



Almidón, una plataforma versátil en la industria de alimentos

Karen Trejo Cuevas¹, Guadalupe Rodríguez Castillejos^{2,*},
Jared Reyes Gallardo¹, Cristian Lizarazo Ortega²,
and Cristina Hernández Jiménez¹

¹Laboratorio de Tecnología de Alimentos, Universidad Autónoma de Tamaulipas, Unidad Multidisciplinaria Reynosa - Aztlán, calle 16 y lago de Chapala col. Aztlán CP. 88740, Reynosa, México;
²Laboratorio de Biotecnología Experimental, Centro de Biotecnología Genómica del Instituto Politécnico Nacional, Boulevard del Maestro s/n esq. Elías Piña, Col. Narciso Mendoza, Cd. Reynosa Tamaulipas México, C.P. 88710

Keys: *Starch, Applications, Food*; **Claves:** *Almidón, Aplicaciones, Alimentos*

ABSTRACT

Starch, a versatile platform in the industry food. This review regards starch (amylose and amylopectin) which constitutes an important source of energy in the human diet. There are slowly digestible or resistant starches that have been associated with beneficial effects on human and animal health. This macromolecule is so versatile that it has various applications in the food industry, either in food production or as an additive (thickener, foaming agent, hydrocolloid); It can also be used in the textile industry due to its thermoplastic properties. Therefore, this molecule is a fundamental energy source and also represents a versatile platform for obtaining various products.

RESUMEN

La presente revisión versa sobre el almidón (amilosa y amilopectina) que constituye una fuente de energía importante en la alimentación humana. Existen almidones de lenta digestión o resistentes que se han asociado a efectos benéficos en la salud humana y animal. Esta macromolécula es tan versátil que tiene diversas aplicaciones en la industria alimentaria ya sea en la producción de alimentos o como aditivo (espesante, espumante, hidrocoloide); además puede utilizarse en la industria textil por sus propiedades termoplásticas. Por ello, esta molécula es una fuente de energía fundamental y también representa una plataforma versátil para la obtención de diversos productos.

Revista Boliviana de Química, 2024, 41, 44-51
ISSN 0250-5460, Rev. Bol. Quim. *Paper edition*
ISSN 2078-3949, Rev. boliv. quim. *e-edition, Jan-Apr*
30 abril 2024, <https://doi.org/10.34098/2078-3949.41.1.6>

© 2024 Universidad Mayor de San Andrés,
Facultad de Ciencias Puras y Naturales,
Carrera Ciencias Químicas, Instituto de Investigaciones Químicas
Open Access: <http://bolivianchemistryjournal.org>

¹ Recibido el 5 de diciembre 2023, aceptado el 16 de abril 2024, publicado el 30 de abril 2024; *Mail: gcastillejos@docentes.uat.edu.mx

INTRODUCCIÓN

EL almidón es un carbohidrato abundante en el medio ambiente, es de naturaleza renovable y biodegradable; constituye el polisacárido de reserva energética más abundante en las plantas y se encuentra presente de manera natural en forma de gránulos en los cloroplastos de hojas verdes y amiloplastos de semillas, legumbres, y tubérculos [1]. A nivel molecular, está conformado por dos moléculas distintas: amilosa y amilopectina. Amilosa y amilopectina, son α -glucanos; la amilosa es un polímero lineal esencial de α -1,4, el cual se une con moléculas glucosa a su alrededor, generando ramificaciones. La amilopectina posee una estructura altamente ramificada, compuesta por moléculas de glucosa ligadas a α -1,4 y alrededor del 6% de enlaces α -1,6 en los puntos de ramificaciones [2,3].

Se mencionan tres tipos de almidón A, B y C; en el almidón de Tipo A las hélices de glucosa se encuentran empaquetadas densamente, este tipo de estructura posee amilopectina de longitudes de cadena de 23 a 29 unidades de glucosa; en ella los grupos OH de las cadenas de amilopectina dan lugar a la formación de una doble estructura helicoidal hacia el exterior, un hecho común entre los cereales [4]. Por otro lado, los almidones identificados como tipo B almacenan una menor cantidad de cristales, por lo que al ser menos densos estos permanecen libres para que moléculas de agua puedan distribuirse entre sus ramas. Básicamente consiste en cadenas longitudinales de amilopectina de 30 a 44 moléculas de glucosa con agua intercalada; dicho patrón es común en almidones de papá y plátano [5]. Por último, el almidón tipo C es cristalino, se conforma de una mezcla de cristalinidad del tipo A y B. Su estructura se encuentra compuesta por amilopectina de cadenas longitudinales con moléculas de 26 a 29 glucosas, común en guisantes y judías [4].

