BIOTECNOLOGÍA
EN EL SECTOR AGROPECUARIO
Y AGROINDUSTRIAL

· ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN CIENTÍFICA Y TECNOLÓGICA ·

Vol. 16 No 1 · Enero - Junio 2018 · ISSN - 1692-3561 · ISSN - 1909-9959 · doi: http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.625

Condiciones óptimas de la etapa de lixiviación en la extracción de almidón de yuca

Optimum conditions for the leaching step in the extraction of cassava starch

Condições ideais de la fase de lixiviação em extração de amido de mandioca

CARLOS GARCÍA-MOGOLLÓN[1], JAIRO SALCEDO-MENDOZA[1],
ARMANDO ALVIS-BERMUDEZ[2]

RESUMEN

La operación de lixiviación consiste en poner en contacto suficiente agua con yuca molida para extraer el almidón y separarlo de la fibra y otros componentes. Con el objetivo de determinar las condiciones óptimas de consumo de agua en la etapa de lixiviación de almidón de yuca se obtuvo una curva de equilibrio pulpa de yuca-agua de extracción. El uso excesivo de agua no garantiza la mayor extracción de almidón en este proceso e incrementa el costo de este. Se utilizaron relaciones agua-yuca molida, se mezclaron durante un tiempo de residencia de 5 s a 37°C y se separaron a través de una malla de 120 mesh; para después calcular la composición en agua, almidón e inertes. Los resultados obtenidos permiten establecer una relación óptima de 450 kg a 740 kg de agua por 1 kg de pulpa de yuca con un porcentaje entre el 18 y el 20% de almidón extraíble. Con la optimización fue posible reducir el consumo de 3 a 4 kg de agua por 1 kg de yuca al molino.

Recibido para evaluación: 13 de Julio de 2016.
Aprobado para publicación: 25 de Enero de 2018.

1 Universidad de Sucre, Facultad de Ingenierías, Grupo PADES. M.Sc. Ciencias Agroalimentarias. Montería, Colombia.
2 Universidad de Córdoba, Facultad de Ingenierías, Grupo de Investigación Procesos y Agroindustria de Vegetales. Ph.D. en Ingeniería. Montería, Colombia.

Correspondencia: carlos.garcia@unisucre.edu.co

ABSTRACT

The leaching operation is to put in contact enough water with ground manioc to extract the starch and separate it from the fiber and other components. With the objective of determining the optimal conditions of water consumption in the stage of leaching of cassava was obtained a starch extraction (cassava pulp – water) equilibrium curve. The excessive use of water does not warrant the extraction of starch in this process and increases the cost of this. Quantities of pulp-water were mixed for a residence time of 5 s at 37°C, and refining through a mesh of 120 mesh; to then calculate the composition in water, starch and inert. The results obtained allow optimum relationship of 450 kg to 740 kg of water per 1 kg of cassava pulp with a percentage between the 18 and 20% of removable starch. With the optimization it was possible to reduce the consumption of 3 to 4 kg of water per 1 kg of cassava pulp.

PALABRAS CLAVE:
Manihot esculenta Crantz, Curva de equilibrio, Lixiviación, Agua, Fibra.

KEYWORDS:
Manihot esculenta Crantz, Equilibrium curve, Leaching, Water, Fiber.

RESUMO

A operação de lixiviação é em colocar em contato suficiente água com chão de yucca para extrair o amido e separá-lo de fibra e outros componentes. A fim de determinar as condições ideais de consumo de água na fase de lixiviação de amido de mandioca obteve-se uma polpa de yuca-agua de extração de curva de equilíbrio. O uso excessivo de água não garante a extração de amido neste processo e aumenta o custo disto. Quantidades de polpa-água foram misturadas para um tempo de residência de 5 s a 37°C e separados através de uma malha 120 malha; para em seguida calcular a composição em água, amido e inerte. Os resultados obtidos permitem estabelecer uma melhor relação de 450 kg para 740 kg de água por 1 kg de polpa da mandioca com uma percentagem entre os 18 e os 20% de amido removível. Com a otimização foi possível reduzir o consumo de 3 a 4 kg de água de 1 kg de mandioca para o moinho.

PALAVRAS-CHAVE:
Manihot esculenta Crantz, Curva de equilíbrio, Lixiviação, Água, Fibra.

