

Modificación química del almidón de maíz amarillo y morado: Efecto sobre su resistencia a la digestión *in vitro*

Chemical modification of yellow and purple corn starch: Effect on its resistance to *in vitro* digestion

Byron Andrés Rojas Vera¹, María Teresa Pacheco Tigselema¹

¹Universidad Técnica Estatal de Quevedo, Ecuador.

Autor de correspondencia: byron.rojas2018@uteq.edu.ec

Recibido: 06/05/2024. Aceptado: 10/12/2024

Publicado el 15 de enero de 2025

Resumen

El maíz se destaca por su gran volumen de cultivo, alto rendimiento y contenido de almidón, importante fuente de energía. Dada la necesidad de preservar la salud del consumidor y otorgar diversos usos de este polisacárido, el objetivo de este trabajo fue aplicar dos métodos de modificación (ácido: ácido cítrico y OSA: anhídrido octenil succínico) sobre almidón de maíz de dos variedades (amarillo y morado), para incrementar el contenido de almidón resistente RS (Resistent Starch) a la digestión, y así, seleccionar un tratamiento que permita mejorar su potencial prebiótico. Los almidones extraídos presentaron una pureza entre 86,25% y 93,78%, señalando una buena eficacia de extracción. El maíz amarillo permitió el mayor rendimiento en obtención de almidón nativo y modificado por método ácido y método OSA (47,97% a 56,07%); en comparación al rendimiento logrado a partir del maíz morado (39,06% a 45,98%). El mayor contenido de RS (95,30%) se observó en el almidón de maíz morado modificado con OSA, y el mayor contenido de amilosa (AC) se observó en el almidón de maíz amarillo y morado tratados con ácido cítrico en medio húmedo caliente (37,09 a 41,89%) ($p < 0,05$); lo que señala que, principalmente el maíz morado modificado por OSA puede actuar como un aditivo de gran potencial prebiótico, útil para diseñar nuevos alimentos funcionales.

Palabras clave: maíz, almidón, modificación, amilosa, resistencia.

Abstract

Corn stands out for its large crop volume, high yield and starch content, an important source of energy. Given the need to preserve the health of the consumer and provide various uses for this polysaccharide, the objective of this work was to apply two modification methods (acid: citric acid and OSA: octenyl succinic anhydride) on corn starch of two varieties (yellow and purple), to increase the content of resistant starch (RS) to digestion, and thus, select a treatment that allows improving its prebiotic potential. The extracted starches had a purity between 86,25% and 93,78%, indicating good extraction efficiency. Yellow corn allowed the highest yield in obtaining native and modified starch by acid method and OSA method (47,97% to 56,07%); compared to the yield achieved from purple corn (39,06% to 45,98%). The highest RS content (95,30%) was observed in purple corn starch modified with OSA, and the highest amylose content (AC) was observed in the starch of yellow and purple corn treated with citric acid. in a hot humid environment (37,09 to 41,89%) ($p < 0,05$); which indicates that, mainly purple corn modified by OSA can act as an additive with great prebiotic potential, useful for designing new functional foods.

Keywords: corn, starch, modification, amylose, resistance.

Introducción

El maíz (*Zea mays*) es el primer cereal en rendimiento de grano por hectárea, y el segundo cereal más cultivado en el mundo, después del trigo; sus mayores productores son Estados Unidos y China, que suministran el 37 y el 21% del total mundial, respectivamente (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO], 2022). Las principales zonas de cultivo de maíz descritas de manera general, se ubican principalmente en las provincias centrales de Ecuador como Tungurahua, Chimborazo y Bolívar con una producción de 68,314 ha de maíz amarillo y 3,415 ha de cultivo de maíz morado, con rendimientos promedios de 0,45 t/ha y 0,40 t/ha respectivamente (Boada y Espinosa, 2016). Este cereal es uno de los productos de consumo más cotizados y necesarios para la alimentación del hombre y de los animales; pero, con el desarrollo de la tecnología, innovación y uso para la elaboración de bio combustible (bio etanol), se ha modificado el destino de la producción de este grano de cereal causando una serie de problemas como es el bajo abastecimiento para la producción de balanceados y otros subproductos derivados del maíz (Ruilova *et al.*, 2023).