CLASIFICACIÓN DE LOS ALMIDONES

La clasificación nutricional del almidón hasta la fecha se fundamenta en su grado de digestibilidad *in vitro*, así, almidones procedentes de distintas fuentes presentaban una distinta cinética de digestibilidad. Por lo que actualmente, se pueden diferenciar tres tipos principales de almidón, los que son digeridos de manera rápida (ARD), los que se digieren de manera lenta (ALD) y los que casi no se digieren en grado alguno (AR) [6]. Definir la función de los almidones resistentes reside en las características encontradas como probióticos los cuales incrementaron sus características, y elevaron el consumo de éste, dando como resultado un aumento de procesos para generar ácidos grasos volátiles que presenten una mayor inmunidad por parte de la microbiota y butirato [7]. A continuación, se desglosa a los almidones resistentes (AR, Tabla 1).

Tabla 1. Clasificación de tipos de almidón resistente (AR).

Tipo de almidón	Fuentes	Digestión en el intestino delgado
ARD	Alimentos en base a almidón recién cocido	Rápida
ALD	Mayoría de los cereales	Lenta pero completa
Almidones Resistentes		
AR1	Granos enteros o parcialmente molidos, semillas y legumbres	Resistente
AR2	Papa cruda, plátano verde, algunas legumbres y almidón de maíz con alto contenido de amilosa	Resistente
AR3	Papa cocida y enfriadas, pan y hojuelas de maíz	Resistente
AR4	Alimentos procesados con este tipo de almidones modificados químicamente	Resistente

ARD: almidón rápidamente digerible; ALD: almidón lentamente digerible; AR: Almidón resistente; AR1: almidón físicamente inaccesible; AR2: Gránulos de almidón resistente, no gelatinizado; AR3: almidón retrogradado; AR4: almidón modificado químicamente [1,8].

El almidón resistente (AR) se define como la suma del almidón y productos de la degradación de éste, los cuales no son absorbidos en el intestino, por lo que este tipo del almidón es uno de los causantes de los sustratos de fermentación que pueden ser encontrados en el colon. El almidón resistente incapaz de degradarse mediante cuerpos enzimáticos. Se divide en cuatro fracciones. AR1, AR2, AR3 y AR4; conocidas comúnmente como almidones tipo I, II, III y IV [1,7]. En estos ocurre lo siguiente:

- AR1: Es estable al calor en mayor parte de las operaciones normales de procesos térmicos como lo es la cocción, lo que permite su manejo en una variedad de alimentos convencionales. Son encontrados comúnmente en granos enteros y legumbres [8].

- AR2: Su estructura se mantiene compacta limitando la accesibilidad de enzimas digestivas. Respecto a este tipo de almidón presenta una estructura cristalina tipo B. Pueden ser encontrados en alimentos crudos como plátano verde y papa ^[5,8,9].
- AR3: Tipo de almidón retrogradado cuya formación surge cuando el almidón tras un proceso térmico pierde calor. Este tipo de almidón puede ser obtenido con el añejamiento de este ^[5,8].
- AR4: Los almidones químicamente modificados son producto de esterificación, reticulación, transglicolación y no se pueden descomponer, debido a que durante el proceso de modificación se forma una estructura inaccesible a la digestión por amilasas ^[8]. Comúnmente, estos están presentes en procesos industriales para la elaboración de alimentos como: snacks, pan, alimentos congelados, fideos, salsa, algunos postres, etcétera ^[5].

USOS Y APLICACIONES DEL ALMIDÓN

La demanda por materiales procedentes de fuentes sustentables convirtió al almidón en la materia prima para distintas industrias que demandan la producción de polímeros biodegradables, adhesivos, fármacos, textiles y papel, por lo que encontrar una fuente estable de almidón que presente propiedades fisicoquímicas y funcionales con capacidades de estabilizar, así como mantener la producción puede ser de gran ayuda dentro de la industria ^[10]. La implementación del almidón como un agente emulsificador, estabilizador y como una película de revestimiento para alimentos susceptibles, así como su manipulación física y química para el empaquetado de productos enlatados, biomateriales que presenten propiedades funcionales dentro del área farmacéutica, así como en otras áreas industriales ^[11]. Además, como un recurso para disminuir el impacto ambiental generado a través de los años por distintas industrias, por ejemplo, el reemplazo de polímeros para la producción de plásticos, la cual, genera un impacto ambiental tanto en la producción como posteriormente con la acumulación de botellas de plástico por biopolímeros. Esto genera un problema en el que los biomateriales serían posiblemente una solución, ya que tienen la capacidad de degradarse en menor tiempo ^[12].