INTRODUCCIÓN

La yuca es una de las principales fuentes industriales de almidón en países tropicales. Tanto sus raíces como hojas pueden ser consumidas por humanos y animales de manera muy variada en la alimentación, producción de harinas, materias primas de concentrados y en la obtención de almidones [1,2 3]. El uso de la yuca depende principalmente de la concentración de glucósidos cianogénicos. Las variedades llamadas “dulces” tienen bajos niveles de estos glucósidos y pueden ser consumidas de manera segura luego de los procesos normales de cocción. Otras variedades llamadas “amargas” tienen niveles tan elevados de dichas sustancias que necesitan mayor procesamiento para su consumo. Estas variedades son generalmente utilizadas para procesos industriales [4] de obtención de almidón donde el ácido cianhídrico es arrastrado en el agua de extracción [5]. El almidón dulce o nativo es utilizado como ingrediente en alimentos, textiles, papel e industria biotecnológica [6, 7, 8, 9¸10], aunque esta demanda no es relevante. El almidón agrio es utilizado principalmente como ingrediente para productos de panadería como el pandebono, pan de yuca y los buñuelos, entre otros [11, 12].

En Colombia, la extracción del almidón de yuca se realiza en agroindustrias netamente artesanales, comúnmente conocidas como "rallanderías" las cuales pueden producir almidón nativo (sin fermentar) y agrio (fermentado), siendo este último el producto más comercializado. La operación de separación del almidón de la fase sólida (yuca molida) es separada por contacto con una fase liquida o solvente (agua). La composición de ambas fases cambian, se separan y el almidón es recuperado de la fase liquida fenómeno denominado lixiviación [13]. Para controlar esta operación es importante conocer las condiciones de equilibrio entre el agua y los componentes de la yuca molida (almidón e inertes) cuando se mezclan y relacionan a través de la curva de equilibrio experimental de extracción de almidón. El establecimiento de las condiciones de equilibrio se representan en un diagrama de los tres componentes: almidón, inertes y agua. Se trata de un sistema terciario, donde el agua arrastra el almidón dada su insolubilidad; además, de los inertes (proteína y fibra) que son una impureza del almidón. Los volúmenes de agua utilizados son de 5 a 7 m^3 por tonelada de almidón extraído, lo que representa altos costos de producción en el manejo del agua de proceso. El agua constituye el principal componente de la lixiviación cuando se pone el contacto con yuca molida, dada la cantidad y el tiempo de contacto que condicionan el rendimiento de extracción. El objetivo del presente trabajo fue determinar las mejores condiciones de extracción del almidón, representadas por el volumen de agua requerido para el mayor rendimiento en almidón y el menor en inertes.

MÉTODO

Determinación de la curva de equilibrio

Tiempo de residencia. Se pesaron 100 g de yuca molida (YM) y se mezclaron con 250 g de agua (W) a 2, 3, 4, 5, 6, 7 y 8 segundos a 200 rpm y 37°C, después de lo cual se separaron la fase sólida (FS) y la fase líquida (FL) a través de un filtro de 200 mesh. A la FL se le determinó almidón.

Datos de equilibrio. Se mezclaron 100 g de yuca molida con 100, 200, 300, 400, 500, 600, 700 y 800 g de agua (Trat) respectivamente a 200 rpm y 37°C durante el tiempo de residencia calculado; después del cual, se separaron la FS y la FL a través de un filtro de 200 mesh. Se determinan las variables respuesta porcentaje de almidón, humedad e inertes a cada una de las fases liquidas de cada relación. La yuca molida con una composición en agua de 66,32 g, almidón extraíble 18 g e inertes 15,68 g.

