

Vigilancia científica y tecnológica en procesos de modificación físico-enzimática en gránulos de almidón

Scientific and technological watch on physical-enzymatic modification processes in starch granules

Nedys, Acevedo-Viloria^{1*} ; Manuel Cervera-Ricardo¹ ; Jorge Figueroa-Flórez¹ ; Jairo Salcedo-Mendoza¹ ;
Veronica Ramos-Villacob¹ 

¹Universidad de Sucre, sede Puerta Roja, Facultad de Ingeniería, Grupo de Investigación en Procesos Agroindustriales y Desarrollo Sostenible (PADES). Sincelejo - Sucre, Colombia; e-mail: nedys.acevedo@unisucre.edu.co; manuel.cervera@unisucre.edu.co; jorge.figueroa@unisucre.edu.co; jairo.salcedo@unisucre.edu.co; veronica.ramos@unisucre.edu.co

*autor para correspondencia: nedys.acevedo@unisucre.edu.co

Cómo citar: Acevedo-Viloria, N.; Cervera-Ricardo, M.; Figueroa-Flórez, J.; Salcedo-Mendoza, J.; Ramos-Villacob, V. 2024. Vigilancia científica y tecnológica en procesos de modificación físico-enzimática en gránulos de almidón. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 27(1):e2416. <http://doi.org/10.31910/rudca.v27.n1.2024.2416>

Artículo de acceso abierto publicado por Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica, bajo una Licencia Creative Commons CC BY-NC 4.0

Publicación oficial de la Universidad de Ciencias Aplicadas y Ambientales U.D.C.A, Institución de Educación Superior Acreditada de Alta Calidad por el Ministerio de Educación Nacional.

Recibido: mayo 3 de 2023

Aceptado: mayo 8 de 2024

Editado por: Helber Adrián Arévalo Maldonado

RESUMEN

Las demandas actuales de las industrias hacen necesario recurrir a nuevas herramientas para la generación de desarrollo e innovación tecnológica, por lo cual, se ha identificado la necesidad de implementar tecnologías en la búsqueda de tendencias en el campo de los procesos de modificación de los materiales amiláceos. Este estudio tuvo por objetivo determinar la dinámica de producción científica, por medio de herramientas de innovación, como la vigilancia científica en la modificación de almidones por hidrólisis enzimática, asistida por tecnologías emergentes. Para ello, se realizó un análisis cuantitativo de los resultados, a partir de recopilaciones de datos derivados de bases científicas, reportados en clústeres y mapas de tendencias, con información sobre las principales revistas, autores, línea de tiempo, entidades y áreas de conocimiento en la modificación físico-enzimática del almidón. Esta vigilancia permitió identificar que las investigaciones se están orientando a las modificaciones duales y la aplicación de tecnologías emergentes (campos eléctricos, ultrasonido y microondas), como métodos alternativos en la modificación del almidón de cereales y tubérculos.

Palabras claves: Agroindustria; Almidón nativo; Desarrollo tecnológico; Enzimólisis; Inteligencia competitiva.

ABSTRACT

The current demands of the industries make it necessary to resort to new tools for the generation of technological development and innovation, therefore, the need to implement technologies in the search for trends in the field of starch modification processes has been identified. The objective of this study was to determine the dynamics of scientific production by means of innovation tools such as scientific surveillance in starch modification by enzymatic hydrolysis assisted by emerging technologies. For this purpose, a quantitative analysis of the results was carried out based on compilations of data derived from scientific databases reported in clusters and trend maps with information on the main journals, authors, timelines, entities, and areas of knowledge in starch physico-enzymatic modification. This monitoring allowed the identification that research is being oriented to dual modifications and the application of emerging technologies (electric fields, ultrasound, and microwaves) as alternative methods in the modification of cereal and tuber starch.

Keywords: Agroindustry; Competitive intelligence; Enzymolysis; Native starch; Technology development.

INTRODUCCIÓN

El almidón es un polisacárido depositado en agregados semicristalinos, birrefringentes e insolubles en agua fría, derivado de diferentes fuentes vegetales, como cereales y tubérculos, que constituye la principal fuente de almacenamiento energética (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023; Figueroa-Flórez *et al.* 2023a). Este polímero es usado ampliamente en diferentes sectores de la industria de alimentos, como espesante, estabilizante o emulsificante. Asimismo, el almidón en la industria no alimentaria es utilizado para elaboración de películas, encapsulantes y adhesivos (Salcedo-Mendoza *et al.* 2018; Velasco *et al.* 2008); sin embargo, este polisacárido presenta limitaciones tecno-funcionales en su estado nativo, al presentar insolubilidad en agua fría, descomposición térmica, alto nivel de retrogradación y sinéresis, limitando sus aplicaciones (Figueroa *et al.* 2019; Maniglia *et al.* 2021b). De esta manera, el almidón, en la industria panadera, puede presentar poca capacidad de expansión durante el horneado, fenómenos marcados de retrogradación que afectan negativamente la dureza del producto después del horneado o fenómenos de separación de fases en suspensiones durante el almacenamiento (Soto *et al.* 2018).

Para inhibir o potencializar ciertas propiedades del almidón nativo se han implementado procesos físicos, químicos o enzimáticos, que permiten alterar las características estructurales o morfológicas propias de los gránulos y ampliar sus líneas de aplicación en la industria (Ochoa-Martínez *et al.* 2021). Entre esos métodos, la hidrólisis enzimática busca la degradación de cadenas de amilosa y de amilopectina en componentes solubles, de baja viscosidad y poca capacidad de reorganización molecular (Bai *et al.* 2021); no obstante, el proceso se ve ralentizado por debajo de la temperatura de gelatinización, debido al denso empaquetamiento granular y poca porosidad superficial, característico en almidones de tubérculos, que delimitan los procesos de difusión, de adsorción y de activación de la hidrólisis enzimática (Xie *et al.* 2019).

Para acelerar la cinética enzimática durante la modificación del gránulo se pueden usar pretratamientos físicos o proyectar el proceso de biocatálisis, asistido por tecnologías emergentes. Estudios han revelaron que los pretratamientos hidrotérmicos por calor-humedad (HMT) aumentaron el grado de hidrólisis y conllevó a la obtención de gránulos con estructuras microporosas y con excelente capacidad hidrofílica. Dentro de dichas tecnologías emergentes se engloban las vibraciones ultrasónicas, microondas y campos eléctricos (Klein *et al.* 2013; Amini *et al.* 2015; Maniglia *et al.* 2021a); no obstante, existen vacíos científicos concernientes a establecer el efecto de la modificación física empleando ultrasonido o campos eléctricos sobre almidones de tubérculos (yuca, ñame y batata), así como escasa investigación en la modificación enzimática asistida por tecnologías emergentes (Li *et al.* 2022). Por ello, es necesario identificar tecnologías emergentes promisorias en la biocatálisis enzimática de materiales amiláceos con gran proyección, a nivel industrial.