Otra alternativa en la industria es la implementación de almidones aislados para su fermentación y secados a condiciones normales, por lo que los almidones agrios poseen un alto rendimiento de mejora en procesos de panificación en comparación de almidones que no han sido fermentados (dulces). Algunos de los usos del almidón fermentado en Colombia son pandebono y pan de yuca, mientras que en Brasil es usado para elaborar bollos de queso ^[13].

USOS DEL ALMIDÓN EN LA INDUSTRIA

El aislamiento del almidón de distintas fuentes en la industria implica ciertos factores por su elevado potencial en distintas áreas, por lo que se ha aprovechado sus propiedades en diversos procesos de producción de aditivos como en sectores alimenticios, cosméticos, síntesis para la obtención de plásticos, adhesivos, colorantes, etcétera. En el sector principal de la industria alimentaria se utiliza el 61% de almidón como ingrediente para dar funcionalidad. Entre los productos más comunes elaborados con almidón están productos de panadería, pasta, tortilla, arroz cocido, patata cocida, etcétera. Su función principal es proporcionar propiedades funcionales y nutricionales deseables ^[14].

En la industria alimentaria el almidón se utiliza en gran parte de aditivos como estabilizantes, para la elaboración de helados, entre otros productos como conservas y cárnicos que puedan ser producidos en su totalidad o parcialmente, con procesos de alto rendimiento y que sean sustentables desde el punto de vista industrial ^[15]. Los almidones pueden presentar estructuras – películas con un alto potencial biodegradable, estas estructuras se hacen presentes difiriendo en las características por lo que se considera que hay dos tipos de estructuras poliméricas: termoplásticas que son procesados en sistemas libres de humedad, y películas las cuales se obtienen en sistemas con humedad. La única diferencia que tienen es la presencia de agua en el sistema.

PRODUCCIÓN DE PASTAS ALIMENTICIAS

Estos productos suelen estar elaborados con harinas vegetales a base de almidón procedente de harina de trigo, ésta probablemente la fuente más común. En Asia, por ejemplo, los fideos son elaborados con harina de trigo, harina de trigo alforfón, harina de judías mung y harina de arroz, las cuales son bastante populares. Sin embargo, se recomienda tener un balance debido a que el exceso de la ingesta incrementa rápidamente el nivel de glucosa plasmática postprandial, elevando el riesgo de enfermedades ^[16]. La producción de algunos productos plastificados requiere ciertas características para cumplir ciertos requisitos de la industria de los alimentos dado que hacen referencia a las



características funcionales que deben presentar, por lo que los almidones nativos no suelen ser implementados para estos procesos, ya que no cumplen con las características necesarias dando como resultado pastas pobres, sin forma, carentes de cohesión y la falta de gomosidad en sistemas térmicos, además tienden a presentar geles durante la etapa de enfriamiento. Para la obtención de productos plastificados, deben ser evaluados durante el ciclo de calentamiento en el que los gránulos de almidón absorben agua y posteriormente se hinchan ^[17].

La formulación de harinas compuestas con trigo y almidón para la elaboración de pastas en 10%, 20% y 30% dio como resultado en el proceso de cocción un tiempo óptimo, así como el beneficio en características funcionales como el poder de hinchamiento que se incrementa conforme el porcentaje de almidón aumenta. Por lo que, el estudio concluyó que es posible elaborar pastas alimenticias realizando formulaciones ^[18].

PRODUCCIÓN DE ADITIVOS

El desarrollo continuo para la obtención de aditivos naturales con características mecánicas y una resistencia al agua ha logrado distintos productos con distintas texturas. Estos polímeros son materiales compatibles ^[19]. El resultado de los nuevos materiales para la elaboración de productos ha generado la integración en aspectos de la pasta, pan y galletas. Los almidones modificados como aditivos se utilizan como recubrimiento para frutas, también mejoran sus propiedades sensoriales, ya que incrementan la vida de anaquel y reducen el uso de materiales sintéticos. Tomando en cuenta los almidones modificados son completamente biodegradables y comestibles ^[20].

Estabilizantes

Este tipo de aditivos provenientes de macromoléculas en forma de polisacáridos en forma de coloides, hidrocoloides y gomas se conocen como estabilizantes que presentan capacidades para mejorar la función de mantener y mejorar la estructura que alberga un alimento ya que une partículas que no son solubles entre sí ^[21]. Aplicados en la industria, los estabilizadores y almidones modificados tienen como requisito para su uso mantener la estabilidad de espuma y el incremento del volumen del producto ^[22]. La viscosidad cuando alcanza el pico más alto logra evidenciar su comportamiento reológico en los alimentos, lo que genera un efecto secundario en las propiedades fisicoquímicas ^[23]. Algunos de los usos más comunes son dulces, postres, lácteos, sopas, caldos concentrados, productos de panadería, pastas, alimentos procesados, galletas, helados, chocolate y jugos ^[24].

