

Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa

Thermal and structural characterization of starches from different potato varieties

Oscar Hernando Pardo C.^{1*}, Julio César Castañeda¹, César Armando Ortiz²

¹Químico de Alimentos, Magíster en Metalurgia y Ciencia de los Materiales. Docente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Química y Tecnológica de Alimentos (GQTA), Tunja, Boyacá. ²Físico, Magister en Física. Docente. Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia. Grupo de Investigación en Superficies, Electroquímica y Corrosión (GSEC). Tunja, Boyacá. *Autor para correspondencia: oscarhernando.pardo@uptc.edu.co, oskrhepa@hotmail.com

Rec.: 14.02.13 Acept.:17.12.13

Resumen

Utilizando análisis fisicoquímico, estructural y térmico, se evaluaron almidones de las variedades de papa Parda Pastusa (P), Tuquerreña (T), ICA Huila (IH), ICA Puracé (IP), ICA Única (IU), Criolla Latina (C) y R-12 (R), cultivadas en el departamento de Boyacá, Colombia. En cada una de ellas se determinaron los contenidos de ceniza y proteína siguiendo métodos de la AOAC, humedad utilizando un analizador, estructura cristalina mediante difracción de rayos-X (DRX) y propiedades térmicas utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC). Se encontraron diferencias significativas ($P < 0.05$) entre los contenidos de humedad en almidones. El almidón de la variedad IU presentó el mayor contenido de ceniza y el de la variedad T, el menor. Los difractogramas mostraron para todas las variedades patrones de cristalinidad tipo B; no obstante el almidón de las variedades IP, P, IU, T y IH presentó un patrón más cristalino que el de las variedades C y R. Los termogramas de los almidones mostraron el primer y segundo pico endotérmico, entre 123 y 163 J/g y entre 141 y 213.3 J/g, respectivamente, para las variedades IP, P, IU, T y IH; mientras que para los almidones de las variedades C y R estos valores fueron entre 68 y 77 J/g y entre 334 y 358 J/g, respectivamente.

Palabras clave: Almidones de papa, análisis fisicoquímicos, cristalinidad, gelatinización, .

Abstract

Physicochemical, structural and thermal analysis of different starch potato grown in Boyacá, Parda Pastusa (P), Tuquerreña (T), ICA Huila (IH), ICA Puracé (IP), ICA Unica (IU), Criolla Latina (C) and R-12 (R) were evaluated. Protein and ashes content were measured using AOAC methods; moisture was obtained by a moisture analyzer, crystal structure by X-ray diffraction (XRD) and thermal properties using differential scanning calorimetry (DSC). There are significant differences between starches ($p < 0.05$), grouping them into those with high and low moisture content. Starch IU variety had the highest ash content and the variety T, the smallest. For all samples, the diffractograms show patterns of crystallinity type B. However, the IP starch varieties, P, IU, IH and T show a better crystallinity than those standard varieties C and R. For IP varieties, P, IU, T and IH, the first and second, endothermic peak in the thermograms appear between 123-163 J/g, and 141-213.3 J/g, respectively, while for starch varieties and R and C is between 68-77 J/g and 334-358 J/g, respectively.

Keywords: Crystallinity, gelatinization, potato starches, physicochemical analysis.

Introducción

La papa contiene carbohidratos, proteínas, vitaminas como ácido ascórbico, sustancias fenólicas y ácidos nucleicos. La composición fisicoquímica tanto de la papa como la del almidón cambia según la variedad cultivada, la zona de crecimiento, la fertilización y el estado del ciclo de crecimiento de la planta (Liu *et al.*, 2007). El contenido de almidón en la papa varía entre 15% y 20% de su peso con un alto contenido de fósforo (0.08%) en comparación con almidones de otras fuentes (Li *et al.*, 2006). Este almidón es un polisacárido que conjuntamente con lípidos, proteínas y ácidos nucleicos, conforman las principales clases de moléculas biológicamente activas (Bailey y Bailey, 1998; Medina y Salas, 2008); además, es un factor importante en la elaboración de alimentos siendo materia prima en esta industria por sus características de baja temperatura de gelatinización, baja tendencia a retrogradarse, resistencia a la degradación enzimática (Sun *et al.*, 2006), bajo contenido residual de grasas y proteínas (< 0.5% de los gránulos) (Yusuph *et al.*, 2003). Adicionalmente, no tiene sabor a cereal y posee una alta viscosidad y capacidad para enlazarse con agua (Zaidul *et al.*, 2007), características que son directamente atribuidas a su estructura (Blennow *et al.*, 2003; Singh y Kaur, 2009).

