



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



INSTITUTO DE INGENIERÍA DE  
ALIMENTOS PARA EL DESARROLLO

## **TRABAJO DE FIN DE MÁSTER EN CIENCIA E INGENIERÍA DE LOS ALIMENTOS**

# **“CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y QUÍMICA DE CUATRO VARIEDADES DE CHUÑO COMERCIALIZADAS EN ESPAÑA”**

**AUTOR: Anita Patrón Espá**

**TUTORA: María Eugenia Martín Esparza**

**CO-TUTORAS: Ana María Albors Sorolla**

**María Dolores Raigón Jiménez**

**CURSO 2018 - 2019**

**Valencia, Septiembre 2019**

# **CARACTERIZACIÓN FUNCIONAL Y QUÍMICA DE CUATRO VARIETADES DE CHUÑO COMERCIALIZADAS EN ESPAÑA**

Autor: Anita Patrón Espá. Tutora: María Eugenia Martín Esparza<sup>1</sup>. Cotutoras: Ana María Albors Sorolla<sup>1</sup> y María Dolores Raigón Jiménez<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidad Politécnica de Valencia, Instituto de ingeniería de alimentos para el desarrollo, Departamento de tecnología de alimentos. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.

<sup>2</sup>Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de química. Camino de Vera s/n, 46022 Valencia, España.

## **RESUMEN**

La búsqueda de nuevos ingredientes para la formulación de los alimentos del futuro nos lleva a buscar distintas fuentes de nutrientes. El chuño y la tunta son los nombres que reciben los productos secados al sol después de ser congelados y que se aplican a varios tipos de tubérculos, en su mayoría patatas, en el altiplano andino de Perú y Bolivia desde hace más de 2500 años. En este trabajo se han analizado cuatro tipos de chuño disponibles de manera comercial en Valencia (España). Las características evaluadas han sido: propiedades funcionales, distribución de tamaño de partícula, composición química (agua, proteínas, grasa, almidón total, fibra total, carbohidratos, azúcares libres, cenizas y minerales), contenido total de polifenoles y capacidad antioxidante, actividad del agua, distribución de tamaño de partícula, temperatura de gelatinización del almidón mediante calorimetría diferencial de barrido y observaciones microestructurales (FESEM). Los resultados fueron similares a los encontrados en las fuentes de referencia, a excepción de la muestra de almidón de patata obtenido por un proceso diferente e industrial, por lo que difería en sus valores experimentales. Se encontraron diferencias significativas del contenido de nutrientes, minerales y antioxidantes en las muestras de chuño, tunta y el almidón de patata. La muestra con mayor aporte de proteínas, fibra, minerales y compuestos fenólicos fue la correspondiente al chuño negro (CHU3), la cual también presentó mejores propiedades funcionales y tecnológicas.

**Palabras clave: chuño, tunta, minerales, polifenoles, antioxidantes, almidón, almidón de patata, harina de papa, gelatinización.**

## **FUNCTIONAL PROPERTIES AND CHEMICAL CHARACTERIZATION OF FOUR CHUÑO VARIETIES COMERCIALIZED IN SPAIN**

### **ABSTRACT**

The search for new ingredients for designing the food of the future aims to discover different sources of nutrients. Chuño and tunta are the names that are given to the traditional sun-dried potatoes from the Andes. Nowadays, the same 2500 years-old process is repeated in Peru and Bolivia. In this study, the composition of four different varieties of chuño and tunta found in the Spanish market have been analyzed. Functional properties, particle size distribution, chemical composition (water, protein, carbohydrates, starch, free sugar, fiber and ashes and mineral specific content) were measured. Other measurements and analysis were performed such as water activity, differential scanning calorimetry (starch gelatinization temperature), total antioxidant capacity and total phenolics content, and microstructure observations (FESEM). The obtained results were, in general, very similar to those found in several references, except in the case of CHU4 sample, revealing that this not chuño or tunta, but potato starch. From the global analysis of all the measurements, it can be concluded that black chuño (CHU3) shows the best nutritional (highest protein, fiber, mineral and phenols contents) and techno-functional properties.

**Key words: chuño, tunta, minerals, phenolic compounds, antioxidants, starch, potato starch, potato flour, gelatinization.**

# CARACTERITZACIÓ FUNCIONAL I QUÍMICA DE QUATRE VARIETATS DE XUNYO COMERCIALITZADES EN ESPANYA

## RESUM

La cerca de nous ingredients per a la formulació dels aliments del futur ens porta a buscar diferents fonts de nutrients. El chuño i la tunta són els noms que reben els processos d'assecat al sol després de congelar que s'apliquen a diversos tipus de tubercles, en la seua majoria creïlles, en l'altiplà andí del Perú i Bolívia que existeixen des de fa més de 2500 anys. Quatre tipus de chuño disponibles de manera comercial a València (Espanya), van ser analitzats per a conèixer la seua composició i característiques. Es van determinar les propietats funcionals, les propietats químiques: humitat, contingut de proteïnes, carbohidrats, midó, sucres, fibra, cendres i contingut en minerals individuals. A més, se'ls va realitzar assajos per a conèixer l'activitat d'aigua, grandària de partícula, la temperatura de gelatinització mitjançant calorimetria diferencial d'escombratge, el contingut total de polifenols i la capacitat antioxidant; finalment, es va realitzar una anàlisi de la microestructura (FESEM). Els resultats van ser similars als oposats en les fonts de referència, a excepció de la quarta mostra que era midó de creïlla obtingut per un procés diferent i industrial, per la qual cosa diferia en els seus valors experimentals. Es van trobar diferències significatives del contingut de nutrients, minerals i antioxidants en les mostres de chuño, tunta i el midó de creïlla. La mostra amb major aportació de proteïnes, fibra, minerals i compostos fenòlics va ser la corresponent al chuño negre (CHU3), la qual també va presentar millors propietats funcionals i tecnològiques.

**Paraules clau: chuño, tunta, minerals, polifenols, antioxidants, midó, midó de creïlla, farina de papa, gelatinització.**

## 1. INTRODUCCIÓN

La industria alimentaria hace frente al reto que supone alimentar de manera sostenible a una población mundial creciente y cada vez más concienciada con la estrecha relación que existe entre alimentación y salud. La búsqueda de nuevos ingredientes para la alimentación del futuro nos lleva a la demanda de fuentes proteicas en productos vegetales, nuevas fuentes de alimentación que aporten nutrientes en mayor concentración, alimentos que sean medioambientalmente más sostenibles y el diseño de ingredientes más saludables (AINIA, 2017).

Las más de 4000 variedades diferentes de patata son uno de los cultivos más importantes a nivel mundial, tiene el quinto lugar en el ranking de producción con más de 388 millones de toneladas en 2017 (FAOSTAT, 2019). Se pueden cultivar desde el nivel del mar hasta los 4700 msnm. Las patatas que se cultivan a mayor altitud tienen características diferentes a las que se cultivan en la costa y son las que se utilizan para realizar el chuño y la tunta.