Edulcorantes

Un edulcorante hace referencia al tipo de aditivo alimentario que confiere un sabor ^[25]; en procesos industriales de alimentos una de las materias primas más comunes son los edulcorantes, esto se debe a que en la industria se utiliza un proceso de obtención de materias primas edulcorantes, como el azúcar común o sacarosa, lactosa, fructuosa, jarabes u otro agente que produzca dulzor y tenga una buena percepción por parte del consumidor, ya que algunos productos poseen hasta el 45% de dulzor ^[26]. En los últimos años, el incremento de las materias primas ha obligado a investigar fuentes que produzcan y generen un sustituto de azúcares comunes lo que ha dado como resultado que algunos edulcorantes naturales o sintéticos puedan ser encontrados en la industria ^[27].

Existen dos tipos de productos edulcorantes cristalizados a partir del almidón, en los que ocurre una hidrólisis completa dando como resultado glucosa, oligosacáridos con bajo peso molecular, entre otros y, por otra parte, los no cristalizados que presentan una hidrólisis intermedia dando como resultado productos como jarabes, maltodextrinas, etc., el hecho que algunos no sean cristalizados frecuentemente significa que contienen dextrosa, maltosa y oligosacáridos ^[28]. Huanca-López et al. ^[29] reportaron la evaluación de glucosa del jarabe obtenido a partir de una hidrólisis enzimática del almidón de yuca (*Manihot esculenta*) la concentración de oligosacáridos en la etapa de licuefacción es del 89%, así como en la etapa de sacarificación reporto 96% de glucosa.

Agentes emulsificantes

En la actualidad existe una gran variedad de almidones nativos extraídos de distintas fuentes sustentables para la industria de los cosméticos ^[30]. Para garantizar que los productos no produzcan efectos adversos en los usuarios la industria de los cosméticos tiende a utilizar animales, los cuales son expuestos a dosis altas en cortos periodos de tiempo ocasionando daños a largo plazo. Los almidones nativos suelen presentar cierta fragilidad, sin embargo, brindan una oportuna limitación en cuanto a sus propiedades mecánicas, químicas, y a su alta degradabilidad por lo que se puede efectuar distintas modificaciones que afecten directamente sus categorías físicas, químicas y enzimáticas, convirtiéndolos en una herramienta para disminuir el impacto ambiental ^[31].

La emulsificación tipo Pickering elaborada con almidón posee características viables debido a sus propiedades que le permiten tener interacción con agentes químicos en productos cosméticos, logrando que el polisacárido sea



hidrofílico e hidrofóbico al mismo tiempo, por lo que puede soportar fases oleosas, esto significa que el almidón puede ser implementado en procesos emulsificantes, pero también como estabilizante ^[32].

Espesantes

Emplear espesantes para lograr la viscosidad necesaria en los alimentos es bastante común en la industria alimentaria, por otro lado, la industria farmacéutica también los utiliza con el fin de lograr que los jarabes y soluciones carentes de ciertas características viscosas, puedan ingerirse por los pacientes ^[33]. Algunas propiedades funcionales de los almidones determinan la gelatinización y plastificación las cuales son importantes al momento de su uso industrial ^[34].

Existen requerimientos para adaptar la textura de los alimentos al igual que las bebidas para que las personas puedan ingerirlos ^[35]. Por dicho motivo el desarrollo de agentes espesantes dentro de la industria para lograr una buena hidratación para obtener diversos tipos de purés (deshidratados, liofilizados, pasteurizados y esterilizados), purés de frutas, flan de frutas y cereales deshidratados ^[36]. La elaboración de un alimento tipo compota utilizado como espesante, el almidón del frijol zaragoza (*Phaseolus lunatus*), demostró que el contenido de este polisacárido es un factor importante si se quiere elaborar un producto final con características funcionales importantes, debido al comportamiento que presenta el almidón en sistemas con temperaturas elevadas para su procesamiento, por lo que debe ser incluido dentro de los espesantes más utilizados para la industria ^[37].

Agentes gelificantes

Las propiedades incoloras, inodoras y aquellas que presentan un alto índice de absorción de agua que aportan los agentes gelificantes a un medio son relacionadas con la difusión en un medio cuya dependencia se le atribuye a la viscosidad que posteriormente dependerá de la concentración y las características fisicoquímicas del agente. Algunos, tienen la capacidad de cambiar de estado, sin embargo, esto dependerá de un factor externo como la temperatura ^[38].

