

Diversificación de los Almidones de Yuca y sus Posibles Usos en la Industria Alimentaria

Pizarro Monica¹; Sánchez Tereza¹; Ceballos Hernan¹; Morante Nelson¹; Dufour Dominique^{1,2}

¹Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT), Apdo Aereo 6713, Cali, Colombia

²Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement (CIRAD)

Resumen: La yuca "Waxy", variedad AM 206-5, libre de amilosa, fue reportada en 2006 en el proyecto de mejoramiento de yuca del CIAT, que busca desarrollar genotipos con características especiales en el almidón presente en sus raíces. Los almidones libre de amilosa tienen diferentes propiedades fisicoquímicas en comparación con los que contienen amilosa, y por lo tanto se utilizan para la fabricación de diferentes productos en la industria alimentaria. El objetivo de este trabajo fue clasificar genotipos de yuca mediante el contenido de amilosa (alto y libre) y tamaño de granulo del almidón (normales a pequeños). Se evaluaron 880 genotipos descendientes del cruce de la variedad de yuca AM 206-5 (libre de amilosa) y la variedad 5G 160-13 (granulo pequeño). El contenido de materia seca osciló entre 7 % y 47 % con un promedio de 35 % y el contenido de amilosa vario entre 0 % y 42 %. Se obtuvieron 6 genotipos doble mutante con las dos características combinadas (waxy y granulo pequeño). De los 880 genotipos evaluados se obtuvieron 145 con las características waxy y 110 con tamaño de granulo pequeño. Los almidones se analizaron en términos de sus propiedades morfológicas, funcionales y fisicoquímicas: tamaño y forma del granulo, claridez, comportamiento de los geles a través del calentamiento, enfriamiento por (RVA) y contenido de amilosa. El almidón waxy presentó la mayor temperatura de gelatinización, y mayor claridez, este tipo de almidones son menos sensibles a la retrogradación lo que los hace atractivos para la industria de alimentos congelados y refrigerados ya que su vida útil será más larga, el almidón de 5G 160-13 presentó menor claridez, y por su tamaño de granulo son más fáciles de hidrolizar para la obtención de etanol esto sería de gran interés para la industria de biocombustibles y edulcorantes.

Palabras clave: Almidón, almidón waxy, contenido de amilosa, tamaño de granulo.

Diversification of Cassava Starch and its Possible Uses in Food Industry

Abstract: The waxy cassava variety AM 206-5, free amylose, was reported in 2006 in the cassava- breeding project at CIAT, which seeks to develop genotypes with special features in the starch in its roots. The free amylose starches having different physicochemical properties compared to those containing amylose, and therefore are used for manufacturing different products in the food industry. The aim of this study was to classify cassava genotypes by amylose (high and free) and starch granule size (small and normal). 880 offspring genotypes from crossing the variety of AM 206-5 (free amylose) and cassava variety 5G 160-13 (small granules) were evaluated. The dry matter content ranged between 7 % and 47 % with an average of 37 % and various amylose content from 0 % to 42 %. were obtained 6 double mutant genotypes with the two combined features (waxy and small granule). From 880 genotypes were obtained 145 with features waxy and 110 with small granule size. Starches were analyzed in terms of their morphological, functional and physicochemical properties: size and shape of granule, claridez, solubility and swelling behavior of the gels through heating, cooling (RVA) and amylose. The waxy starch has the highest gelatinization temperature, and greater claridez, such starches are less susceptible to retrogradation which makes them attractive to the industry frozen and refrigerated foods since its lifetime will be longer, starch 5G 160-13 showed lower claridez, and granule size are easier to hydrolyze to obtain ethanol this would be of great interest to the biofuels industry and sweeteners.

Keywords: Starch, waxy starch, content of amylose, granule size.

