



RECIENA

Revista Científica Agropecuaria

COMPOSICIÓN QUÍMICA, MORFOLOGÍA Y PROPIEDADES TECNOLÓGICAS DE LOS ALMIDONES NATIVOS DE ORIGEN ANDINO: UNA REVISIÓN SISTEMÁTICA

Artículo de Revisión

CHEMICAL COMPOSITION, MORPHOLOGY AND TECHNOLOGICAL PROPERTIES OF NATIVE STARCHES OF ANDEAN ORIGIN: A SYSTEMATIC REVIEW

Mejía-Cabezas, Nora ¹; Zavala-Cuadrado, Alicia ¹; Samaniego-Maigua, Iván ²; Arguello-Hernández, Paola ^{1*}

Recibido: 15/08/2021 · Aceptado: 14/10/2021

RESUMEN

El almidón es el polisacárido alimenticio más importante, entre las fuentes no convencionales de obtención se encuentran los cultivos andinos. El objetivo del presente trabajo fue describir los resultados obtenidos de estudios publicados entre 2012 y 2021 sobre la composición química, morfología y propiedades tecnológicas de almidón obtenido de cultivos andinos (tubérculos, raíces y granos). Los artículos fueron obtenidos de bases de datos digitales ScienceDirect, Wiley Library Online, Springer y Scielo, utilizando palabras claves en función del objetivo. Luego de aplicar los criterios de inclusión y exclusión correspondientes, se trabajó con 10 artículos que mostraron resultados en términos de porcentajes de macronutrientes, mediciones de propiedades de gelatinización, viscosidad, absorción de agua, solubilidad, hinchamiento, sinéresis, y morfología de almidones obtenidos de tubérculos, raíces y granos cultivados en la región de los Andes. Se obtuvo información de 13 muestras de raíces y rizomas, 10 muestras de tubérculos y 7 muestras de granos. Después de organizar y discutir la información se concluye que el almidón nativo extraído de cultivos andinos, presenta una amplia variación en cuanto a la cantidad de amilosa y amilopectina, así como en las formas y tamaño de los gránulos. La composición química y morfología de los gránulos influye en las propiedades tecnológicas (gelatinización, de pasta, absorción de agua, solubilidad e hinchamiento), estas características definen su uso potencial.

Palabras clave: Almidón nativo, tubérculos, raíces, granos, propiedades tecnológicas, composición química.

ABSTRACT

Starch is the most important food polysaccharide, and Andean crops are one of the unconventional sources for its production. The objective of this work was to describe the results of studies published between 2012 and 2021 on the chemical composition, morphology and functional properties of starch obtained from Andean crops (tubers, roots, and grains). The articles were obtained from ScienceDirect, Wiley Library Online, Springer and Scielo digital databases, using keywords depending on the objective. After applying the corresponding inclusion and exclusion criteria, 10 articles that showed results in terms of percentages of macronutrients, measurements of gelatinization properties, viscosity, water absorption, solubility, swelling, syneresis, and morphology of starches obtained from tubers, roots and grains grown in the Andes region were chosen. Information was obtained from 13 root and rhizome samples, 10 tuber samples and 7 grain samples. With all the information organized and discussed, the final conclusion was that native starch extracted from Andean crops presents a wide variation in terms of the amount of amylose and amylopectin, as well as in the shapes and size of the granules. The chemical composition and morphology of the granules influence the functional properties (gelatinization, paste, water absorption, solubility and swelling). These characteristics defines their potential uses.

Keywords: native starch, tubers, roots, grains, functional properties, chemical composition

¹ Grupo de Investigación I.D.E.A., Facultad de Ciencias Pecuarias, Escuela Superior Politécnica de Chimbrazo, Riobamba, Ecuador

² Dept. Nutrición y Calidad, Estación Experimental Santa Catalina, Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias, Quito, Ecuador
p_arguello@esepoch.edu.ec

1. INTRODUCCIÓN

La Región Andina que incluye Colombia, Ecuador, Perú, Bolivia, Chile, Argentina y parte de Venezuela es una región físico-cultural. Estos países comparten características ambientales debido a la ubicación de la cordillera de Los Andes, una cadena de montañas de América del Sur comprendida entre los 11° de latitud N y los 55° de latitud S (FAO, 2014).

La zona montañosa Andina es fuente de una amplia diversidad de especies vegetales que se adaptan a condiciones ambientales no favorables. Las comunidades Precolombinas ampliaron la distribución de estos cultivos por los Andes y fueron adquirieron muchos nombres nativos y relevancia en la alimentación de la época (Sáenz, 2019).

La gran diversidad genética de los cultivos andinos, hace que también exista diversidad en su composición química en atención a la parte de la planta que se utiliza como alimento para el ser humano. Entre las partes comestibles de las plantas andinas destacan los tubérculos, raíces y granos (Hutagalung, 2007).

El almidón es el principal componente químico en las raíces, tubérculos y cereales (Tako et al., 2014). Este polisacárido, constituye la mayor fuente de energía para el ser humano en todo el mundo y es producido como reserva de las plantas (Bertoft, 2017; Lim, 2016). En dependencia de sus propiedades tecnológicas, el almidón es utilizado en diversas aplicaciones industriales como agente espesante, estabilizante coloidal, gelificante, así como agente de relleno y de retención de agua (Velásquez-Barreto & Velezmoro, 2018; Karakelle et al., 2020). Investigaciones realizadas en los últimos años en torno a las características de almidones obtenidos de cultivos andinos, considerados como fuentes no convencionales de este polisacárido de reserva, se han incrementado. Esta información resalta los potenciales usos de estos rubros agrícolas a nivel industrial.

El objetivo de esta revisión, es describir los resultados obtenidos de estudios publicados en el período comprendido entre los años 2012 al 2021, sobre la composición química, morfología y propiedades tecnológicas de almidón obtenido de cultivos andinos (tubérculos, raíces y granos), con la finalidad de orientar sus posibles aplicaciones industriales (Jiménez & Sammán, 2014).

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Fuentes de datos y estrategia de búsqueda

Las publicaciones científicas se recopilaron de las bases de datos: ScienceDirect, Wiley Library Online, Springer y Scielo, utilizando las palabras clave: “andes”, “andino”, “composición”, “propiedades” sumada la expresión “almidón nativo”.

Criterio de selección y de exclusión

Los artículos se seleccionaron con base en el cumplimiento de los siguientes criterios de inclusión: artículos en español e inglés publicados en los últimos 10 años (2012-2021), que presenten resultados cuantitativos referentes a composición fisicoquímica de almidones nativos de la Región Andina, sus propiedades tecnológicas y morfología.

Se excluyeron artículos con información sobre almidones modificados y almidones nativos de origen diferente a la Región Andina.

3. RESULTADOS

De un total de 97 artículos encontrados, 10 cumplieron con las condiciones establecidas en los criterios de inclusión. Se excluyeron 87 artículos con base en los criterios indicados en la metodología.