Como fuente de energía el maíz aporta un porcentaje de carbohidratos de 44,8-69,6%, 11,6-20% de humedad, 4,5-9,87% de proteína, 2,17-4,43% de grasa, 2,10-26,77% de fibra y 1,10-2,95% de cenizas; destacándose por su contenido de carbohidratos y fibra (Moscoso-Muñoz *et al.*, 2020). Se han reportado valores de hasta 72% de almidón, 10% de proteínas, además estudios realizados han señalado que el consumo de almidón de maíz ayuda a reducir el riesgo de salud por diabetes en las personas (Urango, 2018).

El RS en un alto porcentaje no es absorbido en el intestino delgado de individuos sanos. La resistencia a la digestión del RS se atribuye principalmente a su estructura física, determinada entre otras razones, por su alta cantidad de amilosa, en relación a la cantidad de amilopectina, lo que permite constituir una estructura más compacta y menos susceptible a hidrólisis enzimática (Villarreal *et al.*, 2018). La modificación de almidón es importante ya que es una fuente renovable con capacidad filogénica que satisface aspectos de disponibilidad (Villarreal *et al.*, 2018). El almidón modificado

se puede emplear para elaborar películas y coberturas, otorgar propiedades funcionales y/o resistentes, a alimentos y biomateriales (Ramos *et al.*, 2018).

La finalidad del estudio fue establecer las cantidades porcentuales de RS en el almidón de maíz amarillo y maíz morado antes y después de la modificación química a partir de la adición de dos métodos químicos a su estructura, determinando la influencia de estos sobre la resistencia del almidón y así corroborar la eficacia de la modificación química del almidón de las variedades de maíz antes mencionadas potenciando sus propiedades funcionales.

Materiales y métodos

Métodos

Para el desarrollo de la metodología se creó un diseño experimental AxB, donde: **Factor A:** Variedad de la materia prima: A1: maíz amarillo, A2: maíz morado, **Factor B:** Método de modificación química del almidón: B0: ninguno, B1: modificación térmica en medio ácido, B2: modificación con anhídrido octenil succínico (OSA), resultando las siguientes combinaciones y tratamientos (Tabla 1).

Determinación de humedad

Se determinó la humedad de las materias primas disponiendo de 2 g de muestra en viales de vidrio, manteniendo en estufa a 104 °C durante al menos 24 h. Las muestras se congelaron y liofilizaron para ser finamente molidas.

Extracción de almidón de maíz

El almidón fue extraído a partir de las muestras de maíz molidas (harinas obtenidas a partir de la molienda del maíz y posterior extracción de su almidón), mediante el método señalado por Pacheco *et al.* (2019). Las muestras pulverizadas fueron enjuagadas con agua desionizada (1:5 p/v) a través de un tamiz de malla de 250 µm. Tras decantar el líquido filtrado, el precipitado se resuspendió en agua y se lavó nuevamente varias veces hasta aclarar el sobrenadante, mediante centrifugación a 10 000 xg durante 15 min a 20 °C, separando la capa pigmentada de la parte superior. Los almidones fueron liofilizados o secados a 45 °C por 12 horas y se conservó en congelación (-20 °C) hasta su análisis.

Tabla 1. Tratamientos aplicados en el estudio de modificación de almidón de maíz para mejorar su resistencia a la digestión in vitro

Tratamiento	Código	Descripción
T1	A1B0	Almidón de maíz amarillo, sin modificación química
T2	A1B1	Almidón de maíz amarillo, modificado térmicamente en medio ácido
T3	A1B2	Almidón de maíz amarillo, modificado con anhídrido octenil succínico
T4	A2B0	Almidón de maíz morado, sin modificación química
T5	A2B1	Almidón de maíz morado, modificado térmicamente en medio ácido
T6	A2B2	Almidón de maíz morado, modificado con anhídrido octenil succínico

Rendimiento

El rendimiento de extracción de almidón se determinó relacionando el peso del almidón nativo sobre el peso de la materia prima fresca; y el peso del almidón modificado, sobre el peso de la materia prima fresca y sobre el peso del almidón liofilizado (Pacheco *et al.* 2019) technological and nutritional analyses were done in two scarcely studied starches from Andean tubers (mashua and melloco, como se muestra en las ecuaciones 1, 2 y 3:

$$\frac{\text{Peso del almidón nativo o modificado}}{\text{Peso de la materia prima fresca}} * 100 \quad (1)$$

$$\frac{\text{Peso del almidón nativo o modificado}}{\text{Peso de la materia prima seca}} * 100 \quad (2)$$

$$\frac{\text{Peso del almidón nativo}}{\text{Peso del almidón modificado}} * 100 \quad (3)$$

