

**PRODUCCIÓN DE ALMIDÓN RESISTENTE DE MALANGA (*Colocasia esculenta*)<sup>a</sup>****PRODUCTION OF RESISTANT STARCH FROM MALANGA (*Colocasia esculenta*)**

Guzmán De la Hoz, L.E.<sup>1</sup>; Bello Pérez, L.A.<sup>2</sup>; De la Cruz Medina J.<sup>1</sup>; León García, E.<sup>3</sup>; García Galindo, H.S.<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> *Tecnológico Nacional de México/ Instituto Tecnológico de Veracruz. Miguel Ángel de Quevedo No. 2779, Col. Formando Hogar, Veracruz, Ver. 91897, México.*

<sup>2</sup> *Instituto Politécnico Nacional/ Centro de Desarrollo de Productos Bióticos. Carretera Yautepec-Jojutla Km 8, calle CEPROBI No.8, Col. San Isidro, C.P.62731, Yautepec, Morelos.*

<sup>3</sup> *Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias. Campo Experimental La Posta. Km 22.5, Carretera Federal Veracruz-Córdoba, Paso del Toro, Municipio de Medellín de Bravo, Veracruz. C.P. 94277.*

*\*Autor correspondencia: leon.elizabeth@inifap.gob.mx*

Fecha de envío: 06, octubre, 2024

Fecha de publicación: 28, diciembre, 2024

**Resumen:**

El almidón, principal fuente de carbohidratos en la dieta, está compuesto por dos polisacáridos: amilosa y amilopectina. Según su velocidad de hidrólisis, se clasifica en almidón de digestión rápida (ARD), lenta (ALD) y resistente (AR), este último con importantes beneficios para la salud. La malanga (*Colocasia esculenta*), planta de rápido crecimiento con cormos comestibles y buen valor nutricional, es ideal para obtener AR debido a su alto contenido de almidón. El objetivo de este trabajo fue obtener almidón resistente a partir de cormos de malanga mediante los procesos de: extrusión, anillado (ANN) y térmico/enzimático. Para llevar a cabo este objetivo se elaboró harina de malanga de la que se obtuvo AR por los tres métodos mencionados. Los resultados mostraron que las mejores condiciones para obtención de AR por extrusión fueron temperatura = 50 °C, humedad = 32 % y 75 rpm obteniendo 11.28 % AR; para el método térmico/enzimático la mejor combinación fue 10.6 U/g y 12 h, del cual se obtuvo 8.56 % AR y para el ANN se estabilizó la humedad al 70%. Se encontró que el mejor método para la producción de AR fue el ANN debido a que fue el único que aumentó el % AR de la harina nativa con 23.35 %.

**Palabras clave:** Almidón, biopolímeros, harina de taro.

<sup>a</sup>Artículo derivado de la investigación: Tesis de maestría del primer autor

**Abstract:**

Starch, the primary source of carbohydrates in the diet, is composed of two polysaccharides: amylose and amylopectin. Based on its hydrolysis rate, it is classified into rapidly digestible starch (RDS), slowly digestible starch (SDS), and resistant starch (RS), the latter offering significant health benefits. Malanga (*Colocasia esculenta*), a fast-growing plant with edible corms and good nutritional value, is an ideal source of RS due to its high starch content. The objective of this investigation was to evaluate these three methods to obtain RS. To carry out this objective, taro flour was produced by the three methods. The results showed that the best conditions for obtaining RS by extrusion were temperature = 50 °C, humidity = 32% and 75 rpm obtaining 11.28% RS; for the thermal/enzymatic method, the best combination was 10.6 U/g and 12 h, from which 8.56% RS was obtained; and for the ANN the humidity was stabilized at 70%. It was found that the best method for the production of RS was the ANN, because it was the only one that increased the percent RS of the native flour by 23.35%.