Los datos extraídos se organizaron en función del origen del almidón y el lugar de toma de muestra, seguido de la composición química, luego se presentan las propiedades tecnológicas, en las que se incluyeron propiedades reológicas, térmicas y de pasta. Esta información es presentada en tablas divididas en atención a la parte de la planta de donde se ha extraído el almidón: tubérculos, raíces y granos.

3.1. Origen del almidón

En la Tabla 1, se muestra la materia prima utilizada para la obtención del almidón del cual los investigadores analizaron la composición química y propiedades tecnológicas. Las muestras estudiadas provienen de localidades ubicadas en Perú (6), Argentina (3), Colombia (3), Bolivia (5) y Ecuador (1). Los productos corresponden a tubérculos (oca, olluco, papa, papalisa, mashua), rizomas (achira, arracacha) y raíces (maca) y granos (quinoa, amaranto, canihua). Los autores Castanha et al., 2018 ; Londoño-Restrepo et al., 2018; Cruz et al., 2016 y Valdez-Arana et al., 2020 incluyeron en sus estudios variedades cultivadas en el mismo lugar.

Tabla 1. Origen del almidón, nombre científico y descripción

Nombre común	Nombre científico/ Variedades	Localidad	País	Descripción	Fuente
Achira	<i>Canna indica</i> <i>Canna edulis</i> <i>Arracacia xanthorrhiza</i> <i>Bancrofti</i> /Variedades morada y amarilla	La Paz-El alto Loja	Bolivia Ecuador	Rizoma con un alto contenido de fibras y carbohidratos (principalmente en forma de almidón) y bajo contenido de proteínas, de origen sudamericano, prospera en el Altiplano generalmente unos 3800 metros s.n.m. Es de color blanquecino, con una forma irregular (Fuentes et al., 2019)	(Fuentes et al., 2019)
Arracacha	<i>Arracacia xanthorrhiza</i> /Variedades: amarilla, blanca y púrpura	Huaruz, Huancu Cajamarca Tolima Cajamarca Tolima	Perú Colombia Colombia	Arracacha es un género de unas 30 especies, siendo <i>Arracacia xanthorrhiza</i> el único cultivado. La <i>Arracacia xanthorrhiza</i> Bancrofti es posiblemente una de las plantas cultivadas más antiguas de los Andes, incluso antes de la domesticación de la papa (<i>Solanum tuberosum</i>). El nombre "arracacha" se deriva de la palabra quechua "racacha" y ha sido aceptado como un término estándar en varias literaturas, incluso en inglés, se usan otros términos para la arracacha, como "arraca" "zanahoria peruana" o la "chirivía peruana". Tiene forma irregular cónica y color blanquecino. (Rodríguez et al., 2015)	(Castanha et al., 2018) (Pinzon et al., 2020) (Londoño-Restrepo et al., 2018)
Maca	<i>(Lepidium meyenii)</i>	Tiquipaya - Cochabamba	Bolivia	Sus raíces hinchadas (hipocótilos) son ricas en almidón, azúcares, proteínas y minerales esenciales como el hierro y el yodo. Esta planta se encuentra a gran altura, y la mayoría de los cultivos crecen entre 3900 a 4100 msnm. Las raíces se consideran un manjar en los altiplanos de Perú y Bolivia. Existen ocho o más ecotipos diferentes en el área cultivada, que se distinguen según el color de la raíz, que puede ser amarillo, morado, blanco, gris, negro, amarillo / morado o blanco / morado. (Fuentes et al., 2019)	(Fuentes et al., 2019)
Mashua	<i>Tropaeolum tuberosum</i>	Arequipa	Perú	La mashua o cubio, es un tubérculo comestible originario de los Andes, bastante cultivado en Perú y Bolivia, mientras que, en Ecuador y Colombia, en menor escala. Es de color blanco amarillento, pero también existen variedades rojas y moradas, su tamaño va desde 7 cm hasta más de 30 cm. (Pacheco et al., 2019)	(Valcárcel-Yamani et al., 2013)
Oca	<i>Oxalis tuberosa</i> Molina <i>Oxalis tuberosa</i> Molina	Iruya provincia de Salta Otuzco-La libertad	Argentina Perú	Tubérculo amiláceo, de los más conocidos en la Región Andina, constituyendo un componente básico para la alimentación, presenta altas concentraciones de ácido oxálico y de una proteína de almacenamiento llamada ocatina (Morillo C. et al., 2019), con una forma elipsoidal, claviforme y cilíndrica, de 3 a 15 cm de largo por 3 cm de ancho, de aspecto rechoncho, con cogollos en toda la superficie y abigarrado en color: blanco, amarillo, rojo y púrpura. (Lim, 2016)	(Cruz et al., 2016) (Puelles-Román et al., 2021) (Valcárcel-Yamani et al., 2013)
Olluco	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Arequipa	Perú	Tubérculo domesticado en la región andina durante la era prehispánica. Se le conoce comúnmente como papa lisa, olluco o melloco. Su tamaño y forma pueden variar enormemente, generalmente son redondos o alargados, curvos o retorcidos y miden entre 2 y 6 centímetros de diámetro. Tienen una piel lisa, de color amarillo a naranja, cubierta de manchas rosadas. La pulpa amarilla es muy firme y crujiente con una textura acuosa y puede tener una consistencia algo viscosa. (Hell et al., 2017)	(Valcárcel-Yamani et al., 2013)
Papa	<i>Solanum tuberosum</i> ssp. Andigenum variedades: Cuarentona, Imilla, Rosadita, and Waycha	Provincia de Jujuy (Norte)	Argentina	Tubérculo perteneciente a la familia de Solanaceae, es uno de los cultivos alimenticios más importantes mundialmente, además de ser un alimento de alto valor nutricional, con poca grasa y un alto porcentaje de materia seca. Es un alimento rico en micronutrientes como vitaminas B1, B3 y B6, pero sobre todo vitamina C; también aporta una cantidad moderada de hierro, el cual es absorbido con mayor facilidad gracias a su alto contenido de vitamina C. (Porrás-Martínez, 2015)	(Cruz et al., 2016)
Papalisa	<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas	Iruya provincia de Salta	Argentina	Tubérculo conocido como olluco o melloco, procedente de la región andina, de tamaño variable, tiene una forma generalmente redonda o alargada, la papa lisa es curva o retorcida y mide entre 2 y 6 centímetros de diámetro. Tienen una piel lisa, de color amarillo a naranja, cubierta de manchas rosadas. La pulpa amarilla es muy firme y crujiente con una textura acuosa y puede tener una consistencia algo viscosa (Valcárcel-Yamani et al., 2013)	(Cruz et al., 2016)
Quinoa	<i>Chenopodium quinoa</i> / Variedad real <i>Chenopodium quinoa</i> <i>Chenopodium quinoa</i> /Variedades: Blanca de Hualhuas, rosada de Huancayo, Pasankalla	Cochabamba Junín	Colombia Bolivia Perú	Cereal de grano entero que se cultiva en todos los Andes, principalmente del Perú y Bolivia, desde hace más de 7.000 años por culturas preincas e incas, su mejor producción se consigue en el rango de 2500-3800 msnm con una precipitación pluvial anual entre 250 y 500 mm y una temperatura media de 5-14 °C. La quinoa se considera como el alimento más completo para la alimentación humana, posee gran cantidad de proteína, una forma redondeada, tamaño pequeño y color blanquecino. (Galwey et al., 1989)	(Contreras-Jiménez et al., 2019) (Fuentes et al., 2019) (Valdez-Arana et al., 2020)
Amaranto	<i>Amaranthus caudatus</i>	Cochabamba, Tiquipaya Municipality	Bolivia	Es una especie de grano nativa de la región andina. Crece en Ecuador, Perú, Bolivia y Argentina en zonas templadas y valles interandinos desde el nivel del mar hasta aproximadamente 3000 msnm. El amaranto andino no se ha adaptado fuera de su región nativa porque tiene sensibilidad a la luz del día. (Fuentes et al., 2019)	(Fuentes et al., 2019)
Canihua	<i>(Chenopodium pallidicaule)</i> ,	Tiquipaya - Cochabamba	Bolivia	Canihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>) es una planta estrechamente relacionada con la quinoa. Prospera en el Altiplano, por lo general a unos 3800 msnm. Por debajo de esta altitud, el cultivo predominante es la quinoa. El cultivo no se extiende mucho más allá de las fronteras de Bolivia y Perú. (Fuentes et al., 2019)	(Fuentes et al., 2019)

