

CARACTERIZACIÓN DE POLVOS DE PIRODEXTRINAS PARA APLICACIONES EN LA INDUSTRIA ALIMENTARIA

Bianchi, María Agustina^{1,2}; Gómez Pamies, Laura Cecilia¹; Benítez, Elisa Inés^{1,2}

1 QuiTex – UTN Facultad Regional Resistencia, 3500 Resistencia, Argentina

2 IQUIBA-NEA, UNNE, CONICET, 3400 Corrientes, Argentina

E-mail: magostinabianchi@gmail.com

RESUMEN

Las pirodextrinas son polisacáridos ramificados derivados del almidón que se obtienen mediante el proceso de piroconversión. Se trata de un tratamiento que se desarrolla bajo condiciones ácido-térmicas, en el que ocurren cambios químicos complejos que involucran reacciones de hidrólisis, transglicosidación y repolimerización. Esto da lugar a la formación de nuevos enlaces, diferentes a aquellos presentes en el almidón, que no pueden romperse por acción de las enzimas digestivas, confiriendo a las pirodextrinas la propiedad de actuar como fibra dietaria en el intestino. La obtención de estas dextrinas resistentes en un formato de polvo deshidratado facilita su incorporación en alimentos, así como el manejo y la conservación del producto. En este estudio, se trabajó con polvos de pirodextrinas obtenidas a partir de almidón de sorgo colorado bajo diferentes condiciones operativas de secado. El propósito del estudio fue la evaluación de propiedades térmicas y de reconstitución de los materiales en polvo, con el fin de identificar potenciales aplicaciones en la industria alimentaria. Se utilizó un ANOVA para la comparación de las medias de los tratamientos y el test de Tukey con un nivel de significancia del 5%. Las variables evaluadas fueron: índice de solubilidad (SI), capacidad de retención de agua (CRA), temperatura de transición vítrea (T_g) y temperatura de descomposición térmica (T_d) de las muestras de polvo. El SI se determinó por disolución de las muestras de polvo en agua a 25 °C, centrifugación, secado y pesaje del sobrenadante. La CRA se evaluó por disolución de las muestras en agua a 25 °C, centrifugación y pesaje del sólido hidratado. La T_g se determinó mediante calorimetría diferencial de barrido entre 25 °C y 240 °C, con una rampa de calentamiento de 20 °C/min. La T_d se determinó por análisis termogravimétrico con una rampa de calentamiento de 10 °C/min entre 30-350 °C. Los resultados evidenciaron valores para el índice de solubilidad en un rango entre 61,68-65,90 % y para la capacidad de retención de agua entre 1,72-1,89 g de agua/g de sólido seco. Las temperaturas T_g y T_d variaron entre 126,6-130,7 °C y 293,8-303,2 °C, respectivamente. A partir de estos resultados se puede concluir que los polvos de pirodextrinas obtenidas a partir de sorgo colorado presentan un buen comportamiento térmico. Los valores de T_g elevados indican que se trata de un material que conservará el estado vítreo tanto durante el secado como durante su almacenamiento. Además, la T_d evidencia que los polvos pueden ser utilizados para el procesamiento de alimentos sin sufrir descomposición hasta temperaturas cercanas a los 300 °C. Las propiedades de reconstitución

mostraron adecuados valores de SI y CRA, características que indican la posibilidad de incorporación en formulaciones alimentarias en las que las pirodextrinas podrían no solo aportar beneficios nutricionales sino también funcionales como agente estabilizante. Por último, al ser aisladas de una fuente libre de gluten como lo es el grano de sorgo, pueden pensarse como una opción viable en la elaboración de productos aptos para personas celíacas.

Palabras clave: dextrina resistente, sorgo colorado, fibra dietaria.