**Keywords:** Starch, biopolymers, taro flour.

**INTRODUCCIÓN**

El almidón es la principal fuente de energía en la dieta humana, proporcionando entre el 70 y el 80% de las calorías consumidas. Está compuesto por amilosa y amilopectina, dos polímeros de glucosa unidas por enlaces  $\alpha$ -D (1-4) y  $\alpha$ -D (1-6) (Sajilata et al., 2006). La amilosa es una cadena lineal y constituye del 20 a 30% del almidón, mientras que la amilopectina forma del 70 al 80% del almidón, tiene ramificaciones debido a los enlaces  $\alpha$ -(1-6) (Restrepo, 2002). La estructura de los gránulos de almidón incluye capas concéntricas de áreas cristalinas y amorfas (Donald et al., 1997). La amilopectina puede tener entre 10,000 y 20,000 unidades de glucosa, siendo considerablemente más grande que la amilosa (Sajilata et al., 2006).

En la harina de malanga, los carbohidratos, especialmente el almidón, son fundamentales como fuente de energía. Sus propiedades, como la gelatinización y retrogradación, influyen en su digestibilidad (Rodríguez et al., 2011). Los métodos de modificación del almidón, como la extrusión, y la compresión de la fibra dietética, son importantes para mejorar la calidad nutricional y funcional de los productos alimenticios. Existen cuatro tipos de almidón resistente: Tipo I (físicamente inaccesible), Tipo II (gránulos de almidón nativo), Tipo III (retrogradado) y Tipo IV (modificado químicamente) (Englyst et al., 1992; Asp & Björck, 1992).

El almidón resistente (AR), que no se digiere en el intestino delgado, llega al colon, donde es fermentado por la microflora colónica, produciendo gases y ácidos grasos de cadena corta como el butirato (Asp & Björck, 1992). Este proceso puede tener efectos prebióticos y beneficios potenciales para la salud, incluyendo la reducción del índice glucémico y efectos sobre la función celular (Shamai et al., 2003; Sajilata et al., 2006). La fibra dietética, que incluye al almidón resistente, es un carbohidrato que no se digiere en el intestino delgado y es fermentado en el colon, generando ácidos grasos de cadena corta que tienen beneficios para la salud, como la regulación del colesterol y la glucosa en sangre (Verspreet et al., 2016).

Para modificar el almidón y aumentar su resistencia, se utilizan métodos físicos, químicos y enzimáticos. La extrusión, que emplea calor, presión y cizalla, es una técnica común para modificar el almidón (Brennan et al., 2001). Durante la extrusión, la harina se mezcla y se somete a altas temperaturas y presiones, lo que produce cambios en la estructura del almidón (Duran, 2004; Miller, 2000).

Otro proceso es el anillado (ANN), donde se incuban los gránulos de almidón en contenidos de agua  $\leq 40\%$ , para esto el almidón se incuba a temperaturas entre la transición vítrea ( $T_g$ ) y temperatura inicial de gelatinización ( $T_o$ ). (Jacobs & Delcour, 1998; Stute, 1992). El ANN mantiene la estructura e integridad granular debido a que solo actúa modificando las características fisicoquímicas y de digestibilidad del almidón.

En el método enzimático para generar almidón resistente se emplea la pullulanasa o isoamilasa que es una enzima que se encarga de hidrolizar los enlaces glucosídicos  $\alpha$ -1,6 de las cadenas ramificadas de la amilopectina. Cuando se digiere el almidón hay producción de moléculas de maltosa que a su vez son hidrolizadas por la maltasa para obtener como resultado glucosa. Estudios de Simsek & Nehir (2012) y González-Soto et al. (2007) han demostrado cómo la desramificación enzimática y el tratamiento en autoclave pueden aumentar significativamente el AR en diferentes fuentes de almidón.

Por lo anteriormente descrito, el objetivo del trabajo fue la obtención de almidón resistente a partir de cormos de malanga mediante los procesos de: extrusión, anillado (ANN) y térmico/enzimático y determinar el mejor proceso para su obtención.

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Material vegetal

Para este estudio, se utilizaron cormos de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivados en Actopan, Veracruz, y obtenidos del Colegio de Posgraduados ubicado en Km. 88.5 Carretera Federal Xalapa-Veracruz, vía Paso de Ovejas entre Puente Julia y Paso San Juan, predio Tepetates, Municipio de Manlio Fabio Altamirano, Veracruz. La elaboración de la harina incluyó lavado manual de los cormos, pelado con cuchillos y corte en rebanadas de 8.5 cm de diámetro y 0.2 cm de espesor con una rebanadora Pigore 2525. Las rebanadas se secaron en un secador Apex a 60-70 °C con aire a 1.5 m/s, luego se molieron en un molino de martillo y se tamizaron con mallas N° 100 y N° 120 para obtener el tamaño de partícula deseado. Finalmente, la harina se empacó al vacío en bolsas selladas.