a. Composición química de almidones nativos

En las Tablas 2.1 y 2.2, se observa los datos reportados sobre la composición química de almidones obtenidos de las fuentes que se presentan en la Tabla 1. Los valores se colocaron como fueron reportados en las publicaciones correspondientes, media y desviación estándar o solamente como la media de los datos.

Los macro componentes reportados incluyen humedad ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BH})$), proteína, grasa, fibra y cenizas ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$). Con base en estos valores se calculó el ELN ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$) y cuando el componente fibra no fue analizado en las investigaciones se calculó el parámetro carbohidratos totales (carbohidratos digeribles y no digeribles). Estos productos fueron secados hasta alcanzar una humedad entre 6,29 y 14 ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$). La masa seca está compuesta por proteína cruda (0,11-1,18 $\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$); grasa cruda (0,002-0,95 $\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$); fibra (valores no identificados NI con el método usado por los autores hasta 1,55 $\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$); cenizas (0,1-2,32 $\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$).

La tabla incluye la cantidad de amilosa y amilopectina ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$) presente en el almidón. La amilosa varía en un rango de 12,71 - 92,30 ($\text{g}^*100\text{g}^{-1}(\text{BS})$), el complemento corresponde a amilopectina. Considerando que el contenido de fósforo en el almidón influye sobre la claridad y la viscosidad de las pastas de almidón y reduce la tasa de gelatinización y retrogradación (Nadia, 2014), algunos estudios han incluido la determinación de este mineral cuyos valores se encuentran entre 0,140-0,82 en mg de P/100g de almidón.

b. Propiedades tecnológicas y morfología

Las propiedades tecnológicas del almidón incluyen índice de absorción de agua, poder de hinchamiento, solubilidad, sinéresis, valores de viscosidad, gelatinización entre otras (Liu et al., 2015). En esta revisión se presentan dichas propiedades en términos de: absorción de agua, solubilidad, poder de hinchamiento, sinéresis evaluada a temperatura de refrigeración y congelación, pico de viscosidad, temperatura de inicio, pico y fin de gelatinización (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3), no todos los estudios midieron cada uno de dichos parámetros. En cuanto a la morfología del almidón se presentan datos de tamaño y forma del gránulo (Tablas 3.1, 3.2 y 3.3).

Los datos de absorción de agua varían entre 1,05 a 98 (g de agua/ g de almidón), valores obtenidos al realizar el ensayo usando temperaturas entre 25 y 90°C. Mientras que el porcentaje de solubilidad varió entre 0,8 hasta 75, parámetro medido a temperaturas entre 20 y 90°C. En cuanto al poder de hinchamiento los datos reportados oscilan entre 2,98 y 260 (g/g) medidos en un rango de temperatura de 30°C y 80°C. El pico de viscosidad (cP) se encuentra en el rango de 831 y 28500, y la temperatura asociada a este parámetro fue de 20 y 114°C. La gelatinización se reporta en función de la temperatura de inicio T_0 (49.8°C-65.6°C), temperatura de pico T_p (48.7°C-68.84°C), temperatura final T_f (53.5°C-77.54°C), se complementa con la variación de la entalpía (2.1-18.6 J/g).

Finalmente, la forma del granulo de almidón ha sido descrita usando los términos: ovoide, oval elíptica, poligonal redondeada, poliédrica, cilíndrica regular/irregular, irregular alargada, esférica. El tamaño del gránulo es reportado en función del diámetro, o del largo y ancho en μm .

Tabla 2.1. Composición química del almidón de rizomas y raíces

Almidón de	g*100g ⁻¹ (BH)					g*100g ⁻¹ (BS)					Referencias
	Humedad	Proteína Cruda	Grasa cruda	Fibra Cruda	Cenizas	ELnN	Carbohidratos totales	% amilosa	% Amilopectina	Fósforo (mg/100g)	
<i>Achira (Canna indica/Canna edulis)</i>	8,8±0,4	0,07 ± 0,01	-	-	-	-	99,93	92,31	7,69	0,433	(Fuentes et al., 2019)
<i>Arracacia (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) variedad Morada</i>	16,57 ± 0,65	0,33 ± 0,07	0,11 ± 0,02	4,54 ± 0,11	-	-	82,85 ± 0,83	28,59 ± 1,05	71,41 ± 1,78	-	(Quezada-Correa et al., 2021)
<i>Arracacia (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) variedad Amarilla A</i>	-	-	-	-	-	-	-	63,93	36,07	-	(Castanha et al., 2018)
<i>Arracacia (Arracacia xanthorrhiza Bancroft) variedad Amarilla B</i>	-	-	-	-	-	-	-	56,25	43,75	-	
<i>Arracacia (Arracacia xanthorrhiza) Común</i>	-	0,11	0,06	-	0,16	-	99,67	40,90	59,09	-	
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Cartagena</i>	-	0,14	0,05	-	0,12	-	99,69	41,26	58,73	-	
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Clon22</i>	-	0,12	0,03	-	0,1	-	99,75	52,23	47,76	-	(Pinzon et al., 2020)
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Yema de huevo</i>	-	0,12	0,03	-	0,15	-	99,7	43,49	56,50	-	
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) amarilla</i>	10,14	0,3	0,27	ND	0,32	-	99,11	45,22	54,78	0,82	
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) blanca</i>	10,05	0,39	0,31	ND	0,41	-	98,89	49,05	50,95	0,196	(Londoño-Restrepo et al., 2018)
<i>Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) púrpura</i>	10,01	0,24	0,83	ND	0,34	-	98,59	48,68	51,32	0,268	
<i>Maca (Lepidium meyenii)</i>	8,6±0,1	0,11 ± 0,03	-	-	-	-	99,89	35,13	64,87	0,207	(Fuentes et al., 2019)

