

# Ácido fítico en papa nativa *Solanum tuberosum* L. determinado por $^{31}\text{P}$ RMN\*

## Phytic acid in native potato *Solanum tuberosum* L. by $^{31}\text{P}$ NMR

ROJAS-PADILLA, CARMEN<sup>1</sup>; VÁSQUEZ-VILLALOBOS, VÍCTOR<sup>2</sup>

### RESUMEN

La escasa información publicada acerca de la significancia de la ingesta del ácido fítico que podría disminuir la biodisponibilidad de proteínas y minerales, hace necesario iniciar un estudio para identificarlo y cuantificarlo en la papa, que es el cuarto alimento más consumido a nivel mundial y es ingrediente de las papillas que ingieren los bebés desde los 4 meses de edad. El objetivo de la presente investigación fue identificar y cuantificar el ácido fítico en papa nativa Huagalina de la Región La Libertad, cultivada con abono orgánico y compararlo con el contenido en papa comercial. Para la extracción de fitato, se utilizó NaOH - EDTA y el análisis de los compuestos se realizó mediante RMN  $^{31}\text{P}$ . La concentración del estándar externo de  $\text{H}_3\text{PO}_4$  se calculó a partir de la concentración del estándar interno  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  a 14,06 mM y el estándar de ácido fítico se preparó de manera análoga. En estos espectros además de las señales del  $^{31}\text{P}$  del ácido fítico

### Historial del Artículo

Recibido para evaluación: 24 de Marzo 2020.

Aprobado para publicación: 28 de Enero 2021.

\* Título del Proyecto de origen: Proyecto Magnet "Metabolómica basada en RMN en el estudio de cuatro productos agroindustriales de interés nacional. Financiación: CIENCIACTIVA-CONCYTEC. Culminación Febrero 2020.

1 Universidad Nacional de Trujillo, Escuela de Posgrado, Programa de Doctorado en Ciencias Agropecuarias. Doctora en Ciencias Agropecuarias. Trujillo, Perú. <https://orcid.org/0000-0001-8359-0082>

2 Universidad Nacional de Trujillo, Coordinador del Laboratorio de Biomoléculas, Departamento de Ciencias Agroindustriales. Alimentarias. Doctor en Ingeniería. Lima, Perú. <https://orcid.org/0000-0002-9625-8385>

Correspondencia: [crojasp@unitru.edu.pe](mailto:crojasp@unitru.edu.pe)

Cómo citar este artículo: ROJAS-PADILLA, CARMEN; VÁSQUEZ-VILLALOBOS, VÍCTOR. Acido fítico en papa nativa *Solanum tuberosum* L. determinado por  $^{31}\text{P}$  RMN. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial, v. 19, n. 2, 2021, p. 18-26. Doi: <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n2.2021.1363>

se observaron la del fosfato (5,50 ppm) y glicerol fosfato (4,42 ppm). Dado que estos desplazamientos químicos coinciden con lo reportado en la literatura, se emplearon las áreas debajo de estas señales para cuantificar su presencia en los distintos extractos de papa abordados. En particular, resalta el alto contenido de ácido fítico de la pulpa de la papa comercial (0,078 %) versus el de la pulpa de Huagalina (0,035 %).

## ABSTRACT

The limited information published about the significance of the intake of phytic acid which could decrease the bioavailability of proteins and minerals, makes necessary to initiate a study to identify and quantify it in the potato that is the fourth most consumed food worldwide and is an ingredient of the infant foods from 4 months old. The main of this research was to identify and quantify the phytic acid in native Huagalina potato from La Libertad Region, cultivated with organic fertilizers and compare it with the commercial potato content. For the extraction of phytate, NaOH-EDTA was used and the spectra were acquired by  $^{31}\text{P}$  NMR. The concentration of the external  $\text{H}_3\text{PO}_4$  standard was calculated from the concentration of the internal standard  $\text{Na}_2\text{HPO}_4$  at 14,06 mM and the phytic acid standard was prepared in an analogous manner. In these spectra, in addition to the  $^{31}\text{P}$  signals of phytic acid, the phosphate was observed at 5,50 ppm and glycerol phosphate was observed at 4,42 ppm. These chemical shifts are in accordance with those reported in the literature, so the areas below these signals were used to quantify phytate in the two potato extracts studied. In particular, it highlighted the high phytic acid content of the pulp of the commercial potato (0,078 %) compare with the Huagalina pulp (0,035 %).