Generalmente se manipulan los almidones nativos en la industria de los alimentos porque son sustancias inocuas con capacidad para estabilizar la textura de algunos alimentos y sus propiedades gelificantes. Además, la agroindustria continúa con el desarrollo de nuevos productos con propiedades resistentes que puedan ser utilizados como películas que recubran y conserven productos frescos ^[39]. Previamente, autores han comprobado la eficiencia de agentes gelificantes ^[40].

Los almidones se usan en la producción de biopelículas como materiales biodegradables con el fin de evitar un impacto ambiental considerable del uso de otros materiales sintéticos utilizados para el empaquetado de alimentos ^[41], de ahí el uso de plastificantes en películas que puedan ser generados a partir de almidón con el fin de obtener un mayor rendimiento y una menor fragilidad de la película polimérica formada ^[42].

Uso en panificación

La transformación de una mezcla de ingredientes para convertir una masa con propiedades mecánicas que permitan la retención de gases para poder formar piezas de pan con propiedades reológicas adecuadas es un proceso complejo; para llegar a un resultado adecuado es importante seguir adecuadamente las etapas del proceso; esto implica mezclar, obtener una estructura espumosa, y estabilizar por medio de un tratamiento térmico la estructura molecular de los componentes poliméricos ^[43]. Los productos de panificación son hechos generalmente con harina de trigo, la cual contiene gluten y facilita la formación de esta masa y sus propiedades de flexibilidad. Según Zegarra et al. ^[44] en la formulación de productos sin gluten debe considerarse factores para el aislamiento de la materia prima que presente prolaminas (gluten) o fracción de proteínas como gliadina presente en el trigo, horedina en cebada, secalina en centeno, y avenina en avena. Aproximadamente el 1% de la población mundial es sensible al gluten, por lo que deben ser expuestos plenamente a una dieta sin gluten por el resto de la vida, sin embargo, la introducción al mercado de alimentos ricos en proteínas como cereales (arroz, maíz y sorgo), pseudocereales (quinua y amaranto), legumbres (harina de soya, garbanzo y lentejas), semillas (chía y grosella negra) constituye una alternativa.

La elaboración de productos panificados libre de gluten está definida como una formulación debido a la mezcla de sorgo y almidón en la cual debe haber presencia del sorgo en un 50%. Para la elaboración del pan, el almidón tiene como finalidad diluir partículas del endospermo y del salvado en la harina, evitando alteraciones en el gel del almidón, y generando uniformidad e interfiriendo con películas líquidas provenientes de las células sin gluten ^[45]. La formulación de alimentos en los que se distingue un porcentaje mayor de cereales, son panes intermedios con categorías. Estos pueden tener una alta producción de carbohidratos digeridos lentamente causando que el nivel de glucosa en la sangre sea menor ^[46].



Aplicaciones en la industria textil

Los polímeros están divididos en dos tipos, sintéticos y naturales mientras que estos últimos están clasificados como de origen vegetal y microbiano. Los polímeros poseen una capacidad de degradación que ocurre debido a la desintegración en monómeros, debido a esto se requiere que ocurran vínculos inestables e hidrolizables al efectuarse reacciones químicas, biológicas o fotoquímicas. Algunos polímeros polisacáridos como el almidón poseen propiedades termoplásticas que son adecuadas para estos procesos. En la mayor parte de los casos se prefiere un material resistente al agua^[47]. El desarrollo de nuevos biopolímeros mediante microorganismos, plantas o polímeros sintéticos obtenidos a partir la síntesis de azúcares, almidón, y grasas o aceites naturales han sido reportados con un mayor rendimiento de biodegradación en comparación de fibras de origen vegetal o animal. Actualmente, en la industria poco más del 1% son biopolímeros, sin embargo, se estima que en los siguientes años se reporte un incremento^[48].

CONCLUSIONES

El almidón representa una plataforma versátil para la industria alimentaria, puede ser utilizado para la formulación de productos de panificación y pastas, pero también es una materia prima que puede utilizarse como aditivo alimentario para diversos fines; lo anterior se debe a sus características fisicoquímicas que le permiten actuar como agente emulsificante, estabilizante o espesante. Por otro lado, se ha demostrado que tiene efectos sobre la salud humana y animal al actuar sobre el microbiota intestinal, en especial los clasificados como almidón resistente y de lenta digestibilidad. Por ello, esta macromolécula es una materia prima que puede ser aprovechada en distintas industrias, además de la alimentaria, tales como la textil o farmacéutica; además constituye una fuente de energía renovable y económica.