1. Introducción

Los productos en forma de polvo se hacen presentes en la vida diaria en una amplia variedad de alimentos (e.g. leche, jugos de fruta, café, cacao, sopas y especias). En el ámbito de la industria alimentaria, los polvos pueden ser considerados productos finales, así como también productos intermedios que pueden ser utilizados como ingredientes para la elaboración de productos alimenticios (Murrieta-Pazos et al., 2012). Al tratarse de materiales deshidratados, se destacan por su estabilidad química y microbiológica, lo que les permite extender la vida útil de los alimentos. Además, los productos en polvo brindan otras ventajas como la facilidad de transporte, almacenamiento y procesamiento (Cuq et al., 2011). Una técnica que puede ser utilizada para el secado de alimentos que permite obtener materiales en polvo de alta calidad es el proceso de secado spray. Esta operación de secado presenta ventajas adicionales a las mencionadas para los productos secos en general: buenas características de dispersión, mayor estabilidad y solubilidad (Shishir & Chen, 2017).

Las pirodextrinas son un producto derivado del almidón, considerado como fibra dietaria, debido a su resistencia a la hidrólisis enzimática en el tracto gastrointestinal humano (Gómez Pamies et al., 2021). La obtención de estas dextrinas resistentes se logra mediante el tratamiento ácido-térmico del almidón, conocido como piroconversión, dando lugar a la formación enlaces 1,2- y 1,3-glucosídicos a expensas de los enlaces 1,4- y 1,6-glicosídicos del almidón (Jochym & Nebesny, 2017). Se ha descubierto que las pirodextrinas como fibra dietaria brindan beneficios fisiológicos, como la atenuación de los niveles de glucosa en sangre posprandiales, mantenimiento de la salud intestinal, mejoras en el metabolismo del azúcar y las grasas y reducción de la proporción de grasa corporal (Chen et al., 2020). Además, el estudio de propiedades fisicoquímicas, reológicas y térmicas en trabajos que evaluaron pirodextrinas de diferentes fuentes, destacan características como buena solubilidad, baja viscosidad y alta temperatura de degradación (Jochym & Nebesny, 2017;

Lovera et al., 2020; Zhen et al., 2021). De esta manera, la incorporación de las pirodextrinas en alimentos puede considerarse para la mejora de atributos, tanto nutricionales como funcionales. A pesar de que se han reportado estudios previos en donde las dextrinas resistentes son añadidas en matrices alimentarias con diferentes finalidades, no se ha trabajado en estrategias para su conservación que permitan utilizarlas posteriormente como un agente capaz de desarrollar la funcionalidad deseada. Es así como la alternativa de preservarlas y utilizarlas en formato de polvo seco puede constituir una opción de interés para abordar esta problemática.

En este trabajo, se evaluaron diferentes polvos de pirodextrinas provenientes de almidón de sorgo colorado. Los polvos fueron obtenidos mediante el proceso de secado spray bajo diferentes condiciones de operación, los cuales ya demostraron tener una buena calidad de conservación en investigaciones previas. En esta oportunidad, se estudiaron propiedades de los polvos reconstituidos, tales como el índice de solubilidad y la capacidad de retención de agua, así como propiedades térmicas correspondientes a la temperatura de transición vítrea y a la temperatura de descomposición. El estudio de estas variables permite una caracterización inicial de relevancia en la determinación de los potenciales usos que el polvo de pirodextrinas puede tener en su incorporación en alimentos.

2. Materiales y métodos

2.1. Obtención de pirodextrinas

Para este trabajo se utilizó *Sorghum bicolor* (L.) Moench procedente de la región Noreste de la provincia del Chaco. Los granos de sorgo (5 kg) se sumergieron en 10 L de una solución de hipoclorito de sodio (NaOCl) al 0,5 % (v/v). El procedimiento se realizó a 25°C durante 18 h. Posteriormente, la preparación se incorporó a un baño térmico a 75°C por 240 min para la reducción de taninos y finalmente las muestras se secaron por 12 h a 60°C (Acquisgrana et al., 2019). Los granos fueron molidos y posteriormente se tamizaron utilizando tamices en serie de malla estándar No. 35 (A.S.T.M.), de 500 µm. tamaño de apertura y No. 80 (A.S.T.M.), de 177 µm. tamaño de apertura. Se continuó con la metodología propuesta por Gómez Pamies et al. (2021) con ligeras modificaciones. La harina de sorgo obtenida se mezcló con agua en relación 1:4 en un reactor de vidrio de 5 litros con sistema de agitación y control de temperatura (Figmay, Argentina). La mezcla se sometió a calentamiento hasta alcanzar la gelatinización del almidón. Luego se dejó enfriar y al