El almidón se encuentra organizado en pequeños gránulos con tamaños y formas característicos, dependiendo de la especie botánica (Badui, 2006; Nikuni, 1982), que son insolubles en agua a temperatura ambiente y en la mayoría de solventes orgánicos (Boyer y Shannon, 1987). El tamaño del gránulo del almidón varía entre 10 y 100 μm de diámetro (Hoover, 2001) y es un factor determinante de su procesabilidad, ya que afecta la solubilidad y el poder de hinchamiento del granulo (Kaur *et al.*, 2002; Singh *et al.*, 2003). Las propiedades fisicoquímicas y funcionales del almidón y sus productos dependen de su naturaleza, morfología y estructura (Mali *et al.*, 2004; Mishray Rai, 2006; Patel y Seetharaman, 2006; Kaur *et al.*, 2007).

El almidón es una mezcla de amilosa y amilopectina, dos polisacáridos muy simila-

res (Li *et al.*, 2006). La amilosa es el producto de la condensación de D-glucopiranosas por medio de enlaces glucosídicos (1,4) que conforman largas cadenas lineales de hasta 5000 residuos (Hoover, 2001) con pesos moleculares hasta de 1 millón, es decir, que la amilosa es una α -D-(1,4)-glucano, cuya unidad repetitiva es la α -maltosa, la cual adquiere fácilmente una conformación tridimensional helicoidal, en la que cada vuelta de la hélice tiene seis moléculas de glucosa. Por su parte la amilopectina contiene ramificaciones unidas por enlaces α -D-(1,6), localizadas cada 15 - 25 unidades lineales de glucosa y su peso molecular es muy alto ya que las fracciones pueden alcanzar hasta 10^7 daltons (Whistler, 1976). En el almidón de papa, la amilopectina se encuentra entre el 70% y 80% en peso, independiente del tamaño de los gránulos. Estas características hacen que el almidón de papa sea una fuente valiosa para la obtención de biopolímeros funcionales para la ciencia de los alimentos y de los materiales (Blennow *et al.*, 2003; Singh y Kaur, 2009).

Para la caracterización de los almidones se utilizan diferentes métodos, entre ellos técnicas de rayos X (DRX, WAXD, SAXS) para evaluar la cristalinidad asociada con la amilopectina y la región amorfa asociada con la amilosa (Vermeulen *et al.*, 2004, 2005, 2006; Vandeputte *et al.*, 2003) y la morfología por microscopía electrónica de barrido MEB (Singh y Singh, 2001; Singh *et al.*, 2006; Nayouf *et al.*, 2003); para la identificación de las transiciones de fase y modificaciones del gránulo del almidón se utiliza la caracterización de las propiedades térmicas por calorimetría diferencial de barrido DSC (Singh y Singh, 2001; Liu *et al.*, 2007; Vermeulen *et al.*, 2006; Singh *et al.*, 2006; Rodríguez *et al.*, 2001).

El objetivo de este trabajo fue caracterizar y comparar almidones provenientes de diferentes variedades de papa cultivadas en Boyacá, Colombia, por medio de análisis fisicoquímicos, de cristalinidad y térmicos. Se espera contribuir al conocimiento de la cantidad y la calidad de los componentes de estos almidones, los cuales influyen en sus propiedades funcionales y en las aplicaciones con fines industriales.