Ante las demandas del sector industrial se hace necesario recurrir a herramientas de innovación, que permitan identificar las nuevas

tendencias tecnológicas en el campo de la modificación enzimática de materiales amiláceos. La vigilancia científica-tecnológica (VCT) es un proceso de búsqueda, de captación y de análisis de información, a partir de bases de datos científicas y tecnológicas, la cual, se vislumbra como una herramienta útil para rastrear posibles soluciones innovadoras, que sirvan de apoyo en las investigaciones, entendiendo que el número de trabajos académicos publicados y patentes concedidas es un indicador importante para medir la tendencia y la dinámica de publicación en el desarrollo de las investigaciones (Orjuela-Garzón *et al.* 2020).

En consecuencia, la presente vigilancia tiene como objetivo determinar la dinámica de producción científica y tecnológica, con potencial de aplicación en la industria de espesantes, de estabilizantes, de texturizante y de emulsificante, derivado de los procesos de modificación enzimática de almidones de yuca y de ñame, asistidos por tecnologías emergentes.

MATERIALES Y MÉTODOS

La captación de información en el estudio de vigilancia científica y tecnológica se estructuró en cuatro etapas: planeación, búsqueda, análisis e inteligencia competitiva (Andrade *et al.* 2017). Las diferentes etapas del estudio de vigilancia se describen en la figura 1.

Planeación: En esta etapa se realizó la delimitación del tema a investigar “Tecnologías físico-enzimáticas en el desarrollo de almidones modificados” y el alcance de la vigilancia, se delimitó a la “Modificación enzimática de almidones asistida por tecnologías emergentes”. Luego, se procedió a la elaboración de una bitácora de palabras claves en idioma inglés, las cuales, fueron seleccionadas, apoyadas en los siguientes criterios: fuentes vegetales, propiedades y características del gránulo, aplicaciones agroalimentarias, tecnologías emergentes, biocatálisis, polipéptidos enzimáticos, productos derivados de la hidrólisis, entre otras. Para tal propósito, se usaron herramientas validadas que agrupan los tesauros, como AGROVOC Multilingual Thesaurus y Cambridge Thesaurus, que permitieron la obtención y validación de 73 palabras claves. A partir de estos tesauros, se estructuraron 80 ecuaciones de búsqueda (Tabla 1). La matriz de búsqueda se estructuró a partir de la articulación de tres palabras claves o expresiones combinadas, con tres operadores booleanos AND (Y), OR (O), AND NOT (Y NO). Estas mismas matrices de búsqueda fueron implementadas en la búsqueda de patentes relacionadas con el tema de interés.

Búsqueda: En esta etapa, con la matriz de búsqueda, se procedió a la consulta de información en la plataforma digital de Scopus, debido a que es una base de datos con una interfaz amplia de recopilación de información de artículos científicos y Patent Inspitation y permite recopilar información de desarrollos tecnológicos consolidados en asignación de patentes, implementado el método de VCT. En síntesis, estas plataformas permiten validar y analizar resultados, ofreciendo una visión general de la producción científica y tecnológica, en los diferentes campos de la Ciencia. La búsqueda se delimitó al periodo comprendido entre enero de 2019 y diciembre de 2023.

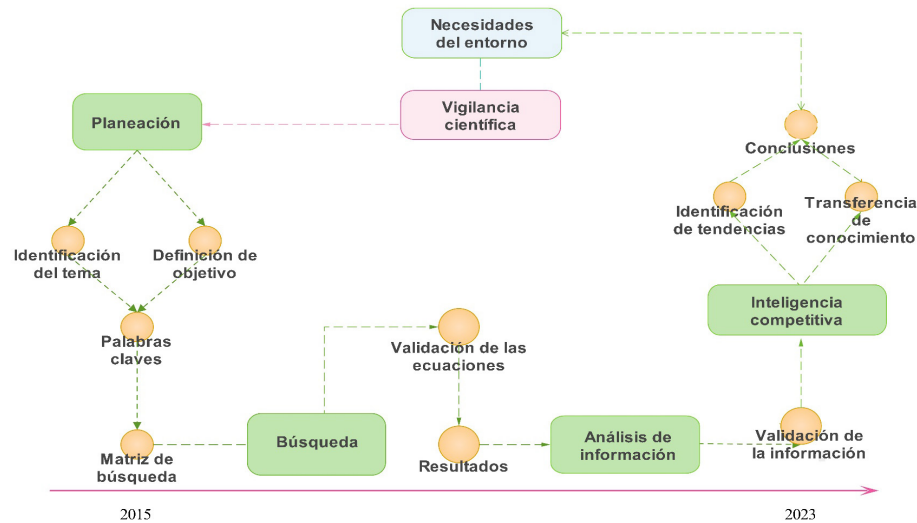


Figura 1. Etapas del proceso para realizar la vigilancia científica y tecnológica.

Tabla 1. Conformación de la matriz parcial de búsqueda a partir de las palabras claves referente a la temática de modificación de almidones de tubérculos.

| Ecuación de búsqueda | Resultados |
|---|------------|
| "Modified starches" OR "Enzymatic hydrolysis" AND "Electric field" | 106 |
| "Alpha amylase" AND Starch AND "Enzyme modification" | 10 |
| Ultrasound AND Pullulanase AND Starch | 9 |
| "Electric field" AND "Granular structure" AND "Adsorption capacity" | 1 |
| Enzymolysis OR "Electric fields" AND "Porous starch" | 6 |
| Matriz parcial | Resultados |
| ((TITLE-ABS-KEY (transglucosidase AND "Native starches" OR "Microporous starches") AND NOT TITLE-ABS-KEY (esterification)) AND PUBYEAR > 2019) OR ((TITLE-ABS-KEY (starch AND "Ultrasound assisted" AND enzymolysis) AND NOT TITLE-ABS-KEY ("Green techniques")) AND PUBYEAR > 2019) OR (TITLE-ABS-KEY ("Porous starch" AND "ultrasound-assisted" AND "enzymatic hydrolysis") AND PUBYEAR > 2019) | 10 |

Análisis de la información: En esta etapa se buscó identificar y correlacionar las ecuaciones búsqueda, usando el software VOSviewer. Esta herramienta permitió depurar la información obtenida de Scopus, eliminando palabras que no tenían una correlación directa con la temática de búsqueda; además, se excluyeron palabras similares, para agruparlas en términos comunes. Luego, se complementó la selección de palabras, solicitando a expertos en el área de estudio (Ciencia, Tecnología e Innovación en Carbohidratos), la elaboración de varios clústeres: clústeres asociados de forma directa, clústeres indirectos y clústeres derivados de la búsqueda, generando resultados y mapas de tendencias, que englobaban información de países, de autores, de revistas y de entidades con mayor aporte y contribución a la temática de estudio.

Inteligencia competitiva: Finalmente, se realizó una validación de los resultados, definiendo los procesos de modificación, fuentes amiláceas y tipos de tecnologías con potencial aplicación, a nivel industrial. Asimismo, definir las proyecciones futuras en el desarrollo de almidones modificados de tubérculos.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las divulgaciones científicas en el periodo comprendido entre el 2019 y 2023 revelan un total de 299 documentos publicados, donde se resaltan temáticas de investigación referidas a la modificación de almidones, empleando procesos hidrotérmicos y tecnologías emergentes, como tratamientos físicos individuales, así como coadyuvantes de la actividad hidrolítica, en modificaciones duales o combinadas.

