradability of fatty-acid esters of amylose and starch. *Journal of Applied Polymer Science*, 74, 1440-1451.

3. Ai, Y., Hasjim, J., & Jane, J. (2013). Effects of lipids on enzymatic hydrolysis and physical properties of starch. *Carbohydr Polym*, 120-127.
4. Ao, Z., Simsek, S., Zhang, G., Venkatachalam, M., Reuhs, B., & Hamaker, B. (2007). Starch with a Slow digestion property produced by altering its Chain Length, Branch Density, and Crystalline Structure. *J Agric Food Chem*, 4540-4557.
5. AOAC J. (2002). Guidelines for Single Laboratory Validation of Chemical Methods for Dietary Supplements and Botanicals. Obtenido de <https://doi.org/10.1063/1.4915424>
6. Aryana, K., Greenway, F., Dhurandhar, N., Tulley, R., Finley, J., & Keenan, M. (2015). A resistant-starch enriched yogurt: fermentability sensory characteristics, and a pilot study in children. *F1000 Res*, 139.
7. Astaíza, M., Ruíz, L., & Elizalde, A. (2010). Elaboración de pastas alimenticias enriquecidas a partir de harina de quinua (*Chenopodium quinoa wild*) y zanahoria (*Daucus carota*). Facultad de Ciencias Agropecuarias.
8. Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos*. Pearson.
9. Badui Dergal, S. (2012). *La ciencia de los alimentos en la práctica*. Pearson Educación.
10. Belitz, H., Grosch, W., & Schieberle, P. (2009). *Food Chemistry* (4 ed.). Alemania.
11. Blazek, J., & Copeland, L. (2008). Pasting and swelling properties of wheat flour and starch in relation to amylose content. *Carbohydrate Polymers*, 71, 380-387.
12. Cabrera-Ramirez, A., Barrón, O., González, A., Morales, E., Velasquez, G., Méndez, M., & Gaytán, M. (2019). Obtención de almidón resistente tipo III mediante ciclos de calentamiento-enfriamiento en extrusión. *Academia Journals*, 11(9).
13. Cárdenas Hernández, A. (Noviembre de 2012). Composición química, características de calidad y actividad antioxidante de pasta enriquecida con harina de amaranto y hoja de amaranto deshidrata. Santiago de Querétaro.
14. Champ, M. (2004). Physiological aspects of resistant starch and in vivo measurements. *Journal of AOAC International*, 87, 749-755.
15. El Productor. (2019). Expectativas de siembra de ciclo corto 2020 balance 2019. (M. Bernal, Ed.) *El Productor. Periodico de Campo*, 10-13. Obtenido de <https://elproductor.com.ec/wp-content/uploads/2019/12/REVISTA-NOVIEMBRE-MAIZ-ARROZ-PAPA.pdf>
16. Fernández Ruano, M., & Martín Diana, A. B. (2020). Aplicación de altas presiones hidrostáticas en el desarrollo de un producto panificable con bajo índice glucémico y alta

-
- capacidad antioxidante. Obtenido de
<https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/42380/TFG-M-N2046.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
17. Fonseca Santanilla, E. (2018). Cultivos andinos ancestrales: una estrategia de sostenibilidad y mitigación frente al cambio climático. (G. C. Assmus, Ed.) Bogota, Colombia: Ediciones Unisalle. Obtenido de <https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1040&context=libros#page=130>
 18. Fuentes-Zaragoza, E., Riquelme-Navarrete, M., Sánchez-Zapata, E., & Pérez-Álvarez, J. (2010). Resistant starch as functional ingredient: A review. *Food Res Int*, 931-942.
 19. García, T. d. (1998). Putumayo, Sacrificio y Valor. Quito: Dirección General de Educación.
 20. Granito, M., Pérez, S., & Valero, Y. (2014). Cooking quality, acceptability and glycemic index of long pasta enriched with legumes. *Chil Nutr*, 425-432.
 21. Heinze, T., Liebert, T., & Koschella, A. (2006). Esstrification of Polysaccharides. XVI, 232.
 22. Hoover, R., Hughes, T., Chung, H., & Liu, Q. (2010). Composition Molecular Structure, properties, and Modification of Pulse tarches: Areview. *Food Research International*, 43, 399-413.
 23. INIAP. (2014). Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias. Recuperado el 14 de Noviembre de 2020, de <http://www.tecnologia.iniap.gob.ec/index.php/explore-2/mraiz/rpapa>
 24. Kapusniak, J. (2004). Thermal reations of starch with long chain unsaturated Fatty acids - The way for the synthesis of producs with new funtional properties. *Stärke/Starch, Lectures of the 55*.
 25. Kim, J., Tanhehco, E., & Ng P. (2006). Effect of extrusion conditions on resistant starch formation from pastry wheat flour. *Food Chemisstry*, 718-723.
 26. Lau, E., Zhou, W., & Henry, C. (2016). Effect of ft type in baked bread on amylose-lipid complex formation an glycaemic response. *Br J Nutr*, 2122-2129.
 27. Lehmann, U., & Robin, F. (2007). Slowly digestible starch e its structure and health implications. *Trends Food Sci Technol*, 346-355.
 28. Martínez-Mora, E. O. (2015). Caracterización morfológica y contenido de almidón resistente y disponible en bananos (*Musa sapientum*) exportables del Ecuador. *Revista*
-

