

CARACTERIZACIÓN FÍSICOQUÍMICA DE TRES FUENTES SUBUTILIZADAS DE ALMIDÓN DE LA REGIÓN ANDINA DE BOLIVIA

Carmen Carla Quiroga Ledezma

Centro de Investigaciones Agrícolas y Agroindustriales Andinas CIAAA – PRODEM,
Universidad Privada Boliviana

ccquiroga@upb.edu

(Recibido el 18 de noviembre 2009, aceptado para publicación el 28 de diciembre 2009)

RESUMEN

Las características físicoquímicas de tres almidones nativos de la región Andina de Bolivia: Achira (*Canna edulis*), Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Jamachipeque (*Maranta arundinacea*), fueron investigadas. Las micrografías muestran que los gránulos de almidón de Achira son los más grandes, con tamaños entre 25 – 100 μm y formas regulares ovaladas, los gránulos de almidón de Arracacha y Jamachipeque son menores en tamaño, 2 - 20 μm y 4 - 15 μm , respectivamente, y tienen formas irregulares poliédricas, siendo el tamaño de los gránulos del almidón de Jamachipeque más homogéneo que el del almidón de Arracacha.

El almidón de Achira contiene niveles altos de amilosa y fósforo, 34.82 % y 0.0429 g de P/100 g de almidón. Los almidones de Arracacha y Jamachipeque tienen contenidos muy similares de amilosa y fósforo aunque menores a los del almidón de Achira, 15.13 % y 0.0232 g P/100 g de almidón de Arracacha y 14.03 % y 0.0205 g P/100 g de almidón de Jamachipeque. El contenido de humedad de los almidones nativos está entre 11.15 – 14.49 % y el contenido de cenizas entre 0.19 y 0.45 %.

Los difractogramas de rayos-X de los almidones muestran que los almidones de Achira y Arracacha presentan una estructura cristalina del tipo-B y el almidón de Jamachipeque una estructura cristalina del tipo-A.

El proceso de gelatinización de los almidones inicia a temperaturas bajas, siendo la temperatura de empaste del almidón de la Arracacha a 50.8 °C, Achira a 61.2 °C y Jamachipeque a 65.7 °C, y las viscosidades máximas de 1113.0 mPa.s, 1930.0 mPa.s y 341.8 mPa.s, respectivamente. El almidón de Achira muestra un mayor grado de retrogradación y el almidón de Jamachipeque una mayor estabilidad. Sin embargo, las curvas de flujo y viscosidad de las soluciones de almidón de Jamachipeque muestran un comportamiento Newtoniano con viscosidades bajas, a diferencia de las soluciones de almidón de Achira que muestra un comportamiento Pseudoplástico a concentraciones altas.

Palabras Clave: Achira - *Canna edulis*, Arracacha - *Arracacia xanthorrhiza*, Jamachipeque - *Maranta arundinacea*, Almidón Nativo, Raíces y Tubérculos Andinos

1. INTRODUCCION

El almidón es la reserva más importante de polisacáridos y el componente más abundante en muchas plantas. Este polisacárido es ampliamente usado, principalmente, en la industria de alimentos, del papel y química, ya sea como materia prima o como insumo. Las aplicaciones de este polímero natural son bastante amplias, se puede usar para mejorar la textura, dar cuerpo o volumen, retener agua, espesar, gelificar, ligar y estabilizar sistemas. Las propiedades físicoquímicas y características funcionales de los almidones varían de acuerdo a su origen botánico [1], [2].

Los principales componentes del almidón son polímeros de glucosa: Amilosa y amilopectina. La amilosa es esencialmente una molécula lineal, constituida por unidades de D-glucopiranosil unidas por enlaces α -(1,4), con un grado de polimerización (DP) en el rango de 500 – 600 residuos de glucosa. Se sabe que una fracción de las moléculas de amilosa es ligeramente ramificada y está unida por enlaces α -(1,6) [3], [4]. Por el contrario, la amilopectina es una molécula muy grande con cadenas ramificadas con un DP en el rango de $3 \cdot 10^5$ - $3 \cdot 10^6$, con unidades de D-glucopiranosil unidas por enlaces α -(1,4) y α -(1,6) [5]. La relación amilosa/amilopectina difiere entre los almidones de diferente origen botánico, pero los niveles típicos de amilosa y amilopectina están entre 25 – 28 % y 72 – 78 %, respectivamente. Sin embargo, los almidones de algunos genotipos mutantes de maíz, cebada, arroz y trigo contienen o un mayor contenido de amilosa (es decir, almidones con contenido de amilosa hasta un 70 %) o un mayor contenido de amilopectina (es decir, almidones cerosos con contenido de amilopectina de 99 - 100 %) [6].

Los almidones nativos y modificados de interés comercial provienen principalmente del trigo, maíz, arroz y papa, estos almidones han sido ampliamente estudiados en cuanto a su estructura y sus propiedades físicoquímicas [2], [7].

Sólo una fracción pequeña de los almidones son usados en su estado nativo debido a su baja resistencia al corte, resistencia térmica, descomposición térmica y alta tendencia a la retrogradación, que limitan su uso en algunas

aplicaciones industriales. La modificación de los almidones involucra la alteración de características físicas y químicas para mejorar sus características funcionales a través de modificaciones físicas, químicas, enzimáticas o genéticas [8], [9], [10].

Sin embargo, hoy en día, los consumidores están preocupados acerca del uso de diferentes tipos de almidones modificados para producción de alimentos y demandan alimentos naturales. Además, algunos países, como Bolivia, no tienen una producción local de almidones, a pesar de tener condiciones aceptables para hacerlo y un mercado que demanda estos productos [11]. Por eso, puede ser de gran interés caracterizar nuevas fuentes de almidón que podrían tener mejores características físicas y química que los almidones provenientes de fuentes tradicionales.

En la región Andina existen raíces y tubérculos ricos en almidón, cuyos cultivos están desapareciendo por la falta de mercado. Una caracterización adecuada de los almidones provenientes de estas raíces y tubérculos andinos permitirá identificar de mejor manera el tipo de aplicación industrial para el que podría usarse. En la literatura existe información acerca de las propiedades de gelatinización, tamaño de gránulo del almidón y la distribución de la longitud de la cadena de la amilopectina de los almidones de algunas raíces y tubérculos andinos, aunque la información necesita ser completada y verificada para aquellas que se cultivan en Bolivia [12], [13], [14], [15].

Es así que en este trabajo de investigación se estudió las propiedades fisicoquímicas de los almidones nativos de tres raíces y tubérculos andinos: Achira (*Canna edulis*), Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) y Jamachipeque (*Maranta arundinacea*), que permitieron la caracterización de los mismos en cuanto a su morfología, cristalinidad, propiedades de empaste, propiedades reológicas, composición amilosa – amilopectina, contenido de fósforo, sólidos totales, cenizas y humedad.