INTRODUCCIÓN

Las raíces de yuca (*Manihot esculenta* Crantz) son un producto agrícola de gran aceptación y de importancia

socioeconómica, por ser uno de los componentes principales de la canasta familiar en algunos países; debido a que ha contribuido significativamente en las industrias procesadoras de alimentos como producto primario o secundario para consumo humano y animal. (Rosses, 2008). La planta de

yuca puede crecer en una variada gama de condiciones tropicales: en los trópicos húmedos y cálidos de tierras bajas; en los trópicos de altitud media y en los subtrópicos con inviernos fríos y lluvias de verano. Aunque la yuca prospera en suelos fértiles, su ventaja comparativa con otros cultivos de alta rentabilidad, es su capacidad de crecer en suelos ácidos, de escasa fertilidad, con precipitaciones esporádicas o largos periodos de sequía. Sin embargo, no tolera encharcamientos ni condiciones salinas de suelo (Sánchez et al., 2007). Las raíces de esta planta son una de las fuentes más importantes de almidón en los ambientes tropicales; el alto contenido de almidón y su composición, que presenta mayor proporción de amilosa, en comparación con otras fuentes de almidón, hace de la yuca un importante cultivo industrial, además es un producto alimenticio altamente energético por su alto contenido de calorías (Rickard et al., 1991).

El almidón es fácilmente extraíble de las raíces, ya que contienen bajos niveles de proteínas y grasas, y se usa principalmente en estado nativo, aunque también se usa en forma modificada, con diferentes tratamientos para mejorar sus propiedades físicas o químicas. (Sriroth et al., 1999). Los gránulos de almidón de origen natural independientemente de la fuente, planta ó tejido, contiene dos polisacáridos principales, la amilosa y la amilopectina, ambos son polímeros de glucosa (Bertoft, 2004). La amilosa, es una molécula esencialmente lineal, y la amilopectina, una molécula altamente ramificada. Las funcionalidades del almidón como estabilizadores y las propiedades físicas y viscoelásticas van a depender de la estructura y proporción de la amilosa y amilopectina en el almidón (Charles et al., 2005).

Los almidones se utilizan como materia prima principal o en forma de aditivos. Estos se han empleado en diferentes tipos de alimentos procesados como salsas, sopas, rellenos de fruta, productos a base de crema y productos congelados, sin embargo, cuando estos se congelan, la formación de cristales de hielo dentro de la matriz alimentaria causa estrés físico a los productos y al descongelar el derretimiento de estos cristales de hielo conducen a la pérdida de humedad y el ablandamiento en la textura de estos, afectando la calidad de los alimentos, este proceso se denomina retrogradación y se acelera por congelación y descongelación (Sae-Kang y Suphantharika, 2006). Los almidones waxy debido a sus características morfológicas especiales son menos sensibles a la retrogradación en comparación con un almidón normal, lo cual los hace útiles para la industria de mermeladas, compotas, helados y productos congelados (Eliasson y Gudmundsson, 1996). Mientras que los almidones de granulo pequeño son más fáciles de hidrolizar lo que los hace aptos para la industria de etanol y edulcorantes.

En el CIAT se ha implementado diversas estrategias para desarrollar clones de alto valor, aprovechando las nuevas oportunidades que se han presentado para la yuca, mediante la globalización de muchos países tropicales (Ceballos et al.,

2004). La meta es desarrollar no sólo los clones con productividad alta y estable, sino también, lograr obtener raíces con características de mayor adaptación a las necesidades de las diferentes industrias. En la industria del almidón hay diferentes formas de aprovechamiento, por lo tanto es necesario desarrollar e identificar clones de yuca con novedosas propiedades en el almidón, motivo por el cual se ha introducido gradualmente en el proyecto de mejoramiento de yuca características intrínsecas en términos de calidad de almidón (Ceballos et al., 2006). Además, la identificación de aquellos genotipos a partir de la expresión de variaciones de calidad del almidón, requiere la realización de pruebas especiales. Una de las estrategias del programa de mejoramiento de yuca es diversificar el uso de los almidones, modificando propiedades funcionales por medio del mejoramiento convencional y otras técnicas.