REFERENCIAS

- ¹ Rai, We A & Singh, Neha & Rani, Rekha & Shingh, Shuvam. **2019**, Resistant Starch and its Health Benefits. *Trends in Biosciences*, 12, 905-908.
- ² Amagliani, L., O'Regan, J., Kelly, A.L., O'Mahony, J.A., **2016**, Chemistry, structure, functionality and applications of rice starch, *Journal of Cereal Science*, 70, 291-300. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2016.06.014>
- ³ Chen J, Zhang Y, Chen C, Zhang Y, Zhou W, Sang Y., **2020**, Identification and quantification of cassava starch adulteration in different food starches by droplet digital PCR. *PLoS ONE*, 15(2), e0228624. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228624>
- ⁴ Agama-Acevedo, E., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A., **2019**, Cereal starch production for food applications. In *Starches for food application* (pp. 71-102). Academic Press.
- ⁵ Shintani, T., **2020**, Processing and Application of Starch in Food in Japan. *Journal of Food Science and Nutrition Research*, 3(3), 140-152. <https://doi.org/10.26502/jfsnr.2642-11000045>
- ⁶ Parada, J. A., & Rozowski, J., **2008**, Relación entre la respuesta glicémica del almidón y su estado microestructural, *Revista Chilena de Nutrición*, 35(2), 84-92. <http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182008000200001>
- ⁷ DeMartino, P., & Cockburn, D. W., **2020**, Resistant starch: impact on the gut microbiome and health. *Current opinion in biotechnology*, 61, 66-71. <https://doi.org/10.1016/j.copbio.2019.10.008>
- ⁸ Tayade, R., Kulkarni, K. P., Jo, H., Song, J. T., & Lee, J. D., **2019**, Insight into the prospects for the improvement of seed starch in legume—a review. *Frontiers in plant science*, 10, 1213. <https://doi.org/10.3389/fpls.2019.01213>
- ⁹ Villarroel, P., Gómez, C., Vera, C., Torres, J., **2018**, Almidón resistente: Características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista chilena de nutrición*, 45(3), 271-278. <https://dx.doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- ¹⁰ Malumba, P., Bungu, M. D., Katanga, K. J., Doran, L., Danthine, S., & Béra, F., **2016**, Structural and physicochemical characterization of *Sphenostylis stenocarpa* (Hochst. ex A. Rich.) Harms tuber starch. *Food Chemistry*, 212, 305-312. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.05.181>
- ¹¹ Li, Z., & Wei, C., **2020**, Morphology, structure, properties, and applications of starch ghost: A review. *International Journal of Biological Macromolecules*, 163, 2084-2096. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.09.077>
- ¹² Castillo, C., Nesic, A., Urra, N., & Maldonado, A., **2019**, Influence of thermoplasticized starch on physical-chemical properties of new biodegradable carriers intended for forest industry. *International Journal of Biological Macromolecules*, 122, 924-929. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.11.026>
- ¹³ Díaz, A., Dini, C., Viña, S. Z., & García, M. A., **2018**, Fermentation and drying effects on bread-making potential of sour cassava and AHIPA starches. *Food Research International*, 116, 620-627. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.081>