Materiales y métodos

Para la obtención de los almidones se utilizaron muestras de papa de las variedades ICA Única (IU), ICA Huila (IH), ICA Puracé (IP), Criolla Latina (C), Parda Pastusa (P), Tuquerreña (T) y R-12 (R), entre 3 y 5 días después de la cosecha, las cuales fueron adquiridas en la central de abastos de la ciudad de Tunja-Boyacá.

Extracción del almidón. El almidón de las variedades se extrajo según la metodología propuesta por Aristizábal y Sánchez (2007) y fue sometido a secado por corriente de aire caliente durante 8 h a 40 °C antes de los análisis.

Análisis fisicoquímicos. El contenido de humedad de los almidones se determinó en un analizador OHAUS-MB23. El contenido de cenizas según el método directo AOAC 923.03 (1990) utilizando una mufla marca Terrigeno-L2. El contenido de proteína se determinó mediante el método AOAC 2001.11 (2002). Los datos obtenidos fueron sometidos a análisis de varianza (ANOVA) y la comparación de medias se hizo mediante la prueba Tukey. Los ensayos se realizaron por triplicado en un diseño factorial con un factor (variedad de papa) y un nivel de significancia $P < 0.05$, utilizando el programa estadístico SPSS versión 17.

Difracción de rayos-X (DRX). La difracción de rayos-X de los almidones se hizo en un difractómetro (XPert-PRO PANalytical), con un tubo de Cu a una potencia de 40 mA y 40 kV. Se utilizó la radiación $K\alpha-1$ del Cu, con un paso de 0.02°, equipado con el software X'pert highscore plus para la cuantificación de la parte cristalina y amorfa. Los datos fueron recolectados en un rango de 2θ a temperatura ambiente entre 5 y 50 °C. De cada una de las

muestras (variedades de papa) se pesaron 2 g de almidón que fueron acondicionadas a 6% de humedad antes del análisis y montadas en un soporte para muestras en polvo universal PANalytical.

Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Los análisis por DSC de los almidones se realizaron en un calorímetro SDT Q600 TGA/DSC TA Instruments, equipado con balanza y horno horizontal, con una capacidad de 200 mg de muestra, rango de temperatura desde ambiente hasta 1500 °C, termocupla de platino/platino-rodio, sensibilidad de 0.001°C y argón como gas de purga. El análisis se realizó en muestras de 11 ± 0.5 mg con un contenido de agua destilada del $78 \pm 1\%$, relación agua:almidón (4:1), con una rampa de calentamiento de 10 °C/min, desde 18 hasta 120 °C para las variedades de papa IH, IU, IP, P, T, y desde 18 hasta 140 °C para las variedades C y R.

Resultados y discusión

Análisis fisicoquímicos

Los análisis fisicoquímicos de los almidones provenientes de las diferentes variedades de papa aparecen en el Cuadro 1. Se observa que la variedad tiene efecto significativo ($P < 0.05$) en el porcentaje de humedad del almidón. Las variedades C, R y P presentaron contenidos similares de humedad en almidón, siendo más bajos que los contenidos en las variedades IU, IP, IH. Estos resultados permiten diferenciar ambos grupos de variedades por su contenido de humedad en almidón, una característica útil cuando se utilizan como

Cuadro 1. Análisis fisicoquímicos de almidón de las variedades de papa en estudio. Departamento de Boyacá, Colombia.

Variedades	Humedad		Cenizas		Proteína	
	%	Desv.	%	Desv.	%	Desv.
Criolla	5.967 a* \pm 1.47	0.153	0.409 a	0.034	0.345 a	0.013
R12	5.933 a \pm 1.12	0.115	0.394 a	0.035	0.295 b	0.009
Parda Pastusa	6.033 a \pm 1.46	0.153	0.358 a	0.060	0.289 a	0.008
ICA Huila	6.800 b \pm 0.84	0.100	0.384 a	0.098	0.339 a	0.010
ICA Puracé	6.783 b \pm 0.88	0.104	0.303 a	0.034	0.306 a	0.007
ICA Única	6.900 b \pm 0.42	0.050	0.443 a	0.009	0.362 b	0.044
Tuquerreña	5.830 b \pm 0.60	0.061	0.239 b	0.040	0.331 a	0.014

* Valores con letras iguales en una misma columna no difieren en forma significativa ($P > 0.05$), según la prueba de Tukey.

materia prima para la obtención de películas biodegradables.