### Producción de Almidón Resistente (AR)

La producción de AR se abordó con tres métodos distintos. En el proceso de extrusión, se utilizaron 200 g de harina de malanga en un extrusor Beutelspacher SB con condiciones de 32% de humedad, 50°C en las zonas de calefacción, y 75 rpm. Los extruidos se secaron a 60 °C por 4 horas, se molieron y tamizaron con malla número 50.

El tratamiento de anillado (ANN) se realizó con 250 g de harina nativa estandarizada a 70% de humedad, reposada a 4 °C durante 24 horas, y luego estabilizada a 25 °C por 2 horas. La harina fue cocida a  $65 \pm 1$  °C por 4 horas, secada a 40 °C durante 24 horas y tamizada con malla número 50.

El método térmico/enzimático siguió el protocolo de González-Soto et al. (2007), con modificaciones. Se utilizó pullulanasa en dos concentraciones (10.6 y 5.3 U/g) y tiempos de acción diferentes (8 y 12 h), y después de la incubación a 50 °C, las muestras se filtraron, secaron y molieron usando malla número 100.

### Análisis Proximal

#### Determinación de Almidón Total

El contenido de almidón total se determinó usando el kit de análisis de Megazyme®. Se mezclaron 100 mg de harina con etanol e KOH, y se trató la muestra con  $\alpha$ -amilasa y amiloglucosidasa. Tras incubar a 50 °C, se midió la absorbancia a 510 nm.

### Determinación de Almidón Resistente

Para determinar el almidón resistente (AR), se utilizó el método de AOAC (2002).

Se pesaron 100 mg de harina en tubos de vidrio, se añadieron 4 mL de  $\alpha$ -amilasa pancreática, se mezcló en un vórtex y se incubó a 37 °C durante 16 horas con agitación continua. Luego, se agregaron 4 mL de etanol (99% v/v), se centrifugó a 1500 g por 10 minutos, y se decantó el sobrenadante. El residuo se resuspendió en 2 mL de etanol al 50% v/v, se mezcló con 6 mL adicionales de etanol al 50%, y se centrifugó nuevamente a 1500 g por 10 minutos.

Los sólidos se resuspendieron con 2 mL de KOH 2M usando un agitador magnético y se agitaron en un baño con hielo durante 20 minutos. Posteriormente, se añadieron 8 mL de regulador de acetato (1.2 M, pH 3.8) y 0.1 mL de amiloglucosidasa, incubando a 50 °C durante 30 minutos con mezclas intermitentes. El contenido se transfirió a un matraz volumétrico de 100 mL y se aforó con agua destilada.

Una alícuota se centrifugó a 1500 g por 10 minutos, y 0.1 mL del sobrenadante se mezcló con 3 mL de reactivo GODPOD, incubando a 50 °C durante 20 minutos. Finalmente, se midió la absorbancia a 510 nm en un espectrofotómetro Agilent modelo 8453. El contenido de almidón resistente se determinó con la siguiente formula:

$$AR = A * \frac{F}{W} * 9.27$$

Donde:

AR= Almidón Resistente

A = Absorbancia leída contra lectura del blanco

F = (100  $\mu$ g de D-glucosa)/(absorbancia de 100  $\mu$ g de glucosa)

W = Peso de la muestra en mg.

### Determinación de Proteínas

Se usó el método de Kjeldahl para determinar el contenido proteico. Se pesó 1 g de harina, se digirieron con ácido sulfúrico y se titularon con ácido bórico. Se encontró un contenido de 3.06% de proteínas.

### **Determinación de Fibra Dietaria**

La fibra Dietaria fue determinada de acuerdo al método enzimático propuesto por McCleary et al. (2002). La muestra se trató con etanol, buffer de maleato y proteasa, y después se filtró y secó. El contenido de fibra dietaria se calculó a partir del peso de la muestra seca.