Tabla 2.2. Composición química de tubérculos y granos

Almidón de	$g^{*}100g^{-1}$ (BH)		$g^{*}100g^{-1}$ (BS)										Referencias
	Humedad	Proteína Cruda	Grasa cruda	Fibra Cruda	Cenizas	ELnN	Carbohidratos totales	% amilosa	% Amitopectina	Fósforo (mg/100g)			
Mashua (<i>Lepidium meyenii</i>)	8,44	NI	0,02	NI	0,28	-	99,7	37,82	62,18	-	(Valcárcel-Yamani et al., 2013)		
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina)	14	0,58	0,15	-	0,24	-	99,03	28,87	71,13	-	(Cruz et al., 2016)		
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	13	0,6	0,2	-	0,16	-	99,04	50,60	49,39	-	(Puelles-Román et al., 2021)		
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina)	10,93	NI	NI	NI	0,15	-	99,85	38,12	61,88	-	(Valcárcel-Yamani et al., 2013)		
Olluco (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)	10,97	NI	0,08	NI	0,17	-	99,75	36,04	63,96	-	(Valcárcel-Yamani et al., 2013)		
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. Andigenum) variedad Cuarentona	16,3	0,29	0,24	-	0,48	-	98,99	38,12	61,88	-			
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. Andigenum) variedad Imilla	14,1	1,18	0,25	-	0,61	-	97,96	36,61	63,39	-			
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. Andigenum) variedad Rosadita	14,3	1,13	0,34	-	1,06	-	97,47	38,95	61,05	-	(Cruz et al., 2016)		
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> ssp. Andigenum) variedad Waycha	15,5	0,9	0,21	-	1,14	-	97,75	35,50	64,49	-			
Papa Lisa (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)	16,2	0,52	0,32	-	0,71	-	98,45	25,63	74,37	-			
Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>)	12,3±0,5	0,63 ± 0,04	-	-	-	-	99,37	13,63	86,36	-	(Fuentes et al., 2019)		
Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad real	9,56	0,1	0,35	-	-	-	99,55	18,58	81,42	0,130	(Contreras-Jiménez et al., 2019)		
Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Blanca de Hualhuas	11,18±0,10	0,71 ± 0,00b	0,60 ± 0,03b	1,55 ± 0,08a	1,37 ± 0,02c	95,77	-	18,13	81,87	-			
Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Rosada de Huancayo	10,60±0,03	0,58 ± 0,00c	0,93 ± 0,02a	1,15 ± 0,01b	1,53 ± 0,04b	95,81	-	16,72	83,27	-	(Valdez-Arana et al., 2020)		
Quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Paskanalla	10,60±0,11	0,73 ± 0,00a	0,95 ± 0,03 ^a	1,16 ± 0,01b	2,32 ± 0,00a	94,84	-	12,71	87,29	-			
Amaranto	9,3±0,3	0,15 ± 0,01	-	-	-	-	99,85	-	-	-	(Fuentes et al., 2019)		
Canihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>),	11,1±0,1	0,59 ± 0,03	-	-	-	-	99,41	25,00	75,00	-			

Tabla 3.1 Propiedades tecnológicas y morfológicas del almidón nativo de rizomas

Almidón	Absorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Sinéresis (%-días) 4°C	Sinéresis (%-18°C)	Pico de viscosidad cP	T Pico de viscosidad °C	To gelatinización	Tp Gelatinización	Tf gelatinización	MI (entalpía de gelatinización) J/g	Forma del granulo	Tamaño (µm)	Referencias
Achira (Canna indica/Canna edulis)	15,27 (g agua/g almidón) 90°C	4,54% /90°C	16,53 g water/g starch (90°C)	-	-	3535,50 ± 197,28	90	62,48 ± 0,05	65,28 ± 0,07	73,12 ± 0,18	14,14 ± 0,04	Ovoide	30 µm (D)	(Quezada-Correa et al., 2021)
Arracacia xanthorrhiza Bancroft variedad Morada	12 (g agua/g almidón) 60°C	**1% 50°C	-	0 (30 días)	-	6888 ± 25	49	61,5 ± 0,2	65,6 ± 0,2	70,0 ± 0,6	15,4 ± 0,2	Oval elíptica	50 ± 0,14 µm (D)	(Fuentes et al., 2019)
Arracacia xanthorrhiza Bancroft variedad Amarilla A	11,25(g agua/g almidón) 60°C	**0,8% 50°C	-	0 (30 días)	-	10708 ± 95	95	53,0 ± 0,6	57,8 ± 0,6	70,4 ± 0,6	6,1 ± 0,9 (J/g)	Cilíndrica irregular	11 µm ± 1(D)	(Castanha et al., 2018)
Arracacia xanthorrhiza Bancroft variedad Amarilla B	11,25(g agua/g almidón) 60°C	**0,6% 50°C	-	0 (30 días)	-	10833 ± 33	95	55,0 ± 0,5	58,9 ± 0,8	71,9 ± 1,8	7,1 ± 0,8 (J/g)	Cilíndrica irregular	10,5 µm ± 0,2(D)	(Castanha et al., 2018)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Común	-	-	-	-	-	10429 ± 221	95	54,9 ± 0,5	59,1 ± 0,4	73,9 ± 0,2	8,8 ± 1,3 (J/g)	Cilíndrica irregular	10,5 µm ± 0,1(D)	(Castanha et al., 2018)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Cartagena	-	-	-	-	-	899 ± 3	72	51,7	60,7	-	2,3	Ovoide	9,81 µm (D)	(Pinzon et al., 2020)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Clon22	-	-	-	-	-	841 ± 5	71	51,3	60,1	-	2,1	Polihédrica	10,11 µm (D)	(Pinzon et al., 2020)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza) Yema de huevo	-	-	-	-	-	960 ± 4	80	54,5	63,1	-	2,1	Ovoide	11,06 µm (D)	(Pinzon et al., 2020)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)/amarilla	-	-	-	-	-	838 ± 1	71	51,7	60,3	-	2,2	Ovoide	13,74 µm (D)	(Pinzon et al., 2020)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)/blanca	-	-	-	-	-	20500	77	55,27	60,03	63,99	-	Irregular alargada	4 a 12 µm	(Londoño-Restrepo et al., 2018)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)/púrpura	-	-	-	-	-	23000	82	56,21	60,4	63,74	-	Irregular alargada	4 a 12 µm	(Londoño-Restrepo et al., 2018)
Arracacha (Arracacia xanthorrhiza)/púrpura	-	-	-	-	-	28500	89	55,65	59,89	65,53	-	Irregular alargada	4 a 12 µm	(Londoño-Restrepo et al., 2018)

Tabla 3.2. piedras tecnológicas y morfológicas del almidón nativo de tubérculos y raíces