En la figura 2, se observa que la dinámica de publicación de artículos científicos y las principales revistas científicas de alto impacto relacionadas con el alcance temático de interés de la VCT presenta un constante crecimiento en el transcurrir de los últimos cinco años. Entre el 2019 y 2020 se publicaron 75 documentos; en este periodo, la temática de investigación comprende la implementación de modificaciones duales, donde se combinan sistema de microondas y tratamientos hidrotérmicos para la alteración de la estructura nativa de almidones de tubérculos (Li *et al.* 2019). Asimismo, se

reporta el desarrollo de investigaciones asociadas a evaluar el efecto de la combinación de procesos biocatalíticos y ultrasonido, tanto en la cinética enzimática como en las propiedades fisicoquímicas de los materiales amiláceos (Wang *et al.* 2020; Xie *et al.* 2019).

Siguiendo la dinámica científica, se encontró un total de 96 documentos publicados en el periodo bianual 2021-2022, donde los estudios estuvieron referidos a la implementación de campos eléctricos y ultrasonido en la modificación física de gránulos de almidón y su efecto sobre las propiedades fisicoquímicas, de empastamiento y de gelatinización. Además, en la búsqueda de procesos biocatalíticos simultáneos o secuenciales para la producción de estructuras porosas en almidones de cereales y tubérculos (Li *et al.* 2022; Pang *et al.* 2021; Rahaman *et al.* 2021).

Para el 2023, se encontraron 72 documentos, donde se pudo establecer una tendencia de publicaciones con énfasis en la producción de almidones de yuca con superficies porosas para uso

agroalimentario, empleando procesos hidrotérmicos e hidrólisis enzimática simultánea (Figueroa-Flórez *et al.* 2023a). De la misma forma, se visualizan estudios en las propiedades estructurales, fisicoquímicas y de empastamiento en mezclas de almidones de yuca y ñame (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023).

Con relación al tipo de documento científico usado para difundir los resultados de investigación, el estudio de vigilancia refleja que la mayoría de las publicaciones se realizan en formato de artículos científicos, con el 88,0 %, seguido de artículos de revisión, 8,7 % y capítulos de libros, 1,3 % y otros formatos, con 2,0 %. Dentro de las principales revistas científicas de alto impacto para la publicación de resultados de investigación referente a la ciencia y tecnología del almidón, se encuentran International Journal of Biological Macromolecules, Starch Staerke, Food Hydrocolloids, Carbohydrate Polymers, y Food Science and Technology (LWT) (Figura 2).

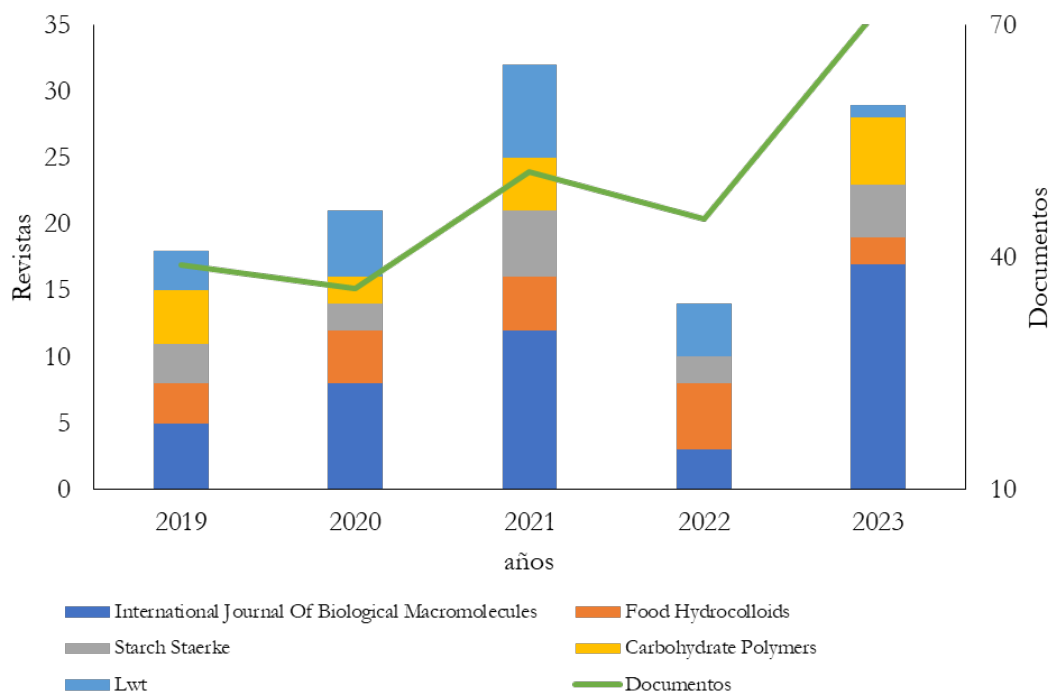


Figura 2. Número de documentos publicados por años y las principales revistas en la publicación de investigaciones, referente a la modificación de almidón de cereales y tubérculos.

Por otro lado, la divulgación científica por países y las áreas de conocimiento con mayor producción científica en procesos de modificación de almidones por hidrólisis enzimática y tecnologías físicas emergentes, se ilustran en la figura 3. Los resultados revelan que China es el país con mayores documentos publicados del 2019 a 2023; su volumen es cinco veces mayor que su sucesor India, que se encuentra desarrollando estudios sobre la modificación de almidón, a través de sistemas de ultrasonidos, seguido de Brasil, Estados Unidos e Irán. En el lugar número 18 se visualiza Colombia, con 4 publicaciones, en la síntesis y modificación de almidón.

En este sentido, en Colombia, en el 2019, se estudió el efecto de los almidones de yuca modificados por biocatálisis enzimática (Figueroa-Flórez *et al.* 2019). En el 2023, se incursionó en la implementación de tratamientos hidrotérmicos (ANN) e hidrólisis enzimática simultánea de almidones nativos de yuca, obteniendo, como resultados concluyentes, un nuevo método en la producción de gránulos de tubérculos con superficie microporosa (Figueroa-Flórez *et al.* 2023a); además, se evaluó el efecto de pre-tratamientos físicos, como annealing, calor-humedad y ultrasonido, en el desarrollo de almidones microporosos de tubérculos (Figueroa-

Flórez *et al.* 2023b) y, en este mismo periodo, se reporta un estudio del efecto del proceso simultáneo de biocatálisis enzimática sobre mezclas de almidones pre-gelatinizados de yuca y ñame (Arroyo-Dagobeth *et al.* 2023). Esto quiere decir que, en el país, se está empezando a investigar sobre el efecto de la implementación de tratamientos hidrotérmicos y tecnologías emergentes, como coadyuvante de las actividades hidrolíticas de amilasas en almidones de tubérculos, para mejorar su funcionalidad y versatilidad en la industria de alimentos.