2. MATERIALES Y METODOS

2.1. Materiales

Los almidones nativos de Achira, Arracacha y Jamachipeque fueron gentilmente provistos por la Fundación Promoción e Investigación de Productos Andinos – PROINPA. Los reactivos utilizados en los diferentes análisis, grado P. A., fueron comprados en su totalidad de Sigma Aldrich y Merck.

2.2. Métodos

2.2.1. Caracterización morfológica

Se preparó una suspensión de almidón y se aplicó una delgada capa de la suspensión sobre un portaobjetos que posteriormente fue cubierto con un cubreobjetos. El portaobjetos fue transferido a un microscopio óptico, Microscopio UNICO G-400 (UNICO, Nueva Jersey, Estados Unidos de Norte América), y los gránulos de almidón fueron examinados a diferentes aumentos (4X, 10X, 40X y 100X). Posteriormente, las micrografías fueron procesadas estadísticamente para hallar las distribuciones de gránulo en las muestras de almidón.

2.2.2. Determinación del contenido de Amilosa y Amilopectina

Una cantidad de almidón (0.1 g) fue pesada con precisión y disuelta en 3 mL de dimetil sulfóxido (DMSO), en un baño de agua a 85 °C por 15 min. La solución fue diluida con agua destilada en un matraz aforado de 25 mL. Una alícuota (1 mL) de esta solución fue posteriormente diluida con agua destilada en un matraz aforado de 50 mL, a la que se añadió 5 mL de una mezcla de solución de yodo (0.0025 mol/L) y yoduro de potasio (0.0065 mol/L), la mezcla fue dejada en reposo por 30 minutos para que desarrolle color y, posteriormente, se procedió a la lectura de la absorbancia de la muestra a 600 nm, en un Espectrofotómetro Shimadzu UV-1601 (Shimadzu, Kioto, Japón). La celda utilizada fue de cuarzo con longitud de paso de luz de 1 cm.

La curva de calibración, absorbancia versus concentración de amilosa, se construyó en base a mezclas amilosa – amilopectina de papa, con contenidos de 0, 10, 25, 50, 75 y 100 % amilosa. Los espectros de absorbancia (270 - 900 nm) de las muestras, incluyendo los blancos de amilosa y amilopectina y el reactivo de yodo, fueron colectadas [16]. Las muestras de almidón se analizaron por triplicado y las concentraciones fueron expresadas en porcentaje en peso.

2.2.3. Determinación del contenido de Fósforo

Una muestra de almidón (0.5 – 1.5 g) y óxido de zinc (0.5 g) fueron pesados con precisión y calcinados a 525 °C por 4 h, la muestra calcinada se dejó enfriar hasta temperatura ambiente y se añadió 5 mL de agua destilada y 5 mL de ácido clorhídrico, calentando hasta ebullición por 5 min. La muestra fue filtrada, enfriada, neutralizada con hidróxido de potasio al 50 % y diluida con agua destilada hasta un volumen de 100 mL. En un matraz aforado de 50 mL, se pipeteo 10 mL de la solución tratada, 15 mL de agua y 20 mL de solución de molibdato – ácido ascórbico, el matraz fue calentado por 15 minutos en un baño de agua a ebullición. Las muestras fueron enfriadas y dejadas en reposo por 1 hora para que desarrolle color y, posteriormente, se procedió a la lectura de la absorbancia de las muestras a 823 nm, en un Espectrofotómetro Shimadzu UV-1601 (Shimadzu, Kioto, Japón). La celda utilizada fue de cuarzo con longitud de paso de luz de 1 cm.

La curva de calibración se construyó a partir de una solución estándar de fósforo (1 mg P/mL), preparándose muestras con diferentes contenido de fósforo, 0, 0.01, 0.02, 0.03, 0.04, 0.05 y 0.06 mg P [17].

Las muestras de almidón se analizaron por duplicado y la concentración de fósforo fue expresada en g de fósforo por 100 g de muestra de almidón.

2.2.4. Determinación del contenido de sólidos totales y humedad

Una muestra de almidón bien mezclada fue pesada con precisión (2 g) y calentada a 130 °C por 1 h. La muestra fue enfriada en un desecador y pesada de manera inmediata [18].

2.2.5. Determinación del contenido de cenizas

Una muestra de almidón fue pesada con precisión (3 – 5 g) e incinerada a 550 °C hasta que las cenizas estén de un color gris claro. La muestra fue enfriada hasta temperatura ambiente en un desecador y pesada [19].

2.2.6. Determinación del tipo de estructura cristalina

La estructura cristalina de los almidones fue estudiada con un difractómetro de rayos-X Miniflex II (Rigaku, Tokio, Japón) que fue operado a 30 kV y 15 mA. Se obtuvieron difractogramas, $3 \leq 2\theta \leq 80^\circ$, a una velocidad de barrido de 8°/min y un paso de barrido de 0.02°.

2.2.7. Determinación de las propiedades de empaste

Las propiedades de empaste de los almidones fueron estudiadas con un reómetro Physica MCR 300 (Physica Anton Paar, Stuttgart, Alemania), accesorio Starch Cell que incluye un termostato eléctrico y un agitador especial para evitar la sedimentación de los gránulos de almidón durante las pruebas.

Se prepararon suspensiones de almidón (5 % p/p), que fueron sometidas a un perfil de calentamiento: 30 - 30 °C por 5 min, 30 – 90 °C a una velocidad de calentamiento de 5 °C/min, 90 – 90 °C por 10 min, 90 – 50 °C a una velocidad de enfriamiento de 5 °C/min, 50 – 50 °C por 5 min.

2.2.8. Determinación propiedades viscoelásticas

Para estudiar las propiedades viscoelásticas de los almidones, se prepararon soluciones a diferentes concentraciones (1, 3 y 5 % p/p). El proceso de solubilización de los almidones se realizó a 120 °C y 1 h, dejándose enfriar las soluciones a temperatura ambiente por 1 h antes de realizar los estudios rotacionales (curvas de flujo y viscosidad) a 25 °C en un viscosímetro OFITE 900 (OFI Testing Equipment, Inc., Houston, Estados Unidos de Norte América).

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Caracterización Morfológica

3.1.1. Color y apariencia

Los almidones de Arracacha y Jamachipeque tienen un color blanquecino y una textura fina a diferencia del almidón de Achira que tiene un color café y una textura más granular. El color es un criterio importante de calidad. Para una mayor aceptabilidad, el almidón debe estar libre de coloraciones [20].

3.1.2. Forma y tamaño de gránulo

Las micrografías revelan que el tamaño de los gránulos del almidón de Achira es bastante diferente al tamaño de los gránulos de los almidones de Arracacha y Jamachipeque, y que los gránulos tienen formas particulares para cada uno de ellos, ver Figuras 1 y Tabla 1. Los histogramas muestran que el almidón de Jamachipeque tiene una distribución del tamaño de gránulo más homogénea que el del almidón de Achira y éste a su vez que el de la Arracacha, ver Figuras 2, 3 y 4.