Desde el punto de vista nutricional, la patata, dependiendo de la variedad es fuente de minerales, tiene niveles significativos de vitamina C y puede ser una buena fuente de antioxidantes como los carotenoides (Instituto internacional de la papa, 2019). Además, como en la mayoría de los alimentos de origen vegetal, la patata contiene una serie de metabolitos secundarios, en particular compuestos fenólicos que ayudan a la protección contra infecciones (Del Mar Verde Méndez et al., 2004). Existen especies de patata que son muy amargas, lo que imposibilita su consumo en fresco, esto se debe a su alto contenido en glicoalcaloides. Estas especies se usan para el proceso del chuño, con el que se logra retirar la mayoría de ese amargor y permite su consumo (Woolfe, 1987).

El chuño y la tunta son los nombres que reciben los productos obtenidos a partir de varios tipos de tubérculos, en su mayoría patatas, en el altiplano andino de Perú y Bolivia, mediante secado al sol después de ser congelados. Este proceso permite almacenar los tubérculos por un período de diez años. Es una técnica de conservación de alimentos derivada de una tecnología aymara desarrollada para paliar largos períodos de escasez, existen evidencias arqueológicas de su consumo en la cultura Tiahuanaco, en el año 400 a.C. (Goldstein, 2003) cuando la siembra de patatas era la principal fuente de alimentación en estas zonas de tanta altura, 4000 – 5000 msnm, donde existe un microclima de extrema congelación, baja humedad y fuerte exposición solar durante el día. Un ejemplo de estas condiciones climatológicas es Puno, donde la temperatura promedio para el procesamiento del chuño es de -2,4 °C con una humedad relativa de 28,7% y para la tunta, una temperatura de -1,5 °C con una humedad relativa de 25,7%.

El chuño se refiere a las patatas secas de color negro y la tunta se refiere a las blancas, cada una sigue un proceso diferente. El primer paso para la elaboración del chuño es la selección de las patatas en los meses de abril y mayo; se seleccionan las amargas y se dejan las más dulces para la tunta. Estas patatas se extienden a la intemperie en el mes de junio (del hemisferio sur), cuando la temperatura es de -5 °C; de esta manera, se congelan por la noche y se exponen al sol durante el día. Estas patatas se van pisando con

los pies desnudos para retirar los restos de agua y la piel. A las tres semanas, aproximadamente, las patatas ya están completamente secas y pueden pasar a ser almacenadas.

Para la elaboración de la tunta, el primer paso, también, es la selección de patatas en el mes de abril. A final de mayo se extienden a la intemperie de la misma manera que el chuño, para lograr su congelación en la noche, pero durante el día, se cubren con mantas para evitar su exposición directa al sol. A los cuatro días del inicio del proceso, se realiza el pisado para quitar el agua y la piel. A continuación, las patatas medio secas se colocan en un agujero hecho en la tierra, normalmente cerca de un río con la intención de conseguir un ambiente algo más húmedo, que se apuntala con rocas y paja. Cuando la “tajana”, nombre que recibe este agujero, está llena, normalmente se inunda con agua del río. A continuación, pasan a ser extendidas nuevamente a la intemperie, tapadas por mantas durante tres semanas hasta estar listas para usar y almacenar (Peñarrieta et al. 2011a).

Aunque es un proceso pintoresco, hay partes del proceso que desaniman a mucha gente de fuera de los Andes a probar el chuño y la tunta, como por ejemplo usar los pies descalzos para retirar las pieles. Por consiguiente, los técnicos del CIP enseñaron a los agricultores una serie de mejores prácticas, como colocar las papas en una malla gruesa que se retuerce con el fin de exprimir el agua, secarlas en lona en vez de en el suelo, usar una máquina para pelarlas y lavarlas en agua clorada antes del secado final. Esto da como resultado un chuño y una tunta sanitaria que es idónea para los mercados urbanos y para la exportación (Instituto internacional de la papa, 2019).

**TABLA 1.** Caracterización nutricional obtenida de “Chuño and tunta: the traditional andean sun-dried potatoes” Peñarrieta et al. (2011b).

	Chuño	Tunta	Patata
Agua (% [peso en fresco])	14-20	13-18,1	68-84
Energía (Kcal/100 g de materia seca)	375-400	400	351-400
Proteínas (%[materia seca])	0,6-4,5	1,3-3,2	7-14
Carbohidratos (%[materia seca])	92-95	94-96	79-87
Fibra (%[materia seca])	2,5	2,4	3,5
Lípidos (%[materia seca])	0,2-1,5	0,2	0,4-1,5
Cenizas (%[materia seca])	2-3	0,5	2-5,8
Hierro (mg/100g materia seca)	0,4-7	5	1-8,5
Calcio (mg/100g materia seca)	19-110	83-120	13-38
Zinc (mg/100g materia seca)	0,05-0,14	nd	1,2-2,3
Fósforo (mg/100g materia seca)	60-240	120	170-190
Antioxidantes (μmol TE/100g materia seca)	150-180	nd	100-470
Tiamina (mg/100g materia seca)	0,06-0,15	0,02	0,2-0,6
Riboflavina (mg/100g materia seca)	0,02-0,06	0,02	0,2-0,7
Niacina (mg/100g materia seca)	0,5-4	1	4-9
Ácido clorogénico (mg/100g materia seca)	90	nd	100
Syringaldehyde (mg/100g materia seca)	<0,1	nd	1
Ácido protocatecuico (mg/100g materia seca)	1	nd	2
Ácido gálico (mg/100g materia seca)	60	nd	110
Epicatequina (mg/100g materia seca)	460	nd	200

En la Tabla 1, se muestran los datos bibliográficos recopilados para la caracterización química y el contenido de minerales, vitaminas, aminoácidos

compuestos fenólicos, etc. para el chuño, la tunta y la patata (Peñarrieta et al. 2011b). Con el proceso tradicional del chuño, hay una pérdida media de antioxidantes y compuestos fenólicos y, a su vez una concentración en el contenido de algunos minerales. Por ejemplo, se conoce que el proceso del chuño o la tunta aumenta considerablemente la concentración de calcio.

Debido a su importancia a nivel económico, cultural e histórico en el altiplano andino, y, además, por continuar siendo una fuente importante de nutrientes y antioxidantes tras haber pasado este extremo proceso de conservación, hace falta hacer más estudios sobre su composición, características funcionales, tecnológicas y químicas con el objetivo de su introducción en la alimentación mundial del futuro.

Este estudio, busca caracterizar cuatro muestras de chuño y tunta obtenidos de manera comercial en España, que además de su proceso tradicional, han sido envasadas y transportadas desde Perú o Bolivia.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### 2.1. Materias primas

Las materias primas utilizadas fueron cuatro productos vendidos bajo el nombre de chuño en distintos mercados o comercios de la ciudad de Valencia (Figura 1). En primer lugar, tunta denominada “chuño jauja” por la marca comercializadora, “El Plebeyo” (CHU1), la segunda muestra es tunta ecológica vendida a granel en un mercado público (CHU2).

La tercera muestra denominada “chuño negro” por la marca comercializadora “El Plebeyo” (CHU3) La última muestra es harina de chuño, de la marca “Universal” (CHU4); la etiqueta de este producto pone “Chuño” y debajo en letras más pequeñas, “almidón de papa” y es la que se utiliza normalmente para cocinar en la gastronomía peruana fuera del altiplano.