alcanzar una temperatura por debajo de 55 °C se incorporaron enzimas α -amilasa al 2 % (Alphamalt VC, 5000 SKB, Alemania) y papaína al 0,5 % (Biopack, 30000 U/mg, Argentina). Se mantuvieron estas condiciones por 2 horas y luego se elevó a 100 °C durante 15 minutos para inactivar las enzimas adicionadas y concentrar la suspensión. Posteriormente, se siguió con la obtención de las pirodextrinas mediante un tratamiento ácido-térmico de las muestras con HCl (0,182 %), a temperatura de 120 °C durante 2 horas. Las pirodextrinas se precipitaron por extracción con etanol (80%) y, finalmente, la suspensión obtenida se neutralizó con la adición de NaOH.

2.2. Secado de las suspensiones de pirodextrinas

Se obtuvieron las muestras de polvo de pirodextrinas a partir del secado de la suspensión obtenida con 20 % de sólidos totales. Se empleó un secadero spray a escala laboratorio (Figmay, Argentina) con una boquilla de 0,7 mm de diámetro, provisto por una bomba peristáltica para introducir la suspensión a la cámara de secado. Las variables operativas configuradas para el proceso de secado fueron: temperatura del aire de secado (T_{in}), caudal de alimentación de la suspensión (F_f) y caudal del aire de secado (F_a). Las muestras fueron recolectadas del equipo al finalizar el secado de la suspensión para cada punto experimental y se almacenaron en recipientes de polipropileno con tapa a rosca.

2.3. Caracterización de polvos de pirodextrinas

2.3.1. Índice de solubilidad en agua

La determinación del índice de solubilidad en agua se realizó de acuerdo con el procedimiento descrito por Jochym & Nebesny (2017). Se pesaron 0,5 g (base seca) de la muestra en un vaso de precipitado de 50 mL. A continuación, se añadieron 10 ml de agua destilada y se dispuso el recipiente en un agitador orbital. La suspensión se agitó a 25 °C durante 30 min. A continuación, la suspensión se centrifugó a 8000 rpm durante 10 min. Posteriormente, se tomó el sobrenadante en una cápsula de peso conocido y se secó hasta peso constante. La solubilidad se calculó a partir de la ecuación:

$$SI(\%) = \frac{\text{Peso seco del sobrenadante}}{\text{Peso inicial de la muestra (base seca)}} \times 100 \quad (1)$$

2.3.2. Capacidad de retención de agua (WRC)

La capacidad de retención de agua se determinó siguiendo el método de Acquisgrana et al. (2020). Se pesaron muestras de polvo de pirodextrina (0,5 g en base seca) en tubos de centrífuga de 15 mL. Se agregaron 6 mL de agua destilada y se mantuvieron en incubación a 30 °C, con agitación por 30 min. Luego, las muestras se centrifugaron a 2000 x g durante 30 min (Tyfon II, centrífuga Zelian). El líquido sobrenadante se separó cuidadosamente. Finalmente, se pesó el sólido hidratado y se calculó la capacidad de retención de agua (CRA) según la Ec. (2). Las determinaciones se realizaron por duplicado y se expresaron en gramos de agua retenida por gramo de pirodextrinas.

$$CRA (g \text{ de agua retenida} / g \text{ de polvo seco}) = \frac{\text{Peso del sólido hidratado}}{\text{Peso inicial de la muestra en base seca}} \quad (2)$$