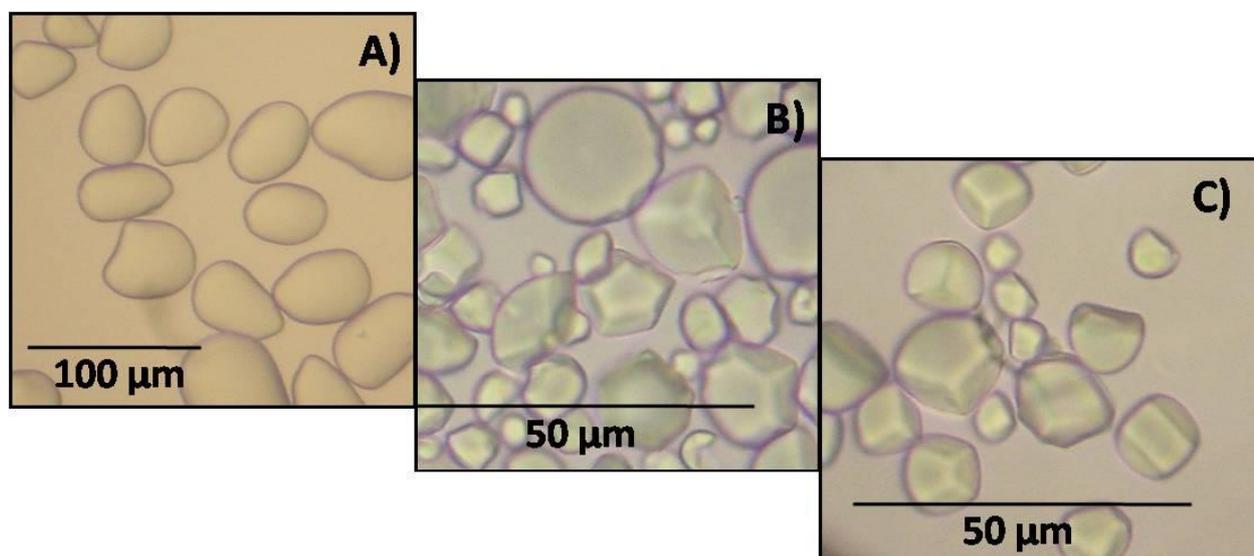


Figura 1 - Micrografía de gránulos de almidón: A) Achira; B) Arracacha y C) Jamachipeque.

TABLA 1 – MORFOLOGÍA DE LOS GRÁNULOS DE ALMIDÓN

Tipo de Almidón	Forma de Gránulo	Tamaño de Gránulo (µm)	Rango de Tamaño de Gránulo > 40% (µm)
Achira	Ovalada, regular	25 -100	50.0 - 62.5
Arracacha	Poliédrica, regular	2 – 20	5.0 – 8.0
Jamachipeque	Poliédrica, regular	4 – 15	5.8 – 8.0

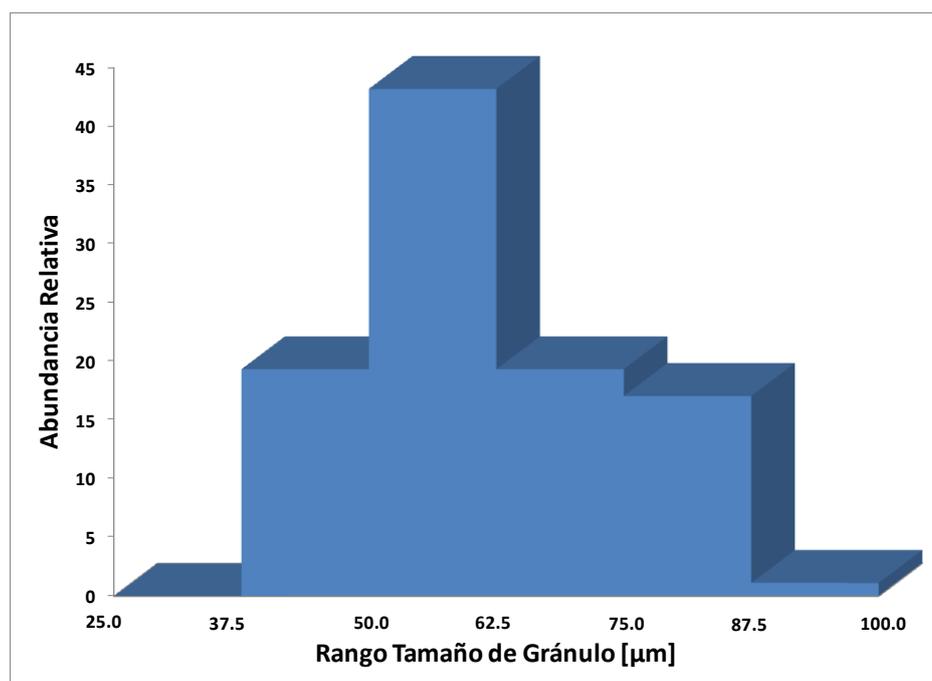


Figura 2 - Distribución del tamaño de gránulo del almidón de Achira.

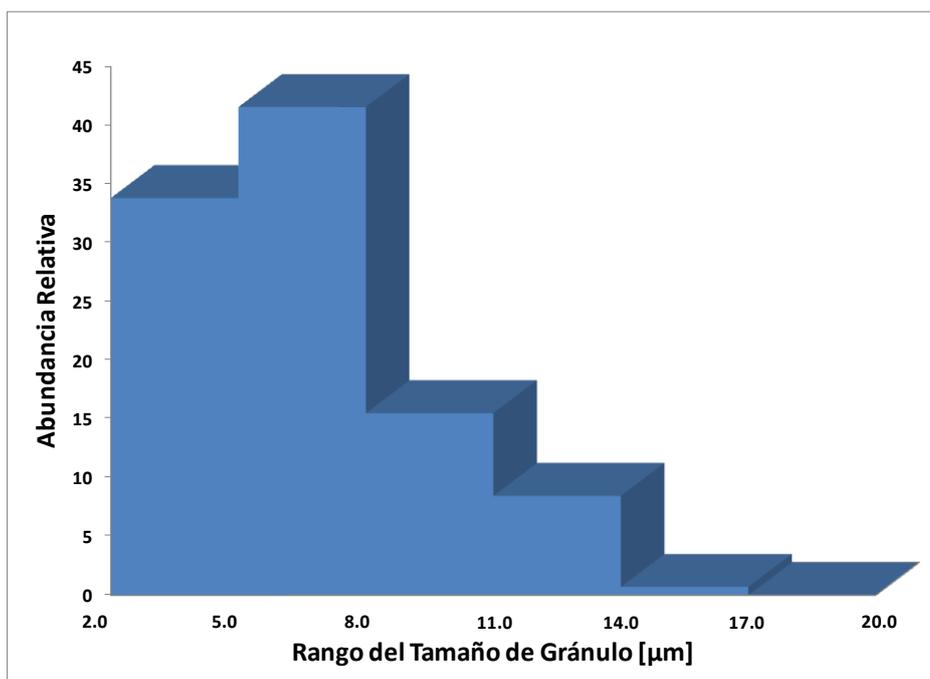


Figura 3 - Distribución del tamaño de gránulo del almidón de Arracacha.