FIGURA 1. Imágenes de las muestras envasadas en el momento de su compra. De izquierda a derecha: “CHU1”, “CHU2”, “CHU3” y “CHU4”

### 2.2. Preparación de las muestras

Las muestras CHU1, CHU2 y CHU3 fueron trituradas utilizando un robot de cocina Thermomix TM-31 (Vorwerk Spain M.S.L., S.C., Madrid) durante 60

segundos a velocidad 10 que equivale a 10200 rpm. Como la muestra CHU4 ya estaba triturada, no se le aplicó ningún tratamiento. A continuación, las cuatro muestras se pesaron en una balanza Sartorius de semi-precisión para obtener tres paquetes de 150 g de cada muestra que se envasaron al vacío y se almacenaron en oscuridad para las posteriores pruebas.

### 2.3. Caracterización química

Para evaluar la composición nutricional de las harinas de chuño se emplearon métodos oficiales de análisis AOAC (Horwitz, 2000). Todas las determinaciones se realizaron por triplicado para cada muestra.

#### 2.3.1. HUMEDAD

El fundamento de la determinación de humedad se basa en la desecación directa de la harina, en estufa con aire forzado durante 24 h o hasta pesada constante. Se pesó 2 g de muestra en crisoles de porcelana y se llevaron a secar a una estufa de la marca Selecta a 105 °C durante 24 h; se dejaron enfriar en el desecador y se pesaron en una balanza de precisión Mettler-Toledo modelo AB204 hasta peso constante. El contenido de humedad (%) se obtiene mediante diferencia del peso de la materia inicial y la sustancia seca (SS), que se calcula con la ecuación 1.

$$\text{Sustancia seca (SS)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_0} \cdot 100 \text{ (Ecuación 1)}$$

Donde  $P_0$  es el peso de la muestra inicial,  $P_1$  es el peso del crisol con la muestra seca y  $P_2$  es el peso del crisol.

#### 2.3.2. CONTENIDO EN PROTEÍNAS

Para la determinación del contenido en proteínas se pesaron 0,5 g de cada muestra de harina y se introdujo en tubos especiales de digestión. Se añadió a cada tubo, 4 g de una mezcla de catalizadores ( $K_2SO_4$  y  $CuSO_4$ ) y 10 mL de una mezcla de ácidos, agitando suavemente para evitar la formación de espuma. A continuación, se colocaron los tubos en el bloque digestor a 420 °C durante 30 minutos. Transcurrido el tiempo, se dejó enfriar y se añadió 50 mL de agua destilada con precaución a cada tubo para colocarlo en una unidad de destilación marca Foss Tecator (2100 Kjeltac distillation Unit), previamente preparada y ajustada. En la unidad de destilación, también se situó un Erlenmeyer de 250 mL, con 15 mL de la mezcla de ácido bórico con el indicador (verde de metilo). Una vez recogidos de 100 a 125 mL de destilado, se valoró con  $H_2SO_4$  0,05 N hasta el viraje de verde a rojo pálido. De la misma manera, se realizó un blanco con todos los reactivos, pero sin muestra. El nitrógeno total se expresó en porcentaje sobre la materia seca y se calculó con la ecuación 2.

$$\%N_{TOTAL} = \frac{(V_m - V_b) \cdot N \cdot 100}{P_1(mg)} \cdot 14 \text{ (Ecuación 2)}$$

Donde  $V_m$  es el volumen de  $H_2SO_4$  (mL) gastados en la valoración de la muestra,  $V_b$  es el volumen de  $H_2SO_4$  (mL) gastados en la valoración del blanco,  $N$  es la normalidad del  $H_2SO_4$  y  $P_1$  es el peso de la muestra en mg.

Finalmente, para la determinación porcentual de la proteína bruta se multiplica en contenido en nitrógeno total por el factor de 6,25.

### 2.3.3. CENIZAS O MINERALES TOTALES

Se pesó 2 g de muestra en crisoles de porcelana y se procedió a destruir toda la materia orgánica por incineración en horno de mufla a 450 °C durante 4 h y se dejó enfriar. Se pesó cada crisol para obtener el porcentaje de cenizas con la ecuación 3.

$$Cenizas (\%) = \frac{(P_1 - P_2)}{P_0} \cdot 100 \text{ (Ecuación 3)}$$

Donde  $P_0$  es el peso de la muestra,  $P_1$  es el peso del crisol con las cenizas y  $P_2$  es el peso del crisol vacío.

### 2.3.4. CONTENIDO EN MINERALES INDIVIDUALES

A cada crisol con las cenizas se le agregó 1 mL de agua destilada para evitar el contacto directo con el HCl. En campana extractora, se le agregó a cada crisol 2 mL de HCl al 2% y se colocaron en una placa calefactora a 40 °C durante 5 minutos (hasta que salieron los primeros vapores). Se dejaron enfriar las muestras y el contenido de cada crisol se filtró a matraces aforadas de 100 mL haciendo lavados periódicos al papel de filtro con las cenizas para arrastrar la mayor parte posible de minerales a la disolución.

Se enrasó cada matraz a 100 mL con agua destilada y se pasó el contenido a botellas de vidrio topacio.

#### 2.3.4.1. Potasio

El principio de esta determinación se basa en la emisión espectral del potasio, la cual se midió a 760 nm en fotómetro de llama de aire-butano Jenway PFP7. En tres de las muestras (CHU1, CHU2 y CHU4), la concentración se midió directamente, pero en el caso de CHU3 se realizó una dilución de 250  $\mu$ L de muestra en matraz aforado hasta 25 mL con HCl al 2%. La preparación de la curva de calibrado se hizo con los patrones de 0, 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ppm, partiendo de la disolución de 100 mg de  $K \cdot L^{-1}$  y enrasándolos con HCl al 2%.

Finalmente, se llevaron los valores obtenidos sobre la curva de calibrado y se expresó el contenido de potasio de cada muestra en mg de K en 100 g de materia seca, tomando en cuenta las diluciones efectuadas.

#### 2.3.4.2. Sodio

El principio de esta determinación se basa en la emisión espectral del sodio, la cual se midió a 760 nm en fotómetro de llama de aire-butano Jenway PFP7. La preparación de la curva de calibrado se hizo con los patrones de 1, 2, 3, 4, 5 y 6 ppm, partiendo de la disolución de 100 mg de Na·L<sup>-1</sup> y enrasándolos con HCl al 2%.

Finalmente, se llevaron los valores obtenidos sobre la curva de calibrado y se expresó el contenido de sodio de cada muestra en mg de Na en 100 g de materia seca.