- ¹⁴ Agama-Acevedo, E., Flores-Silva, P. C., & Bello-Perez, L. A., **2019**, Cereal Starch Production for Food Applications. *Starches for Food Application*, 71–102. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-809440-2.00003-4>
- ¹⁵ Navarro, O. P., Chong, N. L., Suarez, E. G., Valmaseda, C. V., **2017**, Modificación hidrotérmica del almidón de yuca para su empleo como estabilizador de helados. *Afinidad*, 74(580), 275-281. <https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/329842/420511>
- ¹⁶ Saito, H., Tamura, M., & Ogawa, Y., **2019**. Starch digestibility of various Japanese commercial noodles made from different starch sources. *Food Chemistry*, 283, 390-396. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.01.026>
- ¹⁷ Mohammed, O., & Bin, X., **2020**, Review on the physicochemical properties, modifications, and applications of starches and its common modified forms used in noodle products. *Food Hydrocolloids*, 112, 1-25. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106286>
- ¹⁸ Vivanco, E., Martínez, E., Fariás, M., Martínez, D., Zaragoicín, R., Mackliff, C., & Sánchez, J., **2018**, Cocción de pastas alimenticias elaboradas con harina de trigo y almidón de frutipan (*Artocarpus altilis*). *Revista de Investigación Talentos*, 5(2), 12-16. <https://doi.org/10.33789/talentos.5.79>
- ¹⁹ Pintes, A. O., & Manea, D. L., **2019**, New types of mortars obtained by aditiving traditional mortars with natural polymers to increase physico-mechanical performances. *Procedia Manufacturing*, 32, 201–207. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.02.203>
- ²⁰ Ramos García, Margarita de Lorena, Romero B., Claudia, Bautista B., Silvia, **2018**, Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1), 1-16. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=81355612003>
- ²¹ Jaimés-Duque, S., Ramírez-Navas, J. S., & Rodríguez de Stouvenel, A., **2017**, Estabilizantes más utilizados en helados. *Heladería Panadería Latinoamericana*, 251(1), 66-75. <https://www.researchgate.net/publication/319354587>
- ²² Syed. Q. A, Shah M., S, U., **2016**, Impact of stabilizers on ice cream quality characteristics. *MOJ Food Processing & Technology*, 3(1), 246-252. <https://doi.org/10.15406/mojfpt.2016.03.0006>
- ²³ Castulovich, B., & Franco, J., **2018**, Efecto de agentes estabilizantes en jugo de piña (*Ananas comosus*) y coco (*Cocos nucifera* L.) edulcorado. *prisma*, 9(1), 2-10. <https://doi.org/10.33412/pri.v9.1.2063>
- ²⁴ Miranda-Villa, P. P., Marrugo-Ligardo, Y. A., & Montero-Castillo, P. M., **2013**, Caracterización funcional del almidón de frijol zaragoza (*Phaseolus lunatus* L.) y cuantificación de su almidón resistente: funcional characterization of bean zaragoza starch (*Phaseolus lunatus* L.) and quantification of the resistant starch. *Tecnológicas*, 30, 17-32. <https://www.researchgate.net/publication/262669827>
- ²⁵ Campos Gil, M., González, M. S. J., Martín, J. D., & de la Asociación, C. D. N., **2015**, Uso de azúcares y edulcorantes en la alimentación del niño. Recomendaciones del Comité de Nutrición de la Asociación Española de Pediatría. *In Anales de Pediatría*, 83(5), 353.e1-353.e7. <https://doi.org/10.1016/j.anpedi.2015.02.013>
- ²⁶ Tovar, C., Páez, G., **2011**, Producción de Jarabes Edulcorantes por Hidrólisis Enzimática del Almidón de Ñame Variedad (*Dioscorea rotundata*), *Publicaciones e Investigación*, 5, 71-85. <https://doi.org/10.22490/25394088.595>
- ²⁷ Vidal-Tovar, C & Cadavid-Osorio, C & Angulo-Blanquicet, G & Severiche-Sierra Jr, C.A., **2020**, Obtaining a sugar syrup from the use of the extract of the guáximo fruit (*Guazuma ulmifolia* lam). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 844(1), 2-11. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/844/1/012004>
- ²⁸ Rodríguez Rodríguez, L., Gallardo Aguilar, I., Nieblas Morfa, C., & Ortiz Fernández, W., **2015**, Evaluación de dos variedades de sorgo para la obtención de almidón. *Centro Azúcar*, 42(1), 88-95.
- ²⁹ Huanca López, S., Espinal, C., Mollinedo, P., **2015**, Evaluación de la calidad de jarabe de glucosa producido por hidrólisis enzimática a partir de almidón de yuca (*Manihot esculenta*). *Revista Boliviana de Química*, 32(2), 24-29. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S0250-54602015000200001&script=sci_abstract&tlng=pt
- ³⁰ Torrenegra Alarcón, M.E, León Méndez, G., Matiz Melo, G.E., Sastoque Gomez, J., **2015**, Lipophilization of *Dioscorea rotundata* P. starch and its possible use as an emulsifying agent, *Revista Cubana de Farmacia*, 49(4), 605-617. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumenI.cgi?IDARTICULO=65751>
- ³¹ Caro Soto, M. S., Torrenegra Alarcón, M. E., Osorio Fortich, M. D. R., León Méndez, G., Pajaro, N. P., **2018**. Evaluación del impacto ambiental del proceso de modificación química de almidones nativos como potenciales excipientes en la industria cosmética. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47(2), 217-231. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=8112452>
- ³² Páez Álvarez, A. M., Bernal Bustos, C. R., Hernández, L., & Muñoz L., **2018**, Emulsiones tipo pickering a base de almidones modificados como agentes emulsificantes. Artículo de revisión. *Revista De Investigación*, 11(1), 127-139. <https://doi.org/10.29097/2011-639X.185>