### **Determinación de Amilosa**

El contenido de amilosa se determinó modificando el método de Hoover & Zhou (2003). Se disolvió almidón en KOH, y tras ajustar el pH, se trató con una solución de I<sub>2</sub>/KI. La absorbancia se midió a 600 nm.

### **Análisis estadístico**

Los resultados son el promedio  $\pm$  desviación estándar. Los datos fueron analizados mediante un análisis de varianza de una vía ( $p < 0.05$ ), seguida de una comparación múltiple LDS para determinar si existen diferencias significativas entre las muestras. Se utilizó el software *OringinPro* 9.0 para realizar el análisis estadístico.

## **RESULTADOS Y DISCUSION**

### **Caracterización de la harina**

La harina nativa de malanga, tras su molienda y secado, presentó una composición predominante de almidón total (AT), con un contenido de 77.94% (Cuadro 1), seguida por almidón resistente (AR) con 15.9%. Simsek & Nehir (2012) reportan 84.2 % de AT en malanga de la zona de África, mientras que Rodríguez et al. (2010) encontraron 57.55 % en malanga de Tuxtepec, Oaxaca, México. La diferencia encontrada se debe por tanto a la ubicación del cultivo y las condiciones de almacenamiento de los cormos.

Los valores encontrados en el presente experimento, son similares a los obtenidos por Rodríguez et al. (2011), con una diferencia en el contenido de AT, ya que ellos obtuvieron 57.55 % lo que se debe a la zona de cultivo y a la humedad de los cormos.



### **Cuadro 1.** Caracterización de la harina nativa de malanga (base seca)

**Table 1.** Characterization of native malanga flour (dry basis)

Componente	Porcentaje en peso
Almidón total	77.94
Almidón resistente	15.90
Proteína	3.06
Humedad	7.01
Cenizas	0.6

### **Producción de Almidón Resistente**

Para la técnica de extrusión, se emplearon las condiciones de García et al. (2019): temperatura de 50 °C, velocidad del tornillo de 75 rpm y humedad del 32%. La harina resultante de la extrusión obtuvo contenido de AR de 11.28% (Cuadro 2), similar a los 12.7% reportados por Bello et al. (2011) en harina de mango verde extrudida. Las diferencias en los niveles de AR se deben al contenido de amilosa en la fuente y a la complejidad del proceso de extrusión, que incluye factores como la velocidad del tornillo, humedad y tipo de extrusor.

**Cuadro 2.** Comparación de almidón total, almidón resistente y amilosa de harinas nativas de malanga, plátano y mango verde.

**Table 2.** Comparison of total starch, resistant starch and amylose in native flours of malanga, plantain and green mango.

Muestra	Amilosa (%)	Almidón resistente (%)	Almidón total (%)
Harina de malanga	18.15 ± 0.63	15.9 ± 0.5	77.94 ± 0.89
Harina de plátano verde*	34.9 ± 0.122	6.04 ± 0.40	96.8 ± 2.09
Harina de mango verde*	37.1 ± 1.37	12.75 ± 0.007	95.3 ± 3.95

\*Valores de comparación, Bello et al. 2011.

Para el tratamiento de anillado se replicó la metodología de De la Rosa Millán (2013). Se estabilizaron muestras a 70% de humedad, obteniendo un AR de 23.35%. Este valor es comparable al 25.6% reportado por el mismo autor para plátano verde, el cual es tomado como referencia por su contenido de almidón

resistente. La similitud se debe a la gelatinización de los gránulos de almidón, que durante la retrogradación forman estructuras rígidas difíciles de hidrolizar por enzimas digestivas.

Para el tratamiento enzimático se probaron cuatro tratamientos (Cuadro 3) con distintas concentraciones de enzima y tiempos de acción. El segundo tratamiento alcanzó el mayor AR con 8.56%, seguido por los tratamientos tres, con 6.37% AR y el tratamiento uno, con 4.85% de AR. El tratamiento cuatro presentó el menor contenido de AR, 3.26 %. Estos resultados contrastan con González-Soto et al. (2007), quienes reportaron 18% de AR para plátano verde con una concentración de enzima de 10.6 U/g durante 5 horas. Las variaciones se deben a la fuente del almidón y la influencia de la estructura del almidón y componentes de la matriz, como lípidos y proteínas.