#### 2.3.4.3. Fósforo

Para la determinación del fósforo se empleó la muestra ácida mineralizada, donde con la presencia de iones V<sup>5+</sup> y Mo<sup>6+</sup>, el ácido fosfórico da un complejo amarillo de fosfomolibdovanadato, cuya absorbancia se mide con un espectrofotómetro UV/V Jenway modelo 6715 UV-Visible a una longitud de onda de 430 nm. El procedimiento consistió en introducir un volumen de 2,5 mL de la muestra mineralizada en un matraz de 25 mL, se añadió 0,5 mL de nitrovanadomolibdico y se enrasó con agua destilada. Se realizó una curva de calibrado de 0, 2, 4, 6, 8, 10 y 12 mg de P·L<sup>-1</sup>, partiendo de una disolución de 20 mg de P·L<sup>-1</sup>, añadiendo a cada uno 0,5 mL de nitrovanadomolibdico y aforándolos a 25 mL. Los matraces con las muestras y la curva de calibrado se dejaron reposar una hora y luego se midieron en el espectrofotómetro. La absorbancia para la muestra se interpoló en la ecuación de la recta de calibrado y se obtuvo la concentración de iones del fósforo en mg·L<sup>-1</sup>. Los resultados se expresaron en mg P en 100 g de materia seca.

#### 2.3.4.4. Calcio y magnesio

La determinación de estos minerales se realizó con un espectrofotómetro de absorción atómica Thermo Solaar. Para la determinación del calcio, se prepararon diluciones en tubos falcon con 0,8 mL de muestra, 0,5 mL de lantano y 8 mL de HCl al 2%. Para la determinación del magnesio, se realizaron disoluciones de 0,25 mL de muestra aforada en matraz de 25 mL con ácido clorhídrico al 2%. Se efectuaron las lecturas y se midieron los puntos de la curva de calibrado para poder interpolar la absorbancia para cada muestra en la ecuación de la recta. El resultado se expresó en mg de Ca y Mg en 100 g de materia seca, respectivamente.

#### 2.3.4.5. Hierro, cobre y zinc

Este método se basó en medir la absorción del átomo de hierro, cobre y zinc, que se midió a 248,3 nm; 324,8 nm y 213,9 nm, respectivamente, con un equipo de absorción atómica Thermo Solaar, comparándose a continuación, las lecturas con las de la curva patrón. Los resultados se expresaron en mg de Fe, Cu y Zn en 100 g de materia seca.

### 2.3.5. CONTENIDO EN GRASA

El contenido de grasa de un alimento es la fracción de este, extraíble en éter de petróleo en condiciones determinadas. La extracción se realizó a partir de 2 g de muestra en un equipo Soxhlet de la marca Foss (modelo ST243 Soxtec™ de Labtec™ line). El porcentaje de grasa bruta sobre sustancia seca se obtuvo con la ecuación 4.

$$\text{Grasa (\%)} = \frac{(P_1 - P_2)}{P_0} \cdot 100 \text{ (Ecuación 4)}$$

Donde  $P_0$  es el peso de la muestra inicial,  $P_1$  es el peso del recipiente con el extracto etéreo y  $P_2$  es el peso del recipiente vacío

### 2.3.6. FIBRA

En la determinación del contenido de fibra, se pesó 3,5 g de muestra en cápsulas que se colocaron en un carrusel para el proceso.

En primer lugar, se introdujeron las muestras en una jarra con  $\text{H}_2\text{SO}_4$  0,13 M y se llevó a ebullición durante 30 minutos, tapando con el condensador y conectando la refrigeración. Transcurrido el tiempo, se lavaron las muestras tres veces con  $\text{H}_2\text{O}$  a 80 °C, cambiando el agua en cada lavado. El segundo paso fue una extracción con KOH 0,23 M, que se llevó a cabo de forma idéntica que el paso anterior, y transcurridos los 30 minutos, se realizaron dos lavados con  $\text{H}_2\text{O}$  a 80 °C, seguidos por un lavado con HCl 0,5 M y un último lavado con  $\text{H}_2\text{O}$  a 80 °C.

Se dejó drenar el líquido de las cápsulas y se introdujeron en una estufa a 105 °C durante 24 h. Finalmente, las muestras se pusieron en la mufla dentro de crisoles de porcelana a 600°C durante 4 h y se tomó el peso final al acabar este proceso. El contenido en fibra se calculó con la ecuación 5.

$$FB\% = \frac{P_3 - (P_1 * C) - (P_5 - P_4 - D)}{P_2} \cdot 100 \text{ (Ecuación 5)}$$

Donde  $P_1$  es el peso en mg de la cápsula vacía, previamente secada y enfriada,  $P_2$  es el peso en mg de la muestra,  $P_3$  es el peso en mg de la capsula con la muestra digerida y secada,  $P_4$  es el peso en mg del crisol vacío y secado,  $P_5$  es el peso en mg del crisol con las cenizas de la cápsula y la muestra, C es el valor del blanco establecido como ratio de la cápsula digerida y seca y la cápsula sin digerir y D es el peso en mg de las cenizas del blanco.

### 2.3.7. ALMIDÓN TOTAL

El método para conocer el porcentaje total de almidón comprende una doble determinación, la del poder rotatorio total y la del poder rotatorio de las sustancias solubles en etanol al 40%. Para la primera determinación se pesó 2 g de muestra en un Erlenmeyer de 100 mL al que se le agregó 50 mL de  $\text{H}_2\text{O}$  y 2 mL de HCl al 25% y se llevó a un baño de agua hirviendo con agitación durante 15 minutos. Transcurrido el tiempo, se enfriaron las muestras en un

baño de agua con hielo y se trasvasaron a aforados de 100 mL donde se añadió, uno por uno, 5 mL de los reactivos carrez I y carrez II agitando tras agregar cada uno y finalmente se enrasó cada aforado a 100 mL para, por último, filtrarlos. Para la segunda determinación, primero se pesó 5 g de muestra en aforados de 100 mL, se puso 80 mL de etanol al 40% y se dejó una hora a temperatura ambiente agitando 6 veces durante la hora. Se enrasó con etanol al 40% y se filtró cada muestra en Erlenmeyer de 100 mL al que se le agregó 2 mL de HCl al 25% y se repitió exactamente el proceso realizado para la primera determinación. Cada muestra se midió en un polarímetro de la marca ZUZI, el cual se calibra con agua destilada a 0°. Para calcular el porcentaje de almidón se utilizó la ecuación 6.

$$\% \text{almidón} = \frac{2000(P-P')}{(\alpha)_D^{20^\circ}} \text{ (Ecuación 6)}$$

Donde P es el poder rotatorio total en grados de arco y P' el poder rotatorio en grados de arco para las sustancias solubles en etanol al 40%,  $(\alpha)_D^{20^\circ}$  poder rotatorio específico del almidón puro para la patata, que es 185,4 °.

### 2.3.8. CARBOHIDRATOS

El porcentaje total de los carbohidratos se determinó por equivalencia con el extracto libre de nitrógeno (ELN), el cual se obtuvo por diferencia porcentual entre el peso de la muestra y la suma de los porcentajes de grasa, fibra, proteína y cenizas mediante la ecuación 7.

$$\text{Carbohidratos (\%)} = 100 - [\text{ceniza(\%)} + \text{grasa(\%)} + \text{proteínas(\%)} + \text{fibra(\%)} + \text{H}_2\text{O (\%)}] \text{ (Ecuación 7)}$$

## 2.4. Determinación de la capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles

### 2.4.1. CAPACIDAD ANTIOXIDANTE

La determinación de la capacidad antioxidante se realizó mediante la captura del radical libre 2,2-difenil-1-picrilhidracilo (DPPH), utilizando una adaptación de los métodos descritos por Puertas-Mejía (2012) y Kuskoski et al. (2005). Para la determinación de la capacidad antioxidante, se preparó un extracto de 100 mg de harina de chuño y se introdujo en tubos falcon con 8 mL de metanol clorhídrico. Los tubos se agitaron en oscuridad a 200 rpm usando un Orbital Shaker S01 de la marca Stuart Cientific durante 1 hora y, a continuación, se llevaron a la centrifuga de la marca ALRESA durante cinco minutos a 2500 rpm. Los extractos se guardaron a una temperatura de 3 a 5 °C en refrigerador.