Almidón	Absorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Sinéresis (%-días) 4°C	Sinéresis (%-18°C)	Pico de viscosidad cP	Pico de viscosidad °C	To Gelatinización	Tp Gelatinización	Tf gelatinización	ΔH (entalpía de gelatinización) /J/g	Forma del gránulo	Tamaño (μm)	Referencias
Maca														
(<i>Lepidium meyenii</i>)	-	-	-	-	-	3956 ± 53	28	46,0 ± 0,1	48,7 ± 0,2	53,5 ± 0,4	13,6 ± 0,1	Oval elíptica	10 ± 3 μm (D)	(Fuentes et al., 2019)
Mashua (<i>Lepidium meyenii</i>)	98 lg agua/g almidón 90°C	51% (80°C)	180 (g/g) 80°C SP	negativo (1,2,3,4,5 días)	67,5% 5 día	6202 ± 140,71	89	51,85 ± 0,41	56,92	65,22	9,78	Estéricas u ovaladas	Largo entre 4,39 y 16,29 μm de largo y 4,07 a 13,09 μm de diámetro	(Valdércel-Yamani et al., 2013)
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina)	-	-	18	-	-	1602	37,5	55,9	60,8	-	17,7	Elíptica	29,90 μm (D)	(Cruz et al., 2016)
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i>)	-	10,4% (85°C)	25 (g/g) 80°C SP	-	-	26 055 ± 78	89	51,92	56,5	62,36	14,53	Ovales y elípticas	20 μm aproximadamente (largo)	(Puelles-Román et al., 2021)
Oca (<i>Oxalis tuberosa</i> Molina)	98 lg agua/g almidón 90°C	75% (80°C)	260 (g/g) 80°C SP	negativo (1,2,3,4,5 días)	72,5% 5 día	7175,25 ± 41,98	98	50,26 ± 0,30	55,17	63,91	9,66	Elipsoide y ovalados	Largo entre 7,99 y 54,30 μm y diámetros de 6,99 a 24,41 μm	(Valdércel-Yamani et al., 2013)
Olluco (<i>Ullucus tuberosus</i> Caldas)	90 lg agua/g almidón 90°C	64% (80°C) 70% 90°C	125 (g/g) 80°C	negativo (1,2,3,4,5 días)	70% 5 día	7782,75 ± 10,66	100	52,81 ± 0,52	58,93	67,88	10,23	Elipsoide y ovalados	Largo entre 6,45 a 32,64 μm y 5,68 a 23,18 μm de diámetro	(Valdércel-Yamani et al., 2013)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Cuarentona														
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Imilla	-	-	17,3	-	-	3152	62,5	58,3	63,2	-	18,7	Ovalada irregular	42,82 μm (D)	(Cruz et al., 2016)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Rosadita	-	-	17,6	-	-	1902	42,5	59,9	64,4	-	15,2	Ovalada irregular	39,29 μm (D)	(Cruz et al., 2016)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Papalisa	-	-	18,3	-	-	1741	39	60,3	65,5	-	18,6	Ovalada irregular	43,91 μm (D)	(Cruz et al., 2016)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Waycha	-	-	18,8	-	-	2198	41	59,4	63,7	-	14,8	Ovalada irregular	48,11 μm (D)	(Cruz et al., 2016)
Papa (<i>Solanum tuberosum</i> sp. Andigenum) variedad Papalisa	-	-	19,3 (g/g) T de ebullición SF	-	-	2037	43	58,3	62,7	-	18	Alargada parecida una coma	23,30 μm (D)	(Cruz et al., 2016)

Tabla 3.3. Propiedades tecnológicas y morfológicas del almidón nativo de granos

Almidón	Absorción de agua	Solubilidad	Poder de hinchamiento	Sinéresis (%-días) 4°C	Sinéresis (%-días) 18°C	Pico de viscosidad cp	T Pico de viscosidad °C	To Gelatinización	Tp Gelatinización	Tf gelatinización	ΔH (entalpía de gelatinización) J/g	Forma del gránulo	Tamaño (um)	Referencias
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>)	-	-	-	-	-	1382 ± 21	85°C	51,9 ± 0,3	59,2 ± 0,3	66,3 ± 1,2	11,4 ± 0,3	Poligonal redondeada	1,5 ± 0,3 um (D)	(Fuentes et al., 2019)
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad real	2,35 g agua/g muestra 30°C	4,56 % 30°C	2,98% 30°C	-	-	9529 ± 105	93°C	49,69	60,41	71,14	-	Redonda	Entre 30 to 70 um (D)	(Contreras-Jiménez et al., 2019)
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Blanca de Hualtuas	1,13 (g agua/g almidón)/25°C	-	-	-	-	4498 ± 36,00	88°C	62,18 ± 0,16a	68,08 ± 0,06b	75,71 ± 0,05b	8,66 ± 0,11c	Redonda	1,495 ± 0,20 um (D)	(Valdez-Arana et al., 2020)
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Rosada de Huancayo	1,05 ± 0,01 (g agua/g almidón)/25°C	-	-	-	-	4870 ± 35,00	90°C	62,45 ± 0,20a	68,84 ± 0,27a	77,54 ± 0,06a	9,79 ± 0,15a	Redonda	1,360 ± 0,15 um (D)	(Valdez-Arana et al., 2020)
Quinoa (<i>Chenopodium quinoa</i>) variedad Pasankalla	1,21 ± 0,01 (g agua/g almidón)/25°C	-	-	-	-	5233 ± 32,00	114°C	59,89 ± 0,20b	66,29 ± 0,17c	75,74 ± 0,00b	9,33 ± 0,06b	Redonda	1,075 ± 0,04 um (D)	(Valdez-Arana et al., 2020)
Amaranto (<i>Amaranthus caudatus</i>)	-	-	-	-	-	876 ± 2	38	59,4 ± 0,1	67,1 ± 0,8	76,3 ± 0,7	12,8 ± 0,2 (mJ/mg)	Poligonal redondeada	1,5 ± 0,3 um (D)	(Fuentes et al., 2019)
Camihua (<i>Chenopodium pallidicaule</i>)	-	-	-	-	-	1376 ± 3	90	49,8 ± 0,6	57,5 ± 0,10	65,5 ± 0,8	7,1 ± 0,1	Poligonal redondeada	1,0 ± 0,2 um (D)	(Fuentes et al., 2019)

4. DISCUSIÓN

La cantidad de agua que contiene el almidón está en dependencia del proceso de secado, el mismo que se describe en cada fuente bibliográfica. La pureza de extracción (cantidad de almidón), será mayor mientras exista menor cantidad de proteína, grasa, fibra y cenizas en el producto extraído. Los datos de las Tablas 2.1 y 2.2. al ser presentados en base seca permiten la comparación de los valores de cada macro componente entre las diferentes fuentes de almidón. Con base en esto, únicamente del trabajo realizado por (Valdez-Arana et al., 2020), se puede indicar que la pureza obtenida está entre el 94,84 y 95,81%, de las otras fuentes, no es posible definir el parámetro de pureza, debido a que no presentan información de la cantidad de macro componentes en el producto. En los casos que no se reportaron resultados del contenido de fibra, se calculó la cantidad de carbohidratos totales. Los valores superan en todos los casos el 99%, sin embargo, no puede ser leído como pureza.