Modificación térmica en medio ácido (CAHMT)

Se aplicó calentamiento húmedo en presencia de ácido cítrico CAHMT (Moist Heating in the Presence of Citric Acid), basados en el método propuesto por Cahyana *et al.* (2019a) con ligeras modificaciones. El almidón nativo se mezcló con una solución de ácido cítrico 0,2 M para alcanzar un contenido de humedad del 30% (p/v). Después de equilibrarse en una botella con tapón de rosca a temperatura ambiente durante 24h, la mezcla de muestra se sometió a calentamiento a 80 °C durante 16 h. Seguidamente, las muestras tratadas se neutralizaron con 1 M NaOH, se lavaron con agua destilada (25 °C) y se recuperaron por precipitación. Las muestras se secaron a 50 °C hasta que el contenido de humedad disminuyó de 5-10% (p/v).

Modificación con anhídrido octenil succínico (OSA)

Se modificó el almidón aislado utilizando la metodología optimizada por Olawoye *et al.* (2020) con pequeñas modificaciones. Se dispersó 20 g de almidón en un matraz cónico que contenga 40 ml de agua destilada, con ayuda de un agitador magnético. El pH de la lechada de almidón se ajustó a 10 utilizando NaOH 1 M y HCl 1 M. Después del ajuste se agregó anhídrido octenil succínico (4%) y se continuó agitando a temperatura ambiente ($\approx 26 \pm 2^\circ\text{C}$), durante 50 minutos, tiempo en el cual, se mantuvo el pH 10 usando NaOH o HCl 1 M. Al final del tiempo de reacción, la suspensión de almidón se neutralizó a pH 7,0 con HCl 1 M o NaOH 1 M. El almidón tratado se recogió por centrifugación, se lavó tres veces con agua y luego se secó a 45 °C durante 12 h para obtener almidón OSA. El almidón seco se mantuvo en un recipiente hermético hasta su posterior análisis.

Almidón total (TS) o pureza del almidón extraído

El almidón total (TS), o, la pureza del almidón extraído se determinó utilizando el método enzimático/colorimétrico

descrito por Pacheco *et al.* (2019). Se suspendió 250 mg del almidón extraído en 5 ml de agua milli-Q y se añadió 5 ml de solución de KOH (4 M). La mezcla se mantuvo durante 30 min a temperatura ambiente y luego se neutralizó (pH 6,5-7) con HCl (5 M), seguida de incubación con 50 µl de Termamyl (Novozyme, Bagsværd, Copenhagen, Dinamarca) a 98 °C durante 30 min, y luego, con amiloglucosidasa (Sigma Aldrich) de *Aspergillus Niger* (~ 14 U / mg proteína) a 60 °C durante 30 min. Se midió la concentración de glucosa utilizando el kit de reacción para glucosa oxidasa / peroxidasa (Nzytech genes y enzimas, Lisboa, Portugal) a 510 nm y se aplicó el respectivo cálculo para expresar el resultado como TS. El TS se expresó como gramos de almidón puro / 100g de almidón extraído. Se empleó almidón de patata y hojuelas de maíz, como estándares de almidón total y almidón resistente, respectivamente.

Contenido de amilosa (AC)

El contenido de amilosa del almidón se determinó utilizando el método colorimétrico descrito por Ojo *et al.* (2017). Se mezcló una porción de almidón extraído (20 mg) con 10 ml de KOH 0,5 M agitado en vórtex. La muestra dispersa se llevó a 100 ml con agua milli-Q. Se mezcló una alícuota de la solución de almidón (10 ml) con 5 ml de HCl 0,1 M y 0,5 ml de reactivo de yodo (I3K) (PM 419,81 g/mol). La mezcla se llevó a 50 ml y se dejó reposar durante 5 min. La absorbancia se midió a 625 nm (espectrofotómetro UV). El contenido de amilosa se determinó a partir de una curva de calibración de amilosa de patata (Sigma Aldrich, > 90%).

Almidón resistente (RS)

El contenido de almidón resistente se midió utilizando la metodología propuesta por Goñi *et al.* (1996) y descrita por Pacheco *et al.* (2019). Las muestras de almidón (50 mg) se diluyeron en 5 ml de tampón KCl-HCl 0,2M p 1,5 y se incubó con 100 µl de pepsina de la mucosa gástrica del cerdo (~ 2 500 unidades / mg de proteína) (tampón KCl-HCl 0,1 g / mL) a 40 °C durante 60 min. Luego, se agregó 4,5 ml de tampón Trismaleato 0,1 M pH 6,9 y el pH se ajustó a 6,9, seguido de la adición de 500 µl de α-amilasa de páncreas de cerdo (~ 50 U / mg) (40 mg / ml de tampón Tris).