Recientemente se han reportado dos nuevos almidones de yuca mutantes con contenido de amilosa extremos 0 y 31 % Estos almidones son drásticamente diferentes de almidón de yuca normal, cuyo contenido de amilosa oscila entre 15 y 25 % (Sabaté et al., 2011). La planta libre de amilosa fue obtenida de autopolinizaciones en busca de rasgos recesivos útiles, dando origen a plantas con bajo contenido de amilosa (Ceballos et al., 2006). También se obtuvo un genotipo de granulo pequeño, el cual fue el resultado de la irradiación de semillas con rayos γ y de autopolinización para dar origen a una planta donde las características morfológicas del granulo de almidón eran anormales, siendo este de un menor tamaño en comparación con los de uno normal (Ceballos et al., 2007).

Es de gran importancia investigar en este tipo de características y propiedades funcionales de los almidones ya que hoy en día existen muchos mercados con aplicaciones y funcionalidades diversas en las que tienen aplicación los diferentes tipos de almidones. El objetivo de este estudio fue clasificar y caracterizar 880 genotipos por contenido de materia seca (MS), contenido de amilosa, tamaño de granulo y comportamiento de los geles para ver sus posibles aplicaciones en la industria de alimentos refrigerados, congelados o en la industria de biocombustibles entre otras.

2. METODOLOGÍA

2.1 Materiales

Se seleccionaron 880 genotipos provenientes de 138 familias de los cruces entre yuca AM 206-5 (libre de amilosa) y 5G 160-13 (granulo pequeño). Sembrados y cosechados en el Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) ubicado a 1100 m.s.n.m en Cali, Colombia (03° 25'N; 76° 35'W). Cada planta se cosechó a una edad fisiológica de 10 a 11 meses, de las cuales se emplearon 3 raíces, se tomó una yuca para sacar una rodaja del centro de esta para evaluar el tamaño de granulo por medio de un cuadrante por microscopia de luz, el resto de las raíces fueron trozados en un procesador de alimentos PA-7SE ESSEN serie 000120 y se sacaron muestras para los diferentes análisis.

2.2 Extracción de almidón.

La extracción de almidón se realizó según procedimiento descrito por Ceballos et al., 2007 en donde las raíces frescas sin pericarpio se cortaron en trozos para la extracción del almidón, se adiciono 1 litro de agua a los trozos en una licuadora (Oster modelo 4655-294VZ, Venezuela) y se homogenizó aproximadamente por 1 minuto la solución obtenida fue filtrada a través de un tamiz de 100 µm. El almidón se dejó decantar y fue secado en horno de convección forzada a 40 °C por 2 días (Thelco oven, model 28, Precision Scientific Subsidiary of GCA Corp., Chicago, IL).

2.3 Apariencia microscópica y tamaño de gránulos

La caracterización de la forma de los gránulos de almidón, se realizó, colocando un poco de almidón seco en un porta objetos; se empleó la técnica de tinción de almidones con una solución de yodo/yoduro de potasio al 0,2 %, se cubrió con cubre objetos, para visualizar el tamaño de los gránulos por medio de microscopia óptica, en el microscopio (Wild leitz GMBH tipo 020-507,010 Hecho en Portugal), con magnificación, 10x y 20x.

2.4 Análisis de materia seca

Se determinó MS de acuerdo al método 925.09 de la AOAC (1995), utilizando aproximadamente 80 g de pulpa fresca y 10 g de almidón, mediante secado a 105 °C por 24 horas. El porcentaje de MS se calcula mediante la ecuación 1.

2.5 Análisis de contenido de amilosa

El contenido de amilosa de las muestras de almidón fue determinado por el método colorimétrico (Determinación de la tener en amylose; ISO 6647, 1987) en un espectrofotómetro UV – 2201. El principio se basa en la dispersión de los gránulos de almidón con etanol y posterior gelatinización con NaOH. A una alícuota acidificada se agrega solución de yodo para formar un complejo de color azul, la intensidad del color está relacionado con el contenido de amilosa el cual es cuantificado espectrofotométricamente, comparando los resultados con una nueva curva estándar obtenida utilizando amilosa y amilopectina purificada extraída del tubérculo papa (Marca sigma A0512).