La forma o método de aislamiento del almidón puede influir en su rendimiento y pureza (Mathobo et al., 2021). La pureza puede afectar las propiedades tecnológicas incluyendo las propiedades reológicas (Julianti et al., 2020; Bernardo et al., 2018). No existe una norma técnica de requisitos que indiquen los contenidos máximos de macro componentes del almidón (excepto el agua), en ninguno de los países de la Región Andina. La norma mexicana NMX-F-382-1986 (Secretaría de Comercio y Fomento Industrial, 1986) para almidón o fécula de maíz, establece el valor máximo de humedad en 13% y de proteína en 0,8% en base seca. Considerando esta referencia el almidón de Papa (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*) variedades Imilla y rosadita superan este límite. El contenido de proteína puede influir en la viscosidad del almidón, lo cual le conferirle una capacidad espumante (Vargas et al., 2016). En el trabajo desarrollado por Mathobo et al. (2021) la cantidad de proteína de almidones nativos de diferentes fuentes botánicas va desde 0,02 en frijol mungo (*Vigna radiata* L) hasta 2,3% en sorgo. En cuanto a grasa cruda Mathobo et al., (2021) observó un valor máximo de 0.80% en el este trabajo se presentan los valores 0,93% y 0,95% reportados por Valdez-Arana et al., (2020) (Tabla 2.2) para quinua (*Chenopodium quinoa*) variedad Rosada de Huancayo y Pasankalla.

Los resultados reportados por los autores citados en esta revisión demostraron que existe variación en los contenidos de nutrientes como las proteínas, grasa, fibra y cenizas en los almidones extraídos de los tubérculos, raíces, rizomas y granos; estas diferencias en la composición química de los almidones pueden atribuirse a diversos factores como; el tipo de cultivo, el procedimiento de estimación y las condiciones ambientales (Ashogbon, 2014).

Las variaciones en las propiedades tecnológicas del almidón también podrían ser causadas por el contenido de fósforo y de amilosa (Nadia, 2014). Lu et al., (2012) en su estudio con almidón de papa, llegaron a la conclusión que el contenido de

fósforo en el almidón de este tubérculo pareció ser un factor importante que afecta las propiedades reológicas, térmicas, estructurales y nutricionales de este almidón y del gel de almidón.

El almidón consta de una gran cantidad de dos polímeros de glucosa (amilosa y amilopectina. La amilosa contiene moléculas lineales, mientras que la amilopectina tiene una estructura muy ramificada (Karakelle et al., 2020). La amilosa interactúa con el yodo, los alcoholes orgánicos y los ácidos grasos. Los complejos formados suelen denominarse complejos de inclusión helicoidales. E complejo formado con los lípidos se denomina complejo amilosa-lípido (Joye, 2018), este tiende a reprimir el hinchamiento y la solubilización de los gránulos de almidón. por esta Para romper la estructura amilosa-lípido y solubilizar la fracción de amilosa es necesario mayor temperatura (>125 °C) (Montoya et al., 2014)

La comparación entre la amilosa y la amilopectina influye en gran medida en las propiedades funcionales, fisicoquímicas y adhesivas del almidón (Subroto et al., 2020). En el estudio realizado por (Mathobo et al., 2021) encontraron valores de amilosa entre 19 y 49,28%, mientras que en los almidones nativos andinos (Tabla 2.1 y 2.2) se observan valores desde 12,7% en quinua variedad Pasankalla hasta 50.6% en oca.

En cuanto a los parámetros presentados en la Tablas 3.1, 3.2 y 3.3, se observan gran variación entre cada fuente de almidón. Las variaciones en las propiedades funcionales del almidón podrían ser causadas por diferentes factores, tales como el tamaño del gránulo de almidón contenido de fósforo y de amilosa el complejo amilosa-lípido y la estructura de la amilopectina (Vargas et al., 2016).

La absorción de agua, el volumen de agua que puede ser absorbida por gramo de material seco en presencia de un exceso de agua; la solubilidad, indican la cantidad de almidón seco disuelto en agua; y el poder de hinchamiento, el grado de hinchamiento de los gránulos de almidón cuando son sometidos a calentamiento durante la cocción (Contreras-Pérez et al., 2018). Los valores reportados para los cultivos andinos considerados en este estudio varían notablemente. (Valcárcel-Yamani et al., 2013) obtuvieron 98 g agua/g almidón en almidones de olluco, oca y mashua, en contraste con (Contreras-Jiménez et al., 2019) y (Valdez-Arana et al., 2020) que en almidón de quinua determinaron valores de 1,05-2,35g de agua/g de almidón. Resulta importante indicar la temperatura a la cual fueron realizados los ensayos, los valores más altos fueron obtenidos a 90°C, y los otros entre 25 y 30°C. El mismo comportamiento tienen los datos de solubilidad y de poder de hinchamiento.

La sinéresis es la expulsión del agua, contenida en los geles como consecuencia de la reorganización de las moléculas de almidón, está puede ser evaluación a temperatura ambiente, de refrigeración y /o congelación (Granados et al., 2014).

Únicamente los autores Valcárcel-Yamani et al., (2013) y Quezada-Correa et al., (2021) analizaron este parámetro en los almidones de mashua, oca, olluco y achira. Los resultados fueron negativos a temperatura de refrigeración durante 30 días para el almidón de achira y durante 5 días para el almidón de mashua, olluco y oca, sin embargo, a temperaturas de congelación a los 5 días presentaron sinéresis arriba del 67%.

Entre las importantes características tecnológicas del almidón, se encuentran las propiedades de pasta. Cuando una suspensión acuosa de almidón se calienta por encima de una temperatura crítica, los gránulos se hinchan irreversiblemente y la amilosa se filtra a la fase acuosa, resultando en un aumento de la viscosidad (pasta) (Tsakama et al., 2010).

En las Tablas 3.1, 3.2 y 3.3. se observa los valores del pico de viscosidad y la temperatura a la cual se produjo este valor. Un pico de viscosidad mayor refleja la facilidad de los gránulos para hincharse libremente antes de romperse. El almidón de amaranto (Fuentes et al., 2019), papa variedad rosadita (Cruz et al., 2016), oca (Cruz et al., 2016) y maca (Fuentes et al., 2019), alcanzaron el pico de viscosidad a temperaturas menores a 40°C, mientras que el almidón de olluco (Valcárcel-Yamani et al., 2013) y el de quinua variedad Pasankalla (Valdez-Arana et al., 2020) superaron los 99°C.