Por otra parte, dentro de las áreas del conocimiento para esta vigilancia, se encuentran las ciencias agrícolas y biológicas,

química, bioquímica, genética y biología molecular (Figura 3). Las ciencias agrícolas y biológicas están enfocadas hacia procesos de modificación de materiales amiláceos, evaluando efectos de diferentes tratamientos físicos y enzimáticos sobre las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y estructurales para el desarrollo de materiales amiláceos, con gran potencial en la industria agroalimentaria. A su vez, en esta área se destacan investigaciones orientadas a la preservación de la batata usando tecnologías limpias, en aras de prevenir el pardeamiento enzimático, mantener la calidad nutricional y reducir la acumulación de azúcares reductores durante el almacenamiento (Barua *et al.* 2021; Li *et al.* 2021b; Pang *et al.* 2021).

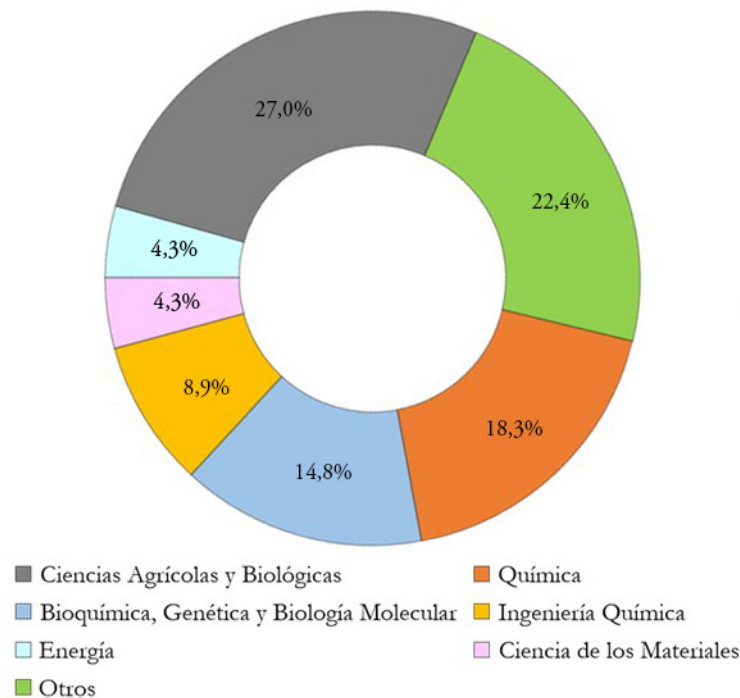


Figura 3. Área temática de las investigaciones referentes a la modificación de almidón de cereales y tubérculos.

El área de química, las investigaciones se han orientado al procesamiento de frutas, cereales y tubérculos para la producción de almidones, así como los procesos de modificación, a través de tratamientos químicos, físicos y enzimáticos. En esta área, se resalta un estudio sobre la mejora del rendimiento de emulsificación del almidón de maíz ceroso, mediante esterificación combinada con campo eléctrico pulsado (Chen *et al.* 2022), mientras que Rahaman *et al.* (2021) han planteado la incorporación de sistemas de ultrasonido, como una tecnología ecológica hacia el desarrollo de materiales amiláceos con nuevas funcionalidades, idóneas para la formulación de productos agroalimentarios.

Respecto al área de Bioquímica, Genética y Biología, los resultados revelan que es un área multi-versátil, donde se encuentran investigaciones relacionadas con procesos de modificación por vía física, química o enzimática, en almidones de cereales, de leguminosas y de tubérculos. En esta área, los estudios se centran en determinar el efecto de tratamientos duales: químicos-hidrotérmicos, ultrasonido-hidrotérmicos y microondas-ultrasonido sobre las

propiedades fisicoquímicas, reológica y digestibilidad *in vitro*, en diferentes tipos de almidones (Duyen *et al.* 2020; Chakraborty *et al.* 2021; Zhang *et al.* 2021).

Del mismo modo, el estudio de vigilancia permitió identificar los principales autores, áreas de investigación e instituciones académicas (Tabla 2). En esta búsqueda se destacan autores, como Bo Cui & Li Guo, adscritos a Qilu University of Technology, cuyas investigaciones se relacionan con temáticas que engloban procesos de biosíntesis del almidón y la modificación del almidón por vía enzimática. Otros autores, como Xinan Zeng & Zhong Han, adscritos a South China University of Technology, han centrado sus investigaciones en la modificación del almidón empleando tratamientos enzimáticos individuales, duales, simultáneos o secuenciales, para la obtención de almidones porosos (Guo *et al.* 2019; 2020; Han *et al.* 2020; Hong *et al.* 2020). A su vez, Dandan Li, adscrito a la Nanjing Agricultural University, ha investigado el mecanismo de aplicación de hidrólisis enzimática electroasistida, como método novedoso en la producción de almidones porosos de

cereales (Li *et al.* 2020a; 2021a; 2022). A nivel de Latinoamérica, el investigador Egon Schnitzler, adscrito a la Universidad de Estadual de Ponta Grossa, en colaboración con otros autores, ha centrado sus estudios científicos en la implementación de tratamientos calor-humedad (HMT), en mezclas de almidones de papa y batata, así como el uso de tecnologías emergentes, en la modificación de almidón de malanga morada (*Colocasia esculenta*) (Henning *et al.* 2019; Martins *et al.* 2020; Thomaz *et al.* 2020).

Depuración de la información: Implementando el software de VOSviewer se obtuvo información más detallada, a través de mapas de tendencias (Figura 4). La búsqueda de información científica y tecnológica realizada permitió identificar las tendencias actuales en los procesos de modificación por vía enzimática asistida con tecnologías emergentes, donde se lograron identificar cuatro líneas temáticas, con el apoyo de expertos en las temáticas de vigilancia científica y en el campo de la Ciencia y Tecnología del Almidón.

Tabla 2. Instituciones y autores de mayor investigación, documentos publicados y sus áreas temáticas de investigación, referente a la modificación de almidones.

| Autor | Instituciones | Documentos | Áreas Temáticas |
|-----------------|---|------------|--|
| Bo Cui | Qilu University of Technology | 11 | Bioquímica, Genética y Biología Molecular, Química, Ciencia de Materiales, Ingeniería Química |
| Li Guo | | 7 | |
| Jiahao Li | | 5 | |
| Xinan Zeng | South China University of Technology | 10 | Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería, Bioquímica, Genética y Biología Molecular. |
| Zhong Han | | 8 | |
| Dandan Li | Nanjing Agricultural University | 10 | Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería Química, Bioquímica, Genética |
| Yongbin Han | | 9 | |
| Yang Tao | | 9 | |
| Han jiang | Northwest A&F University | 5 | Ciencias Agrícolas y Biológicas, Química, Ingeniería, Bioquímica, |
| Egon Schnitzler | Universidad de Estadual de Ponta Grossa | 5 | Química. Física y Astronomía. Ciencias Agrícolas y Biológicas. Ingeniería Química, |