- ³³ González, O. M., De Mendizábal, I. Z. V., Iriarte, U. G., Martín, M. S. V., de Vega Castaño, M. D. C., & Egea, J. S., **2016**, Efecto de las variables de preparación sobre la textura en alimentos adaptados para pacientes con disfagia. *Nutrición Hospitalaria*, 33(2), 368-372. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=309245773029>
- ³⁴ 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. <https://doi.org/10.14306/renhyd.19.3.161>
- ³⁵ Labari, M. E. P., Company, P. L., Juan, J. L., Muñoz, S. A., & Rodríguez, T. F., **2020**, ¿Cómo modificar la textura de los alimentos?, *FMC-Formación Médica Continuada en Atención Primaria*, 27(2), 96-105. <https://doi.org/10.1016/j.fmc.2019.07.007>
- ³⁶ Calleja Fernández, A., Pintor de la Maza, B., Vidal Casariego, A., Villar Taibo, R., Urioste Fondo, A., Cano Rodríguez, I., & Ballesteros Pomar, M. D., **2015**, Características técnicas de los productos alimentarios específicos para el paciente con disfagia. *Nutrición Hospitalaria*, 32(4), 1401-1407. <https://dx.doi.org/10.3305/nh.2015.32.4.9528>
- ³⁷ Ligardo, Y. A. M., Rios-Dominguez, I. C., Pájaro, C. E. M., Severiche-Sierra, C. A., & Morales, J. D. C. J., **2017**, Elaboración de un alimento tipo compota utilizando como espesante el almidón del frijol Zaragoza (*Phaseolus lunatus*). *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 8(2), 119-125. <https://dx.doi.org/10.22490/21456453.2036>
- ³⁸ Das, N., Tripathi, N., Basu, S., Bose, C., Maitra, S., & Khurana, S., **2015**, Progress in the development of gelling agents for improved culturability of microorganisms. *Frontiers in Microbiology*, 6, 2-7. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2015.00698>
- ³⁹ Hoyos-Yela, N., Pérez-Imbachí, R., Mosquera-Sánchez, S., & Paz-Peña, S., **2019**, Efecto de la aplicación de un recubrimiento de almidón de yuca modificado por vía ácida sobre el tomate larga vida. *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 22(2):1-8. <https://doi.org/10.31910/rudca.v22.n2.2019.1388>
- ⁴⁰ López-Escamilla, A.L., López-Herrera, M., & Loaiza-Alanis, C., **2016**, Efecto de diferentes agentes gelificantes en la germinación y desarrollo in vitro de plántulas de *Echinocactus platyacanthus* link et otto (cactaceae). *Polibotánica*, 42, 153-166. <https://doi.org/10.18387/polibotanica.42.8>
- ⁴¹ González Cuello, R.E., Urbina, N.A., Morón Alcázar, L., **2015**, Caracterización Viscoelástica de Biopelículas Obtenidas a Base de Mezclas Binarias. *Información tecnológica*, 26(3), 71-76. <https://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642015000300011>
- ⁴² Oropeza González, R., Montes Hernández, A., Padron Pereira, C.A., **2016**, Películas biodegradables a base de almidón: propiedades mecánicas, funcionales y biodegradación. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*, 7, 65-93. <https://www.researchgate.net/publication/309707042>
- ⁴³ Sciarini, L. S., Steffolani, M. E., & Leon, A. E., **2016**, El rol del gluten en la panificación y el desafío de prescindir de su aporte en la elaboración de pan, *Agriscientia*, 33(2), 61-74.
- ⁴⁴ Zegarra, S., Muñoz, A.M., Ramos-Escudero, F., **2019**, Elaboración de un pan libre de gluten a base de harina de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) y evaluación de la aceptabilidad sensorial. *Revista chilena de nutrición*, 46(5), 561-570. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000500561>
- ⁴⁵ Onyango, C., Mutungi, C., Unbehend, G., & Lindhauer, M. G., **2011**, Modification of gluten-free sorghum batter and bread using maize, potato, cassava or rice starch. *LWT - Food Science and Technology*, 44(3), 681-686. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2010.09.006>
- ⁴⁶ Wolter, A., Hager, A.-S., Zannini, E., & Arendt, E. K., **2013**, In vitro starch digestibility and predicted glycaemic indexes of buckwheat, oat, quinoa, sorghum, teff and commercial gluten-free bread. *Journal of Cereal Science*, 58(3), 431-436. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2013.09.003>
- ⁴⁷ Tesfaye, T., Gibril, M., Sithole, B., Ramjugernath, D., Chavan, R., Chunilall, V., & Gounden, N., **2018**, Valorisation of avocado seeds: extraction and characterization of starch for textile applications. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 20, 2135-2154. <https://doi.org/10.1007/s10098-018-1597-0>
- ⁴⁸ Andreeßen, C., & Steinbüchel, A., **2019**, Recent developments in non-biodegradable biopolymers: Precursors, production processes, and future perspectives, *Applied microbiology and biotechnology*, 103, 143-157. <https://doi.org/10.1007/s00253-018-9483-6>