El gránulo de almidón crudo no es digerible por el organismo humano siendo necesario transformarlo, entre los procesos que usan calor-humedad está la gelatinización (Pineda-Gómez, et al., (2010). La gelatinización del almidón es la alteración del orden molecular dentro del gránulo de almidón, la temperatura de gelatinización cambia para cada tipo de almidón (Palanisamy et al., 2020). Este proceso es endotérmico, requiere aproximadamente 10 J/g de almidón para efectuarlo, esto con base en ensayos de calorimetría diferencial de barrido (Martínez et al., 2016). La entalpía determinada en los estudios incluidos en este trabajo, presentan valores diferentes en dependencia de la fuente de almidón, incluso comparando entre datos de almidones provenientes del mismo origen. Según Pineda-Gómez et al., (2010) factores externos a gránulo de almidón también inciden en la temperatura de gelatinización, entre estos factores están: velocidad de calentamiento, cantidad de humedad, daño mecánico de los gránulos, la historia térmica de la muestra, condiciones de extracción del almidón. Como ejemplo, en el caso de la oca, la entalpía varía significativamente, Valcárcel-Yamani et al., (2013) reporta un valor de 9,66 (J/g), Puelles-Román et al., (2021) muestra un valor de 14,53 (J/g) y Cruz et al., (2016) un valor de 17.7 (J/g).

Finalmente, la morfología, el tamaño y las propiedades superficiales de los gránulos desempeñan un papel importante en la utilización alimentaria e industrial de los almidones (Alcázar-Alay & Meireles, 2015). Mathobo et al., (2021) indican que los gránulos de almidón comprenden anillos amorfos y semi cristalinos alternos, en su trabajo

se observa que los almidones de cereales, leguminosas y tubérculos varían en sus características granulares de forma, tamaño y distribución, reportan diferencias de tamaño de los gránulos de almidón (1-100 um de diámetro), forma (redonda, lenticular, poligonal), esto coincide con las formas de los gránulos de almidón de cultivos andinos.

En el trabajo de Seetharaman et al., (2001) titulado caracterización térmica y funcional de almidón de maíz argentino, encontraron una alta correlación entre las propiedades tecnológicas del almidón y el tamaño y distribución del gránulo. En cuanto al tamaño, el máximo diámetro que se reporta en la presente revisión es de 70um, en almidón de quinua (Contreras-Jiménez et al., 2019).

5. CONCLUSIONES

El almidón nativo extraído de cultivos andinos presenta una amplia variación en cuanto a la cantidad de amilosa y amilopectina, así como en las formas y tamaño de los gránulos. Esta diversidad no solamente se presenta entre diferentes fuentes botánicas sino también entre almidones aislados de la misma materia prima, pero de diferente variedad. La composición química y morfología de los gránulos influye en las propiedades tecnológicas (gelatinización, de pasta, absorción de agua, solubilidad e hinchamiento), estas características definen su uso potencial.

Declaración de interés
Ninguna.

Contribuciones de autor
Todos los autores contribuyeron por igual en el presente trabajo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alcázar-Alay, S. C., & Meireles, M. A. A. (2015). Physicochemical properties, modifications and applications of starches from different botanical sources. *Food Science and Technology*, 35(2), 215–236. <https://doi.org/10.1590/1678-457X.6749>
- Ashogbon, A. O. (2014). Physicochemical properties of bambarra groundnut starch and cassava starch blends. *African Journal of Food Science*, 8(6), 322–329. <https://doi.org/10.5897/ajfs2014.1168>
- Bernardo, C. O., Ramírez, J. L., & Hidalgo, D. W. (2018). Research Article Ultrasound assisted extraction of yam (. Starch, 7, 1–10.
- Bertoft, E. (2017). Understanding starch structure: Recent progress. *Agronomy*, 7(3). <https://doi.org/10.3390/agronomy7030056>
- Castanha, N., Villar, J., Matta Junior, M. D. da, Anjos, C. B. P. dos, & Augusto, P. E. D. (2018). Structure and properties of starches from Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*) roots. *International Journal of Biological Macromolecules*, 117. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.06.015>

- Contreras-Pérez, R. K., Torre-Gutiérrez, L. D. la, González-Cortés, N., & Jiménez-Vera, R. (2018). Caracterización funcional de almidones de plátano cuadrado (*Musa balbisiana* Colla). *European Scientific Journal*, *ESJ*, *14*(30), 82. <https://doi.org/10.19044/esj.2018.v14n30p82>
- Cruz, G., Ribotta, P., Ferrero, C., & Iturriaga, L. (2016). Physicochemical and rheological characterization of Andean tuber starches: Potato (*Solanum tuberosum* ssp. *Andigenum*), Oca (*Oxalis tuberosa* Molina) and Papalisa (*Ullucus tuberosus* Caldas). *Starch - Stärke*, *68*(11–12). <https://doi.org/10.1002/star.201600103>
- FAO. (2014). Cordillera de los Andes, una oportunidad para la integración y desarrollo de América del Sur.
- Fuentes, C., Perez-Rea, D., Bergenstahl, B., Carballo, S., Sjö, M., & Nilsson, L. (2019). Physicochemical and structural properties of starch from five Andean crops grown in Bolivia. *International Journal of Biological Macromolecules*, *125*. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.12.120>
- Galwey, N. W., Leahey, C. L. A., Price, K. R., & Fenwick, G. R. (1989). Chemical Composition and Nutritional Characteristics of Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd.). *Food Sciences and Nutrition*, *42*(4). <https://doi.org/10.1080/09543465.1989.11904148>
- Granados, C. C., Enrique Guzman, L. C., Acevedo, D. C., Díaz, M. M., & Herrera, A. A. (2014). Propiedades funcionales del almidón de sagu (*Maranta arundinacea*). *Biotecnología En El Sector Agropecuario y Agroindustrial*, *12*(2), 90–96.
- Heil, N., Bravo, K., Montoya, A., Robledo, S., & Osorio, E. (2017). Wound healing activity of *Ullucus tuberosus*, an Andean tuber crop. *Asian Pacific Journal of Tropical Biomedicine*, *7*(6), 538–543. <https://doi.org/10.1016/j.apjtb.2017.05.007>
- Hutagalung, A. (2007). Guía de campo de los cultivos andinos. In *Angewandte Chemie International Edition*, *6*(11), 951–952.
- Jiménez, M. E., & Sammán, N. (2014). Caracterización química y cuantificación de fructooligosacáridos, compuestos fenólicos y actividad antirradical de tubérculos y raíces andinos cultivados en el noroeste de Argentina. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*, *64*(2), 131–138.
- Joye, I. J. (2018). Starch. *Encyclopedia of Food Chemistry*, 256–264. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100596-5.21586-2>
- Julianti, E., Rusmarilin, H., Ridwansyah, E., & Yusraini, E. (2020). Effect of Isolation Methods on Physicochemical Properties of Purple-fleshed Sweet Potato Starch. *6*(4), 37–41. <https://doi.org/10.5220/0010079900370041>
- Karakelle, B., Kian-Pour, N., Toker, O. S., & Palabiyik, I. (2020). Effect of process conditions and amylose/amylopectin ratio on the pasting behavior of maize starch: A modeling approach. *Journal of Cereal Science*, *94*(February), 102998. <https://doi.org/10.1016/j.jcs.2020.102998>
- Lim, T. K. (2016). *Edible Medicinal and Non-Medicinal Plants*. Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-26062-4>
- Liu, C., Wang, S., Chang, X., & Wang, S. (2015). Structural and functional properties of starches from Chinese chestnuts. *Food Hydrocolloids*, *43*, 568–576. <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2014.07.014>
- Londoño-Restrepo, S. M., Rincón-Londoño, N., Contreras-Padilla, M., Millan-Malo, B. M., & Rodríguez-García, M. E. (2018). Morphological, structural, thermal, compositional, vibrational, and pasting characterization of white, yellow, and purple Arracacha Lego-like starches and flours (*Arracacia xanthorrhiza*). *International Journal of Biological Macromolecules*, *113*, 1188–1197. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2018.03.021>
- Lu, Z. H., Donner, E., Yada, R. Y., & Liu, Q. (2012). The synergistic effects of amylose and phosphorus on rheological, thermal and nutritional properties of potato starch and gel. *Food Chemistry*, *133*(4), 1214–1221. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2011.07.029>
- Martínez, O., Calderón, B., Rodríguez, J., Cabrera, C., & Valle, F. (2016). Gelatinization mechanism of native starch from exportable banana of Ecuador. *Revista Colombiana de Química*, *44*(2), 16–21. <http://revistas.unal.edu.co/index.php/rcolquim/article/view/55215>
- Mathobo, V. M., Silungwe, H., Ramashia, S. E., & Anyasi, T. A. (2021). Effects of heat-moisture treatment on the thermal, functional properties and composition of cereal, legume and tuber starches—a review. *Journal of Food Science and Technology*, *58*(2), 412–426. <https://doi.org/10.1007/s13197-020-04520-4>
- Montoya, J., Quintero, V., & Lucas, J. (2014). Evaluación fisicoquímica y reológica de harina y almidón de plátano dominico hartón (*Musa paradisiaca* abb). *Temas Agrarios*, *19*(2), 214–233. <https://doi.org/10.21897/rta.v19i2.736>
- Morillo C., A. C., Morillo C., Y., & Leguizamo M., M. F. (2019). Caracterización morfológica y molecular de *Oxalis tuberosa* Mol. en el departamento de Boyacá. *Revista Colombiana de Biotecnología*, *21*(1), 18–28. <https://doi.org/10.15446/rev.colomb.biote.v21n1.57356>
- Nadia, L. (2014). Characterization of Physicochemical and Functional Properties of Starch from Five Yam (*Dioscorea Alata*) Cultivars in Indonesia. *International Journal of Chemical Engineering and Applications*, *5*(6), 489–496. <https://doi.org/10.7763/ijcea.2014.v5.434>
- Palanisamy, A., Deslandes, F., Ramaioli, M., Menut, P., Plana-Fattori, A., & Flick, D. (2020). Kinetic modelling of individual starch granules swelling. *Food Structure*, *26*. <https://doi.org/10.1016/j.foostr.2020.100150>
- Pineda-Gómez, P., Coral, D. F., Arciniegas, M. L., Rivera, A. R., & García, M. R. (2010). Papel del agua en la gelatinización del almidón de maíz: estudio por calorimetría diferencial de barrido. *Ingeniería y ciencia*, *6*(11), 129–141.
- Pinzon, M. I., Sanchez, L. T., & Villa, C. C. (2020). Chemical, structural, and thermal characterization of starches from four yellow Arracacha (*Arracacia xanthorrhiza*)