El menor contenido de ceniza (0.239%) se halló con la variedad T ($P < 0.05$), resultados que coinciden con los encontrados por Singh y Kaur (2009), Yusuph *et al.* (2003), Alvani *et al.* (2011), Lim *et al.* (1994), Kasemsuwan y Jane (1995) quienes trabajando con almidones de papa, observaron contenidos de cenizas $>0,4\%$. Como se sabe el contenido de cenizas en almidón está relacionado directamente con el de fósforo, responsable del hinchamiento, de la estabilidad de la pasta y de la resistencia a la hidrólisis enzimática del almidón de papa (Singh y Kaur, 2009), por tanto, el almidón de la variedad IU mostró mayores ventajas para la industria de alimentos.

El contenido de proteína fue diferente entre variedades ($P < 0.05$) siendo menor en las variedades R12 e ICA Unica. Los almidones de las variedades R y P presentaron los menores contenidos de proteína, mientras que el almidón de la variedad IU presentó el valor más alto. Yusuph *et al.*, (2003) y Singh y Kaur (2009) hallaron resultados similares a los del presente estudio y menos 5% de gránulos compuestos por proteínas, en su mayoría responsables de la síntesis del almidón. El contenido de proteína de la papa es de gran importancia para la nutrición humana y constituye un producto ampliamente consumido por la población de menores recursos económicos. Además, desde el punto de vista industrial, la presencia de proteínas afecta las propiedades térmicas, de viscosidad y estabilidad del almidón.

Difracción de rayos X

La difracción mostró patrones de cristalinidad tipo B, propia de tubérculos, con señales en 5.5° (media), 9.9° (débil), 11.1° (débil), 14.4° (media), 17.2° (fuerte), 19.5° (media), 22.2° (media), 24° (media), 26.3° (débil) y 34.3° (débil) para el ángulo 2θ , presentando porcentajes de cristalinidad diferentes (Figura 1) los cuales se pueden interpretar como simetría hexagonal debido al empaquetamiento de doble hélice hidratada de la amilopectina (McPherson y Jane, 1999).

Se observa que los almidones de las variedades IU y P muestran una cristalinidad

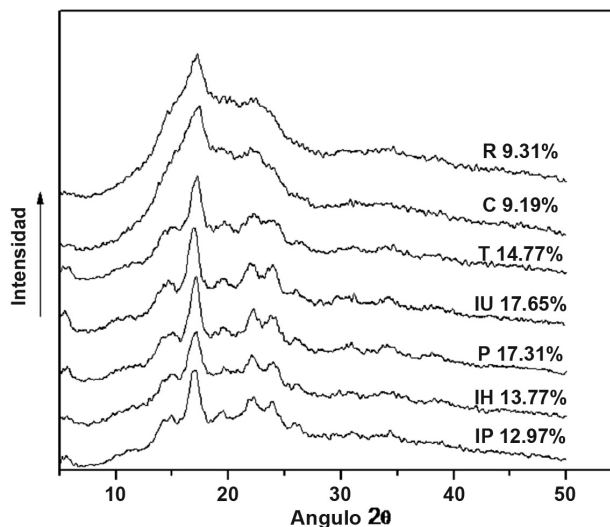


Figura 1. Difractogramas de almidón de diferentes variedades de papa, con el porcentaje de cristalinidad.

R: R-12, C: Criolla Latina, T: Tuquerreña, IU: ICA Única, P: Parda Pastusa, IH: ICA Huila, IP: ICA Puracé.