2.6 Propiedades de la pasta

Los perfiles de viscosidad se obtuvieron empleando un RVA (Rapid Visco Analyzer) modelo RVA-4 series (Newport Scientific, Australia). El almidón se dispersó en agua destilada en una suspensión al 5 % y al 10 % para almidón de granulo pequeño. La viscosidad se registró utilizando el perfil de temperatura que inicia a 50 °C durante 1 min, luego se calentó la suspensión, a una tasa de calentamiento de 6°C/min y se incrementó la temperatura de 50 a 90 °C, manteniendo la temperatura a 90 °C durante 5 min, y después se enfrió a una tasa de 6 °C/min hasta llegar a 50 °C sosteniendo la temperatura a 50 °C con agitación continua de 160 rpm. Se realizó según procedimiento descrito en T. Sánchez et al., 2010.

2.7 Claridez de la pasta

La claridez de la pasta se determinó empleando una dispersión acuosa al 1 % de almidón en base seca con un volumen final de 20 ml en el cual se hierve a 97 °C (1.000 msnm) y se agita con vortex a fondo cada 5 minutos durante 30 min. Se deja enfriar el gel a temperatura ambiente y se lee en un espectrofotómetro UV – 2201 en transmitancia a 650 nm, el valor reportado en transmitancia equivale al % de claridez de la pasta, pastas de almidones que tengan valores menores de 40 % se consideran opacas o turbias y pastas de almidones que tengan valores de transmitancia mayores de 40 % se consideran claras o transparentes (Craig et al., 1989).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Apariencia microscópica y tamaño de granulo

En la Figura 1 se presenta una distribución de los 880 genotipos evaluados 132 presentaron características de almidón waxy con tamaño de granulo normal, 88 son almidón con tamaño de granulo pequeño y con contenido de amilosa, 6 genotipos son almidones de granulo pequeño pero con características waxy y 654 son almidones con contenido de amilosa y con tamaño de granulo normal.

3.2 Análisis de materia seca

En la Figura 2 se presenta la distribución de frecuencia para el contenido de materia seca evaluada en los 880 genotipos, obteniendo que el contenido de materia seca, oscilo entre 7-48 % con media de 35 %.

3.3 Análisis de contenido de amilosa

En la Figura 3 se presenta la distribución de frecuencia del contenido de amilosa, en los genotipos evaluados en este estudio. El contenido de amilosa estuvo en el rango de 0-42 % con un promedio de 17 %.

En general los genotipos de granulo pequeño tuvieron un contenido de amilosa mas alto entre 18 a 42 % comparado con los otros genotipos y se logró verificar que genotipos obtenidos por doble mutación (waxy con granulo pequeño) son libres de amilosa. , es decir el 77 % de los genotipos evaluados presentaron un contenido de amilosa entre 15 a 20 %, lo que se podría considerar como genotipos de almidón nativo con contenidos de amilosa normales.

3.4 Propiedades de la pasta

Mediante un viscoamilograma, se encontró que existen diferencias notorias, en los perfiles de viscosidad entre almidones provenientes de diferentes fuentes de yuca. Esto se debe a las características fisicoquímicas, morfológicas y funcionales de los almidones que analizamos en este estudio. Se encontraron diferentes comportamientos de los geles de almidón, como se muestra en la figura 4, donde el almidón de AM 206-5 (libre de amilosa) tiene una viscosidad máxima mayor y es menos sensible a la retrogradación, su temperatura de empastamiento es mayor en comparación con MCOL 1505 (almidón común) y AM 1290 (almidón doble

mutante). Donde el almidón de MCOL 1505 tiene mayor viscosidad comparado con la AM 1290 (almidón doble mutante) y la 5G160-13 (almidón de granulo pequeño) pero es más sensible a la retrogradación y 5G160-13 (almidón de granulo pequeño) son los que tienen menor viscosidad máxima, y el AM 1290 tienen una temperatura de empastamiento menor en comparación con los demás y tiene un comportamiento muy similar al de AM 206-5. Este comportamiento de los almidones de granulo pequeño y waxy obtenidos de diferentes fuentes, también tuvo las mismas similitudes en los estudios realizados por S. V. Gomand et al 2009 y por Lindeboom et al 2004.