**Cuadro 3.** Tratamientos realizados para la desramificación con pullulanasa.

**Table 3.** Treatments performed for debranching with pullulanase.

Num. Tratamiento	[Enzima] (U/g)	Tiempo (h)	Almidón Resistente (%)
1	10.6	8	4.85 ± 0.413 <sup>AB</sup>
2	10.6	12	8.56 ± 0.184 <sup>A</sup>
3	5.3	8	6.37 ± 1.363 <sup>AB</sup>
4	5.3	12	3.26 ± 1.853 <sup>B</sup>

En el cuadro 3 se observa que el tratamiento 2 presentó el mayor contenido de AR (8.56 %), seguido por los tratamientos 3 (6.37 %) y 1 (4.85 %), mientras que el tratamiento 4 tuvo el menor contenido (3.26 %). Estos valores son menores al 18 % de AR reportado por González-Soto et al. (2007) bajo condiciones óptimas (10.6 U/g de enzima y 5 h de reacción en plátano verde). La variabilidad en la producción de AR depende de la fuente de almidón, la estructura de ramificación (enlaces  $\alpha$ -1,6) y factores como concentración de enzima, temperatura, tiempo de reacción y componentes como lípidos, proteínas y minerales (Dupuis et al., 2014).



Entre los tres métodos utilizados, el tratamiento de anillado (ANN) fue el más eficaz, con un AR de 23.35%, superando el contenido en harina nativa (15.9%), extruida (11.28%) y desramificada (8.56%). La disminución en el contenido de AR en las harinas extruida y desramificada se puede atribuir a la formación de cadenas de amilosa cortas o a una retrogradación inadecuada del almidón, mientras que el tratamiento ANN favoreció la formación de estructuras cristalinas resistentes a la degradación enzimática. Y también a la desorganización estructural del almidón (González-Soto et al., 2007).

a extrusión rompe las cadenas de amilosa y amilopectina debido a la temperatura y fuerzas de cizallamiento (García et al., 2019), mientras que la desramificación genera cadenas cortas fácilmente digeribles (Bello-Pérez et al., 2022). Por otro lado, el tratamiento ANN tiende a incrementar el AR al reorganizar las cadenas de almidón, haciéndolas menos accesibles a las enzimas, como confirman los resultados.

En el cuadro 4 se muestra el contenido de almidón resistente (AR); la harina tratada por ANN mostró un mayor contenido de AR (23.35 %), en comparación con las harinas nativa (15.9 %) y tratadas por extrusión (11.28 %) y desramificación con pullulanasa (8.56 %). El alto contenido de AR en harinas de malanga está relacionado por los componentes que la integran, principalmente polisacáridos no amiláceos como hemicelulosa, celulosa y pectinas, que provocan un incremento de la viscosidad del medio, dificultando que las enzimas hidrolicen el almidón.

**Cuadro 4.** Contenido de almidón resistente y almidón total de la harina nativa y las harinas tratadas de malanga.

**Table 4.** Resistant starch and total starch content of native flour and treated malanga flours.

Muestra	Almidón resistente (%)	Almidón total (%)
Harina nativa	15.9 ± 0.5	77.94 ± 0.89
Harina extrudida	11.28 ± 1.06	77.77 ± 0.49
ANN	23.35 ± 0.51	81.29 ± 0.59
Enzimatica	8.56 ± 0.18	75.66 ± 0.92
Testigo	67.2 ± 0.5	97.02 ± 0.99

La extrusión de la harina nativa redujo el contenido de almidón resistente a 11.28 %, resultado similar al reportado por González-Soto et al. (2007) para almidones de plátano, aunque la harina de malanga mostró mayor contenido de AR. También es comparable a lo encontrado por Bello et al. (2011), quienes reportaron 12.7 % en harina de mango verde extrudida, atribuyéndose las diferencias a los distintos contenidos de amilosa en cada materia prima..