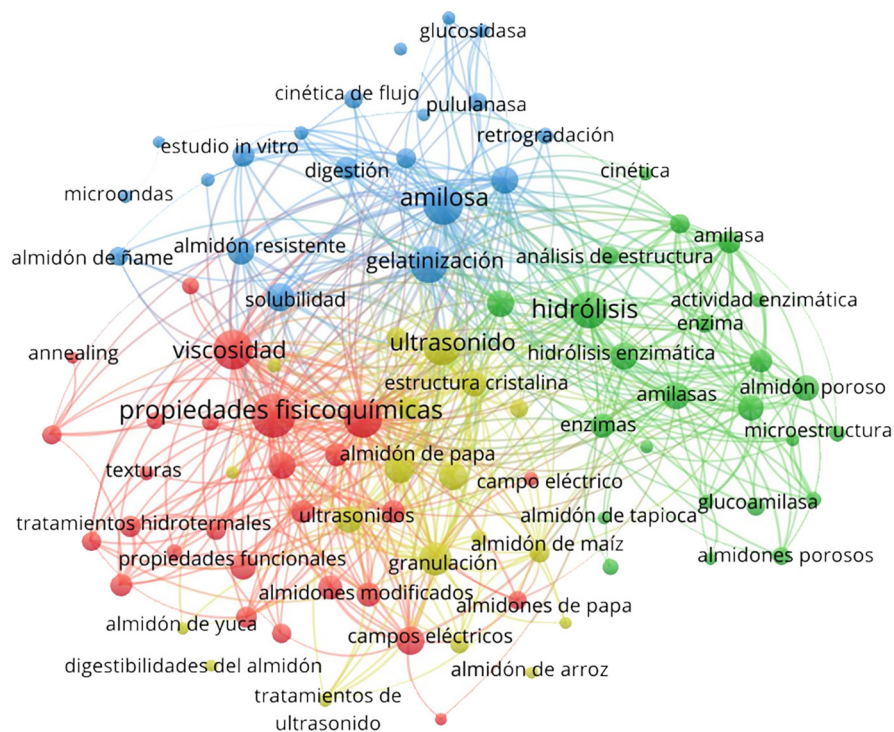


Figura 4. Mapa temático derivado de las palabras claves asociadas a la modificación de cereales y tubérculos.

Clúster I (Rojo). Los temas identificados en esta línea temática, referente a la modificación de materiales amiláceos, presentan un enfoque hacia los “tratamientos físicos”, como el hidrotérmico calor/humedad (HMT), tratamiento por Annealing y los campos eléctricos. Los resultados revelan que los estudios han estado

centrados en evaluar el efecto de diversos tratamientos físicos sobre el grado de cristalinidad, viscosidades de empastamiento y fracciones de digestibilidad *in vitro* del almidón. Asimismo, dentro de este conglomerado, se observa un mayor número de investigaciones asociadas a evaluar el impacto de los tratamientos hidrotérmicos

(annealing y calor-humedad) y las tecnologías emergentes y cómo estas afectan los atributos fisicoquímicos y estructurales de los almidones (Dudu *et al.* 2019; Chakraborty *et al.* 2021; Yu *et al.* 2021; Wang *et al.* 2022).

Adicionalmente, en el clúster se observa la producción de almidones con propiedades de digestión lenta o “almidón resistente”. El almidón resistente es una fracción del almidón, que es capaz de resistir a la digestión y se mantiene íntegro a lo largo del tracto gastrointestinal, el cual, se puede obtener con la acción combinada de un proceso inicial de retrogradación seguido de la acción enzimática, preferentemente, una enzima desramificadora, como la pululanasa (Villarreal *et al.* 2018; Olayo-Contreras *et al.* 2022). En esta línea de investigación se han implementado tecnologías físicas en procesos de modificación dual, mediante campo eléctrico y ultrasonido en almidones de papa, para aumentar las propiedades hidrofílicas y la fracción de almidón resistente (Cao & Gao, 2020; Chi *et al.* 2023). Igualmente, los tratamientos hidrotérmicos, como el annealing, asistidos por ultrasonidos, han permitido el desarrollo de almidones resistentes tipo 3, incrementando las propiedades estructurales y la digestibilidad, con potencial aplicación en alimentos de baja respuesta glucémica (Chang *et al.* 2021). Las modificaciones de los materiales amiláceos están orientadas a métodos sostenibles, que permitan el aumento de las fracciones de lenta digestión y almidón resistente.

Clúster II (Amarillo). La segunda línea temática está orientada hacia las “tecnologías emergentes”, como la cavitación ultrasónica y microondas. Estas tecnologías son utilizadas como un método novedoso para la modificación de materiales amiláceos con cambios significativos sobre la estructura cristalina, propiedades de empastamiento y cambios morfológicos (Yang *et al.* 2019), implementadas, específicamente, en la modificación almidones de maíz, de papa, de ñame y de yuca, con el fin de promover el desarrollo de procesos no-químicos en la ciencia y la tecnología del almidón (Hu *et al.* 2019). Algunos estudios reportan el uso del sistema de ultrasonido y microonda en las propiedades estructurales y térmicas de los almidones de maíz y de batata (Rostamabadi *et al.* 2022; Yilmaz & Tugrul, 2023). De lo anterior, se realiza el análisis competitivo: el uso de tecnologías emergentes ha tenido gran auge en el estudio de las propiedades y las características de los materiales amiláceos, siendo viables para la aplicación de matrices alimentarias; sin embargo, estas tecnologías aún no han sido implementadas en la elaboración de productos alimentarios.

Clúster III (Verde). La tercera línea temática está enfocada hacia “procesos de hidrólisis enzimática”, como tecnologías limpias en la modificación del almidón. La hidrólisis enzimática se ha utilizado como una herramienta eficaz para comprender mejor la estructura del gránulo de almidón de diferentes fuentes vegetales (Salcedo-Mendoza *et al.* 2018); a su vez, también se han usado, para determinar el efecto de la acción enzimática sobre las propiedades fisicoquímicas, morfológicas y de empastamiento de almidones de cereales, particularmente, en la producción de almidones porosos solubles en agua fría o con propiedades de lenta digestión (Figuroa-Flórez *et al.* 2023a). Además, se ha encontrado

que los procesos biocatalíticos asistidos por campos eléctricos son eficaces en la producción de almidones con estructuras porosas, que proporcionan mayor capacidad de absorción de agua, aumentan la solubilidad y mejora la transparencia del gel (Han *et al.* 2020). Otros estudios, como los de Xie *et al.* (2019), se han centrado en los efectos de la combinación del tratamiento térmico-HMT repetido y la hidrólisis de enzimas compuestas sobre las propiedades estructurales y fisicoquímicas de la producción de almidones de trigo porosos; sin embargo, los estudios enfocados a la producción de almidones porosos de tubérculos, como la yuca y el ñame, a través de la implementación de tecnologías físicas y enzimáticas combinadas sobre la modificación de almidones de tubérculos, son escasos.