En primer lugar, se realizó una disolución de 0,1 mL de la parte acuosa del extracto en 1,9 mL de metanol/clorhídrico. En tubos de ensayo, se colocó 0,01 mL de la anterior disolución con 0,09 mL de metanol y 3,9 mL de disolución de DPPH (preparada con 0,0025 g de DPPH diluidos en 100 mL de

metanol y conservada en oscuridad). Estos tubos se guardaron en oscuridad durante 60 minutos para permitir la reacción. Antes del análisis de las muestras, se preparó una curva patrón con trolox en etanol de 0; 0,3; 0,5; 0,8; 1 y 1,3 ppm en 0,1 mL y 3,9 mL de DPPH. Se midió en espectrofotómetro UV/V Schott instruments modelo UViline 9400 a una longitud de onda de 515 nm, vertiendo el contenido de cada tubo de ensayo en una cubeta de vidrio. Los resultados se expresaron en  $\mu\text{mol}$  de equivalentes trolox por 100 g de materia seca.

#### **2.4.2. CONTENIDO TOTAL DE POLIFENOLES**

El conjunto de los compuestos fenólicos de la harina de chuño se oxida con el reactivo Folin-Ciocalteu, constituido por una mezcla de ácido fosfotúngstico y ácido fosfomolibdico, el cual se reduce por la acción de los fenoles en un medio básico.

Para esta prueba, en primer lugar, se colocó 0,1 g de muestra en un microtubo con 1 mL de extractante de polifenoles (acetona, ácido acético y agua 700:5:295), a continuación se mezcló 50  $\mu\text{L}$  de la solución acuosa del extracto correspondiente a cada muestra con 1,5 mL del reactivo Folin-Ciocalteu (1:10) y se dejó reposar por cinco minutos; transcurrido el tiempo, se le agregó 1,5 mL de  $\text{NaCO}_3$  a  $60 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$  y se dejó durante una hora en oscuridad para que se produzca la reacción. Para la recta de calibrado se usó ácido gálico y se preparó las disoluciones de 25, 50, 100, 200 y 300 ppm con 100 mg de ácido gálico disueltos en 100 mL de agua destilada en matraces aforadas a 10 mL con agua destilada.

Las mediciones se efectuaron con un espectrofotómetro de la marca Jenway modelo 6715 UV-Visible a una longitud de onda de 750 nm.

Los resultados se expresaron en mg de ácido gálico por 100 g de materia seca.

#### **2.5. Actividad del agua ( $a_w$ )**

Es la humedad en equilibrio de un producto, determinada por la presión parcial del vapor de agua en su superficie. El valor  $a_w$  depende de la composición, la temperatura y el contenido en agua del producto. Tiene incidencia sobre las características de calidad, tales como la textura, sabor, el color, gusto, el valor nutricional y su tiempo de conservación. Se midieron los valores de actividad de agua con el higrómetro de punto de rocío de la marca Aqua Lab (modelo 4TE).

#### **2.6. Microscopía**

Las muestras se colocaron sobre cinta adhesiva de carbono de doble cara en portas de aluminio de 120 mm de diámetro y no hizo falta revestimiento metálico, ya que se observaron con un voltaje de aceleración de 1kv. El equipo utilizado fue un microscopio electrónico de barrido de emisión de campo (FESEM) (ULTRA 55, Carl Zeiss AG, Oberkochen, Germany).

## 2.7. Análisis del tamaño de partícula

Se siguió el método empleado por Bressi (2017). Las muestras trituradas se secaron a 60 °C durante 2 horas y se dejaron enfriar.

El tamaño de partícula de las muestras de chuño se determinó usando un difractómetro láser Mastersizer® 2000 (Malvern Instruments Ltd., Malvern, Reino Unido). Se consideró un índice de refracción de 1,52 y un índice de absorción de 0,1. Las medidas se llevaron a cabo por triplicado empleando en cada medida 10-20 g de muestra. Como dispersante se utilizó aire (vía seca). El tamaño medio de las partículas fue expresado en términos del parámetro  $D[4,3]$  (ecuación 8), donde  $n$  es la cantidad de partículas de diámetro  $d$ . Así mismo se consideró el parámetro “span” o medida de la anchura de la distribución de tamaño de partícula. Cuanto más ancha es dicha distribución, mayor es el valor de este parámetro. Por último se consideraron los parámetros para tamaño de partícula por debajo del cual se encuentra el 10% ( $d(0,1)$ ), el 50% ( $d(0,5)$ ) o el 90% ( $d(0,9)$ ) de la muestra.

$$D[4,3] = \frac{\sum_{i=1}^n nd_i^4}{\sum_{i=1}^n nd_i^3} \text{ (ecuación 8)}$$

## 2.8. Calorimetría diferencial de barrido

La temperatura de gelatinización del almidón se determinó en exceso de agua (relación muestra:agua 1:3) empleando un calorímetro diferencial de barrido DSC1 (Mettler Toledo, España).

Se prepararon dos repeticiones para cada muestra. Los crisoles se sellaron herméticamente y se dejaron equilibrar en nevera durante 24 h antes del análisis. Se realizó un barrido de calentamiento desde 20 °C hasta 95 °C a 5 °C/minuto, el cual se mantuvo durante dos minutos a 95 °C y, a continuación, se realizó un enfriado rápido a -20 °C/minuto.

Para el análisis se tuvo en cuenta las temperaturas (onset, peak y endset) de gelatinización y no las entalpías ya que, los crisoles no se podían cerrar herméticamente por completo y esto afecta a las medidas.

## 2.9. Caracterización funcional

### 2.9.1. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE AGUA

La capacidad de retención de agua (WHC) se determinó utilizando los métodos modificados de Heywood et al. (2002) y Lin y Zayas (1987).

Se pesó dentro de un tubo de centrífuga, 1 g de muestra con 19 g de agua destilada utilizando una balanza de semi-precisión Mettler Toledo (modelo PB303-L). Se centrifugó a 5000 rpm durante 30 minutos a 22 °C en una centrífuga Medifriger (modelo BL- S) y finalmente, se retiró el sobrenadante para pesar el residuo de cada tubo. Los resultados se procesaron con la ecuación 9.

$$WHC = \frac{P_2 - P_1 - P_0}{P_0} \text{ (Ecuación 9)}$$

Donde  $P_2$  es el peso del tubo con el residuo,  $P_1$  es el peso del tubo y  $P_0$  es el peso de la muestra.