La composición en agua, almidón e inertes en la fase sólida se determina por balance de material general (Ecuación 1) y de componentes (Ecuaciones 2-4):

$$YM + W = FS + FL \quad \text{(Ec. 1)}$$

$$Agua\ (W) = YM(y_YM\ ) + W + L(y_FL) \quad \text{(Ec. 2)}$$

$$Almidón(A) = YM(X_YM\ ) + L(X_FL) \quad \text{(Ec. 3)}$$

$$Inertes(I) = FS - ((FS(y_FS\ ) + FS(X_FS\ )) \quad \text{(Ec. 4)}$$

Los puntos de equilibrio para cada tratamiento se determinaron en la fase sólid a: Y, N_Y correspondientes a gramos de almidón e Inertes por gramo de solución (Ecuaciones 5 y 6); en la fase líquida: X, N_X correspondientes a gramos de almidón e Inertes por gramo de solución (Ecuaciones 7 y 8):

$$Y = A/(W + A)_FS \quad \text{(Ec. 5)}$$

$$N_y = I/(W + A)_FS \quad \text{(Ec. 6)}$$

$$X = A/(W + A)_FL \quad \text{(Ec. 7)}$$

$$N_x = A/(W + A)_FL \quad \text{(Ec. 8)}$$

Donde $(W + A)$ es la solución retenida (SR) en (FL) y (FS).

Determinación del contenido de almidón de yuca por gravedad específica [14]. Concentración de sólidos suspendidos por °Baume para almidones [15]. Determinación de humedad. Según método 7.003/84, 930.15/90 de la AOAC [16]. Dosificación de almidón dentro de medios complejos.

Se aplicó un diseño completamente al azar con 8 tratamientos, representados por la relación yuca molida: agua en 1:1, 1:2, 1:3, 1:4; 1:5, 1:6, 1:7 y 1:8 y 5 repeticiones. Como los tratamientos son una variable cuantitativa y mostró significancia el análisis de varianza para los datos de equilibrio $(X,\ N_X\ y\ Y,\ \ N_Y)$

se realizaron polinomios ortogonales para evaluarla respuesta lineal, cuadrática y cúbica. Con los polinomios se estimó la curva respuesta de los datos de equilibrio en función de los tratamientos y se obtuvo la mejor condición derivando la curva de regresión e igualándola a cero. Para el procesamiento y análisis de la información se utilizó como herramienta de ayuda el software estadístico SAS®.

RESULTADOS

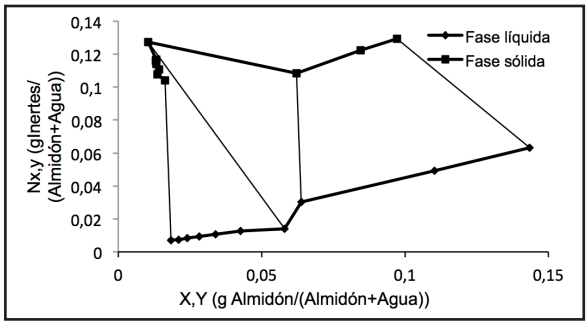
Almidón de yuca extraíble

El almidón extraído fue de 18±2% en la pulpa de yuca, rendimiento similar al reportado por Olusola *et al*. (2015) [17] quienes evaluaron el efecto de 4 genotipos de yuca obteniendo de 9,8 a 16,3%, Alarcon y Dufour (1998) [18] 29,5% y Velasco *et al*., (2008) [19] 17 a 25%. En otro tipo de tubérculo, Zárate-Polanco *et al*., (2014) [20] obtuvieron un rendimiento de 17,8% de almidón de papa, en arroz 69,5% [21] y 15,7% en el tubérculo *Pachyrhizus ahipa* [22].

Determinación de la curva de equilibrio

La extracción de almidón a partir de yuca molida usando agua como solvente se logró con la aplicación de un tiempo de contacto superior a los 5 segundos. Durante este periodo de contacto se garantizó que las dos fases alcanzarán el equilibrio antes de ser separadas; de tal forma, que se asegurara la máxima extracción de almidón en condiciones operativas [9]. Los polinomios ortogonales para las variables $X, N_X\ y\ Y$ fueron significativas (p=0,0001<0,05) para la respuesta lineal, cuadrática y cúbica a los tratamientos, mientras que la respuesta cúbica en $\mathbf{N_Y}$(p=0,097>0,05) no fue significativa (Ecuaciones 9-12). El modelo de cada variable está representado por las siguientes ecuaciones:

Figura 1. Puntos de equilibrio de extracción de almidón de yuca.