Las muestras se incubaron a 37 °C durante 16 h en baño termostático con agitación constante. Más tarde, se centrifugó las muestras (3000 xg/15 min), se retiró los sobrenadantes, se lavó el precipitado con 5 ml de agua, para centrifugar nuevamente. Se añadió un volumen de 1,5 ml de agua, seguido de 1,5 ml de KOH 4 M y se agitó vigorosamente a temperatura ambiente durante 30 min. Luego se añadió 2,75 ml de HCl 2 M y 1,5 ml de tampón de acetato de sodio 0,4 M, el pH se ajustó a 4,75 y se agregó 40 µl de amiloglucosidasa de *Aspergillus Niger* (~14 unidades/mg de proteína) (5 mg / mL de tampón de acetato de sodio), y se incubaron a 60 °C durante 45 min con agitación continua. Las mezclas se centrifugaron (3 000 xg/15 min), se añadió 5 ml de agua Milli-Q sobre

los residuos y se repitió la centrifugación recogiendo los sobrenadantes en matraces aforados de 25 ml. Finalmente, se midió el contenido de glucosa, con el kit de reacción de glucosa oxidasa /peroxidasa (Nzytech genes and enzymes) a 510 nm. Los valores de almidón resistente se calcularon utilizando la siguiente fórmula (Ecuación 4):

$$\% \text{ Almidón resistente} = \frac{\text{glucosa} \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right) * \text{volumen} * 100 * 0.9 \left(\frac{\mu\text{g}}{\text{mL}} \right)}{1000 * \text{peso de la muestra seca}} \quad (4)$$

Análisis estadístico

Luego de aplicar el análisis ANOVA, se aplicó la prueba de Tukey al 95% de confianza para la comparación de medias, en el programa SPSS (v. 20). Todos los resultados fueron obtenidos al menos por duplicado.

Resultados

Análisis de humedad

En la determinación de la humedad se tomaron 2 muestras de cada variedad de maíz (morado y amarillo) analizadas en base fresca. Los resultados fueron similares para las dos variedades; por consiguiente, se obtuvieron cantidades que oscilan entre los 12 y 13% de materia fresca como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 2. Humedad del maíz empleado como materia prima

Descripción	Humedad (% fm)		
Maíz amarillo	12,08	±	0,10
Maíz morado	12,93	±	0,12

Promedio porcentual de 2 repeticiones ± desviación estándar. fm: fresh matter = materia fresca.

Rendimiento

En la Tabla 3 se muestra los resultados para la determinación de rendimiento, se tomó en cuenta los rendimientos en base fresca, base seca y rendimiento sobre el peso del almidón nativo, donde los resultados indican que en base fresca los mejores resultados se obtuvieron en el tratamiento T1 del almidón de maíz amarillo sin modificación con un rendimiento de 49,30% materia fresca y en el tratamiento T2 del almidón de maíz amarillo con modificación

ácida con un rendimiento de 43,80% de materia fresca. En los rendimientos obtenidos en base seca el mejor resultado se obtuvo en el tratamiento T1 del almidón de maíz amarillo sin modificación con un 56,07% de materia seca, seguido del T2 del almidón de maíz de la variedad amarillo con modificación ácida (A1B1) con un 49,73% de materia seca. En cuanto lo referente a rendimiento sobre el peso del almidón nativo se obtuvo los mejores resultados en el T1 del almidón de maíz amarillo sin modificación (A1B0) y el T4 almidón de maíz morado sin modificación (A2B0) con un 100% de almidón; no obstante, en la variedad del maíz morado su rendimiento pudo haberse afectado por la presencia de los antocianos causantes de la pigmentación que tuvo que ser separado al momento de su extracción, así como el tipo de molienda a la cual fue sometido para la extracción del almidón.