## PALABRAS CLAVES:

$^{31}\text{P}$  resonancia magnética nuclear (RMN); Fitato; Quelación de metales; Antioxidante; Papa nativa; Cultivo orgánico

## KEY WORDS:

$^{31}\text{P}$  nuclear magnetic resonance (NMR); Phytate; Chelation of metals; Antioxidant; Native Potato; Organic cultivation.

## INTRODUCCIÓN

La papa *Solanum tuberosum* L., provee de energía y también contiene importantes promotores de salud como la vitamina C, compuestos fenólicos, fibra dietaria y ciertos minerales como el hierro, pero el efecto positivo o negativo de los componentes en la salud, finalmente está relacionado por la forma en que se degradan por la digestión gastrointestinal del ser humano, lo que afecta la bioactividad final de dichos compuestos (Calliope *et al.*, 2018).

El alto contenido de compuestos fenólicos presentes en la papa, puede evitar el desarrollo de enfermedades crónicas, sin embargo, el ácido fítico, químicamente conocido como Inositol- hexakisfosfato (InsP6) o fitato, cuando se encuentra en forma de sal, ha sido visto como antinutriente por décadas, debido a la quelación de varios metales y su unión a las proteínas, disminuyendo la biodisponibilidad de proteínas y minerales de importancia nutricional (Dahdouh, 2019; Gutiérrez *et al.*, 2020; Dong *et al.*, 2020). En los últimos 20 años, se han encontrado propiedades benéficas a los fitatos como antioxidante, anticancerígeno, inhibidor de las sales de calcio, en la disminución del índice glicémico y el colesterol (Vaz

de Melo *et al.*, 2019). Mediante la ingeniería genética se ha reducido el contenido de ácido fítico en semillas en un 50 a 70 %, esta reducción puede proporcionar numerosos beneficios potenciales a la calidad de los alimentos y piensos y la sostenibilidad de la producción agrícola, reducir el impacto ambiental y mejorar la biodisponibilidad de minerales (hierro, zinc, calcio, magnesio) para seres humanos y animales no rumiantes (Raboy, 2020). Se ha reportado la caracterización de  $P^{31}$  utilizando RMN en semillas (sésamo, amapola, mostaza, hinojo y comino) (Oghgho *et al.*, 2017), y en papa solo se reporta el análisis de fitato en diferentes variedades de papa cruda y cocida cultivada en USDA-ARS Small Grains and Potato Germplasm Research Unit, Aberdeen, Idaho utilizando HPLC (Santos *et al.*, 2015).

La escasa información publicada acerca de la significancia del ácido fítico en nutrición y salud humana hace necesario iniciar un estudio para identificarlo y cuantificarlo en la papa que es el cuarto alimento más consumido a nivel mundial y es ingrediente importante de las papillas que ingieren los bebés desde los 4 meses de edad (Schelemmer *et al.*, 2009). La información de los límites de cuantificación para conocer el positivo o negativo efecto es aún limitada y la dosis óptima para terapias clínicas todavía no ha sido determinada. El objetivo de la presente investigación fue identificar y cuantificar el ácido fítico en papa empleando espectroscopia de RMN  $^{31}P$ .

## MÉTODO

### Material

Se trabajó con papa nativa Huagalina cultivada como cultivo orgánico en la provincia de Julcán, cosechadas el 29 de mayo 2017 en el caserío La Victoria localizado (3.439 m.s.n.m., 8°03'08.10" S y 78°31'11.99" O) con un rango de temperaturas entre 6 y 17 °C y HR del 75 %, en la región La Libertad y se realizó la comparación con papa comercial Canchan adquirida en Supermercado en la ciudad de Lima.

### Reactivos

Ácido fítico (sal de sodio hidratada de arroz) y Fosfato de sodio dibásico pureza > 99,9 % de Sigma Aldrich Co.; Hidróxido de sodio y Deuterium oxide ( $D_2O$ ) (Deuterium degree min 99 %) adquiridos en Merck KGaA-Darmstadt-Germany; EDTA (Ethylenediaminetetraacetic acid) de BDH Chemicals Ltd. Poole England; y el agua utilizada fue purificada a MilliQ en el equipo (Merck KGaA-Darmstadt, HE, DE).