En la Figura 5 Se observa que la viscosidad máxima de los almidones de granulo pequeño durante el calentamiento se incrementa cuando hay una disminución en el contenido de amilosa. Este comportamiento fue similar en el estudio realizado en almidones de granulo pequeño de otra fuente por Lloyd et al, 1996.

De acuerdo a la Figura 6, podemos observar que a mayor concentración de la suspensión es menor la temperatura de empastamiento, su viscosidad máxima aumenta con la concentración y al hacer la comparación de 5 % y 10 % estos almidones tienen un comportamiento muy similar al de un almidón libre de amilosa o waxy. Similar comportamiento se obtuvo en el estudio realizado por Ceballos et al, 2008.

3.5 Claridez de la pasta.

En la Figura 7 se ve una clara diferencia entre los diferentes geles de cada uno de los genotipos evaluados en el estudio donde el gel del almidón waxy es más traslucido, mientras que el gel del almidón de granulo pequeño es opaco y turbio, los geles de almidón normal y doble mutante están en un rango intermedio no son transparentes pero tampoco son opacos. Geles por encima de 40 % serán opacos y turbios y geles por debajo de 40 % serán claros y traslucidos.

4. CONCLUSIONES

Los análisis fisicoquímicos realizados en este estudio comprueban que de los 880 genotipos evaluados, 132 genotipos tienen características waxy, 88 genotipos tienen almidón de granulo pequeño y 6 genotipos tienen características doble mutante. Debido a las diferentes cualidades fisicoquímicas, morfológicas y funcionales estos almidones tienen diferentes funcionalidades en la industria.

Los almidones waxy tienen aplicaciones en la industria de alimentos congelados y refrigerados, mientras que los almidones de granulo pequeño tienen aplicación para la obtención de etanol, bioplásticos y edulcorantes. Estos resultados permiten seguir realizando investigación en torno al mejoramiento genético y obtención de nuevos genotipos para incrementar la diversificación en términos de calidad de almidón, ya que por ejemplo los 6 genotipos encontrados con las características de doble mutante se pueden usar como progenitores en cruzamientos con miras a obtener nuevos genotipos que permitan maximizar el banco de germoplasma de yuca con características y propiedades físico químicas especiales en los almidones y lograr a futuro suplir la

demanda industrial por almidones de tipo nativo con alto valor agregado.

REFERENCIAS

*Association of Official Analytical Chemists. Official Methods 925.09: Moisture: Official Methods of Analysis of AOAC International, 1995.

BERTOFT, E. (2004). Starch in food structure, function and applications. Analysing starch structure. *Woodhead Publishing Limited*. Cambridge, England. 597 p. ISBN 1 85573 731 0

Ceballos, H., Iglesias, C. A., Perez, J. C., Dixon, A. G. O. (2004). Cassava breeding: *opportunities and challenges*. *Plant Mol. Biolo.* 56, pp 503-515.

Ceballos, H., Sanchez, T., Morante, N., M. Fregene, M., Dufour, D., Smith, A. M., Denyer, K., Perez, J. C., Calle, F., Mestres, C. (2006 Jun). Discovery of an Amylose-free Starch Mutant in cassava (*Manihot eculenta* Crantz). *J. Agric. Food.* 2007, 55, pp7469-7476.

Ceballos, H., Fregene, M., Lentini, Z., Sanchez, T., Puentes, Y., Perez, J. C., Rosero, A., Tofiño, A. (2006). Development and identification of high-value Cassava clones. *Acta hortic.* 703, 63-70.