En el análisis de ANOVA y Tukey con un 95% de confianza realizado en el rendimiento de almidón en base fresca se muestra que existen diferencias significativas; como se evidencia en el tratamiento T6 correspondiente al almidón de maíz con modificación OSA que supera el nivel de significancia de $p < 0,05$ con 0,200 (pruebas de efectos inter-sujetos), es decir este rendimiento primario es mejor debido a que no ha sido manipulado para alguna modificación. En cuanto a lo concerniente al análisis estadístico realizado en el rendimiento del almidón en base seca se muestra que al menos un tratamiento (T6) es diferente a los demás ya que su nivel de significancia es de 0,168 superando al de $p < 0,05$ (efectos inter-sujetos), lo que indica que la modificación química con OSA en el almidón de maíz de la variedad morado si influye en sus propiedades funcionales, esto se puede deber a razones intrínsecas de su composición como la presencia de las antiocianinas (pigmentación característico del maíz morado) que pudo haber influido en la aplicación de nombrado método de modificación.

Almidón total (TS)

En la Tabla 4, se muestran los resultados de los análisis aplicados a los almidones nativos o sin modificación, junto a los almidones modificados con ácido cítrico y con OSA.

Tabla 3. Resultados de rendimiento de almidones nativos y modificados de maíz

Tratamiento	Código	Descripción	Rendimiento (% fm)			Rendimiento (% dm)			Rendimiento (% almidón)		
1	A1B0	Almidón de maíz amarillo, sin modificación	49,30	±	0,47 a	56,07	±	0,53 a	100,00	±	0,00 a
2	A1B1	Almidón de maíz amarillo, modificación ácida	43,80	±	0,42 a	49,73	±	0,36 a	90,60	±	0,57 b
3	A1B2	Almidón de maíz amarillo, modificación OSA	42,26	±	0,37 a	47,97	±	0,28 a	87,42	±	0,46 c
4	A2B0	Almidón de maíz morado, sin modificación	40,03	±	0,05 b	45,98	±	0,06 b	100,00	±	0,00 a
5	A2B1	Almidón de maíz morado, modificación ácida	34,75	±	0,35 c	39,97	±	0,49 c	88,32	±	0,42 b
6	A2B2	Almidón de maíz morado, modificación OSA	33,99	±	0,35 c	39,06	±	0,43 c	86,40	±	0,41 c

Promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar. fm: fresh matter = materia fresca. dm: dry matter = materia seca. OSA: anhídrido octenil succínico.

Tabla 4. Resultados de almidón total (TS), contenido de amilosa (AC) y almidón resistente (RS) en almidones nativos y modificados de maíz

Tratamiento	Código	Descripción	TS (% almidón)			AC (% almidón)			RS (% almidón)		
1	A1B0	Almidón de maíz amarillo, sin modificación	93,78	±	1,64 a	33,89	±	1,05 b	44,60	±	0,51 d
2	A1B1	Almidón de maíz amarillo, modificación ácida	n.d.			41,89	±	3,50 a	22,63	±	0,26 e
3	A1B2	Almidón de maíz amarillo, modificación OSA	n.d.			19,96	±	1,94 c	66,65	±	0,77 b
4	A2B0	Almidón de maíz morado, sin modificación	88,61	±	1,59 b	32,15	±	1,40 b	57,67	±	0,67 c
5	A2B1	Almidón de maíz morado, modificación ácida	n.d.			38,86	±	1,94 a	20,66	±	0,24 e
6	A2B2	Almidón de maíz morado, modificación OSA	n.d.			21,17	±	0,23 c	95,30	±	1,10 a

Promedio de 2 repeticiones ± desviación estándar. OSA: anhídrido octenil succínico. TS: total starch: almidón total. AC: amylose content: contenido de amilosa. RS: resistant starch: almidón resistente. n.d.: no determinado. Letras iguales denotan similitud estadística de valores por columna ($p < 0,05$).

Los tratamientos T1 y T4 pertenecientes a los almidones de maíz amarillo y morado sin modificaciones o nativos presentaron 93,78% y 88,61% de pureza, respectivamente, siendo mayor el valor para el caso del almidón de maíz amarillo ($p < 0,05$).

Contenido de amilosa (AC)

En el análisis del contenido de amilosa sobresalió el T2 y el T5 correspondiente a almidón de maíz amarillo y morado con modificación ácida, con 41,89% y 38,83%, notando un incremento en el AC, en comparación a los almidones nativos y tratados con el OSA ($p < 0,05$) (Tabla 4).

Almidón resistente (RS)

En cuanto al análisis de almidón resistente se destaca el T6 correspondiente a almidón de maíz morado modificado con OSA con un contenido de RS de 95,30% habiéndose casi multiplicado por 1,7 el contenido de RS en comparación a su almidón nativo (RS: 57,67%) ($p < 0,05$) (Tabla 4).