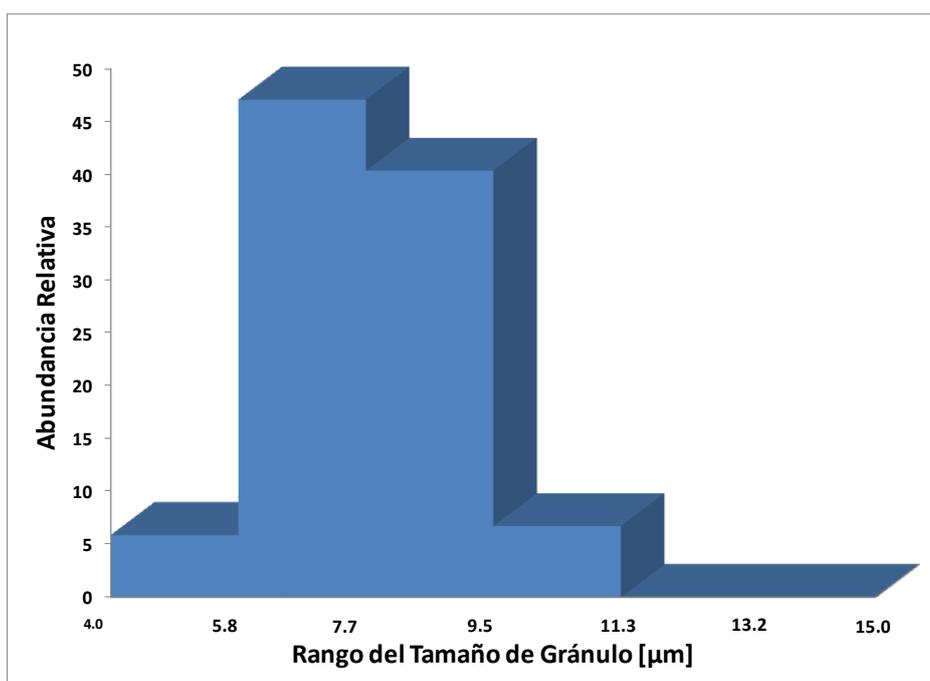


Figura 4 - Distribución del tamaño de gránulo del almidón de Jamachipeque.

Los gránulos del almidón de Achira tienen forma ovalada regular y son los más grandes, con tamaños entre 25 - 100 µm, tamaño comparable al tamaño de los gránulos de almidón de papa. Estos valores son bastante similares a los reportados en la literatura para esta especie cultivada en otras regiones de América Latina [14], [21].

Los gránulos del almidón de la Arracacha y Jamachipeque tienen forma poliédrica y tienen tamaños menores a los de la Achira, entre 2 - 20 µm y 4 - 15 µm, respectivamente. Los gránulos del almidón de Jamachipeque son más homogéneos en tamaño y forma. Los valores de tamaño de gránulo de almidón de la Arracacha son menores a los reportados en la literatura [14], [22]. No hay información disponible para los gránulos de almidón del Jamachipeque.

La superficie de los gránulos de almidón es lisa y no presenta evidencias de fisuras, sugiriendo que durante el proceso de extracción del almidón, el mismo no sufrió daño alguno.

La diferencia en tamaño de gránulo entre los almidones estudiados, se reflejará en el poder de hinchamiento, solubilidad y digestibilidad de los mismos.

3.2. Determinación del contenido de Amilosa y Amilopectina

Los espectros de las mezclas de almidón – yodo, muestran tres picos principales: (1) 253 – 254 nm; (2) 322 – 324 nm; y (3) 555 – 617 nm (pico ancho), que es intenso para las muestras con mayor contenido de amilosa.

La curva de calibración, absorbancia a 600 nm versus porcentaje de amilosa (0 - 100 % amilosa), es lineal y tiene un coeficiente de correlación de 0.9968, ver Figura 5.

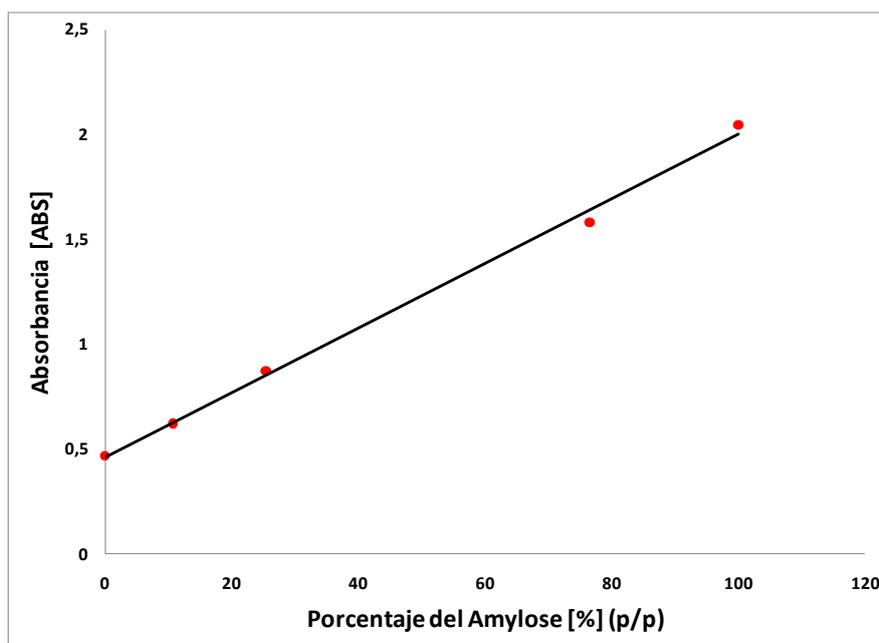


Figura 5 - Curva de Calibración, Absorbancia a 600 nm versus Porcentaje de Amilosa, para la determinación del contenido de Amilosa en muestras de almidón de Achira, Arracacha y Jamachipeque

El almidón de Achira tiene un mayor contenido de amilosa, 34.82 %, en comparación con los almidones de Arracacha y Jamachipeque que tienen un contenido de amilosa similar, 15.13 y 14.03 % respectivamente, ver Tabla 2. El valor del contenido de amilosa de la Achira es muy similar a los valores reportados para el almidón de Achira de Vietnam (37 % de amilosa) [6], aunque mayor a los reportados por otros autores [14, 24-25]. Para el almidón de Arracacha, el contenido de amilosa es similar a los reportados en la literatura, 17 % de amilosa [26], aunque otros autores reportaron valores bajos, 2-5 % de amilosa [14]. Estas diferencias se deben a que se utilizaron diferentes métodos analíticos para la determinación del contenido de amilosa.

No se encontró información sobre el contenido de amilosa en el almidón de Jamachipeque.