Ceballos, H., Sanchez, T., Denyer, K., Tofiño, A., Rosero, E., Dufour, D., Smith, A., Morante, N., Perez, J.C., Fahy, B. (2007 Jul). Induction and identification of a small-granule, High-amylose mutant in Cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *J.Agric. Food Chem.* 2007, 56 pp 7215-7222.

Charles, A. L., Chang, Y. H., Ko, W. C., Sriroth, K., Huang, T.C. (2005 Dic). Influence of amilopectine structure and amylose content on the gelling properties of five cultivars of cassava starches. *J. Agric. Food Chem.* 2005, 53, 2717-2725.

Craig, S. A. S., Maningat, C. C., Seib, P. A., Hosney, R. C. (1989). Starch paste clarity. *Cereal chem.* 66 (3), pp 173-182. Available: http://www.aacnet.org/publications/cc/backissues/1989/Documents/66_173.pdf

Eliasson, A.C. & Gudmundsson, M. (1996). Starch: Physicochemical and functional aspects. In A.-C. Eliasson (Ed.), *Carbohydrates in food* (pp. 431–504). New York: Marcel Dekker.

Gomand, S.V., Lamberts, L., Visser, R.G.F., Delcour, J.A. (2009, Nov). Physicochemical properties of potato and cassava starches and their mutants in relation to their structural properties. *Journal food hydrocolloids* 24, pp 424-433.

*International Organization for Standardization (F) 6647. Riz: Determination de la teneur en amylose. (1987).

Lindeboom, N., Chang, P. R., Tylor, R. T. (2004). Analytical, Biochemical and physicochemical aspects of starch granule size, with: a review. *Journal Starch/Stärke*. 56, pp 89-99

Lloyd, J. R., Wang, T. L., Hedley, C. L. (1996). An analysis of seed development in *Pisum sativum* XIX. Effect of mutant alleles at the r and rb loci on starch grain size and on the content and composition of starch in developing pea seeds. *Journal of Experimental Botany*, Vol. 47, No. 295, pp. 171-180.

Rickard, J. E., Asaoko, M., J. M. V. (1991) The physicochemical properties of cassava starch. *Trop. Sci.* 31, 189-207

Roger, P. E., Cochrane, M. P., Dale, M. F. B., Duffus, C. M., Lynn, A., Morrison, I. M., Prentice, R. D. M., Swanston, J. S., Tiller, S. A. (1997) Starch production and industrial use. *J. Sci. Food Agric.* 77 289-311

ROSSES, M. Consultoría de canales y márgenes de comercialización de la yuca. Available: http://www.magfor.gob.ni/servicios/de-scargas/Estudios_Mercado/Canales_Margenes_Yuca.pdf [citado 4 de abril de 2008].

Sabaté, A. R., Sanchez, T., Buleon, A., Colonna, P., Jaillais, B., Ceballos, H., Dufour, D. (2011 Jul). Structural characterization of novel cassava starches with low and high amylose contents in comparison with other commercial sources. *Food hydrocolloids* 27 (2012) 161-174.

Sae-Kang, V. & Supphantharika, M. (2006 March) Influence of pH and xanthan gum addition on freeze-thaw stability of tapioca starch pastes. *Carbohydrate Polymers* 65 (2006) 371-380.

Sanchez, T., Aristizabal, J. & Mejia, D. (2007) "Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca", Boletín de servicios agrícolas de la FAO, pg 1. Roma.

Sánchez, T., Dufour, D., Moreno, I.X., y Ceballos, H. (2010, apr). Pasting and gel stability of waxy and normal starches from cassava, potato, maize, and rice under thermal, chemical and mechanical stress. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. [Online]. 58(8).pp.5093-5099. Available: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20356303>.

Sriroth, K., Santisopasri, V., Pechalanuwat, C., Kurotjanawong, K., Piyachomkwan, K., Oates, C. G. (1999). Cassava starch granule structure-function properties: influence of time and conditions at harvest of four cultivars cassava starch. *Carbohydr. Polym.* 38, 161-170.