La curva de equilibrio de extracción de almidón de yuca está conformada por tres zonas delimitadas por la líneas de equilibrio de la fase sólida y líquida (figura 1): la zona uno que va desde el punto de equilibrio $X = 0{,}143537\ g/g$ correspondiente a 100 g yuca molida por 70 g de agua hasta el punto $X = 0{,}063814\ g/g$ a partir del cual inicia la zona dos, denominada de transición. Zona que se extiende hasta $X = 0{,}058008\ g/g$, donde empieza la tercera zona.

La primera zona se caracteriza por un arrastre progresivo del almidón a medida que aumenta la cantidad de agua y la proporción inerte/almidón es mayor que en relaciones posteriores, siendo está de 0,44 a 0,477 g de inertes/ g de almidón extraído. Esta zona es poco eficiente para la extracción de almidón. En la zona 2 los inertes lixiviados son de 0,24381 g inertes/g almidón en la fase liquida correspondiente a 100 g yuca molida por 300 g de agua. En esta zona la cantidad de sólidos totales arrastrados sigue aumentando, producto del aumento de los inertes con respecto a la solución retenida (almidón + agua) en la fase sólida, hasta un punto de máxima retención de los mismos desde donde la curva empieza a caer; a la vez que se observa una disminución en la curva de la fase liquida debido a la caída de los inertes, el aumento de almidón y agua en la solución. Este periodo de transición

$$X = 0.151831 - 0.0005346\,(Trat) + 0.0000008111\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 2) - 4.0\,x\,E^\wedge(-10)\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 3) \quad \text{(Ec. 9)}$$

$$N_X = 0.08402 - 0.000404\,(Trat) + 7.22\,x\,E^\wedge(-7)\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 2) - 4.0\,x\,E^\wedge(-10)\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 3) \quad \text{(Ec. 10)}$$

$$Y = 0.166569 - 0.000948\,(Trat) + 0.000001955\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 2) - 1.3\,x\,E^\wedge(-9)\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 3) \quad \text{(Ec. 11)}$$

$$N_Y = 0.125891 - 0.00004879(Trat) + 3.48\,x\,E^\wedge(-8)\,(\llbracket Trat \rrbracket\ ^\wedge 2) \quad \text{(Ec. 12)}$$

tiene gran importancia debido a que se alcanza la mayor cantidad de almidón extraíble $X = 17{,}0477\ g/g$ y la mínima de inertes, obteniéndose la mejor eficacia en cuanto a consumo de agua se refiere. En el último segmento correspondiente a la tercera zona, la curva de la fase sólida experimenta un cambio brusco, debido a la disminución progresiva de los inertes en los sólidos agotados con respecto a la solución retenida libre de inertes (N_Y) y la poca variación en la cantidad de almidón retenida en los sólidos; lo que explica que los (N_Y) bajen a valores de Y casi constantes. El rango de consumo de agua en esta zona es de 300 a 900 g por cada 100 g de yuca molida.

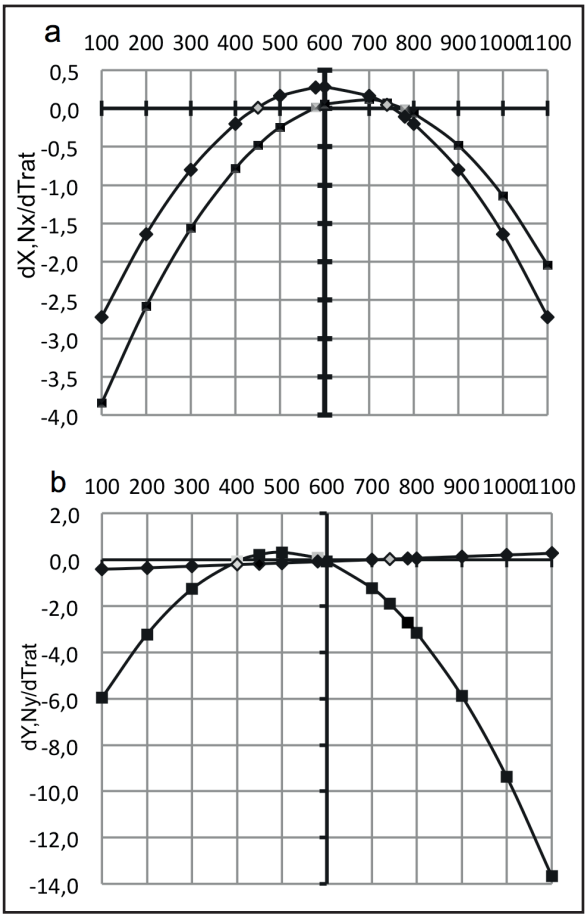
Determinación de la condición óptima

La condición óptima de la lixiviación para las variables $X, N_{X,}\ Y\ y\ N_Y$ permitió establecer cuál es la cantidad de agua optima para maximizar el almidón y minimizar los inertes en la fase liquida o corriente de extracción. Los valores óptimos en la región experimental se determinaron derivando el modelo de cada variable e igualando a cero con respecto al consumo de agua.