### 2.9.2. CAPACIDAD DE RETENCIÓN DE SOLVENTE

La capacidad de retención de solvente (SRC) se determinó según el método AACC (2005), el solvente utilizado fue bicarbonato sódico (5% w/v). Se pesó dentro de un tubo de centrifuga 2,5 g de muestra y, en una probeta de 50 mL, se mezcló 2,5 g de bicarbonato de sodio y se enrasó hasta 12,5 mL con agua destilada. Esta disolución, se agregó al tubo de centrifuga con la muestra. Cada tubo se agitó con el vortex durante un minuto y se centrifugó a 6950 rpm durante 15 minutos a 22 °C en una centrifuga Medifriger (modelo BL- S). Se retiró el sobrenadante y se peso el residuo para procesar los datos con la ecuación 10.

$$SRC(\%) = \left(\frac{P_1}{m}\right) \cdot \left(\frac{86}{100 - \%X_w}\right) \cdot 100 \text{ (Ecuación 10)}$$

Donde  $P_1$  es el peso del gel una vez retirado el sobrenadante,  $m$  es el peso de la muestra y  $\%X_w$  es el porcentaje de humedad de la muestra.

### 2.9.3. CAPACIDAD DE ABSORCIÓN DE GRASA

La capacidad de absorción de grasa (FAC) se determinó según el método de Ahn et al. (2005). Se pesó dentro de un tubo de centrifuga, 1 g de muestra y 10 mL de aceite de girasol. Las muestras se agitaron en el vortex durante un minuto y se centrifugaron a 3200 rpm durante 10 minutos a 22 °C en una centrifuga Medifriger (modelo BL- S). Para procesar los datos obtenidos se usó la ecuación 11.

$$FAC = \frac{(P_2 - P_1)}{P_0} \text{ (Ecuación 11)}$$

Donde  $P_0$  es el peso de la muestra,  $P_1$  es el peso del tubo de centrifuga con la muestra seca y  $P_2$  es el peso del tubo de centrifuga con el residuo tras retirar el aceite.

### 2.9.4. CAPACIDAD DE FORMAR ESPUMA Y ESTABILIDAD DE LA ESPUMA

La capacidad de formar espuma (FC) y su estabilidad (FS) a 20 y 40 minutos se determinó modificando el método descrito por Narayana y Narasinga Rao (1982). Se pesó 3 g de muestra en una probeta de 100 mL con 60 mL de agua destilada y se selló cada probeta con parafilm. Se anotaron los volúmenes iniciales para cada muestra y a continuación se procedió a hacer una agitación manual invirtiendo la probeta 20 veces. Se anotaron los volúmenes de espuma formada y se dejó reposar el tiempo estimado para medir la estabilidad. La FC se expresó en mL de espuma formada a tiempo 0' y la FS se expresó como un porcentaje de la espuma formada a 20' y 40'.

## 2.10. Análisis estadísticos

Para el análisis de los resultados obtenidos en cada muestra de harina de chuño, se realizó un análisis de la varianza (ANOVA) con un nivel de significación del 95% y utilizando para las comparaciones, la prueba LSD. Los datos fueron analizados mediante el Software STATGRAPHICS Centurion XVI Versión 16.1.17. (StatPoint Technologies, Inc., 2011).

## 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 3.1. Caracterización química

En la Tabla 2 se muestran los resultados del valor nutricional de las muestras tras determinar su composición química. Para el cálculo del valor energético en kcal totales de cada muestra se sumó la multiplicación del porcentaje total de proteínas y carbohidratos por el factor 4 y del porcentaje total de los lípidos por el factor 9.

**TABLA 2.** Valores medios y desviación estándar obtenidos para la caracterización química (valor nutricional en base húmeda) de las muestras estudiadas.

	CHU1	CHU2	CHU3	CHU4
Energía (kcal)	329,9±0,9 <sup>b</sup>	339,9±1,3 <sup>d</sup>	313±4 <sup>a</sup>	335,4±1,7 <sup>c</sup>
Humedad (%)	15,9382±0,1103 <sup>c</sup>	13,62±0,15 <sup>b</sup>	11,9±0,2 <sup>a</sup>	15,8±0,4 <sup>c</sup>
Proteínas (%)	2,08±0,06 <sup>b</sup>	2,47±0,13 <sup>c</sup>	3,38±0,05 <sup>d</sup>	0,1176±0,1000 <sup>a</sup>
Grasas (%)	0,23±0,07 <sup>a</sup>	0,25±0,05 <sup>a</sup>	0,12±0,12 <sup>a</sup>	0,1989±0,0004 <sup>a</sup>
Cenizas (%)	0,37±0,03 <sup>a</sup>	0,48±0,03 <sup>a</sup>	3,3±0,7 <sup>b</sup>	0,58±0,08 <sup>a</sup>
Fibra (%)	1,6±0,3 <sup>b</sup>	1,2±0,2 <sup>b</sup>	6,6±0,6 <sup>c</sup>	0,000±0,000 <sup>a</sup>
Carbohidratos (%)	79,8±0,5 <sup>b</sup>	81,94±0,18 <sup>c</sup>	74,7±0,8 <sup>a</sup>	83,2±0,7 <sup>d</sup>
Almidón total (%)	72,2±0,6 <sup>b</sup>	69±4 <sup>b</sup>	56,504±1,000 <sup>a</sup>	83,0±0,7 <sup>c</sup>
Azúcares (%)	7,6±0,2 <sup>b</sup>	13±3 <sup>c</sup>	18,2±1,8 <sup>c</sup>	0,179±0,001 <sup>a</sup>

Diferentes letras en la misma fila indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

Los resultados obtenidos son muy similares a los expuestos por Peñarrieta et al. (2011b) para las muestras CHU1 y CHU2 comparables a la tunta o chuño blanco y la muestra CHU3 comparable al chuño negro, pero son distintos para la muestra CHU4 ya que es almidón de patata y no se ha elaborado según el proceso tradicional del chuño, la única diferencia con los datos bibliográficos es que, en el caso de CHU3, la muestra analizada presenta valores mucho más altos para el contenido en fibra con un 7,3% comparado al 2,4% de los datos bibliográficos, ambos valores en base seca. La muestra CHU4 presenta el contenido más alto en carbohidratos; el análisis muestra que tiene una deficiencia de aporte proteico, y de fibra, al contrario de esto, la muestra CHU3 presenta valores de contenido proteico y de fibra significativamente más altos y valores de carbohidratos, grasa y humedad significativamente más bajos que las demás muestras.

Para poder comparar los valores obtenidos para CHU4, se procedió a consultar tres estudios sobre almidón de patata. Los valores para humedad y cenizas en la muestra son más altos que los de Martínez et al. (2019) y Pardo

et al. (2013) que exponen niveles de humedad con medias de 9,5% y 6,3% y de contenido en cenizas con medias de 0,36% y 0,25%, respectivamente. El porcentaje de cenizas es un poco más alto para CHU4 y el elevado nivel de humedad de la muestra en comparación con los estudios se puede deber a que en ellos se midió la humedad del almidón inmediatamente después de extraerlo y secarlo, mientras que con CHU4 ha pasado tiempo desde su extracción o, simplemente, puede deberse a que el proceso de secado de esta muestra es industrial. Con respecto a los valores de contenido de lípidos 0,23% y 0,30% según Martínez et al. (2019) y Vargas et al. (2016) y de proteína 0,32% y 0,63% de acuerdo con Martínez et al. (2019) y Pardo et al. (2013), presenta un valor inferior a los encontrados en bibliografía. En cuanto a los carbohidratos, su valor, 97,37% (en base seca) es similar al 98,8% y 99,18% de Vargas et al. (2016). Finalmente, observamos que el aporte calórico máximo lo tiene la muestra CHU2 con 339 kcal en 100 g de muestra, seguida de cerca por CHU4 con 335 kcal en 100 g de muestra.