(%) mayor ($> 17\%$) que las demás variedades. Las variedades IP, IH y T presentan un cristalinidad similar entre 12% y 17% siendo las variedades C y R las que revelan menor valor ($< 10\%$). La cristalinidad en almidón está asociada con el contenido de amilopectina y la fase amorfa con la amilosa. En este estudio, el almidón de las variedades IP, P, IU, T e IH presenta contenidos similares de amilopectina y diferentes de los contenidos de amilopectina del almidón de las variedades C y R. La importancia de la caracterización de almidones radica en su utilidad en el momento de seleccionar la materia prima para la industria alimentaria, debido a la relación de sus componentes con el porcentaje de cristalinidad y sus efectos en la humedad, la dureza y el color del producto final.

Calorimetría diferencial de barrido (DSC).

Como se muestra en la Figura 2 el proceso de gelatinización presentó dos picos endotérmicos. El primero a una temperatura inicial (T_i) $< 70^\circ\text{C}$, la temperatura pico (T_p) donde se presenta la primera etapa máxima de absorción de energía no muestra diferencias entre los almidones, y en la temperatura final (T_f) los almidones presentan valores $< 90^\circ\text{C}$, lo que coincide con los hallazgos de Shiotsubo y Takahashi (1986). En el segundo pico endo-

térmico todos los almidones presentan una temperatura inicial (T_i) < 97 °C, temperatura pico (T_p) < 112°C y temperatura final (T_f) similar para los almidones de las variedades IU, IH, IP, T y P; no obstante las variedades C y R presentan diferencias con las demás, observándose un desplazamiento del segundo pico endotérmico hacia temperaturas mayores, resultados similares a los hallados por Montoya y Giraldo (2010). Lo anterior indica que la amilopectina se disoció aunque el hinchamiento de las estructuras granulares sólo sucede a temperaturas superiores (Figura 2).

Se puede observar que cuando el contenido de humedad disminuye, la temperatura de fusión de los cristales se desplaza hacia

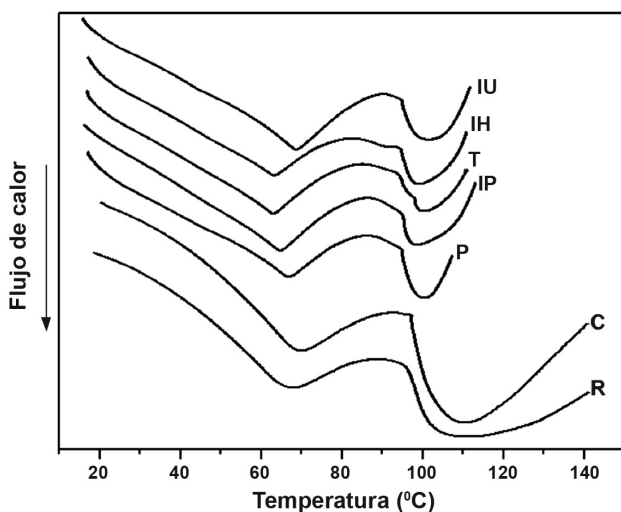


Figura 2. Termogramas por DSC de almidones de papa. IU: ICA Única; IH: ICA Huila; T: Tuquerreña; IP: ICA Puracé; P: Parda Pastusa; C: Criolla Latina; R: R -12.

mayores temperaturas, lo que coincide con los hallazgos de Rodríguez *et al.* (2001). La diferencia de temperatura entre T_i y T_f (entre 5 y 10 °C) indica que la heterogeneidad de los cristales de almidón es mayor (Wang y White, 1994).

La energía de gelatinización del primer pico endotérmico para los almidones de las variedades IP, P, IU, T y IH fue < 163 J/g y para el segundo pico < 214 J/g, mientras que para los almidones de las variedades de C y R fueron , respectivamente, < 77 J/g y para el segundo > 334 J/g (Cuadro 2).

En la medida que la temperatura aumenta, la muestra de almidón absorbe calor para producir la solubilización de la amilosa (parte amorfa), mientras que la parte cristalina se mantiene en la solución acuosa y a mayor temperatura se inicia la fusión de los cristales de amilopectina (Rodríguez *et al.*, 2001; Montoya y Giraldo, 2010; Tester y Debon, 2000). Este proceso coincide con la aparición de dos picos endotérmicos en el proceso de gelatinización, e indica que el primero corresponde a la solubilización de la región amorfa del gránulo (amilosa) ya que los enlaces de hidrógeno de esta estructura son muy débiles (Singh y Kaur, 2009; Tester y Debon, 2000), mientras que el segundo pico corresponde a la solubilización de la región cristalina (amilopectina).