Inteligencia competitiva

Las proyecciones del estudio de vigilancia científica asociadas a las tecnologías físico-enzimáticas en el desarrollo de almidones modificados permitieron identificar las tendencias en el desarrollo de procesos de funcionalización de materiales amiláceos. En Colombia, la Universidad de Sucre, a través del Grupo de Investigación PADES, ha sido el referente de las investigaciones actuales, enfocados en evaluar el efecto de las modificaciones físico-enzimáticas sobre harinas y almidones nativos de tubérculos, como la yuca, el ñame y la batata. De la misma forma, los resultados encontrados permiten plantear diferentes perspectivas de investigación, las cuales, se encuentran direccionadas a las siguientes líneas temáticas: (1) Evaluar el efecto de la hidrólisis enzimática electro-asistida sobre almidones de tubérculos para producir almidones porosos; (2) Desarrollo de materiales amiláceos derivados de batata con propiedades microencapsulantes de compuestos bioactivos; (3) Aplicación de procesos de funcionalización empleando ultrasonido de alta frecuencia en la modificación enzimática de materiales amiláceos no convencionales; (4) Producción de harinas resistentes o de digestión lenta, mediante el uso de procesos hidrotérmicos, con ciclos repetidos y procesos biocatalíticos de des-ramificación; (5) biocatálisis enzimática simultánea ininterrumpida sobre mezclas poliméricas de materiales amiláceos no convencionales.

Vigilancia tecnológica (Patentes)

En la búsqueda de prototipos tecnológicos patentados se encontraron doce tipos de invención relacionados directamente con la temática de la vigilancia, donde se divulgan métodos para preparar almidón poroso, a través de campos eléctricos en la actividad biocatalítica de α -amilasa. El método resalta la eficiencia en la producción de gránulos porosos usando una tasa de calentamiento uniforme, inducida por campo eléctrico, logrando alcanzar una reducción del 40 a 80 % de energía requerida en el proceso, comparado con el calentamiento inducido por baño de agua tradicional (Li *et al.* 2020b). Un segundo prototipo patentado describe el método para preparar almidón resistente de punta de flecha por pululanasa sinérgico del ultrasonido; el método acelera el movimiento de las moléculas del disolvente, mediante la cavitación y la vibración mecánica de la onda ultrasónica y resuelve el problema de la baja eficacia de la reacción de hidrólisis enzimática en el proceso de

preparación del almidón resistente por el método enzimático (Ren *et al.* 2021).

Se concluye que, de acuerdo con el estudio de VCT, la dinámica de publicaciones ha estado orientada a la evaluación de tecnologías convencionales, como la implementación de procesos físicos y enzimáticos en la modificación del almidón y su efecto sobre el comportamiento de propiedades fisicoquímicas, morfológicas, estructurales y de digestibilidad *in vitro*. Además, se encontró que las investigaciones actuales han estado enfocadas en el uso de tecnologías emergentes, ya sea como pretratamiento o métodos de estimulación de la hidrólisis enzimática del almidón, con funcionalidades microporosas o de digestión lenta.

Las tecnologías emergentes, como ultrasonido, campos eléctricos y microondas, han sido ampliamente utilizadas para acelerar o mejorar la velocidad de hidrólisis de los materiales amiláceos, durante el ataque enzimático. Adicionalmente, se encontró que los tratamientos hidrotérmicos de annealing (ANN) o calor-humedad (HMT) surgen como tecnologías propicias en el hinchamiento granular de almidones de tubérculos previo a la hidrólisis enzimática asistida con tecnologías emergentes, facilitando la difusión de las enzimas y la formación de estructuras microporosas en los almidones. En este sentido, los campos eléctricos y los pretratamientos hidrotérmicos generan gran interés industrial en la producción de almidones de tubérculos, debido a su bajo coste, fácil escalamiento y versatilidad.

Conflicto de intereses: El manuscrito fue ejecutado, preparado y revisado con la participación de todos los autores, quienes declaramos que no existe conflicto de intereses que ponga en riesgo la validez de los resultados presentados. Financiación: Los autores agradecen a MINCIENCIAS (Colombia) y al Sistema General de Regalías, por la financiación del proyecto con código BPIN 2020000100035, a través de recursos del Fondo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación (FCTel). Contribución de los autores: Nedys Acevedo: Estructuración de metodología y redacción de resultados; Manuel Cervera: edición y revisión del manuscrito, validación de ecuaciones de búsqueda; Jorge Figueroa: Estructuración de análisis de resultados y validación de ecuaciones de búsqueda; Jairo Salcedo: edición del manuscrito y validación de ecuaciones de búsqueda; Verónica Ramos: Creación de ecuaciones de búsqueda.

REFERENCIAS

- AMINI, A.M.; RAZAVI, S.M.A.; MORTAZAVI, S.A. 2015. Morphological, physicochemical, and viscoelastic properties of sonicated corn starch. *Carbohydrate Polymers*. 122:282-292. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2015.01.020>
- ANDRADE, J.M.; RAMÍREZ PLAZAS, E.; QUINTERO, A. 2017. Vigilancia tecnológica del sector agroindustrial. *Entornos*. 30(2):23-35. <https://doi.org/10.25054/01247905.1404>
- ARROYO-DAGOBETH, E.D.; FIGUEROA-FLOREZ, J.A.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRIGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.G.; CERVERA-RICARDO, M.A. 2023. Structural, physicochemical, and psating properties of native cassava (*Manihot esculenta*) and yam (*Dioscorea alata*) starch blends. *Agronomía Colombiana*. 41(3):1-12. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n3.110111>
- BAI, T.G.; ZHANG, L.; QIAN, J.Y.; JIANG, W.; WU, M.; RAO, S.Q.; LI, Q.; ZHANG, C.; WU, C. 2021. Pulsed electric field pretreatment modifying digestion, texture, structure and flavor of rice. *LWT*. 13:110650. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110650>
- BARUA, S.; TUDU, K.; RAKSHIT, M.; SRIVASTAV, P.P.; 2021. Characterization and digestogram modeling of modified elephant foot yam (*Amorphophallus paeoniifolius*) starch using ultrasonic pretreated autoclaving. *Journal of Food Process Engineering*. 44(11):e13841. <https://doi.org/10.1111/JFPE.13841>
- CAO, M.; GAO, Q. 2020. Effect of dual modification with ultrasonic and electric field on potato starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 150:637-643. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.02.008>
- CHAKRABORTY, I.; GOVINDARAJU, I.; RONGPIPI, S.; MAHATO, K.K.; MAZUMDER, N. 2021. Effects of hydrothermal treatments on physicochemical properties and in vitro digestion of starch. *Food Biophysics*. 16(4):544-554. <https://doi.org/10.1007/s11483-021-09687-7>
- CHANG, R.; LU, H.; BIAN, X.; TIAN, Y.; JIN, Z. 2021. Ultrasound assisted annealing production of resistant starches type 3 from fractionated debranched starch: Structural characterization and in-vitro digestibility. *Food Hydrocolloids*. 110:106141. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106141>
- CHEN, B.R.; WANG, Z.M.; LIN, J.W.; WEN, Q.H.; XU, F.Y.; LI, J.; WANG, R.; ZENG, X.A. 2022. Improving emulsification performance of waxy maize starch by esterification combined with pulsed electric field. *Food Hydrocolloids*. 129:107655. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2022.107655>
- CHI, C.; YANG, Y.; LI, S.; SHEN, X.; WANG, M.; ZHANG, Y.; ZHENG, X.; WENG, L. 2023. Starch intrinsic crystals affected the changes of starch structures and digestibility during microwave heat-moisture treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 240:124297. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.124297>
- DUDU, O.E.; OYEDEJI, A.B.; OYEYINKA, S.A.; MA, Y. 2019. Impact of steam-heat-moisture treatment on structural and functional properties of