### Equipos

Se utilizó un Liofilizador LABCONCO Freeze DrySystem/Free Zone 4,5 (Kansas City, Mo. US) para las rodajas de papa cruda. Los experimentos de resonancia magnética nuclear para determinar  $^{31}P$  se realizaron en un espectrómetro Bruker Ascend™ 500 y la consola AVANCE III HD, con una sonda de banda ancha sintonizada para detectar resonancia de  $^{31}P$  a 202 MHz (Bruker, Biospin GmbH). El equipo cuenta con un sistema de control de temperaturas BCU I-40/50 (Bruker Biospin GmbH). Los espectros fueron procesados en el software Bruker Topspin 3,5,b,91p17 (BrukerBioSpin GmbH) en los que se muestran los desplazamientos químicos ( $\delta$ ) en ppm y las constantes de acoplamiento ( $J$ ) en Hertz.

### Preparación de las muestras

Las papas nativas Huagalina, se lavaron con agua corriente y se dejaron orear hasta el otro día en la oscuridad. Se cortaron en rodajas de 5 mm de espesor y para reducir toda actividad enzimática fueron liofilizadas. A las rodajas liofilizadas se les separó la cascara de la pulpa con un bisturí y el material separadamente se pulverizó obteniendo un polvo fino de cáscara y pulpa. Las papas Canchan siguieron el mismo procedimiento. Ambas muestras fueron guardadas a -75 °C hasta posterior análisis.

La extracción de los fosfatos se realizó pesando 1,00 g de cáscara o pulpa de papa con 6,25 mL de NaOH 1M, 6,25 mL de agua Milli Q y 12,5 mL de EDTA 0,1 M. Se agitó la suspensión por 4 horas con agitador magnético a temperatura ambiente. Luego se centrifugó a 23000 g por 20 minutos a 10 °C. Los sobrenadantes se liofilizaron hasta peso constante. Se hicieron modificaciones a la metodología de extracción utilizada para la caracterización por RMN <sup>31</sup>P de semillas de plantas (Oghgho *et al.*, 2017).

### Análisis mediante RMN de compuestos de fósforo en *S. tuberosum* L.

Para el ensayo de RMN <sup>31</sup>P se pesaron 100 mg del extracto liofilizado, se le agregó 700 µL de D<sub>2</sub>O, 100 µL de solución (1,5M NaOH+0,3 M EDTA) y 100 µL de NaOH 10 M. Se procedió a sonicar por 30 minutos a 21 °C y de esta solución se transfirió 600 µL a tubo RMN, se insertó estándar externo de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (0,76-0,98mM) y se realizó la lectura por NMR <sup>31</sup>P. La concentración del estándar externo de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> se calculó a partir de la concentración del estándar interno Na<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> a 14,06 mM: 10 mg en 500 µL de solución (1,5M NaOH+0,3 M EDTA) y 500 µL de NaOH 10 M enrasado a 5 mL con D<sub>2</sub>O. El estándar de ácido fítico se preparó de manera análoga. El estándar externo de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> se preparó a partir de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> (85 %): 250 µL de H<sub>3</sub>PO<sub>4</sub> / 5 mL de agua MilliQ, haciendo una dilución de 1/100 y los 5 capilares preparados, una vez sonicados, fueron sellados herméticamente al calor.

Los espectros de RMN <sup>31</sup>P fueron adquiridos por una secuencia de pulsos Zgig30, con 32,768 puntos digitales (TD); 8,192 escaneos (NS) y 64 escaneos señuelos (DS); con resolución de FID de 0,98 Hz (FIDRES), tiempo de adquisición de 1,0 segundo (AQ); ganancia de receptor (RG) de 202,6; tiempo de retraso D1 de 4,0 segundos; D11 de 0,030 seg y ensanchamiento de banda (LB) de 1,0 Hz. La concentración de los compuestos fosforilados (CCF) se obtuvo aplicando la ecuación 1:

$$CCF = \frac{\text{Area comp.fosf} * \text{Conc.H3 PO4}}{\text{Area H3 PO4}} \quad (\text{Ec. 1})$$