APÉNDICE A

- Figuras, tablas y márgenes

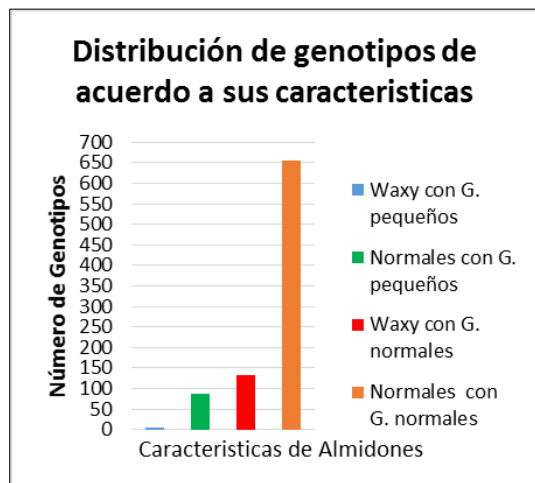


Figura 1. Distribución de genotipos de acuerdo a sus características.

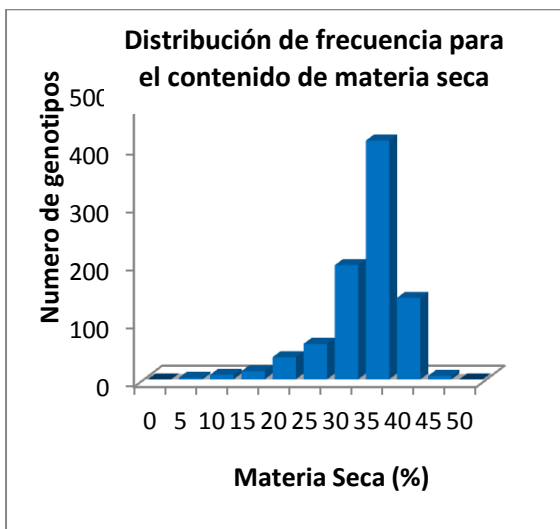


Figura 2. Distribución de frecuencia para el contenido de materia seca en pulpa de yuca (%).

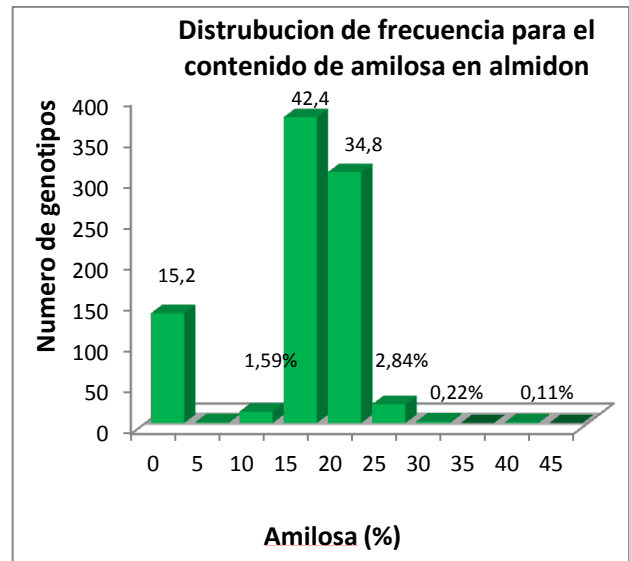


Figura 3. Contenido de amilosa (%).