Se observó que la temperatura pico (T_p), que indica la pérdida de la estructura cristalina de los gránulos de almidón, en los almidones de las diferentes variedades de papa no presenta diferencia para el primer

Cuadro 2. Propiedades térmicas de almidón de variedades de papa utilizando calorimetría diferencial de barrido (DSC). Departamento de Boyacá, Colombia.

Variedades	Primer pico endotérmico				Segundo pico endotérmico			
	T_i (°C)	T_f (°C)	T_p (°C)	ΔH (J/g)	T_i (°C)	T_f (°C)	T_p (°C)	ΔH (J/g)
ICA Puracé	54.35	87.5	65.48	138.2	94.88	112.0	99.66	213.3
Parda Pastusa	55.03	87.5	66.82	125.1	94.23	107.0	99.51	170
ICA Única	56.44	90.0	68.73	162.7	94.47	112.0	102.07	171.2
Tuquerreña	51.00	85.0	63.64	156.3	96.15	112.0	100.46	141.3
ICA Huila	50.10	82.0	63.54	123.7	93.89	112.0	99.63	164.1
Criolla Latina	59.48	92.0	69.89	68.05	96.97	145.0	110.58	357.7
R-12	54.21	90.0	66.88	76.53	95.78	152.0	110.02	334.5

T_i : Temperatura inicial, T_f : Temperatura final, T_p : Temperatura pico y ΔH : Entalpía de gelatinización.

pico endotérmico, pero sí para el segundo, lo que es más notorio en los almidones de las variedades C y R que aumentan su temperatura pico (T_p) en 10 °C, aproximadamente, en relación con los demás almidones.

Los almidones de las variedades C y R tienen menor porcentaje de cristalinidad (DRX), no obstante por DSC se observó que a mayor temperatura pico (T_p) su arreglo cristalino es más estable, lo que se comprobó con la alta energía de gelatinización (> 300 J/g) (Biliaderis, 1992). Lo anterior indica que estas variedades tienen mayor resistencia a la gelatinización, determinada por la mayor temperatura de transición del segundo pico endotérmico, el cual es afectado por la composición química del almidón (Barichello *et al.*, 1990). Estos resultados permiten establecer que los almidones de las variedades C y R tienen alta estabilidad térmica y potencial para uso en la industria de alimentos, ya que durante el proceso de esterilización se emplean temperaturas elevadas; mientras que los almidones de las variedades T, P, IH, IU, IP se pueden utilizar en productos de confitería.

Conclusiones

- Los contenidos de humedad, cenizas y proteína de las muestras de almidón estudiadas dependen de la variedad de papa.
- Se encontraron variaciones en humedad, contenido de minerales y proteína entre las variedades evaluadas.
- Por medio de análisis DRX se establecieron las diferencias entre los tipos de almidón de las variedades, mostrando señales características de almidón tipo B, propias de tubérculos
- Los almidones de las variedades de papa C y R presentan el menor grado de cristalización, lo que indica que esta técnica puede ser un método indirecto para determinar cualitativamente los contenidos de amilosa y amilopectina en estas variedades.
- Mediante la técnica DSC se estableció que los almidones de las variedades C y R presentan desplazamiento del segundo pico endotérmico hacia mayores temperaturas y entalpías de gelatinización mayores, por tanto estos almidones presentan estabilidad en su fase cristalina y en la composi-

ción química, factores que influyen en los parámetros térmicos.