Discusión

Análisis de humedad

Los valores de humedad (Tabla 2) observada en el maíz amarillo y en el maíz morado fueron 12,08% y 12,93%, respectivamente; valores fueron similares entre sí y también semejantes a los reportados en bibliografía. Zambrano y Zambrano (2020) al estudiar el efecto de la humedad de dos variedades de maíz sobre los costos de molienda; reportó un 13,5% de humedad en el maíz amarillo, por otra parte; Chávez (2000) un porcentaje de humedad de maíz morado cercano al 14%.

Rendimiento

Como se ha comentado en líneas anteriores, el rendimiento de extracción de almidón observado en este estudio para maíz amarillo y morado fue 49% y 40%, respectivamente, siendo mayor en el caso del almidón de maíz amarillo, pues no se tuvo la interferencia de los antocianos al purificarlo ($p < 0,05$) (Tabla 3); y en general, este rendimiento, fue algo menor al reportado en bibliografía.

López-Vázquez (2021), en su estudio de las propiedades fisicoquímicas y funcionalidad de almidón de maíz cacahuacintle señaló un rendimiento de almidón de maíz amarillo de 61,96% y Erazo (2021) en su investigación sobre formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado para el embalaje de alimentos, reportó un rendimiento de almidón de maíz morado de 54,64%.

El rendimiento algo menor observado en el presente trabajo, puede deberse a diferencia de factores externos como época de cosecha, humedad ambiental, condiciones de almacenamiento, que puedan influir sobre la humedad de la materia prima, así como también al tipo de molienda y purificación del almidón.

Almidón total (TS)

Los resultados de investigación sobre el contenido de almidón total (TS) o pureza del almidón, usando como muestra estándar el almidón de patata (TS: 92,54%), muestra un valor promedio de TS para el almidón de maíz amarillo de 93,78% y para el almidón de maíz morado un TS de 88,61% (Tabla 4).

En estudios realizados por Uthumporn *et al.* (2010), sobre la evaluación biológica de una botana horneada de *Oxalis tuberosa* en un modelo animal, se reportó un porcentaje de pureza de almidón del maíz amarillo de 72,97%; y Agama-Acevedo *et al.* (2005), en su trabajo sobre el aislamiento y

caracterización del almidón de maíces pigmentados, dio a conocer un valor de pureza del almidón de maíz morado de 79,2%; por lo que, se puede decir que en la presente investigación se obtuvo excelentes resultados en cuanto a la pureza del almidón extraído a partir de maíz amarillo, maíz morado; los valores en general no llegan al 100% debido a que, al parecer, pese a los continuos lavados y centrifugación del almidón, persisten restos de fibra, proteína, grasa y algo de pigmentos íntimamente unidos al almidón final.

Contenido de amilosa (AC)

Respecto al contenido de amilosa (AC) presente en almidones, se trabajó con el almidón de patata como estándar, obteniendo un AC de 26,46%, similar al reportado en bibliografía (24,82%) de Solarte-Montúfar *et al.* (2019) para almidón de maíz amarillo sin modificación se observó un AC de 33,89%, y para almidón de maíz morado sin modificación se obtuvo un AC de 32,15%, valores algo mayores a los señalados por Agama-Acevedo *et al.* (2005) (27% y 22% respectivamente), señalando, que las muestras analizadas en este estudio parecen tener más amilosa, quizá debido a factores genéticos propios de las variedades analizadas.

Los almidones modificados con ácido cítrico presentaron los mayores valores de AC (38,86 a 41,89%) en comparación a los almidones modificados por OSA (19,96 a 21,17%) ($p < 0,05$) (Tabla 4). La amilosa está relacionada con la capacidad gelificante del almidón, por lo que, según nuestros resultados, el método CAHTM aplicado sobre almidón de maíz amarillo o morado, sería el más recomendable si se desea obtener un aditivo alimentario para su uso en postres, salsas, pastas, cremas u otro tipo de productos que requieran mantener una elevada consistencia.

Existen aún escasos estudios sobre contenido de amilosa en los almidones de maíz morado modificados tanto con ácido cítrico como con anhídrido octenil succínico.

Almidón resistente (RS)

Se trabajó con almidón de patata como muestra estándar resultando con un RS de 20,94%, similar al reportado por Escarpa y González (1997) en su investigación denominada tecnología del almidón resistente (20%).