## RESULTADOS

La papa en su composición contiene fósforo en el rango de 0,130–0,261 g/100 g ms (Santos *et al.*, 2015). La metodología utilizada en este trabajo, involucra un tratamiento con NaOH - EDTA, que permite la identificación de ácido fítico, fosfato libre y el glicerol fosfato. Este último, resulta de la degradación por hidrólisis alcalina (Schelemmer *et al.*, 2009). Se han reportado valores bajos de glicerol fosfato en extractos de semillas de canola, que fueron atribuidos también al problema de degradación por la extracción realizados con NaOH-EDTA. En esta investigación, estos tres compuestos fueron detectados mediante RMN <sup>31</sup>P. La metodología utilizada de extracción que involucra un tratamiento con NaOH- EDTA, y detección por NMR de <sup>31</sup>P de los compuestos mencionados ha sido reportado en la literatura como un protocolo de cuantificación de alta eficiencia (88-110 %) (Oghgho *et al.*, 2017). En la Figura 1, se muestra el espectro de ácido fítico (P<sub>2</sub> a 5,022 ppm, P<sub>4</sub>P<sub>6</sub> a 4,151 ppm, P<sub>1</sub>P<sub>3</sub> a 3,714 ppm, P<sub>5</sub> a 3,598 ppm) en presencia del estándar interno fosfato dibásico de sodio (5,45 ppm) a condiciones altamente básicas (NaOH -EDTA). Se observa en este espectro que la integral guarda relación con el número de átomos debajo de cada señal.

El espectro de RMN <sup>31</sup>P del extracto de cáscara y pulpa de papa Huagalina y los correspondientes espectros de la papa Canchan se muestran en las Figuras 2 y 3. Es importante recalcar que en estos espectros además de las señales del <sup>31</sup>P del ácido fítico se observan otras, entre ellas la del fosfato a 5,50 ppm y la del glicerol fosfato a 4,42 ppm. Dado que estos desplazamientos químicos coinciden con lo reportado en la literatura para estos tres tipos de fósforo (Oghgho *et al.*, 2017), se emplean las áreas debajo de estas señales para cuantificar su presencia en los distintos extractos de papa abordados. La cuantificación de estos compuestos se refirió a la concentración de un estándar externo, ácido fosfórico en capilar a δ = 0,0 ppm. La concentración de la solución de ácido fosfórico en cada capilar

utilizado en ese estudio fue calculada a través de un estándar interno (sodio fosfato dibásico) a una concentración de 78 mM. La concentración hallada del estándar externo, ácido fosfórico en capilar, fue de  $0,89 \pm 0,06$  mM.