Las condiciones óptimas de extracción de almidón se encuentran en mezclas de 400 a 700 g de agua con 100 g de yuca molida en la fase liquida (Figura 2a), coincidiendo con la retención optima de inertes. Resultados similares fueron los obtenidos por Alarcon y Dufour (1998) [18] de 710 mL, Alfa Laval® (2000) [23] de 250 mL y Velasco *et al.*, (2008) [19] de 700 mL agua por cada 100 g de yuca molida. En la fase sólida las condiciones óptimas de retención de almidón se encuentran de 400 a 580 g de agua/100 g de yuca molida y de inertes en relaciones superiores a 740 g de agua/100 g de SR (Figura 2b) significando que se retiene una mayor cantidad de almidón en la primera condición y en la segunda mayor cantidad de inertes.

La mejor condición de extracción de almidón de yuca corresponde a relaciones superiores a 580 g agua e inferiores a 740 g agua/100 g yuca molida, considerando que la corriente de sólidos retiene la mayor cantidad de inertes y la corriente liquida (extracción) contiene la mayor concentración de almidón y menor de inertes, lo que contribuye con procesos posteriores de separación y purificación. Donde es mayor (0,039 g/g) la composición en almidón y menor (0,012 g/ g) la composición de inertes en la fase liquida y de

Figura 2. Condiciones óptimas de las variables (♦) N_X, N_Y, (■) X, Y.



450 g a 580 g de agua para valores (N_Y) de 0,012 y 0,0183 g inertes/g SR (Figura 2b).

CONCLUSIONES

La curva de lixiviación de almidón de yuca, no representa una curva típica, debido a que el almidón no es absorbido preferentemente por alguna de las dos fases (sólida o líquida), si no que depende de la fuerza de arrastre, el tiempo de contacto y la cantidad de agua suficiente para lograr el máximo arrastre. Para un porcentaje del 18 – 20% de almidón extraíble en una pulpa de yuca, la condición óptima está alrededor de 450 a 740 kg de agua/ kg de pulpa yuca alimentada. Durante el proceso de extracción de almidón de yuca debe mantenerse en la segunda fase de la curva de operación, para lograr tener la más alta eficiencia de extracción de almidón y el mayor ahorro en el consumo de agua.

REFERENCIAS

[1] LOMELÍ, M., KESTUR, S., MANRÍQUEZ, R., IWA-KIRI, S., BOLZON, G. and FLORES, T. Bio-composites of cassava starch-green coconut fiber: Part II—Structure and properties. Carbohydrate Polymers, 102(15), 2014, p. 576-583.

[2] TORRES-LOZADA, P., VALENCIA, Y. y CANCHALA, T. Modelación de la separación de Partículas no retenidas en la etapa de Sedimentación en canales: proceso de Extracción de almidón de yuca. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 12(2), 2014, p 81-89.

[3] ITALIA. FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION (FAO). Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets October 2015: FAO Trade and Markets Division. Roma (Italia): 2015.

[4] NAVIA-PORRAS, D., AYALA-APONTE, A. y VILLADA-CASTILLO, H. Efecto de la gelatinización de la Harina de yuca sobre las propiedades Mecánicas de bioplásticos. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 13(1), 2015, p. 38-44.

[5] FAYINMINNU, O., FADINA, O. and ADEDAPO, A. Screening of chemical compositions of crude water extract of different cassava varieties. Annals of West University of Timisoara, ser. Biology XV, 2013, p. 61-66.

[6] FALADE, K.O. and OKAFOR, C. A. Physicochemical properties of five cocoyam (*Colocasia esculenta* and *Xanthosoma sagittifolium*) starches. Food Hydrocolloids, 30(1), 2013, p. 173–181.