Para el almidón de maíz amarillo sin modificación se obtuvo un RS de 44,60%, mientras que para almidón de maíz morado sin modificación se observó un RS de 57,67%, siendo mayor en este último caso ($p < 0,05$) (Tabla 4). En el caso de los almidones de maíz modificados con ácido cítrico, el contenido de RS fue de 20,66 a 22,63%, valores mucho menores a los logrados con la modificación OSA (66,65 a 95,30%), siendo mayor el RS observado en el almidón de maíz morado OSA (95,30%) ($p < 0,05$), valor de RS que, en comparación a su almidón no modificado, casi se multiplicó por 1,5.

Los almidones de maíz modificados por OSA en este estudio, en especial el almidón de maíz morado OSA, podría ser empleado con muy buenas perspectivas como ingrediente

alimentario con posible potencial prebiótico, toda vez que el contenido RS observado es alto, lo cual significa que posee potencial para resistir la digestión enzimática, llegar a las regiones alejadas del colon y ejercer allí su efecto prebiótico.

Conclusiones

Se aplicó dos métodos de modificación química sobre almidón de maíz de dos variedades, pudiendo concluir que: se acepta la hipótesis alternativa y se rechaza a la hipótesis nula, es decir que, el tipo método químico y la variedad de maíz si influyen sobre las propiedades funcionales del almidón, en cuanto al contenido de amilosa y al incremento de la resistencia del almidón a la digestión *in vitro*.

Se comparó el rendimiento de la extracción de almidón obtenido a partir de maíz, de las variedades amarillo y morado; concluyendo que el maíz amarillo, permitió un mayor rendimiento de obtención de almidón, posiblemente debido a la ausencia de antocianos, presentes en el caso del almidón de maíz morado. La presencia de estos pigmentos hizo necesario aplicar una etapa de centrifugación, en la cual se generaron pérdidas de producto final.

Se evaluó el efecto de la aplicación de los tratamientos CAHTM y OSA, sobre el almidón de maíz amarillo y morado, concluyendo que el mejor tratamiento para incrementar la resistencia del almidón fue la modificación OSA sobre almidón de maíz morado, pues este permitió incrementar la resistencia en un 50%, en comparación a su almidón nativo (RS: 95,30% vs. RS: 57,67%) ($p < 0,05$), pudiendo este almidón exhibir buen potencial prebiótico.

En cuanto al contenido de amilosa, el mejor tratamiento fue la modificación ácida sobre el almidón de maíz amarillo o morado, pues permitió incrementar en un 23% el contenido de amilosa en comparación a los respectivos almidones nativos (AC almidones de maíz modificados CAHTM: 38,86 a 41,89% vs. AC almidones de maíz nativos: 32,15 a 33,89%) ($p < 0,05$). Los almidones de maíz amarillo y morado CAHTM, podrían presentar buenas características tecnológicas como gelificante o espesante para la industria alimentaria y de biomateriales.