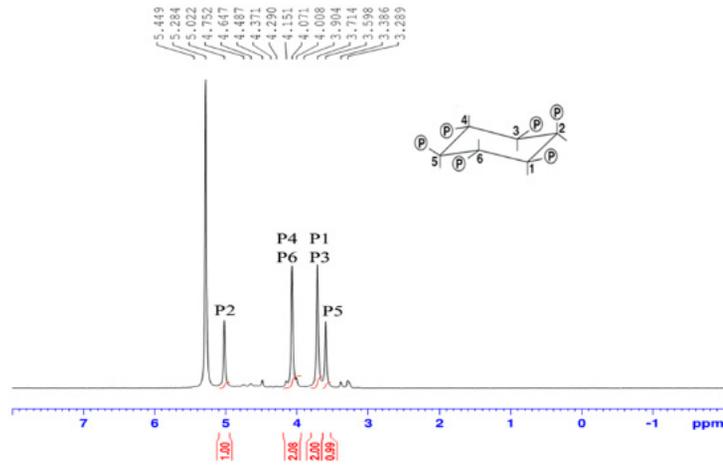


Figura 1. Espectro RMN  $^{31}\text{P}$  de ácido fólico

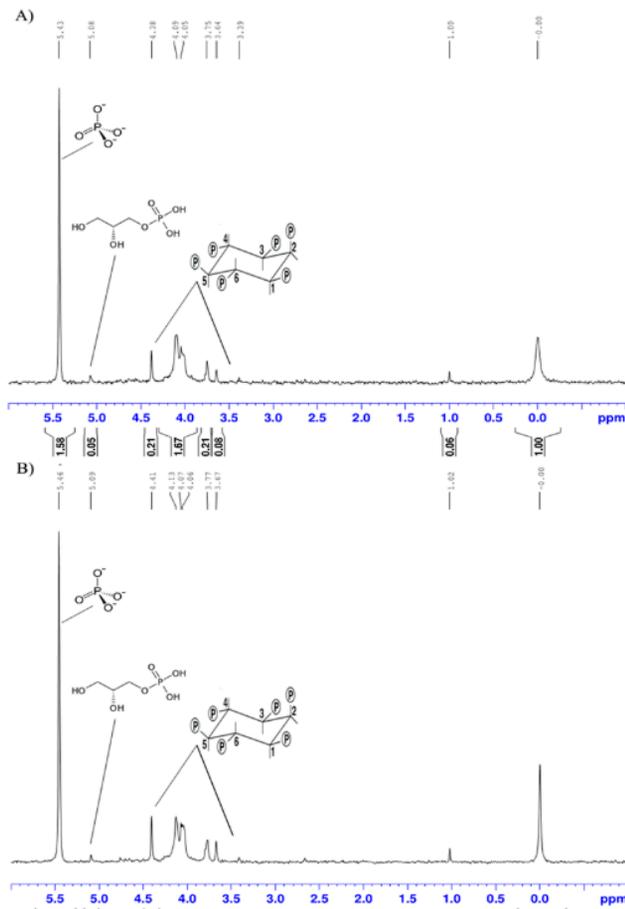


Figura 2. Espectro de RMN  $^{31}\text{P}$  (Fosfato, glicerol fosfato y fitato) d  
 A) Pulpa y B) Cáscara Huacalina.

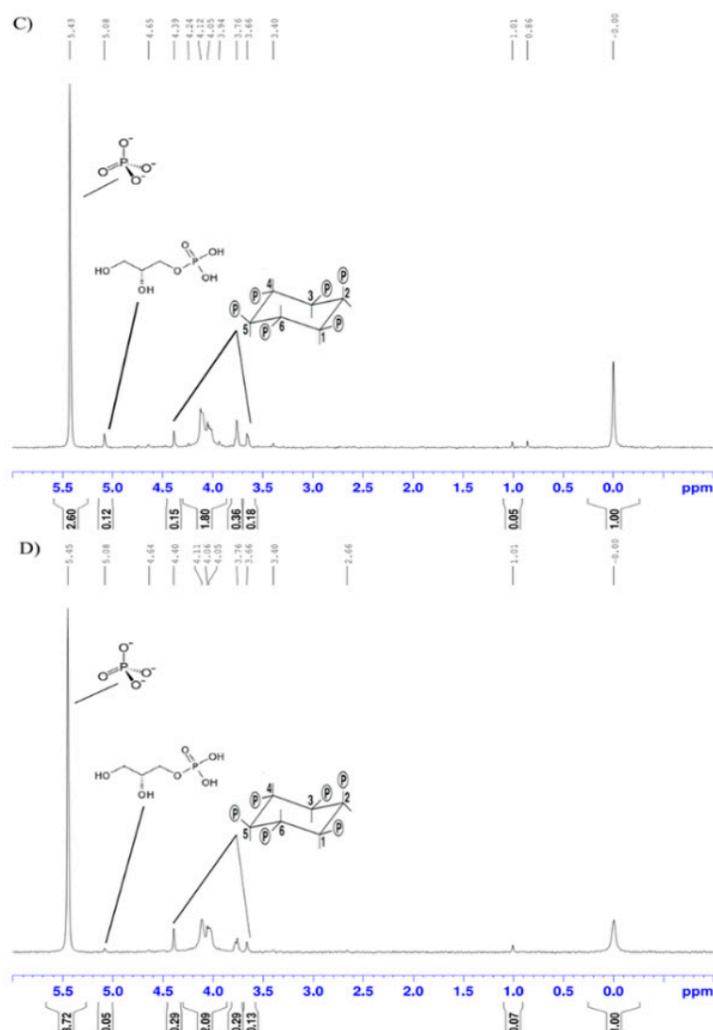


Figura 3. Espectro de RMN <sup>31</sup>P (Fosfato, glicerol fosfato y fitato) de C) Pulpa y D) Cáscara Canchan.

En el Cuadro 1, se presenta la concentración de ácido fítico, glicerol fosfato y fosfato inorgánico en los dos tipos de papa estudiadas, cultivo orgánico (Huagalina) y cultivo convencional (Canchan).

**Cuadro 1.** Fitato, glicerol fosfato y fosfato inorgánico en papa expresado en g/100 g masa seca \*.

| Materia           | Fosfato orgánico |                  | Fosfato inorgánico | Fosfato total |
|-------------------|------------------|------------------|--------------------|---------------|
|                   | Fitato           | Glicerol fosfato | Fosfato            |               |
| Pulpa Huagalina   | 0,035 ± 0,030    | 0,031 ± 0,005    | 0,141 ± 0,009      | 0,207 ± 0,044 |
| Pulpa Canchan     | 0,078 ± 0,010    | 0,026 ± 0,004    | 0,237 ± 0,022      | 0,341 ± 0,036 |
| Cáscara Huagalina | 0,041 ± 0,006    | 0,058 ± 0,005    | 0,207 ± 0,014      | 0,099 ± 0,025 |
| Cáscara Canchan   | 0,027 ± 0,006    | 0,041 ± 0,004    | 0,272 ± 0,017      | 0,340 ± 0,027 |

\*Resultados basados en tres extracciones de un mismo lote de papa liofilizada.