2.3.3. Temperatura de transición vítrea

El análisis térmico de las muestras se llevó a cabo utilizando un calorímetro diferencial de barrido (DSC 823e, Mettler Toledo, Suiza), siendo evaluados los termogramas por el software TRIOS v5.5.1.46572 (TA Instruments, 2018). Se pesaron muestras de polvo de pirodextrinas (6 mg db) y se colocaron en pans de aluminio no herméticos. Se inició con el calentamiento de la muestra con una rampa de 10 °C/min hasta alcanzar 155 °C, seguido por una isoterma de 10 minutos a esa temperatura y un enfriamiento hasta 25 °C con una rampa de 20 °C/min. Por último, se hizo un segundo calentamiento a una velocidad de 20 °C/min hasta alcanzar 240 °C. El flujo de N₂ empleado fue de 50 ml/min.

2.3.4. Análisis termogravimétrico (TGA)

Las determinaciones de TGA se llevaron a cabo en un analizador TGA Discovery (TA Instruments, New Castle, DE, USA). Se utilizó un flujo de N₂ de 50 ml/min. El tamaño de muestra empleado fue entre 3-6 mg. Los polvos se sometieron a una rampa de calentamiento de 10 °C/min en un rango de temperaturas de 30-350 °C.

2.4. Diseño experimental y análisis estadístico

Se evaluaron los polvos de pirodextrinas obtenidos mediante 5 diferentes tratamientos, correspondientes a diferentes combinaciones de las condiciones operativas de secado spray (Tabla 1). Estos tratamientos fueron seleccionados de un estudio previo acerca de la estabilidad fisicoquímica y microbiológica de los polvos de pirodextrinas obtenidos por

spray, donde las combinaciones elegidas fueron las que proporcionaron los resultados más próximos a los óptimos.(reducir a un comentario más breve).

Para el análisis estadístico se utilizó el software Infostat (Di Rienzo et al., 2008). Se realizó un análisis de varianza (ANOVA) univariado con la aplicación del test de Duncan para la comparación de las medias de los tratamientos ($p < 0,05$).

Tabla 1. Condiciones operativas del proceso de secado para cada tratamiento evaluado.

Tratamiento	T _{in} (°C)	F _f (%)	F _a (%)
1	170	32	68
2	230	32	68
3	230	68	68
4	200	20	50
5	200	50	80

3. Resultados y discusión

3.1. Índice de solubilidad (SI)

La solubilidad es una de las propiedades funcionales más importantes que caracteriza el comportamiento de los alimentos en polvo durante la reconstitución en agua (Hadree et al., 2023). Los resultados para los polvos de secado spray indicaron valores de índice de solubilidad entre 61,47 - 65,40%, correspondientes a las medias de los tratamientos (Tabla 1). Si bien estos valores son inferiores a los reportados para pirodextrinas en otros estudios, debe tenerse en cuenta que esta propiedad varía según las condiciones de pirodextrinización aplicadas y la fuente de almidón a partir de la cual se las obtiene (Chen et al., 2020; Jochym & Nebesny, 2017; Lovera et al., 2020; Weil et al., 2020). Jochym et al. (2011) obtuvieron valores cercanos en estudios que parten de almidón de papa, bajo temperaturas y tiempos de piroconversión similares.

El análisis de la varianza indica que existe efecto del tratamiento de secado utilizado sobre la solubilidad de los polvos resultantes (Tabla 2). El tratamiento 2 exhibe valores significativamente inferiores en comparación con los demás, a excepción del tratamiento 4. Estos procesos de secado comparten la característica de emplear caudales de alimentación reducidos en relación a los caudales de secado, ejecutados a temperaturas superiores a los 200°C.