Referencias bibliográficas

- Agama-Acevedo, E., Ottenhof, M. A., Farhat, I. A., Paredes-López, O., Ortiz-Cereceres, J. y Bello-Pérez, L. A. (2005). Aislamiento y caracterización del almidón de maíces pigmentados. *Agrociencia*, 39(4), 419–429. <https://www.redalyc.org/pdf/302/30239406.pdf>
- Boada, R. y Espinosa, J. (2016). Factors affecting yield potential of open pollinated corn in small farmers' fields in the Ecuadorian highlands. *Siembra*, 3(1), 67–82. <https://revistadigital.uce.edu.ec/index.php/SIEMBRA/article/view/262/252>
- Cahyana, Y., Wijaya, E., Halimah, T. S., Marta, H., Suryadi, E. y Kurniati, D. (2019). The effect of different thermal modifications on slowly digestible starch and physicochemical properties of green banana flour (*Musa acuminata colla*). *Food Chemistry*, 274, 274–280. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.09.004>
- Chávez, A. M. (2000). *Maíz morado peruano* (Folleto R.I. N° 04-00). <https://repositorio.inia.gob.pe/handle/20.500.12955/996>
- Erazo, H. M. (2021). *Formulación y caracterización de una biopelícula a partir de almidón de maíz morado (Zea mays L.) para el embalaje de alimentos*. [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica de Chimborazo] <http://dspace.esPOCH.edu.ec/handle/123456789/16802>
- Escarpa, A. y González, M. C. (1997). Tecnología del almidón resistente / Technology of resistant starch. *Food Science and Technology International*, 3(3), 149–161. <https://doi.org/10.1177/108201329700300301>
- Goni, I., García-Diz, L., Mañas, E. y Saura-Calixto, F. (1996). Analysis of resistant starch: A method for foods and food products. *Food Chemistry*, 56(4), 445–449. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0308814695002227>
- López-Vázquez, A. M. (2021). Propiedades fisicoquímicas y funcionalidad de almidón de maíz cacahuacintle. [Tesis doctoral, Universidad Autónoma Chapingo]. <https://repositorio.chapingo.edu.mx/items/a0dbc09a-dbd4-4ca4-9d8a-067506844bed>
- Ruilova, M., Cobos, F. y Gómez, J. (2023). *Cultivo de maíz*. <https://libros.utb.edu.ec/index.php/utb/catalog/book/99>
- Moscote-Muñoz, J. E., Gomez-Quispe, O. y Guevara-Carrasco, V. (2020). Contenido de energía metabolizable y energía neta del maíz, subproducto de trigo, harina de soya, harina de pescado y aceite de soya para pollos de carne. *Scientia Agropecuaria*, 11(3), 335–344. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.03.05>
- Ojo, M., y Ariahu C. y Chinma E. (2017). Proximate, Functional and Pasting Properties of Cassava Starch and Mushroom (*Pleurotus Pulmonarius*) Flour Blends. *American Journal of Food Science and Technology*, 5(1), 11–18. <https://www.sciepub.com/AJFST/abstract/6773>
- Olawoye, B., Fagbohun, O. F., Gbadamosi, S. O. y Akanbi, C. T. (2020). Succinylation improves the slowly digestible starch fraction of cardaba banana starch. A process parameter optimization study. *Artificial Intelligence in Agriculture*, 4, 219–228. <https://doi.org/10.1016/j.aiaa.2020.09.004>

- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. (2022). FAOSTAT ANALYTICAL BRIEF 60 Agricultural production statistics 2000-2021 FAOSTAT Analytical Brief 60 FAOSTAT CROPS AND LIVESTOCK PRODUCTION INTRODUCTION. *Agricultural Production Statistics 2000-2021*, 60, 1–17. <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/58971ed8-c831-4ee6-ab0a-e47ea66a7e6a/content>
- Pacheco, M. T., Moreno, F. J., Moreno, R., Villamiel, M. y Hernandez-Hernandez, O. (2019). Morphological, technological and nutritional properties of flours and starches from mashua (*Tropaeolum tuberosum*) and melloco (*Ullucus tuberosus*) cultivated in Ecuador. *Food Chemistry*, 301, 125268. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125268>.
- Pacheco, M. T., Moreno, F. J. y Villamiel, M. (2019a). Chemical and physicochemical characterization of orange by-products derived from industry. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(2), 868–876. <https://doi.org/10.1002/jsfa.9257>
- Ramos, M. de L., Romero, C. y Bautista, S. (2018). Almidón modificado: Propiedades y usos como recubrimientos comestibles para la conservación de frutas y hortalizas frescas. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*, 19(1), 30–44. <https://www.redalyc.org/journal/813/81355612003/81355612003.pdf>
- Solarte-Montúfar, J. G., Díaz-Murangal, A. E., Osorio-Mora, O. y Mejía-España, D. F. (2019). Propiedades Reológicas y Funcionales del Almidón. Procedente de Tres Variedades de Papa Criolla. *Informacion Tecnologica*, 30(6), 35–44. <https://doi.org/10.4067/S0718-07642019000600035>
- Urango, L. (2018). Componentes del maíz en la nutrición humana. *Fondo Editorial Biogénesis*, <https://revistas.udea.edu.co/index.php/biogenesis/article/view/336229>
- Uthumporn, U., Zaidul, I. S. M. y Karim, A. A. (2010). Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. *Food and Bioproducts Processing*, 88(1), 47–54. <https://doi.org/10.1016/j.fbp.2009.10.001>
- Villarroel Heise, P., Gómez, C., Vera, C. y Torres, J. (2018). Resistant starch: Technological characteristics and physiological interests. *Revista Chilena de Nutricion*, 45(3), 271–278. <https://www.scielo.cl/pdf/rchnut/v45n3/0717-7518-rchnut-45-03-0271.pdf>
- Zambrano, C. y Zambrano, P. (2020). *Efecto de la humedad en dos variedades de maíz sobre los costos de molienda* [Tesis de grado, Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Félix López]. <https://repositorio.espam.edu.ec/bitstream/42000/1278/1/TTAI03D.pdf>