Los resultados aquí obtenidos sugieren que la papa cultivada con abono químico, tanto pulpa como cáscara de la papa Canchan, contiene una mayor cantidad total de fósforo que la papa bajo cultivo con abono orgánico, pulpa

y cáscara de la papa Huagalina. En particular, resalta el contenido de ácido fítico de la pulpa de la papa Canchan (0,078 %) versus el de la pulpa de Huagalina (0,035 %).

El rol del fósforo en la productividad de los cultivos de papa ha sido muy bien documentado (Kasay, 2019). Aunque el fósforo se encuentra en forma abundante en la mayoría de suelos muchas veces no está disponible para que lo absorba la planta debido a que este analito forma compuestos insolubles con los cationes, tanto bajo condiciones ácidas como alcalinas. Entre los cultivos, la papa es particularmente sensible a la deficiencia de P en los suelos indicando una baja eficiencia de absorción y esto se debe al tamaño pequeño de sus raíces en relación a otros cultivos como los cereales y las legumbres. El fósforo es un elemento esencial durante el periodo inicial de desarrollo de la planta y durante su tuberización. La mayor cantidad de fósforo se traslada de la planta hacia los tubérculos por lo que aquella tiene que extraer considerable cantidad de fósforo del suelo. La aplicación de fósforo a ambos lados del tubérculo (semilla) mejora la absorción de este elemento, disminuyendo la posibilidad de su fijación en el suelo (Sorato *et al.*, 2020).

Los actuales estudios agronómicos de papa están dirigidos a métodos para aumentar los rendimientos y obtener calidad de papa mediante fertilizantes en diversas aplicaciones, pero no tienen en cuenta los impactos nocivos en la salud pública por el contenido de ácido fítico en el tubérculo (Nurmanov *et al.*, 2019; Grados *et al.*, 2020; El-Azeim *et al.*, 2020). La determinación de fitatos en papa ha sido abordada en otras investigaciones, a través de métodos distintos de extracción y detección. Se reporta la extracción con HCl y la detección con cromatografía de iones con derivatización post columna y detección UV (Wolters *et al.*, 1993). Sin embargo, un método de electroforesis en gel de poliacrilamida (PAGE) representaría una alternativa más universalmente accesible y más rápida que la HPLC, pues requiere menos capacitación, experiencia y costos; al tiempo que permite la separación y detección de IP5 e IP6 (Ravoy *et al.*, 2020).

Dada las diferencias entre metodologías de extracción y cuantificación cualquier análisis resulta infructuoso. La importancia de poder cuantificar el ácido fítico como metabolito aislado radica en que ya ha sido demostrado que la cocción de la papa no afecta su concentración (Phillipy *et al.*, 2004).

Los cereales por su contenido de fibra, vitaminas y compuestos bioactivos han sido relacionados como productos con beneficios para la salud, pero su contenido en fitato que inhibe la absorción de minerales y tiene una acción negativa en sus propiedades nutricionales ha obligado a que se realicen estudios para modificar las recetas para preparar el pan a fin de reducir el efecto negativo del ácido fítico, igualmente probar si las diferentes fuentes dietéticas del maíz y la suplementación de fitasa afecta la digestibilidad del fósforo y aparición de fosfatos de inositol en pollos y pavos en crecimiento (Colby *et al.*, 2017; Ingelmann *et al.*, 2019; Fekri *et al.*, 2020).

La creciente demanda de vegetales atrae a muchos agricultores a esta línea de producción. En las zonas tropicales y subtropicales, las mujeres producen vegetales para la alimentación y para complementar los ingresos del hogar; pero esto puede no estar exento de riesgos. Las verduras cultivadas en ambientes contaminados con metales pesados, se bioacumulan y biomagnifican en humanos, lo que conduce a dolencias y muerte (Kunatza *et al.*, 2020). Otros autores manifiestan que el efecto de fitato en vegetales puede ser reducido por fermentación, remojo en medio ácido y haciéndolos germinar (Udousoro *et al.*, 2018).