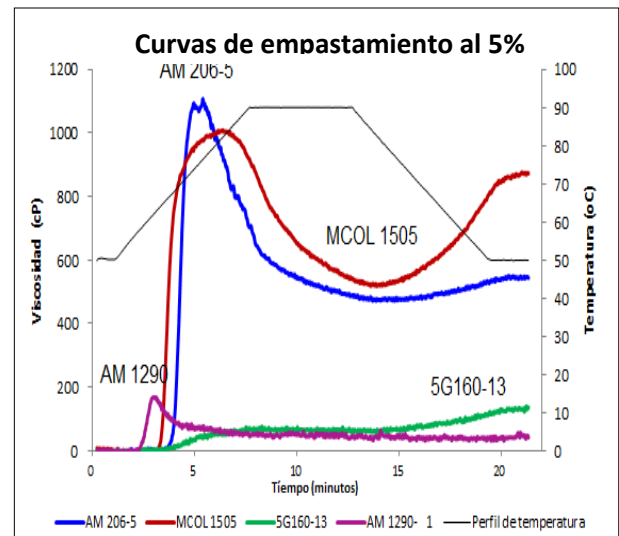


Figura 4. Perfiles de viscosidad en cuatro genotipos de yuca al 5%

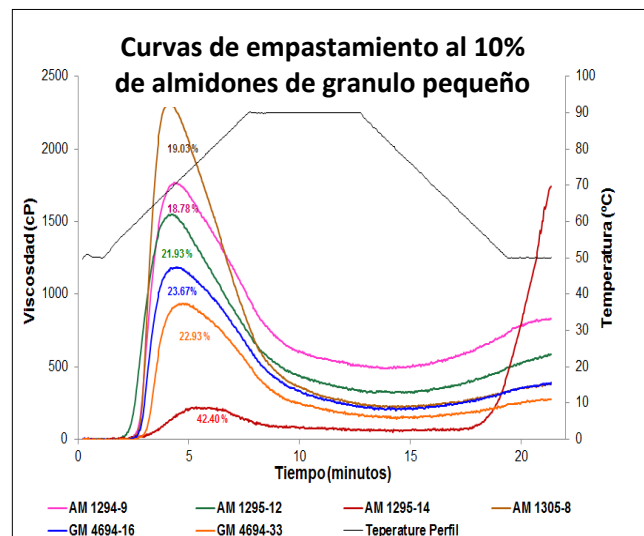


Figura 5. Perfiles de viscosidad de almidones de genotipos de granulo pequeño con diferentes contenidos de amilosa (%) al 10%.

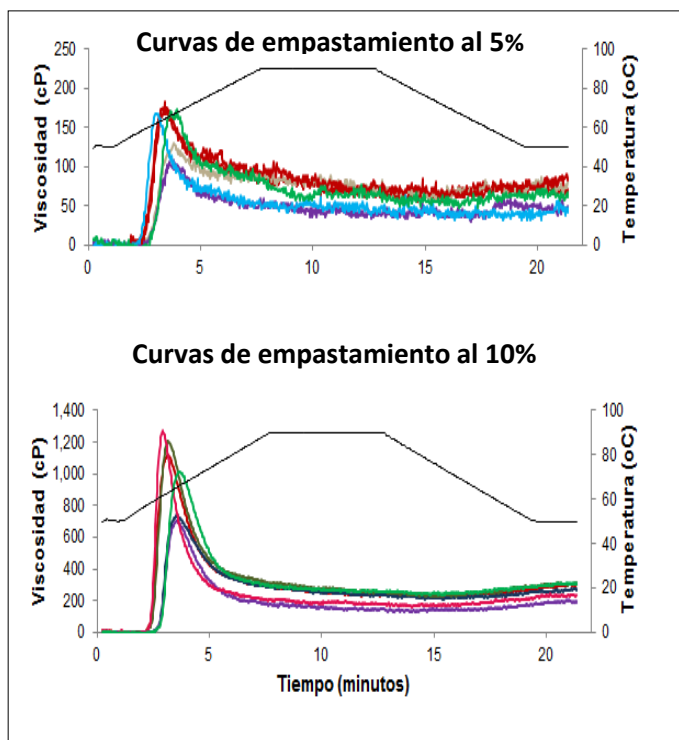


Figura 6. Perfiles de viscosidad de diferente genotipos de almidón con granulo pequeño al 5% y al 10% respectivamente.



Figura 7. Geles obtenidos de almidones normal, waxy, doble mutante y granulo pequeño.

- Ecuaciones

$$\%MS = \frac{\text{Peso inicial de la muestra}}{\text{Peso final de la muestra}} \times 100 \quad (1)$$