-
- Española de Nutrición Humana y Dietética, 19(3), 153-159. Recuperado el 13 de 11 de 2020, de <http://www.renhyd.org/index.php/renhyd/article/view/161/132>
29. Mejía Salguero, R., & Quintanilla Portillo, J. F. (Noviembre de 2018). Desarrollo de pastas elaboradas a base de harina de trigo y lechuga (*Lactuca sativa*) deshidratada en polvo o harina de cáscara de zanahoria (*Daucus carota*) . Honduras.
 30. Néder Suarez, D., Quintero Ramos, A., & Amaya Guerra, C. (2016). Efecto de la Extrusión -cocción en la formación de almidón resistente. *Investigación y Desarrollo en Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 36-41.
 31. NTE INEN 1375. (2000). Pastas alimenticias o fideos secos. Requisitos. Quito, Ecuador.
 32. Pacheco , E., & Testa, G. (2005). Nutritional, physical and sensory evaluation of wheat and green plantain breads. *Interciencia* , 300-304.
 33. Peñaranda Contreras, O. I., Perilla Perilla, J. E., & Algecira Enciso, N. A. (2008). Revisión de la modificación química del almidón con ácidos orgánicos. *REVISTA INGENIERÍA E INVESTIGACIÓN*, 28(3), 47-52.
 34. Quiroga Ledezma, C. C. (2008). Los almidones resistentes y la salud. *UPB-Investigación y Desarrollo*, 1(8), 130-141.
 35. Raigond, P., Ezekiel, R., & Raigond, B. (2015). Resistant starch in food. *J Sci Food Agr*, 1968-1978.
 36. Robetto, F. (Agosto de 2019). Dieta: su rol en el eje microbiota - intestino - cerebro. *Opción Médica*(79), 4-6. Obtenido de <http://www.opcionmedica.com.uy/opcion-medica-no-79/>
 37. Romero Machado, E., Cardenas Mazón , V., Salazar Yacelga, J., & Cevallos Hermida, C. (2018). Elaboración de pastas sin gluten para personas celiacas . XVII Seminario Internacional de Salud, Alimentación y Nutrición Humana., (págs. 37-44). Riobamba.
 38. Sajilata, M., Rekha, S., Singhal, Pushpa, R., & Kulkarni. (2006). Resistant starch a review. *Compr Rew Food Sci*, 1-17.
 39. Soetaert, W., & Vandamme, E. (2009). *Biofuels in perspective*. USA: Biofuels.
 40. Tharanathan, R., & Mahadevamma, S. (2003). Grain legumes-a boon to human nutrition. *Trends Food Sci Technol*, 507-518.
 41. Thompson , D. (2000). Strategies for the manufacture of resistant starch,. *Trends Food Sci Technol*, 245-253.

42. Trancoso Reyes, N., Ochoa Martínez, L. A., & Morales Castro, J. (2015). Fuentes alternativas para la obtención de almidón. En Análisis, calidad y procesamiento de alimentos en México (págs. 359-373). Universidad Autónoma de Tamaulipas.
43. Villarroel , P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidones Resistentes: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. Escuela de Nutrición y Dietética. Facultad de Ciencias., 45(3), 271-278.
44. Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., & Torres, J. (2018). Almidón Resistente: Características tecnológicas e interes fisiológicos . Revsita Chilena de Nutrición, 271-278.
45. Weisstaub, A., Correa, J., Salinas, V., De La Casa, L., & Zuleta, A. (2018). Capacidad prebiótica de ingredientes funcionales: en pan blanco con agregado de ajo en polvo y almidón resistente. 2(3). Obtenido de <http://repositorio.umaza.edu.ar/ojs/index.php/icu/article/view/125/77>
46. XVIII Congreso de la Sociedad Chilena de Nutrición, B. y. (2008). Revista Chilena de Nutrición , 303-337.

©2020 por los autores. Este artículo es de acceso abierto y distribuido según los términos y condiciones de la licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>).|