- cassava flour and starch. *International Journal of Biological Macromolecules*. 126:1056-1064. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.210>
- DUYEN, T.T.M.; HUONG, N.T.M.; PHI, N.T.L.; VANHUNG, P. 2020. Physicochemical properties and in vitro digestibility of mung-bean starches varying amylose contents under citric acid and hydrothermal treatments. *International Journal of Biological Macromolecules*. 164:651-658. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.187>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.; CIRO-VELÁSQUEZ, H. 2023a. Hydrothermal processes and simultaneous enzymatic hydrolysis in the production of modified cassava starches with porous-surfaces. *Heliyon*. 9(7). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e17742>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.A.; ARROYO-DAGOBETH, E.D.; CADENA-CHAMORRO, E.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.G.; CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. 2023b. Effect of physical and thermal pretreatments on enzymatic activity in the production of microporous cassava starch. *Agronomía Colombiana*. 41(1):1-11. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v41n1.105089>
- FIGUEROA-FLÓREZ, J.A.; CADENA-CHAMORRO, E.M.; RODRÍGUEZ-SANDOVAL, E.; SALCEDO-MENDOZA, J.; CIRO-VELÁSQUEZ, H.J. 2019. Cassava starches modified by enzymatic biocatalysis: Effect of reaction time and drying method. *DYNA (Colombia)*. 86(208):162-170. <https://doi.org/10.15446/dyna.v86n208.72976>
- GUO, L.; LI, J.; GUI, Y.; ZHU, Y.; YU, B.; TAN, C.; FANG, Y.; CUI, B. 2020. Porous starches modified with double enzymes: Structure and adsorption properties. *International Journal of Biological Macromolecules*. 164:1758-1765. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.07.323>
- GUO, L.; LI, H.; LU, L.; ZOU, F.; TAO, H.; CUI, B. 2019. The role of sequential enzyme treatments on structural and physicochemical properties of cassava starch granules. *Starch/Stärke*. 71(7-8):1800258. <https://doi.org/10.1002/star.201800258>
- HAN, Z.; HAN, Y.; WANG, J.; LIU, Z.; BUCKOW, R.; CHENG, J. 2020. Effects of pulsed electric field treatment on the preparation and physicochemical properties of porous corn starch derived from enzymolysis. *Journal of Food Processing and Preservation*. 44(3):e14353. <https://doi.org/10.1111/jfpp.14353>
- HENNING, F.G.; SCHNITZLER, E.; DEMIATE, I.M.; LACERDA, L.G.; ITO, V.C.; MALUCELLI, L.C.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M.A. 2019. Fortified rice starches: The role of hydrothermal treatments in zinc entrapment. *Starch – Stärke*. 71(1-2):1800130. <https://doi.org/10.1002/STAR.201800130>
- HONG, J.; AN, D.; ZENG, X.A.; HAN, Z.; ZHENG, X.; CAI, M.; BIAN, K.; AADIL, R.M. 2020. Behaviors of large A-type and small B-type wheat starch granules esterified by conventional and pulsed electric fields assisted methods. *International Journal of Biological Macromolecules*. 155:516-523. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.03.184>
- HU, A.; LI, Y.; ZHENG, J. 2019. Dual-frequency ultrasonic effect on the structure and properties of starch with different size. *Lwt*. 106(29):254-262. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.02.040>
- KLEIN, B.; PINTO, V.Z.; VANIER, N.L.; ZAVAREZE, E.D.R.; COLUSSI, R.; DO EVANGELHO, J.A.; GUTKOSKI, L.C.; DIAS, A.R.G. 2013. Effect of single and dual heat-moisture treatments on properties of rice, cassava, and pinhao starches. *Carbohydrate Polymers*. 98(2):1578-1584. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2013.07.036>
- LI, D.; HUANG, Y.; TAO, Y.; XU, E.; ZHANG, R.; HAN, Y. 2020a. Effect of metal salts on α -amylase-catalyzed hydrolysis of broken rice under a moderate electric field. *Food Research International*. 137:09707. <https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2020.109707>
- LI, D.; JIANG, L.; HAN, Y.; TAO, Y.; HOU, V.; DENG, J.; LI, M.; YANG, N.; XU, X. 2020b. Method for preparing porous starch by using alternating electric field (China. Patent No. CN110734569B). Nanjing Agricultural University. <https://app.patentinspiration.com/#report/89C245B876e7/filter/patents/CN110734569A?inventor=5784482%2C4916522>
- LI, D.; JIANG, L.; TAO, Y.; YANG, N.; HAN, Y. 2021a. Enhancement of efficient and selective hydrolysis of maize starch via induced electric field. *LWT*. 143:111190. <https://doi.org/10.1016/J.LWT.2021.111190>
- LI, D.; TAO, Y.; SHI, Y.; WU, Z.; XU, E.; CUI, B.; HAN, Y. 2021b. Preparation of porous starch by α -amylase-catalyzed hydrolysis under a moderate electric field. *Lwt*. 137:110449. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110449>
- LI, D.; WU, Z.; WANG, P.; XU, E.; CUI, B.; HAN, Y.; TAO, Y. 2022. Effect of moderate electric field on glucoamylase-catalyzed hydrolysis of corn starch: Roles of electrophoretic and polarization effects. *Food Hydrocolloids*. 122:107120. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2021.107120>
- LI, Y.; HU, A.; ZHENG, J.; WANG, X. 2019. Comparative studies on structure and physicochemical changes of millet starch under microwave and ultrasound at the same power. *International Journal of Biological Macromolecules*, 141:76-84. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2019.08.218>
- MANIGLIA, B.C.; CASTANHA, N.; ROJAS, M.L.; AUGUSTO, P.E. 2021a. Emerging technologies to enhance starch