Los valores altos de amilosa en el almidón de Achira se reflejan en los valores altos de las propiedades de empaste y viscoelásticas. Durante el proceso de gelatinización, la amilosa es lixiviada del almidón, formando geles bastante viscosos que de manera inmediata empiezan a retrogradar, es decir recristalizar.

TABLA 2 – CONTENIDO DE AMILOSA Y AMILOPECTINA EN LAS MUESTRAS DE ALMIDÓN (en porcentaje)

Tipo de Almidón	Amilosa (%)	Amilopectina (%)
Achira	34.82	65.18
Arracacha	15.13	84.87
Jamachipeque	14.03	85.97

Nota: El valor del porcentaje de Amilosa corresponde al promedio de 3 determinaciones. El porcentaje de Amilopectina se calculó por diferencia *i.e.* 100 – porcentaje Amilosa.

3.3. Determinación del contenido de Fósforo

La curva de calibración, absorbancia a 823 nm versus contenido de fósforo, es lineal y tiene un coeficiente de correlación de 0.9999, ver Figura 6.

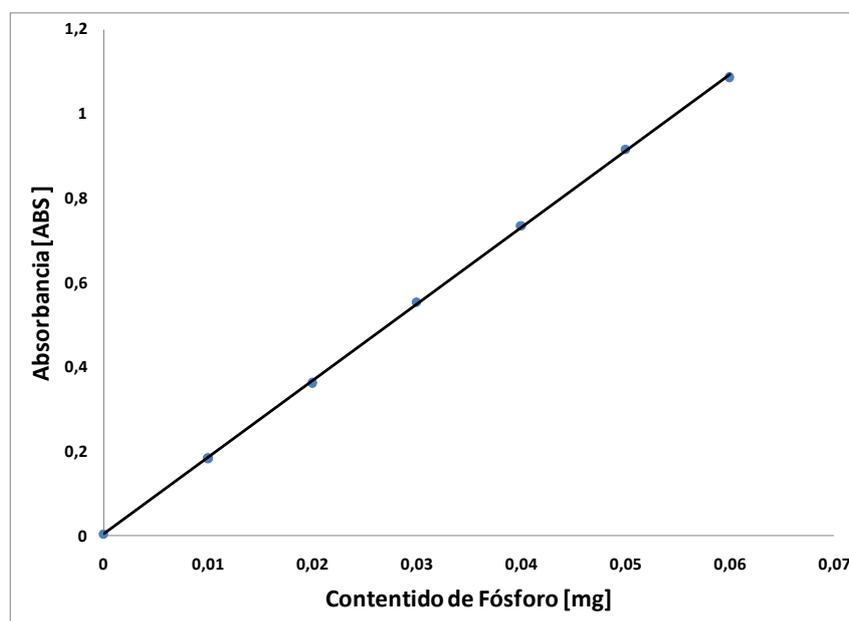


Figura 6 - Curva de Calibración, Absorbancia a 823 nm versus Contenido de Fósforo, para la determinación del contenido de Fósforo en muestras de almidón de Achira, Arracacha y Jamachipecque

El almidón de Achira tiene un mayor contenido de fósforo, 0.0429 g de fósforo por 100 g de almidón, casi el doble que el de los almidones de Arracacha y Jamachipecque, 0.0232 y 0.0205 g de fósforo por 100 g de almidón, respectivamente, ver Tabla 3. Estos valores están dentro del rango de los valores reportados por diferentes investigadores [20].

El contenido de fósforo en el almidón de Achira es incluso mucho mayor que el encontrado en el almidón de papa, impartiendo junto con la amilosa una mayor viscosidad y mejorando la fuerza del gel.

TABLA 3 – CONTENIDO DE FÓSFORO EN LAS MUESTRAS DE ALMIDÓN

Tipo de Almidón	Contenido de Fósforo (g P/100 g)
Achira	0.0429
Arracacha	0.0232
Jamachipecque	0.0205

Nota: El valor del contenido de Fósforo corresponde al promedio de dos determinaciones.

3.4. Determinación del contenido de sólidos totales y humedad

El contenido de sólidos totales y humedad de los almidones estudiados están dentro del rango esperado para almidones nativos, ver Tabla 4 y 5. El contenido de humedad de los almidones secos varía entre 6-16 %, dependiendo del proceso de secado usado. Mayores niveles de humedad puede llevar a un daño microbiano y subsiguiente deterioro de la calidad. El contenido de humedad para un almacenamiento seguro es de menos del 13 % [20].

TABLA 4 – SÓLIDOS TOTALES DE LOS ALMIDONES

Tipo de Almidón	Sólidos Totales (%)
Achira	88.85
Arracacha	87.97
Jamachipecque	85.51

Nota: Los valores del porcentaje de sólidos totales corresponde al promedio de dos determinaciones.

TABLA 5 – HUMEDAD DE LOS ALMIDONES

Tipo de Almidón	Humedad (%)
Achira	11.15
Arracacha	12.03
Jamachipecque	14.49

Nota: Los valores del porcentaje de humedad corresponde al promedio de dos determinaciones.

3.5. Determinación del contenido de cenizas

El almidón de Jamachipecque tiene un mayor contenido de ceniza que el almidón de Achira, y éste a su vez, que el almidón de Arracacha, 0.43, 0.26 y 0.19 % de cenizas, respectivamente, ver Tabla 6.

TABLA 6 – CONTENIDO DE CENIZA DE LOS ALMIDONES

Tipo de Almidón	Contenido de Ceniza (%)
Achira	0.26
Arracacha	0.19
Jamachipecque	0.43

Nota: Los valores del porcentaje de cenizas corresponde al promedio de dos determinaciones.

3.6. Determinación del tipo de estructura cristalina

Los patrones de difracción de rayos-X de los almidones de Achira y Arracacha, revelan una estructura cristalina del tipo-B, ver Figura 7 y Tabla 7, resultados que concuerdan con reportes anteriores [14, 25]. Este tipo de patrón de difracción es típico de los almidones de raíces y tubérculos, con un pequeño pico característico a 5.6 °, un pico único a 17 ° y un pico doble a 22 y 24 °.