Referencias

- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 1990. Direct method. Number 923.03.
- AOAC (Association of Official Analytical Chemists). 2002. Protein (crude). Number 2001.11.
- Alvani, K.; Qi, X.; Tester, R.F.; y Snape, C.E. 2011. Physico-chemical properties of potato starches. *Food Chem.* 125 (3):958 - 965.
- Aristizábal, J.; y Sánchez, T. 2007. Extracción de almidón de yuca. Guía técnica para producción y análisis de almidón de yuca. Roma, Italia: FAO. 7:49 - 57.
- Badui, S. 2006. Química de los Alimentos. Pearson Education. México D.F. p. 29 -1 06.
- Bailey, P.; y Bailey, C.A. 1998. Química orgánica: conceptos y aplicaciones. Prentice Hall Hispanoamericana. Naucalpan de Juárez, México.
- Barichello, V.; Yada, R. Y.; Coffin, R. H.; y Stanley, D. W. 1990. Low temperature sweetening in susceptible and resistant potatoes: starch structure and composition. *J. Food Sci.* 54:1054 - 1059.
- Biliaderis, C. G. 1992. Structures and phase transitions of starch in food systems. *Food Techn.* 6:98 - 109.
- Blennow, A.; Bay-Smidt, A. M.; Leonhardt, P.; Bandsholm, O.; y Madsen, H. M. 2003. Starch paste stickiness is a relevant native starch selection criterion for wet-end paper manufacturing. *Starch* 55:381 - 389.
- Boyer, C. D.; y Shannon J. C. 1987. Carbohydrates of the kerne. Corn: Chemistry and Technology. A. Stanley Watson & E. Paul Ramstad (eds.). St. Paul, Minnesota, EE.UU: American Association of Cereal Chemists. p: 254 - 271.
- Hoover, R. 2001. Composition, molecular structure, and physicochemical properties of tuber and root starches: a review. *Carbohydr. Polym.* 45:253 - 267.
- Kasemsuwan, T.; y Jane, J. 1995. Location of amylose in normal starch granules. II Location of phospho-diester cross-linking revealed by phosphorous-31 nuclear magnetic resonance. *Cereal Chem.* 72:169 - 176.
- Kaur, L.; Singh, N.; y Singh, S.N. 2002. Some properties of potatoes and their starches II. Morphological, thermal and rheological properties of starches. *Food Chem.* 79:183 - 192.
- Kaur, A.; Singh, N.; Ezekiel, R.; y Guraya, H. S. 2007. Physicochemical, thermal and pasting properties of starches separated from different potato cultivars grown at different locations. *Food Chemistry*, 101:643 - 651.