Dada la controversia que existe con este metabolito, reportado como antinutriente así como antioxidante y anticancerígeno, su relación frente al tipo de fertilización debe ser abordada sistemáticamente. La metodología aquí implementada servirá como punto de partida para ello. En este estudio preliminar se ha demostrado que la Canchan (pulpa), cultivada comercialmente con abono químico, posee casi el doble de ácido fítico que la papa Huagalina (pulpa), cultivada con abono orgánico. Si bien estos resultados son preliminares, pues se basan en muestreo pequeño, indican la factibilidad de un estudio de mayor envergadura.

## CONCLUSIONES

Se identificó ácido fítico en pulpa de la papa comercial Canchan y la papa nativa Huagalina. En la pulpa de papa comercial Canchan con una concentración de 0,078 % y en Huagalina de 0,035 %. Se encontró mayor concentración de ácido fítico en la cascara de la variedad nativa Huagalina.

## AGRADECIMIENTOS

A H. Maruenda y J. M. López de la Pontificia Universidad Católica del Perú por la adquisición de los espectros de RMN; a CIENCIACTIVA-CONCYTEC-008-2017-proyecto PUCP; y a la RPU / DARI-PUCP.

## REFERENCIAS

- CALLIOPE, SONIA-ROSARIO; LOBO, MANUEL- ÓSCAR; SAMANN, NORMA-CRISTINA. Biodiversity of Andean potatoes: Morphological, nutritional and functional characterization. *Food Chemistry*, v. 238, n. 1, 2018, p. 42-50.  
<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2016.12.074>
- COLBY, VORLAND; STREMKER, ELIZABETH; MOORTHI, RANJANI; HILL, KATHLEEN. Effects of excessive dietary phosphorus intake in bone health. *Current Osteoporosis Reports*, v. 15, n. 5, 2017, p. 473-482.  
<https://dx.doi.org/10.1007%2Fs11914-017-0398-4>
- DAHDOUH, SERGIO; GRANDE, FERNANDA; ESPINOSA, SANDRA-NAJERA; VINCENT, ANNA; GIBSON, ROSALIND; BAILEY, KARL; KING, JANET; RITTENSCHOBBER, DORIS; CHARRONDIERE, U. RUTH. Development of the FAO/INFOODS/IZINCG Global Food Composition Database for Phytate. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 78, 2019, p. 42-48.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2019.01.023>
- DONG, QIN; ECHIGO, KOHEI; RABOY, VICTOR; SANEOKA, HIROFUMI. Seedling, growth, physiological characteristics, nitrogen fixation and root nodule phytase and phosphatase activity of a low-phytate soybean line. *Plant physiology and Biochemistry*, v. 149, 2020, p. 225-232.  
<https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.02.015>
- EL-AZEIM, ABD; SHERIF, M.A.; HUSSIEN, M.S.; TANTAWY, I.A.; BASHANDY, S.O. Impacts of nano-and non nanofertilizers on potato quality. *Acta Ecologica Sinica*, v. 40, n. 5, 2020, p. 388-397.  
<https://doi.org/10.1016/j.chnaes.2019.12.007>
- FEKRI, AREZOO; TORBATI, MOHAMMADALI; KHOSROWSHAHI, AHMAD; BAGHERPOUR, HASAN; AZADMARD-DAMIRICHI, SODEIF. Functional effects of phytate- degrading, probiotic lactic acid bacteria and yeast strain isolated from Iranian traditional sourdough on the technological and nutritional properties of whole wheat bread. *Food Chemistry*, v. 306, 2020, p. 125620.  
<https://doi.org/10.1016/J.FOODCHEM.2019.125620>
- GRADOS, D.; GARCIA, S.; SCHREVEENS, E. Assessing the potato yield gap in the Peruvian Central Andes. *Agricultural Systems*, v. 181, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102817>
- GUTIERREZ, ORLANDO M.; PORTER, ANNA K.; VIGGESWARAPU, MANJULA; ROBERTS JOSEPH L.; BECK Jr., GEORGE R. Effects of phosphorus and calcium to phosphorus consumption ratio on mineral metabolism and cardiometabolic health. *The Journal of Nutritional Biochemistry*, v. 80, 2020, p. 108374.  
<https://doi.org/10.1016/j.jnutbio.2020.108374>
- INGELMANN, C.; WITZING, M.; MOHRING, J.; SCHOLLENBERGER, M.; KUHN, I.; RODEHUTSCORD, M. Phytate degradation and phosphorus digestibility in broilers and turkeys fed different corn sources with or without adding phytase. *Poultry Science*, v. 98, n. 2, 2019, p. 912-922.  
<https://doi.org/10.3382/ps/pey438>