### **Fibra Dietética**

El contenido de FD que se obtuvo en la harina Nativa de malanga fue 61.86 %. Dicho contenido sugiere que la harina de malanga obtenida aporta 14 % de la recomendación diaria de consumo de FD. Además, y de acuerdo con el *Códex Alimentarius*, son una fuente rica de carbohidratos indigeribles, lo que conlleva beneficios para la salud, como son; los productos de la fermentación, especialmente los ácidos grasos de cadena corta, que cumplen una función fisiológica clave tanto a nivel local como sistémico. Así como también puede contribuir a la prevención de importantes trastornos del intestino grueso, como el estreñimiento, la diverticulitis y el cáncer.

### **Amilosa**

Los tratamientos hidrotérmicos, como la cocción y el ANN, producen lixiviación de amilosa de los gránulos de almidón. Parámetro de mucha importancia en la funcionalidad y digestibilidad de las harinas, debido a que es hidrolizada más rápidamente por las enzimas digestivas cuando se encuentra fuera de la estructura granular, incrementando así los valores de AR (Chung et al., 2009). De igual manera, si se dispersa en agua fría, puede provocar incremento en la viscosidad de la solución en comparación con el almidón sin tratar (Lehemman, 2007).

En este estudio las harinas de malanga presentaron un 18.15 % de amilosa aparente, sin cambios tras la cocción o tratamientos ANN. Este valor es bajo en comparación con el 28.7 % reportado para almidón de mango verde (Osorio et al., 2002) y el 31.5 % en almidón de plátano morado (Agama-Acevedo et al., 2015), lo que podría deberse a diferencias en los cultivos y sus zonas de origen.

## CONCLUSIONES

Se extrajo AR de la harina de malanga por tres diferentes métodos: Extrusión, anillado e hidrotérmico/enzimático desramificando los enlaces  $\alpha$  (1,6) con pullulanasa para comprobar con cuál de los tres métodos se obtuvo un mayor porcentaje de AR.

De los tres métodos empleados el anillado fue el único que aumentó el porcentaje de AR de la harina de 15.9 % que tenía en su forma nativa a 23.35 % después de ser sometida a este tratamiento.

## LITERATURA CITADA

- Agama-Acevedo, E., Nuñez-Santiago, M.C., Alvarez-Ramirez, J. & Bello-Pérez, L.A. (2015). Physicochemical, digestibility and structural characteristics of starch isolated from banana cultivars. *Carbohydrate Polymers*. 124,17-24.
- Asp N. & Bjorck I., (1992). Resistant starch. *Trends Food Science and Technology*. 3, 4-13.
- Bello, L.A., Agama, E., Osorio, P., Utrilla, R.G & García, F. (2011). Chapter 22- Banana and mango flours. *Flour and breadsand their fortification in healt anddisease prevention*. Pp. 235-245.
- Bello-Pérez, L.A., Cabello-Vazquez, J. A., Carmona-García, R., Patiño-Rodriguez, O. & Alvarez-Ramirez, J. (2022). Preparation of functional pasta supplemented with amarant pregelatinized extruded flour. *Frontiers in Food Science and Technology*. 2, 881714. Doi:103389/Frfst.2022-881714.
- Brennan, C. (2005). Dietary fibre, glycaemic response, and diabetes. *Molecular Nutrition*. 49, 560-570.
- Chung, H.J., Liu Q., & Hoover, R. (2009). Impact of annealing and heat-moisture treatment on rapidly digestible, slowly digestible and resistant starch levels in native and gelatinized corn, pea and lentil starches. *Carbohydrate Polymers*. 75, 436–447.
- De la Rosa-Millán, J., Agama-Acevedo, E., Osorio-Díaz, P., & Bello-Pérez, L.A. (2013). Effect of cooking, annealing and storage on the starch digestibility and physicochemical characteristics of unripe banana flour. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 12, 371-378.