- Li, X.; Scanlon, M. G.; Liu, Q.; y Coleman, W. K. 2006. Processing and value addition. En: J. Gopal y A. M. P. Khurana (eds.). Potato production improvement and post-harvest management. Haworth Press. Nueva York. p. 523 – 555.
- Lim, S. T.; Kasemsuwan, T.; y Jane, J. L. 1994. Characterization of phosphorus in starch by ^{31}P nuclear magnetic spectroscopy. *Cereal Chemistry* 71:468 - 472.
- Liu, Q.; Tarn, R.; Lynch, D.; y Skjodt Neil, M. 2007. Physicochemical properties of dry matter and starch from potatoes grown in Canada. *Food Chemistry* 105:897 – 907.
- Mali, S.; Karam, L. B.; Pereira, L.; y Grossman, M. V. 2004. Relationships among the composition and physicochemical properties of starches with the characteristics of their films. *J. Agric. food che.* 52:7720 – 7725.
- McPherson, A. M.; y Jane, J. 1999. Comparison of waxy potato with other root and tuber starches. *Carbohydrates Polymers* 40:57 - 70.
- Medina J. A. y Salas, J. C. 2008. Caracterización morfológica del granulo de almidón nativo: Apariencia, forma, tamaño y su distribución. *Rev. Ing. Univ. Andes.* 27:56 - 62.
- Mishra S.; y Rai T. 2006. Morphology and functional properties of corn, potato and tapioca starches. *Food Hydrocolloids* 20:557 – 566.
- Montoya López, J. y Giraldo Giraldo, G. A. 2010. Caracterización físico-química de harina de trigo, masa y pan. *Rev. Invest. Univ. Quindío* 20:29 - 35.
- Nayouf, M.; Loisel, C.; y Doublier, J. L. 2003. Effect of thermomechanical treatment on the rheological properties of cross linked waxy corn starch. *J. Food Eng.* 59:209 – 219.
- Nikuni, Z. 1982. Studies on starch granules. *Die Starke* 30:105.
- Patel B.; y Seetharaman K. 2006. Effect of heating rate on starch granule morphology and size. *Carbohydrate polymers* 65:381 - 385.
- Rodríguez, P.; San Martín, M. E.; y González de la Cruz, G. 2001. Calorimetría diferencial de barrido y rayos-x del almidón obtenido por nixtamalización fraccionada. *Superficies y Vacío. Soc. Mex. de Cien. Superficies y Vacío.* 13:61 - 65.
- Shiotsubo, T.; y Takahashi, K. 1986. Changes in enthalpy and heat capacity associated with the gelatinization of potato starch, as evaluated from isothermal calorimetry. *Carboh. Res.* 158:1 – 6.
- Singh, N.; Singh, J.; Kaur, L.; Singh Sodhi, N.; y Singh Gill, B. 2003. Morphological, termal and rheological properties of starches from different botanical sources. *Food Chem.* 81:219 - 231.
- Singh, J.; y Kaur, L. 2009. Advances in potato chemistry and techonology. Academic Press, First edition, Elsevier Inc. 92 - 107.
- Singh, J.; McCarthy, O. J.; y Singh H. 2006. Physico-chemical and morphological characteristics of New Zealand Taewa (Maori potato) starches. *Carbohydrate Polymers.* 64: 569–581.
- Singh, J.; y Singh, N. 2001. Studies on the morphological, thermal and rheological properties of starch separated from some Indian potato cultivars. *Food Chem.* 75:67 – 77.
- Sun, T.; Lærke, H. N.; Jørgensen, H.; y Bach Knudsen, K. E. 2006. The effect of extrusion cooking of different starch sources on the in vitro and in vivo digestibility in growing pigs *Anim. Feed Sci. and Technol.* 131:66 – 85.
- Tester, R. F.; y Debon, S. J. J. 2000. Annealing of starch – a review. *Int. J. Biol. Macro.* 27:1 - 12.
- Vandeputte, G. E.; Vermeylen, R.; Geeroms, J.; y Delcour, J. A. 2003. Rice starches. I. Structural aspects provide insight into crystallinity characteristics and gelatinization behaviour of granular starch. *J. Cereal Sci.* 38:43 - 52.
- Vermeylen, R.; Goderis, B.; y Delcour, J. A. 2006. An X-ray study of hydrothermally treated potato starch. *Carbohydrate Polymers* 64:364 - 375.
- Vermeylen, R.; Goderis, B.; Reynaers, H.; y Delcour, J. A. 2004. Amylopectin molecular structure reflected in macromolecular organization of granular starch. *Biomacromolecules* 5:1775 - 1786.
- Vermeylen, R.; Goderis, B.; Reynaers, H.; y Delcour, J. A. 2005. Gelatinization related structural aspects of small and large wheat starch granules. *Carbohydrate Polymers.* 62:170 - 181.
- Wang, L. Z.; y White, P. J. 1994. Structure and properties of amylose, amylopectin and Intermediate materials of oat starches. *Cereal Chemistry* 71:263 - 268.
- Whistler, R. L. 1976. Starch chemistry and technology. Academia Press, Londres. p. 527.
- Yusuph, M.; Tester, R. F.; Ansell, R.; y Snape, C. E. 2003. Composition and properties of starches extracted from tubers of different potato varieties grown under the same environmental conditions. *Food Chemistry* 82:283 - 289.
- Zaidul, I. S.; Yamauchi, H.; Takigawa, S.; Matsuura-Endo, C.; Suzuki, T.; y Noda, T. 2007. Upland farming research station, National Agricultural Research Center for Hokkaido Region. Shinsei, Memuro, Kasai, Hokkaido 082-0071, Japón. Correlation between the compositional and pasting properties of various potato starches. *Food Chemistry.* 105:164 - 172.