- KAHSAY, WORKAT-SEBNIE. Effects of nitrogen and phosphorus on potatoes production in Ethiopia: A review. *Cogent Food & Agriculture*, v. 5, 2019, p. 1-7.  
<https://doi.org/10.1080/23311932.2019.1572985>
- KUNATSA, YVONNE; CHIDEWE, CATHRINE; ZVIDZAI, CUTHBERT. Phytochemical and antinutrient composite from selected marginalizes Zimbabwean edible insects and vegetables. *Journal of Agriculture and Food Research*, v. 2, 2020. 100027.  
<https://doi.org/10.1016/j.jafr.2020.100027>
- NURMANOV, YERBOL; CHERNENOK, VALENTINA; KUZDANOVA, ROZA. Potato in response to nutrition regime and nitrogen fertilization. *Field Crops Research*, v. 231, n. 1, 2019, p. 115-121.  
<https://doi.org/10.1016/j.fcr.2018.11.014>
- OGHGHO, VICTOR; SANTORO, ANNA; THOSS, VERA. Characterization of plant seeds by Phosphorus-31 Nuclear Magnetic Resonance Spectroscopy. *Analytical Letters*, v. 50 n. 6, 2017, p. 999-1012.  
<https://doi.org/10.1080/00032719.2016.1206910>
- PHILLIPPY, BRIAN; LIN, MENGSHI; RASCO, BARBARA. Analysis of phytate in raw and cooked potatoes. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 17, 2004, p. 217-226.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2003.08.001>
- RABOY, VICTOR. Low phytic acid Crops: Observations based on four decades of research. *Plants*, v. 9, n. 2, 2020, p. 140.  
<https://doi.org/10.3390/plants9020140>
- RAVOY, VICTOR; GIBSON, ROSALIND; BAILEY, KARL; KING, JANET. Comparison of four methods for phytate analysis in plant-based foods. *Journal of Food Composition and Analysis*, v. 90, 2020, p. 103481.  
<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2020.103481>
- SANTOS, CARLA; CUNHA, SARA; CASAL, SUSANA. Bioactive Components in Potatoes as Influenced by Thermal Processing, Processing and Impact on Active Components in Food. In book : *Processing and Impact on Active components in food*, 2015, p.111-119.  
<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-404699-3.00014-7>
- SCHELEMMER, ULRICH; FROLICH, WENCHE; PRIETO, RAFAEL; GRASES, FELIX. Review: Phytate in foods and significance for humans: Food sources, intake, processing, bioavailability, protective role and analysis. *Molecular Nutrition & Food Research*, v. 53, 2009, p. S330-S375.  
<https://doi.org/10.1002/mnfr.200900099>
- SORATO, ROGERIO; SANDAÑA, PATRICIO; FERNANDES, ADALTON; MARTINS, JESSICA; JOB, ANDRÉ. Testing critical dilution cropped in tropical Oxisols of southeastern Brazil. *European Journal of Agronomy*, v. 115, 2020, p. 126020.  
<https://doi.org/10.1016/j.eja.2020.126020>
- UDOUSORO, I.I.; UDO, E.S.; UDOH, A.P.; UDOANYA, E.E. Proximate and antinutrients compositions, and health risk assessment of toxic metals in some edible vegetables, Nigerian. *Journal of Chemical Research*, v. 23, n. 2, 2018, p. 51-62.  
<https://www.ajol.info/index.php/njcr/article/view/181933>
- VAZ DE MELO, PRISCILA; AMARO, PATRICIA; MIRANDA, HELEN-HERMANA; ARAUJO, CAROLINA; MINARDI, ROSANGELA; SILVA GOMES, JULIANA; DE OLIVEIRA, ALINE-APARECIDA; DE OLIVEIRA, CARLA. Dietary non-nutrients in the prevention of non-communicable disease: Potentially related mechanics. *Nutrition*, v. 66, 2019, p. 22-28.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0899900719300474?via%3Dihub>
- WOLTERS, M.; DIEPENMAAT, H.; HERMUS, R.; VORAGEN, A. Relation between *In vitro* availability of minerals and food composition: A mathematical model. *Journal of Food Science*, v. 58, n. 6, 1993, p.1349-1355.  
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1993.tb06181.x>