- roots produced in Colombia. *Heliyon*, 6(8). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2020.e04763>
- Porrás-Martínez, A. B. (2015). Calidad De Los Tubérculos Y Componentes De Rendimiento. 39(3), 37–46. www.mag.go.cr/revagr/index.htmlwww.cia.ucr.ac.cr
- Puelles-Román, J., Barroso, N. G., Cruz-Tirado, J. P., Tapia-Blácido, D. R., Angelats-Silva, L., Barraza-Jáuregui, G., & Siche, R. (2021). Annealing process improves the physical, functional, thermal, and rheological properties of Andean oca (*Oxalis tuberosa*) starch. *Journal of Food Process Engineering*, 44(6). <https://doi.org/10.1111/jfpe.13702>
- Quezada-Correa, L. M., Contreras-Dioses, O., Martínez-Mora, E. O., Gómez-Aldapa, C. A., Ramírez-Moreno, E., & Cuenca-Mayorga, F. P. (2021). Thermal and functional properties of starch extracted from tubers cultivated in the Ecuadorian Andean region. *Acta Agriculturae Slovenica*, 117(2). <https://doi.org/10.14720/aas.2021.117.2.1755>
- Sáenz, S. (2019). Hay mucho que investigar en las raíces y tubérculos andinos. *Revista de Medicina Veterinaria*, 1(38), 1–9. <https://doi.org/10.19052/mv.vol1.iss38.1>
- Secretaría de Comercio y Fomento Industrial. (1986). Fomento Industrial Norma Mexicana NMX-f-382-1986 Alimentos - Almidón o Fécula de maíz.
- Subroto, E., Jeanette, G., Meiyanasari, Y., Luwinsky, I., & Baraddiaz, S. (2020). Review on the analysis methods of starch, amylose, amylopectin food and agricultural products. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*, 8(7), 3519–3529. <https://doi.org/10.30534/ijeter/2020/103872020>
- Tako, M., Tamaki, Y., Teruya, T., & Takeda, Y. (2014). The Principles of Starch Gelatinization and Retrogradation. *Food and Nutrition Sciences*, 05(03), 280–291. <https://doi.org/10.4236/fns.2014.53035>
- Tsakama, M., Mwangwela, A., Manani, T., & Mahungu, N. (2010). Physico-chemical and pasting properties of starch from stored potato tubers. *Journal of Food Science and Technology*, 47(2), 195–201. <https://doi.org/10.1007/s13197-010-0025-1>
- Valcárcel-Yamani, B., Giovanna Rondán-Sanabria, G., & Finardi-Filho, F. (2013). The physical, chemical and functional characterization of starches from Andean tubers: Oca (*Oxalis tuberosa* Molina), olluco (*Ullucus tuberosus* Caldas) and mashua (*Tropaeolum tuberosum* Ruiz & Pavón). In *Article Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences* (Vol. 49, Issue 3).
- Valdez-Arana, J. del C., Steffolani, M. E., Repo-Carrasco-Valencia, R., Pérez, G. T., & Condezo-Hoyos, L. (2020). Physicochemical and functional properties of isolated starch and their correlation with flour from the Andean Peruvian quinoa varieties. *International Journal of Biological Macromolecules*, 147, 997–1007. <https://doi.org/10.1016/J.IJBIOMAC.2019.10.067>
- Vargas, G., Martínez, P., & Velezmoro, C. (2016). Functional properties of potato (*Solanum tuberosum*) starch and its chemical modification by acetylation. *Scientia Agropecuaria*, 7(3), 223–230. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2016.03.09>
- Velásquez-Barreto, F., & Velezmoro, C. (2018). Rheological and viscoelastic properties of Andean tubers starches. *Scientia Agropecuaria*, 9(2), 189–197. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2018.02.03>