3.2. Capacidad de retención de agua (CRA)

La interacción entre el agua y los diferentes componentes que conforman las matrices alimentarias es fundamental con relación al rol que puede cumplir un determinado ingrediente. La capacidad de retención de agua es una de las propiedades que permiten caracterizar este comportamiento. Los valores de CRA correspondientes a las medias de los tratamientos para los polvos de pirodextrinas se encontraron en un rango de 1,76-1,87 g agua retenida/g polvo seco (Tabla 1). El análisis de la varianza no mostró efecto del tratamiento de secado utilizado. En general, la variación entre los resultados para esta propiedad está relacionada con la presencia de componentes hidrofílicos que pueden interactuar con el agua y contribuir a la CRA (Acquisgrana et al. 2021). De esta manera, la proximidad entre los resultados se asocia a que las muestras secadas por spray parten de una única suspensión de alimentación, por lo que se trata de la misma composición, que no se vio afectada por el procesamiento. Palavecino et al. (2016) destacan que la estructura ramificada de carbohidratos permite la formación de puentes de hidrógeno que beneficia a la CRA, lo que podría favorecer a las pirodextrinas teniendo en cuenta que el proceso de piroconversión aumenta el grado de ramificación en la estructura del carbohidrato (Han et al., 2018).

Tabla 2. ANOVA correspondientes a las propiedades de reconstitución de los polvos.

F.V.	SI					CRA				
	SC	gl	CM	F	p-valor	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	15,430	4,0	3,9	18,18	0,004	0,020	4,0	0,0	4,55	0,064
Tratamiento	15,430	4,0	3,9	18,18	0,004	0,020	4,0	0,0	4,55	0,064
Error	1,060	5,0	0,2			0,010	5,0	0,0		
Total	16,500	9,0				0,030	9,0			

3.3. Temperatura de transición vítrea

La transición vítrea es una transición reversible que ocurre cuando un material amorfo se calienta o enfría en un rango de temperatura particular (Debabrata & Chakrabarti, 2019). Al calentar un polímero amorfo, la temperatura a la que cambia de una forma vítrea a gomosa se denomina temperatura de transición vítrea (Tg) (Peng et al., 2020). La Tg permite caracterizar la estabilidad física del material, ya que el pasaje al estado gomoso implica la aparición de cambios físicos indeseados como consecuencia del aumento en la movilidad molecular.

En la gráfica del flujo de calor en función de la temperatura se evidencia el salto endotérmico que indica la transición vítrea para las diferentes muestras evaluadas. El análisis de la varianza permite afirmar que la Tg de los polvos de pirodextrinas obtenidos por secado spray no se vio influenciada por los tratamientos de secado evaluados en este trabajo. Los resultados informados como la temperatura correspondiente al punto medio de la transición vítrea se encontraron en un rango entre 126,8 °C y 129,9 °C. Las transiciones vítreas mostradas pueden verse anchas, de la misma manera en que ocurre para otros materiales de alto peso molecular, entre los cuales se han reportado amplias regiones de Tg para maltodextrinas deshidratadas con diferentes valores de dextrosa equivalente (DE) (Roos & Karel, 1991).

3.4. Temperatura de descomposición térmica

Se evaluó el comportamiento de la descomposición térmica de las muestras de polvo de pirodextrinas mediante el análisis de las curvas TGA (pérdida de masa vs temperatura) y DTG (derivada de la pérdida de masa vs temperatura). Para todos los casos se identificaron dos etapas de pérdida de peso: de manera general, la primera instancia se manifiesta entre 25-165 °C aproximadamente y se atribuye a la eliminación del agua, mientras que la segunda instancia inicia a temperaturas cercanas a los 250 °C y se asocia a la degradación térmica de las muestras.

La primera pérdida de peso varió en un rango entre 6,472-9,784 % para las muestras de polvo, denotando las diferencias en el contenido de agua que presentaban. Las muestras 2, 3 y 5 exhibieron comportamientos similares, con una temperatura final que varió entre 163 y 167,5 °C para la primera etapa de pérdida de peso. Para el caso de las muestras 1 y 4, esta etapa se extendió a temperaturas más elevadas que para el resto de las muestras.

La temperatura de inicio de la descomposición (T_{onset}) varió entre 243,1-264,8 °C para las muestras analizadas. En las curvas DTG, el máximo corresponde a la temperatura a la que se alcanza la velocidad máxima de la degradación, y se la define la temperatura de descomposición térmica (T_d). El tratamiento de secado efectuado mostró un efecto significativo sobre la Td de las muestras de polvo. Si bien todas las muestras evaluadas mostraron valores de Td elevados, los tratamientos 2 y 5 se distinguen con las temperaturas más altas. Estos hallazgos coinciden con los resultados presentados por Zhen et al. (2021)

para dextrinas resistentes purificadas, en lo que respecta a valores de T_d y porcentajes de pérdida de peso similares.