- performance. *Current Opinion in Food Science*. 37:26-36. <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2020.09.003>
- MANIGLIA, B.C.; PATARO, G.; FERRARI, G.; AUGUSTO, P.E.D.; LE-BAIL, P.; LE-BAIL, A. 2021b. Pulsed electric fields (PEF) treatment to enhance starch 3D printing application: Effect on structure, properties, and functionality of wheat and cassava starches. *Innovative Food Science and Emerging Technologies*. 68:102602. <https://doi.org/10.1016/j.ifset.2021.102602>
- MARTINS, A.; BENINCA, C.; BET, C.D.; BISINELLA, R.Z.B.; DE OLIVEIRA, C.S.; HORNING, P.S.; SCHNITZLER, E. 2020. Ultrasonic modification of purple taro starch (*Colocasia esculenta* B. Tini): structural, psychochemical and thermal properties. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 142(2):819-828. <https://doi.org/10.1007/S10973-020-09298-3>
- OCHOA-MARTÍNEZ, L.A.; LUNA-SOLÍS, H.A.; BERMÚDEZ-QUIÑONES, G. 2021. Almidón de camote: Modificaciones enzimáticas, físicas y químicas: Una revisión. *Tecnociencia Chihuahua*. 15(3):221-233. <https://doi.org/10.54167/tecnociencia.v15i3.854>
- OLAYO-CONTRERAS, V.M.; ALEMÁN-CASTILLO, S.J.; RODRÍGUEZ-CASTILLEJOS, G.; CASTILLO-RUIZ, O. 2022. Almidón resistente como prebiótico y sus beneficios en el organismo humano. *TIP Revista Especializada en Ciencias Químico-Biológicas*. 24:1-7. <https://doi.org/10.22201/fesz.23958723e.2021.406>
- ORJUELA-GARZÓN, W.A.; ARAQUE E.W.A.; CABRERA P.R.A. 2020. Identificación de tecnologías y métodos para la detección temprana del Huanglongbing (HLB) a través de cienciometría en artículos científicos y patentes. *Ciencia & Tecnología Agropecuaria*. 21(2):1-24. https://doi.org/10.21930/rcta.vol21_num2_art:1208
- PANG, L.; LU, G.; CHENG, J.; LU, X.; MA, D.; LI, Q.; LI, Z.; ZHENG, J.; ZHANG, C.; PAN, S. 2021. Physiological and biochemical characteristics of sweet potato (*Ipomoea batatas* (L.) Lam) roots treated by a high voltage alternating electric field during cold storage. *Postharvest Biology and Technology*. 180:111619. <https://doi.org/10.1016/J.POSTHARVBIO.2021.111619>
- RAHAMAN, A.; KUMARI, A.; ZENG, XIN-AN.; FAROOQ, A.M.; SIDDIQUE, R.; KHALIFA, I.; SIDDEEG, A.; ALI, M.; MANZOOR, M.F. 2021. Ultrasound based modification and structural-functional analysis of corn and cassava starch. *Ultrasonics Sonochemistry*. 80:105795. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2021.105795>
- REN, X.; LIANG, Q.; MA, H.; YANG, X.; CHEN, X.; TANG, J.; LIU Y. 2021. Method for preparing arrowhead resistant starch by ultrasound synergistic pullulanase (China. Patent No. WO2021114694A1). Universidad Jiangsu. <https://patents.google.com/patent/WO2021114694A1/en?q=WO2021114694A1>
- ROSTAMABADI, H.; ROHIT, T.; KARACA, A.; NOWACKA, M.; COLUSSI, R.; FEKSA S.; AALIYA, B.; VALIYAPEEDIYEKKAL, K.; REZA, S. 2022. How non-thermal processing treatments affect physicochemical and structural attributes of tuber and root starches? *Trends in Food Science & Technology*. 128(1):217-237. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2022.08.009>
- SALCEDO-MENDOZA, J.; PATERNINA-URZOLA, S.; LUJAN-RHENALS, D.; FIGUEROA-FLÓREZ, J. 2018. Enzymatic modification of cassava starch (Corpoica M-Tai) around the pasting temperature. *DYNA (Colombia)*. 85(204):223-230. <https://doi.org/10.15446/dyna.v85n204.66620>
- SOTO, I.L.; LUJAN, R.D.; SALCEDO, J.; TORRES, R. 2018. Evaluation of physical, physico-chemical and sensorial properties of cottage diabolines and diabolines obtained under standard conditions of process. *Advance Journal of Food Science and Technology*. 16:5965. <https://doi.org/10.19026/ajfst.16.5965>
- THOMAZ, L.; ITO, V.C.; MALUCELLI, L.C.; DA SILVA CARVALHO FILHO, M.A.; DEMIATE, I.M.; BET, C.D.; MARINHO, M.T.; SCHNITZLER, E.; LACERDA, L.G. 2020. Effects of dual modification on thermal, structural and pasting properties of taro (*Colocasia esculenta* L.) starch. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 139(5):312-3132. <https://doi.org/10.1007/S10973-019-08728-1>
- VELASCO, R.J.; LUNA, W.A.; MERA, J.A.; VILLADA, H.S. 2008. Producción de dextrinas a partir de almidón nativo de yuca por ruta seca en una agroindustria rural. *Información Tecnológica*. 19(2):15-22. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642008000200003>
- VILLARROEL, P.; GÓMEZ, C.; VERA, C.; TORRES, J. 2018. Almidón resistente: características tecnológicas e intereses fisiológicos. *Revista Chilena de Nutrición*. 45:8. <https://doi.org/10.4067/s0717-75182018000400271>
- WANG, D.; HOU, F.; MA, X.; CHEN, W.; YAN, L.; DING, T.; YE, X.; LIU, D. 2020. Study on the mechanism of ultrasound-accelerated enzymatic hydrolysis of starch: Analysis of ultrasound effect on different objects. *International Journal of Biological Macromolecules*. 148:493-500. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2020.01.064>
- WANG, L.; WANG, M.; ZHOU, Y.; WU, Y.; OUYANG, J. 2022. Influence of ultrasound and microwave treatments on the structural and thermal properties of normal maize starch and potato starch: A comparative study. *Food Chemistry*. 377:131990. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131990>
- XIE, Y.; LI, M.N.; CHEN, H.Q.; ZHANG, B. 2019. Effects of the combination of repeated heat-moisture treatment and compound enzymes hydrolysis on the structural and physicochemical properties of

- porous wheat starch. *Food Chemistry*. 274:351-359. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.034>
- YANG, W.; KONG, X.; ZHENG, Y.; SUN, W.; CHEN, S.; LIU, D.; ZHANG, H.; FANG, H.; TIAN, J.; YE, X. 2019. Controlled ultrasound treatments modify the morphology and physical properties of rice starch rather than the fine structure. *Ultrasonics Sonochemistry*. 59:104709. <https://doi.org/10.1016/J.ULTSONCH.2019.104709>
- YILMAZ, A.; TUGRUL, N. 2023. Effect of ultrasound-microwave and microwave-ultrasound treatment on physicochemical properties of corn starch. *Ultrasonics Sonochemistry*. 98:106516. <https://doi.org/10.1016/j.ultsonch.2023.106516>
- YU, B.; LI, J.; TAO, H.; ZHAO, H.; LIU, P.; CUI, B. 2021. Physicochemical properties and in vitro digestibility of hydrothermal treated Chinese yam (*Dioscorea opposita* Thunb.) starch and flour. *International Journal of Biological Macromolecules*. 176:177-185. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2021.02.064>
- ZHANG, K.; ZHAO, D.; GUO, D.; TONG, X.; ZHANG, Y.; WANG, L. 2021. Physicochemical and digestive properties of A- and B-type granules isolated from wheat starch as affected by microwave-ultrasound and toughening treatment. *International Journal of Biological Macromolecules*. 183:481-489. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2021.04.180>