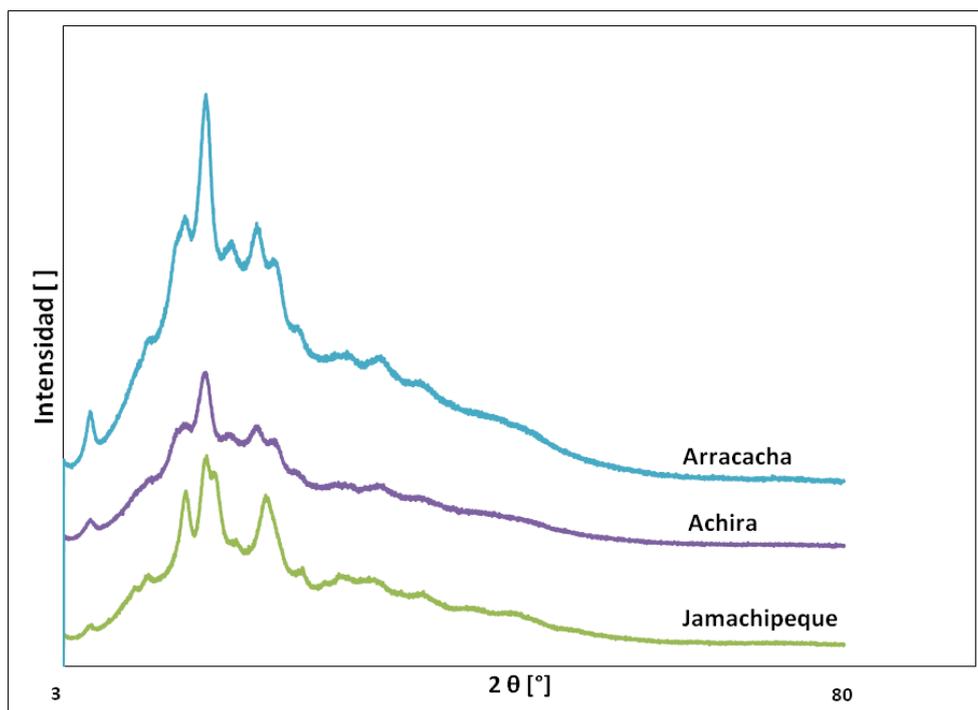


Figura 7 - Diffractogramas de los almidones de Achira, Arracacha y Jamachipecque.

El almidón de Jamachipecque despliega un patrón de difracción de rayos-X del tipo-A con un pico doble a 17 y 18 ° y un pico único a 23 °.

La estructura cristalina del tipo-A (el arreglo termodinámicamente más estable) tiene un arreglo de doble hélices densamente compactado, mientras la estructura cristalina del tipo-B (el arreglo preferido desde el punto de vista cinético) tiene un arreglo menos compacto y una mayor cantidad de agua inter-helicoidal. Por tanto, la transición del

tipo-B al tipo-A es posible a través de la re-acomodación de las hélices y la liberación de agua. Los cristales del tipo-A funden a mayores temperaturas que las del tipo-B.

TABLA 7 – DATOS DE LOS PATRONES DE DIFRACCIÓN DE RAYOS X DE LOS ALMIDONES ESTUDIADOS Y DE ALMIDONES CON ESTRUCTURAS CRISTALINAS TIPO A Y B COMO REFERENCIA

	Almidón Tipo A ^{a,b}		Almidón Tipo B ^{a,c}		Achira	Arracacha	Jamachipecque
	2 θ [°]	d[A]	2 θ [°]	d[A]	2 θ [°]	2 θ [°]	2 θ [°]
No Pico	$\lambda = 1,54$ [A]		$\lambda = 1,54$ [A]				
1			5,80	15,22	5,54	5,60	5,52
							9,96
					11,38	11,40	11,38
2	15,30	5,78	15,30	5,78	14,98	14,96	15,06
3	17,40	5,09	17,30	5,12	16,92	17,04	17,12
4	18,30	4,84					17,18
5			20,10	4,41	19,38	19,44	
6			22,70	3,91	21,94	22,06	
7	23,50	3,78			23,66	23,82	22,94
8			24,50	3,63			
9	26,40	3,37	26,90	3,31	25,64	25,98	26,54

Nota: ^aZobel (1988 a&b); ^bCheetham & Tao (1998); ^cCleven, van den Berg & van der Plas (1978) [27], [28], [29], [30]

3.7. Determinación de las propiedades de empaste

Las propiedades de empaste de las suspensiones de almidón de Achira, Arracacha y Jamachipecque, 5 % p/p, se muestran en la Figura 8 y la Tabla 8. Las curvas de empaste fueron observadas en el rango de gelatinización y viscosidad máxima de los almidones nativos.

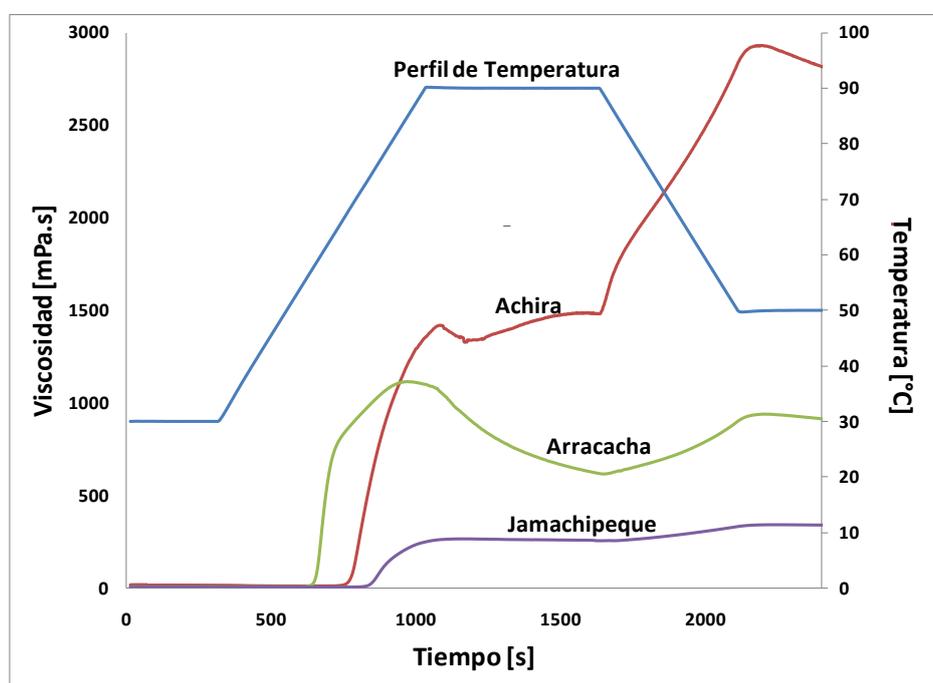


Figura 8 - Propiedades de empaste de los almidones nativos de Achira, Arracacha y Jamachipecque.

La temperatura de empaste del almidón de Arracacha, 50.8 °C, es menor a los de los almidones de Achira y Jamachipecque, 61.2 °C y 65.7 °C, respectivamente. Estos resultados se complementan con los resultados de los difractogramas de rayos-X, donde se observa que el almidón de Arracacha tiene un menor grado de cristalinidad, es decir que la estructura es más amorfa que cristalina y, por tanto, la cantidad de energía que se requiere para fundir los cristales es menor. En el caso del almidón de Jamachipecque, que tiene una estructura cristalina del tipo-A, los cristales funden a temperaturas mayores que los del tipo-B.