Tabla 3. Resultados experimentales para las variables de respuesta.

Tratamiento	SI (%)	CRA (g agua/ g polvo seco)	T_g (°C)	T_d (°C)
1	63,53	1,894	128,7	293,7
	64,30	1,854	129,7	294,1
2	62,06	1,859	130,5	303,0
	61,68	1,881	130,7	303,2
3	64,90	1,757	126,1	298,2
	65,90	1,807	127,5	298,5
4	63,36	1,790	126,1	294,6
	63,98	1,835	127,5	295,0
5	65,04	1,793	129,2	303,2
	65,06	1,719	130,6	303,4

Tabla 4. ANOVA correspondientes a las propiedades térmicas de los polvos de pirodextrinas.

F.V.	T_g					T_d				
	SC	gl	CM	F	P-valor	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo	25,020	4,0	6,3	9,04	0,016	149,020	4,0	37,3	197,11	<0,0001
Tratamiento	25,020	4,0	6,3	9,04	0,016	149,020	4,0	37,3	197,11	<0,0001
Error	3,460	5,0	0,7			0,940	5,0	0,2		
Total	28,480	9,0				149,960	9,0			

Tabla 5. Test de Tukey (Alfa=0,05) para diferencias entre medias.

Tratamiento	Medias SI	Tratamiento	Medias CRA	Tratamiento	Medias T_g	Tratamiento	Medias T_d
2	61,87 ^A	5	1,76 ^A	4	126,8 ^A	1	293,9 ^A
4	63,67 ^{A B}	3	1,78 ^A	3	126,8 ^A	4	294,8 ^A
1	63,91 ^B	4	1,81 ^A	1	129,2 ^{A B}	3	298,3 ^B
5	65,05 ^B	2	1,87 ^A	5	129,9 ^{A B}	5	302,8 ^C
3	65,4 ^B	1	1,87 ^A	2	130,6 ^B	2	303,1 ^C
Error	0,2123	Error	0,0012	Error	0,692	Error	0,189

Valores con letras diferentes indican que son significativamente diferentes ($p < 0,05$)

4. Conclusiones

El estudio de las propiedades de los polvos de pirodextrinas de sorgo obtenidas por secado spray proporcionó información de utilidad para establecer potenciales aplicaciones en alimentos, con el fin de lograr un aporte no solo nutricional sino también funcional. Las

buenas propiedades de reconstitución manifestadas mediante el índice de solubilidad y la capacidad de retención de agua indican la posibilidad de probar a las pirodextrinas como agente estabilizante. Por otra parte, la buena estabilidad física advertida mediante las temperaturas de transición vítrea halladas, permitiría al polvo de pirodextrinas formar parte de formulaciones que se conserven en este estado hasta el momento de uso. El excelente comportamiento frente a la temperatura indica que se trata de un producto que puede ser utilizado en el procesamiento de alimentos, sin descomponerse, a temperaturas que alcancen 200 °C. De esta manera, una de las aplicaciones posibles que permita sacar provecho de esta propiedad podría encontrarse en su empleo como material de pared para el encapsulamiento de sustancias y/o bioactivos o microorganismos.

5. Agradecimientos

Las autoras agradecen al Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) y a la Universidad Tecnológica Nacional - Facultad Regional Resistencia por el apoyo financiero para realizar las investigaciones.