[7] SCHIRMER, M., HÖCHSTÖTTER, A., JEKLE, M., ARENDT, E. and BECKER, T. Physicochemical and morphological characterization of different starches with variable amylose/amylopectin ratio. Food Hydrocolloids, 32(1), 2013, p. 52–63.

[8] ROLLAND-SABATÉ, A. *et al*. Molecular and supra-molecular structure of waxy starches developed from cassava (*Manihot esculenta* Crantz). Carbohydrate Polymer, 92, 2013, p. 1451–1462.

[9] KARLSTRÖM, A., CALLE, F., SALAZAR, S., MORANTE, N., DUFOUR, D. and CEBALLOS, H. Biological Implications in Cassava for the Production of Amylose-Free Starch: Impact on Root Yield and Related Traits. Frontiers in Plant Science, 7, 2016, p. 1-8.

[10] MORANTE, N. *et al.* Discovery of new spontaneous sources of amylose-free cassava starch and analysis of their structure and techno-functional properties. Food Hydrocolloids, 56, 2016, p. 383–395.

[11] ENRÍQUEZ-COLLAZOS, M., VELASCO-MOSQUERA, R., FERNANDEZQUINTERO, A., PALACIOS, L. y RUALES-MADROÑERO, D. Desarrollo de un biomaterial a partir de almidón modificado de yuca, agente antimicrobiano y plastificante. Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(2), 2013, p. 111-120.

[12] PASCOAL, A.M., DI-MEDEIROS, C.B., BATISTA, K.A., LELES, M.I.G., LIÃO, L.M. and FERNANDES, K.F. Extraction and chemical characterization of starch from *S. lycocarpum* fruits. Carbohydrate Polymers, 98(2), 2013, p. 1304–1310.

[13] BRENNAN, J. Food Processing Handbook. 2 ed. Weinheim (Germany): Wiley, 2006, 826 p.

[14] INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE (ISI). Determination of Baumé of Starch Slurry by Aerometer [online]. 1999. Disponible: http://www.starch.dk/isi/methods/34be.htm. [citado 26 de mayo de 2013].

[15] INTERNATIONAL STARCH INSTITUTE (ISI). Determination of Starch in Tubers by Under Water Weight [online]. 1999. Disponible: http://www.starch.dk/isi/methods/13starch.htm. [citado 26 de mayo de 2013].

[16] ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). Official Methods 930.15/90. Solids (total) and Moisture in Flour – Air Oven Methods: Official Methods of Analysis of AOAC International. Maryland (USA): 2004.

[17] OLUSOLA, A., ADEBIYI, O. and RIYAAD, K. Evaluation of new cassava varieties for adhesive properties. Starch/Stärke, 67, 2015, p. 561–566.

[18] ALARCON, F. y DUFOUR, D. Almidón Agrio de yuca en Colombia. Producción y recomendaciones. CIAT 1. Cali (Colombia): 1998.

[19] VELASCO, R., LUNA, W., MERA, J. y VILLADA, H. Producción de Dextrinas a partir de Almidón Nativo de Yuca por Ruta Seca en una Agroindustria Rural. Información Tecnológica, 19, 2008, p. 15-22.

[20] ZÁRATE-POLANCO, L., RAMÍREZ-SUÁREZ, L., OTÁLORA-SANTAMARÍA, N., PRIETO, L., GARNICA-HOLGUÍN, A., CERÓN-LASSO, M. y ARGÜELLES, J. Extracción y caracterización de almidón nativo de clones promisorios de papa criolla (*Solanum tuberosum*, Grupo *Phureja*). Revista Latinoamericana de la Papa 18, 2014, p. 1-24.

[21] LOUBES, M., BARRERA, G. and TOLABA, M. High-impact wet-milling: Effects of steeping conditions on rice starch attributes. Starch/Stärke, 16, 2016, p. 1–8

[22] DÍAZA, A., DINIA, C., VIÑA, S. and GARCIA, M. Starch extraction process coupled to protein recovery from leguminous tuberous roots (*Pachyrhizus ahipa*). Carbohydrate Polymers, 152, 2016, p. 231–240

[23] ALFA LAVAL. Equipment for Starch Production from Fresh Manioc Roots. Lund, Suecia: 1990.