TABLA 8 – PROPIEDADES DE EMPASTE DE LOS ALMIDONES

Parámetro	Achira	Arracacha	Jamachipeque
Viscosidad Máxima [mPa.s]	2930.0	113.0	341.8
Tiempo de Viscosidad Máxima [s]	2198.0	9705.0	2246.0
Temperatura de Empaste [°C]	61.21	50.81	65.68
Tiempo de Empaste [s]	687.0	563.0	741.0
Viscosidad de Empaste [mPa.s]	9.3	8.7	7.3
Consistencia [mPa.s]	1326.0	616.0	249.1
Estabilidad [mPa.s]	1604.0	406.7	92.7
Viscosidad Final [mPa.s]	2920.0	937.2	341.6

El almidón de Achira tiene el pico mayor de viscosidad máxima, 2930.9 mPa.s y el almidón de Jamachipeque el pico menor, 341.8 mPa.s.. Este mismo comportamiento se observa para la viscosidad final de la solución, donde el almidón de Achira tiene una viscosidad de 2920.0 mPa.s y el almidón de Jamachipeque de 341.6 mPa.s.

También, se puede observar que las soluciones de almidón de Jamachipeque son más estables que las soluciones de los otros almidones nativos y presentan un menor grado de retrogradación, siendo las soluciones de almidón de Achira las que presenta mayor grado de retrogradación, que es lo que se esperarí considerando que tiene un mayor contenido de amilosa.

Las curvas de empaste muestran claramente que los almidones nativos en estudio presentan propiedades de empaste muy diferentes, por lo que las aplicaciones en la industria podrí ser diferentes.

3.8. Determinación de las propiedades viscoelásticas

Las curvas de flujo, fuerza de cizalla versus velocidad de cizalla (*shear stress versus shear rate*), y las curvas de viscosidad, viscosidad versus velocidad de cizalla (*viscosity versus shear rate*), muestran claramente que las soluciones a bajas concentraciones muestran un comportamiento Newtoniano pero, a concentraciones altas, muestran un comportamiento Pseudoplástico (*shear thinning*) que es típico de soluciones de polímeros, como es el caso de los almidones, ver Figuras 9 y 10.

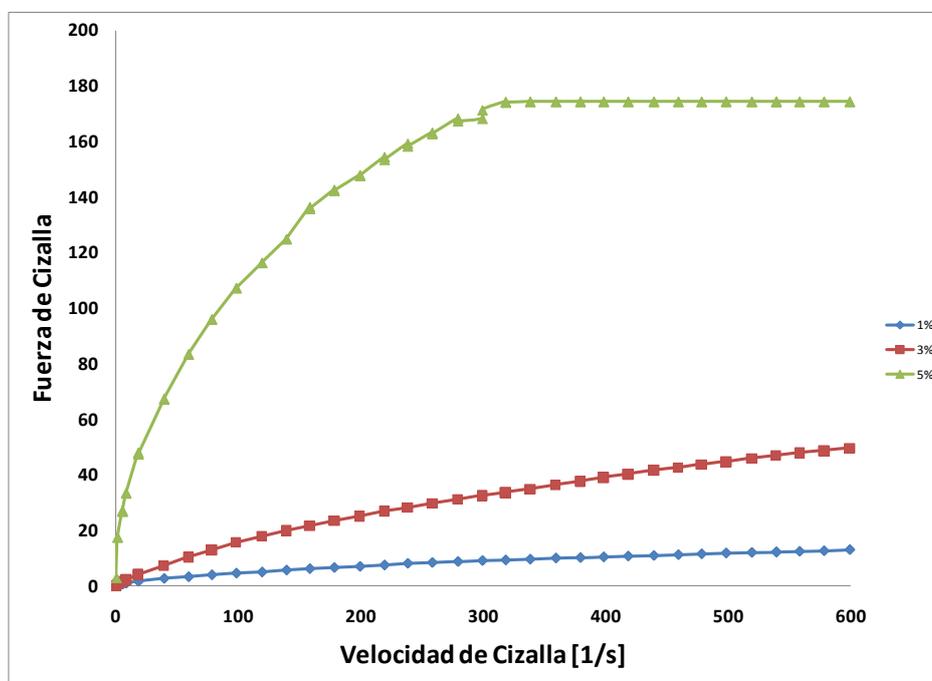


Figura 9 - Curva de flujo del almidón de Achira a diferentes concentraciones (1%, 3% y 5%).

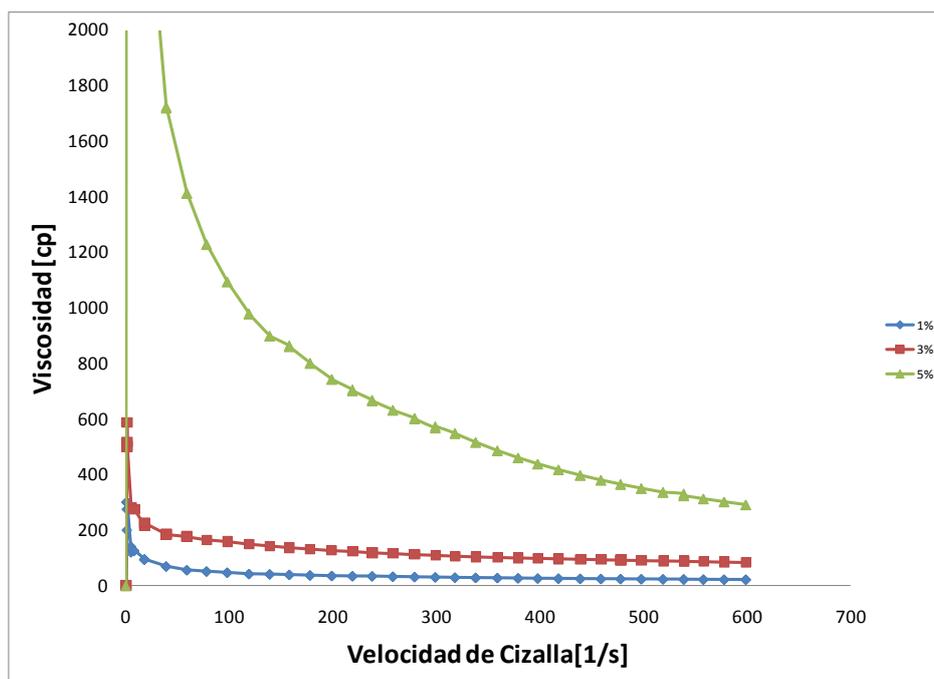


Figura 10 - Curva de viscosidad del almidón de Achira a diferentes concentraciones (1%, 3% y 5%).

Las soluciones de Achira presentan viscosidades mayores a las soluciones de los almidones de Arracacha y Jamachipeque, este último con viscosidades bajas y comportamiento Newtoniano incluso a concentraciones de 5 % p/p.

Al incrementar la concentración de almidón en las soluciones, también se incrementa la viscosidad, aunque este incremento es menor en las soluciones de Jamachipeque.

Estos resultados validan y complementan la información de los resultados de las curvas de empaste.