En la Tabla 3, se muestran los resultados obtenidos para el contenido de minerales individuales.

**TABLA 3.** Media (desviación estándar) de los valores obtenidos para el contenido en Potasio (K), Sodio (Na), Fósforo (P), Calcio (Ca), Magnesio (Mg), Hierro (Fe), Cobre (Cu) y Zinc (Zn) en mg/100 g de materia seca.

	K	Na	P	Ca	Mg	Fe	Cu	Zn
CHU1	43±5 <sup>a</sup>	15,4± 0,8 <sup>c</sup>	73± 6 <sup>a</sup>	103±3 <sup>c</sup>	33± 14 <sup>b</sup>	2,64± 0,10 <sup>b</sup>	0,12± 0,02 <sup>a</sup>	0,51± 0,08 <sup>a</sup>
CHU2	30±3 <sup>a</sup>	6± 3 <sup>a</sup>	96± 5 <sup>b</sup>	161±4 <sup>d</sup>	19± 3 <sup>ab</sup>	8,4± 0,3 <sup>c</sup>	0,14± 0,02 <sup>a</sup>	0,7± 0,4 <sup>ab</sup>
CHU3	628± 73 <sup>b</sup>	11±3 <sup>b</sup>	216±50 <sup>a</sup>	40± 4 <sup>a</sup>	113± 22 <sup>c</sup>	2,2± 0,6 <sup>b</sup>	0,42± 0,04 <sup>b</sup>	1,2± 0,6 <sup>b</sup>
CHU4	47±2 <sup>a</sup>	16,4± 0,8 <sup>c</sup>	66± 3 <sup>a</sup>	63± 4 <sup>b</sup>	7±3 <sup>a</sup>	0,00± 0,00 <sup>a</sup>	0,12± 0,04 <sup>a</sup>	0,50± 0,08 <sup>a</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

Los valores para hierro, calcio, zinc y fósforo según Peñarrieta et al. (2011b), son similares a los encontrados en los experimentos realizados, excepto para CHU2 que tiene los niveles de calcio y hierro más altos que los datos bibliográficos. No se ha encontrado bibliografía para comparar el contenido en los demás minerales. CHU1 y CHU2 debería presentar valores bastante similares, por tratarse del mismo producto (tunta), pero hay muchas variedades de patata con las que se puede elaborar la tunta y el proceso también puede influir (el tipo de agua de la región, el tiempo de remojo o incluso si se remojan o no); por eso, presentan un contenido mineral tan distinto, aunque sean el mismo producto. Destaca en CHU1 el contenido en calcio y en hierro 12,92% y 18,86%, respectivamente de la ingesta diaria recomendada (IDR); mientras que en la muestra CHU2 destacan los niveles de fósforo, calcio y hierro, con 13,70%, 20,15% y 60,21%, respectivamente de la IDR. Los valores obtenidos para la muestra CHU3, correspondiente al chuño negro, representan más de un 30% de la IDR por la Unión Europea para el potasio, fósforo, magnesio y un 40% para el cobre (García-Gabarra, 2017). La muestra de almidón de patata (CHU4) presenta valores bastante bajos de casi todos los minerales y ausencia absoluta de hierro.

### 3.2. Determinación de la capacidad antioxidante y contenido total de polifenoles

En la Tabla 4, se presentan los valores obtenidos para la capacidad antioxidante y los polifenoles totales de las muestras analizadas. En el estudio de Peñarrieta et al. (2011) se analizó la capacidad total antioxidante (TAC) con los métodos FRAP y ABTS y el contenido total de compuestos fenólicos (TPH) usando el método descrito por Peñarrieta et al. (2008); debido a que la metodología aplicada en el presente estudio fue la del DPPH, no es posible comparar los valores de TAC, pero sí es posible comparar los de TPH. El valor más alto es para la muestra CHU3 (chuño negro) con 3,06 mgÁcido Gálico/g de materia seca, la cual tiene un contenido en polifenoles significativamente más alta que las demás muestras, pero es más baja que los valores obtenidos en la bibliografía con 5 – 10,4 mgÁcido Gálico/g de materia seca, posiblemente por tratarse de alimentos procesados, envasados y transportados; mientras que los del estudio fueron medidos al terminar el proceso de elaboración en el lugar de origen. La capacidad antioxidante obtenida se comparó con los datos que ofrece la página web portal antioxidantes donde aparecen los valores de TAC para 8 variedades de patata. El valor medio para las patatas es de 8388,75 mmolTrolox/100 g de materia seca, mientras que para las muestras, el valor medio es de 1105,17 mmolTrolox/100 g de materia seca, por lo tanto, se puede decir que tras el proceso de elaboración del chuño hay, aproximadamente, hasta un 85% de pérdida de antioxidantes.

**TABLA 4.** Valores medios (y desviación estándar) obtenidos para la capacidad antioxidante y contenido total en polifenoles de las cuatro muestras de harina estudiadas.

	Capacidad antioxidante (mmolTrolox/100 g de materia seca)	Polifenoles totales ( $\mu$ molÁcido Gálico/g materia seca)
CHU1	1140 $\pm$ 26 <sup>a</sup>	1,4 $\pm$ 0,7 <sup>b</sup>
CHU2	1137 $\pm$ 59 <sup>a</sup>	0,79 $\pm$ 0,19 <sup>ab</sup>
CHU3	1056 $\pm$ 105 <sup>a</sup>	3,06 $\pm$ 0,13 <sup>c</sup>
CHU4	1088 $\pm$ 155 <sup>a</sup>	0,5 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

### 3.3. Actividad del agua (aw)

Los alimentos de humedad intermedia tienen valores de aw de entre 0,85 y 0,60 (Belitz et al., 2011) y son bastante estables. En la Tabla 5, se presentan los valores obtenidos para la aw. Todas las muestras están dentro de los parámetros de alimentos similares (otros tipos de harina).