- Donald, K.A., Hampton, R.Y. & Fritz, I.B. (1997). Effects of overproduction of the catalytic domain of 3 hydroxy-3-methylglutaryl coenzyme A reductase on squalene synthesis in *Saccharomyces cerevisiae*. *Applied and Environmental Microbiology*. 63(9):3341-4.
- Dupuis, J.H., Liu, Q & Yada, R.Y. (2014). Methodologies for increasing the resistant starch content of food starches: A Review. *Food Science and Food Safety*. 6 (13) 1219-1234.
- Duran, A., Błaszczak, W., & Rosell, C.M. (2004). Functionality of porous starch obtained by amylase or amyloglucosidase treatments. *Carbohydrate Polymers*. 101, 837-845.
- Englyst, H.N., Kingman S.M. and Cummings J.H. (1992). Classification and measurement of nutritionally important starch fractions. *European Journal of Clinical Nutrition* 46(Suppl. 2): S33–S50.
- García, D.E., Bello, L.A., Flores, P.C., Agama, E & Tovar, J. (2019). Extruded Unripe Plantain Flour as an indigestible carbohydrate - Rich ingredient. *Frontiers in Nutrition*.
- Gonzalez-Soto, R. A., Mora-Escobedo, R., Hernandez-Sanchez, H., Sanchez-Rivera, M., & Bello-Perez, L. A. (2007). The influence of time and storage temperature on resistant starch formation from autoclaved debranched banana starch. *Food Research International*, 40(2), 304-310.
- González, R.A., Sánchez, L., Solorza, J., Núñez, C., Flores, E. & Bello, L.A. (2006). Resistant Starch Production from Non-conventional Starch Sources by Extrusion. *Food Science and Technology International* 12(1):5–11.
- González-Soto, R. A., Agama-Acevedo, E., Solorza-Feria, J., Rendón-Villalobos, R., & Bello-Pérez, L. A. (2004). Resistant starch made from banana starch by autoclaving and debranching. *Starch-Stärke*, 56(10), 495-499.
- Hoover, R., & Zhou, Y. (2003). In vitro and in vivo hydrolysis of legume starches by  $\alpha$ -amylase and resistant starch formation in legumes A review. *Carbohydrate Polymers*. 54, 401–417.
- Jacobs, H., & Delcour, J.A. (1998). Hydrothermal Modifications of Granular Starch, with Retention of the Granular Structure: A Review. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 46, 2895-2905.

- Lehemann U. & Robin F. (2007). Slowly digestible starch - its structure and health implications: a review. *Food Science and Technology*. 18:346-355.
- McCleary, B.V & Monaghan, D.A. (2002). Measurement of resistant starch. *Journal of Association of Analytical Communities International*. 85, 665-675.
- Miller, C.R. (2000). Tecnología de extrusión de alimentos. [En línea] Disponible: <http://www.eces.uiuc.edu.asamex/extrusión.html>, 20 de Febrero de 2017.
- Osorio, P., Bello, L.A., Agama, E., Vargas, A., Tovar, J. & Paredes, O. (2002). In vitro digestibility and resistant starch content of some industrialized commercial beans (*Phaseolus vulgaris* L.). *Food Chemistry*. 78, 333-337.
- Restrepo, M,D,A. (2002). Alternativas de industrialización del plátano, una propuesta. p. 541-551. Acrorbat. Memorias XV reunión. Cartagena de Indias. Colombia.
- Rodríguez, J., Rivadeneyra, J.M., Ramírez, E.J., Juárez, J.M., Herrera, E., Navarro, R.O., & Hernández, B. (2011) Caracterización fisicoquímica, funcional y contenido fenólico de harina de malanga (*Colocasia esculenta*) cultivada en la región de Tuxtepec, Oaxaca, México. *Ciencia y Mar* 43, 37-47.
- Sajilata, M., Singhal, R. & Kulkarni, P. (2006). Resistant starch -A review. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety* 5, 1-17.
- Shamai, K., Bianco-Peled, H., Simón, E. (2003). Polymorphism of resistant starch type III. *Carbohydrate. Polymers*. 54, 363–369.
- Simsek, S. & Nehir, E.I.S. (2012). Production of resistant starch from taro (*Colocasia esculenta* L. Schott) corm and determination of its effects on health by *in vitro* methods. *Carbohydrate Polymers*, 90(3): 1204-1209.
- Stute, R. (1992). Hydrothermal modification of starches: The difference between annealing and heat-moisture treatment. *Starch/Stärke*. 44, 205-214.
- Verspreet, J., Damen, B., Broekaert, W, F., Verbeke, K., Delcour, J,A & Courtin, C,M. (2016). A Critical Look at Prebiotics Within the Dietary Fiber Concept. *Annu Rev Food Sci Technol*. 7:167-90.