4. CONCLUSIONES

Los resultados de este estudio sobre los almidones de Achira, Arracacha y Jamachipeque revelan diferencias importantes entre ellos, como el tamaño de gránulo, contenido de amilosa y amilopectina, contenido de fósforo, tipo de cristalinidad, propiedades de empaste y propiedades viscoelásticas. La viscosidad alta del almidón de Achira podría ser útil en muchos alimentos y aplicaciones industriales, especialmente donde se requiere un poder de espesamiento alto. La viscosidad baja del almidón de Jamachipeque podría ser explotado en la industria del papel, donde se requieren viscosidades bajas y una buena capacidad de formación de una buena película. El tamaño pequeño de los gránulos de almidón del Jamachipeque y la Arracacha les permitiría ser usados como material de relleno en plásticos biodegradables. La claridad de las soluciones del almidón de Arracacha le permitiría ser usado también en aplicaciones alimentarias. La fácil gelatinización de los almidones nativos facilitaría la producción de productos hidrolizados derivados del almidón. Sin embargo, cada una de estas posibles aplicaciones deberán ser estudiadas a profundidad para ver si realmente es posible usarlas en ese tipo de aplicaciones en particular.

No obstante, las propiedades particulares de los almidones nativos estudiados podrían darles algunas ventajas respecto a los almidones modificados, o realizar modificaciones físicas, químicas y/o enzimáticas más simples. Un mayor conocimiento y difusión sobre sus usos potenciales puede incentivar al cultivo de estas raíces y tubérculos a gran escala y la extracción del almidón de ellos.

5. AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada con recursos del Fondo Financiero Privado PRODEM S.A.

6. REFERENCIAS

- [1] K. Svegmarm, and A. M. Hermansson. "Microstructure and rheological properties of composites of potato starch granules and amylose: A comparison of observed and predicted structure." *Food Structure*, vol. 12 1993, pp. 181–193.
- [2] J. J. M. Swinkels. "Composition and properties of commercial native starches." *Starch/Stärke*, vol. 37, 1985, pp. 1–5.
- [3] S. Hizukuri et al. "Multi-branched nature of amylose and the action of debranching enzymes." *Carbohydrate Research*, vol. 95, 1981, pp. 205–213.
- [4] K. Shibamura et al. "Molecular-structures of some wheat starches." *Carbohydrate Polymers*, vol. 25, 1994, pp. 111–116.
- [5] H. F. Zobel. "Starch crystal transformations and their industrial importance." *Starch/Stärke*, vol. 40, 1988, pp. 1–7.
- [6] P. Van Hung et al. "Waxy and high-amylose wheat starches and flours—characteristics, functionality and application." *Trends in Food Science & Technology*, vol. 17, 2006, pp. 448–456.
- [7] Y. Takeda and J. Priess. "Structures of B90 (sugary) and W64A (normal) maize starches." *Carbohydrate Research*, vol. 240, 1993, pp. 265–275.
- [8] H. Koch and H. Röper. "New industrial products from starch." *Starch/Stärke*, vol. 40, 1988, pp. 121–131.
- [9] R. G. Visser et al. "Some physicochemical properties of amylose-free potato starch." *Starch/Stärke*, vol. 49 1997, pp. 443–448.
- [10] A. M. Hermansson and K. Svegmarm. "Developments in the understanding of starch functionality." *Trends in Food Science and Technology*, vol. 7, 1996, pp. 345–353.
- [11] L. C. Quiroga. Informe 1: Estudio de Mercado de Almidones Nativos y Modificados, 2008.
- [12] A. Cortella and M. Pochettino. "Comparative morphology of starch of three Andean tubers." *Starch/Stärke*, vol. 47, 1995, pp. 455–461.
- [13] E. E. Pérez et al. "Gelatinisation profiles of peruvian carrot, cocoyam and potato starches as measured with the Brabender viscoamylograph, rapid visco-analyser, and differential scanning calorimeter." *Starch/Stärke*, vol. 50, 1998, pp. 14–16.
- [14] S. Santacruz et al. "Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador, Part I. Physicochemical characterisation." *Carbohydrate Polymers*, vol. 49, 2002, pp. 63–70.
- [15] S. Santacruz et al. "Three underutilised sources of starch from the Andean region in Ecuador, Part II. Rheological characterisation." *Carbohydrate Polymers*, vol. 51, 2003, pp. 85–92.
- [16] S. J. McGrance. "A Simple and Rapid Colorimetric Method for the Determination of Amylose in Starch Products." *Starch/Stärke*, vol. 50, 1998, pp. 158–163.
- [17] AOAC. Official Method 995.11, Phosphorus (Total) in Foods, Colorimetric Method. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*, 16th ed. Gaithersburg, Maryland, USA, 1997.
- [18] AOAC. Official Method 925.10, Solids (Total) and Moisture in Flour. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*, 16th ed. Gaithersburg, Maryland, USA, 1997.
- [19] AOAC. Official Method 923.03, Ash of Flour. *Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemists International*, 16th ed. Gaithersburg, Maryland, USA, 1997.
- [20] S. N. Moorthy. "Physicochemical and Functional Properties of Tropical Tuber Starches: A Review." *Starch/Stärke*, vol. 54, 2002, pp. 559–592.
- [21] E. M. Snyder. "Industrial microscopy of starches." R. L. Whistler, J. N. BeMiller & E. Paschall, *Starch – chemistry and technology* London: Academic Press, 1984.
- [22] D. Rodríguez et al. "Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)." *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.*, vol. 34, 2005, pp. 140–146.
- [23] J. Tovar et al. "Resistant starch formation does not parallel syneresis tendency in different starch gels." *Food Chemis.*, vol 76, 2002, pp. 455–459.
- [24] C. Mestres et al. "A rapid method for the determination of amylose content by using Differential Scanning Calorimetry." *Starch/Stärke*, vol. 48, 1996, pp. 2–6.
- [25] K. Thitipraphunkul et al. "A comparative study of edible canna (*Canna edulis*) starch from different cultivars. Part I. Chemical composition and physicochemical properties." *Carbohydrate Polymers*, vol. 53, 2003, pp.317–324.
- [26] D. Rodríguez et al. "Caracterización de algunas propiedades fisicoquímicas y farmacotécnicas del almidón de Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)." *Rev. Col. Cienc. Quím. Farm.*, vol. 34, 2005, pp. 140–146.
- [27] H. F. Zobel. "Starch Crystal Transformations and Their Industrial Importance." *Starch/Stärke*, vol.40, 1988a, pp. 1–7.
- [28] H. F. Zobel. "Molecules to Granules: A Comprehensive Starch Review." *Starch/Stärke*, vol. 40, 1988b, pp. 44–50.
- [29] N. W. Cheetham and L. Tao. "Variation in crystalline type with amylose content in maize starch granules: an X-ray powder diffraction study." *Carbohydrate Polymers*, vol. 36, 1998, pp. 277–284.
- [30] R. Cleven et al. "Crystal Structure of Hydrated Potato Starch." *Starch/Stärke*, vol. 30, 1978, pp. 223–228.