6. Referencias

- Acquisgrana, M. D. R., Gómez Pamies, L. C., & Benítez, E. I. (2019). Hydrothermal Treatment to Remove Tannins in Wholegrains Sorghum, Milled Grains and Flour. *Food Science and Nutrition Studies*, 3(4), 122–132. <https://doi.org/10.22158/fsns.v3n4p122>
- Chen, J., Xiao, J., Wang, Z., Cheng, H., Zhang, Y., Lin, B., Qin, L., & Bai, Y. (2020). Effects of reaction condition on glycosidic linkage structure, physical–chemical properties and in vitro digestibility of pyrodextrins prepared from native waxy maize starch. *Food Chemistry*, 320. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126491>
- Cuq, B., Rondet, E., & Abecassis, J. (2011). Food powders engineering, between knowhow and science: Constraints, stakes and opportunities. *Powder Technology*, 208(2), 244–251. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2010.08.012>
- Debabrata, G. D., & Chakrabarti, G. (2019). Thermoresponsive Drug Delivery Systems, Characterization and Application. In *Applications of Targeted Nano Drugs and Delivery Systems: Nanoscience and Nanotechnology in Drug Delivery* (pp. 133–155). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814029-1.00006-5>
- Gómez Pamies, L. C., Lataza Rovalletti, M. M., Martínez Amezaga, N. M. J., & Benítez, E. I. (2021). The impact of pirodextrin addition to improve physicochemical parameters of sorghum beer. *LWT*, 149. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112040>
- Han, X., Kang, J., Bai, Y., Xue, M., & Shi, Y. C. (2018). Structure of pyrodextrin in relation to its retrogradation properties. *Food Chemistry*, 242, 169–173. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.09.015>

- Jochym, K. K., & Nebesny, E. (2017). Enzyme-resistant dextrans from potato starch for potential application in the beverage industry. *Carbohydrate Polymers*, *172*, 152–158. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2017.05.041>
- Lovera, M., Castro, G. M. C. de, Pires, N. da R., Bastos, M. do S. R., Holanda-Araújo, M. L., Laurentin, A., Moreira, R. de A., & Oliveira, H. D. de. (2020). Pyrodextrinization of yam (*Dioscorea* sp.) starch isolated from tubers grown in Brazil and physicochemical characterization of yellow pyrodextrans. *Carbohydrate Polymers*, *242*. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2020.116382>
- Murrieta-Pazos, I., Gaiani, C., Galet, L., Calvet, R., Cuq, B., & Scher, J. (2012). Food powders: Surface and form characterization revisited. In *Journal of Food Engineering* (Vol. 112, Issues 1–2, pp. 1–21). <https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2012.03.002>
- Palavecino, P. M., Penci, M. C., Calderón-Domínguez, G., & Ribotta, P. D. (2016). Chemical composition and physical properties of sorghum flour prepared from different sorghum hybrids grown in Argentina. *Starch/Staerke*, *68*(11–12), 1055–1064. <https://doi.org/10.1002/star.201600111>
- Peng, Y. Y., Dussan, D. D., & Narain, R. (2020). Thermal, mechanical, and electrical properties. In *Polymer Science and Nanotechnology: Fundamentals and Applications* (pp. 179–201). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-816806-6.00009-1>
- Ratti, C. (2013). Freeze drying for food powder production. In *Handbook of Food Powders: Processes and Properties* (pp. 57–84). Elsevier Inc. <https://doi.org/10.1533/9780857098672.1.57>
- Roos, Y., & Karel, M. (1991). Phase Transitions of Mixtures of Amorphous Polysaccharides and Sugars. *Biotechnol. Prog.*, *7*, 49–53.
- Shishir, M. R. I., & Chen, W. (2017). Trends of spray drying: A critical review on drying of fruit and vegetable juices. *Trends in Food Science and Technology*, *65*, 49–67. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.05.006>
- Weil, W., Weil, R. C., Keawsompong, S., Sriroth, K., Seib, P. A., & Shi, Y. C. (2020). Pyrodextrin from waxy and normal tapioca starches: Physicochemical properties. *Food Hydrocolloids*, *104*. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.105745>
- Zhen, Y., Zhang, T., Jiang, B., & Chen, J. (2021). Purification and characterization of resistant dextrin. *Foods*, *10*(1). <https://doi.org/10.3390/foods10010185>