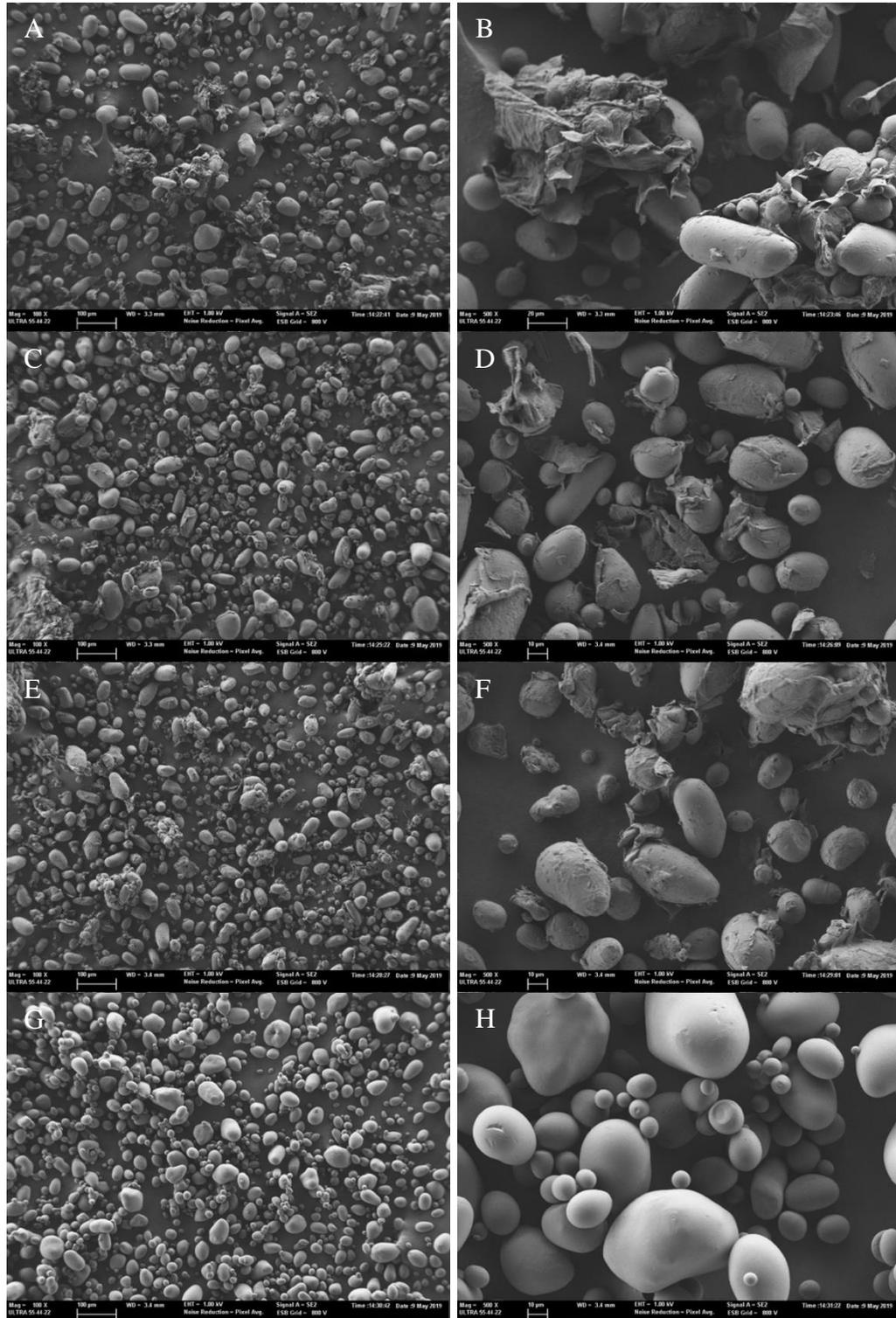
**TABLA 5.** Valores medios (y desviación estándar) de la actividad de agua obtenidas para las muestras estudiadas.

Muestra	aw
CHU1	0,610 $\pm$ 0,015 <sup>b</sup>
CHU2	0,582 $\pm$ 0,012 <sup>a</sup>
CHU3	0,576 $\pm$ 0,007 <sup>a</sup>
CHU4	0,594 $\pm$ 0,010 <sup>ab</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas (p<0,05)

### 3.4. Microscopía

En la Figura 2 se pueden observar las micrografías de las muestras analizadas con FESEM a 100 y 500 aumentos para cada muestra.



**FIGURA 2.** Muestra CHU1 (tunta) a 100X (A) y a 500X (B); muestra CHU2 (tunta) a 100X (C) y a 500X (D); muestra CHU3 (chuño) a 100X (E) y a 500X (F); y muestra CHU4 (almidón de patata) a 100X (G) y a 500X (H).

En las muestras CHU1, CHU2 y CHU3 se observan gránulos de almidón que presentan una morfología ovalada y otros más alargada, mientras que en la muestra CHU4 los gránulos aparecen con apariencia ovoide, pero más redondeados.

En CHU1, CHU2 y CHU3 se puede ver que algunos gránulos están envueltos con restos de amiloplastos o paredes celulares que los contenían antes de la molienda; en muchos casos, los hace mantenerse agrupados y resulta en un tamaño de partícula mayor al considerarse como unidades. En la muestra CHU2, a diferencia de CHU1, no hay tantos cúmulos, por lo que el tamaño de partícula será menor. En el caso de la muestra CHU3 se puede observar en la imagen a 100 aumentos que hay mayor presencia de aglomerados de almidón envueltos por amiloplastos más empaquetados que en las dos muestras anteriores, y a su vez, cada gránulo también se encuentra envuelto, esto resultará en un tamaño de partícula mayor y se nota la matriz más abundante para esta muestra, por eso el contenido más alto en fibra y proteínas. En la muestra CHU4 no se observan restos de amiloplastos, paredes celulares ni ningún otro componente de la matriz donde se encontraban estos gránulos. Todo esto indica que este almidón ha seguido un proceso diferente de extracción, es almidón de patata aislado por una metodología industrial.

### 3.5. Análisis del tamaño de partícula

En la tabla 6 se muestran los resultados del análisis de la distribución del tamaño de partícula de las muestras, el cual proporciona información acerca de la capacidad (velocidad) y uniformidad de absorción de agua (disolución en sistemas sólidos o suspensiones).

Se puede observar que los valores del tamaño medio de partícula (expresados como diámetro medio del volumen equivalente) así como los de  $d(0,1)$ ,  $d(0,5)$  y  $d(0,9)$  son significativamente superiores para la muestra CHU3, la cual presenta, según las micrografías presentadas, almidón aglomerado que se cuenta como partículas unitarias de mayor tamaño. La muestra CHU1, también presenta cúmulos, pero en menor cantidad. Por otra parte, la muestra con valores significativamente inferiores es CHU4, que ya venía triturada y posiblemente tamizada, por lo tanto, el tamaño de partícula sólo toma en cuenta la distribución del tamaño de sus gránulos de almidón, por esta razón también, el span nos demuestra que es la muestra con mayor homogeneidad.

**TABLA 6.** Valores medios y desviación estándar del tamaño medio de partícula ( $D[4,3]$ ), del tamaño máximo de partículas para el 10%, el 50% o el 90% de la muestra ( $d(0,1)$ ,  $d(0,5)$  o  $d(0,9)$ ), y el número span para la harina de chuño de cada muestra seca.

	$D[4,3]$ ( $\mu\text{m}$ )	$d(0,1)$ ( $\mu\text{m}$ )	$d(0,5)$ ( $\mu\text{m}$ )	$d(0,9)$ ( $\mu\text{m}$ )	Span
CHU1	109 $\pm$ 4 <sup>c</sup>	20,43 $\pm$ 0,19 <sup>c</sup>	58,67 $\pm$ 1,02 <sup>c</sup>	303,14 $\pm$ 12,21 <sup>c</sup>	4,82 $\pm$ 0,12 <sup>c</sup>
CHU2	68,05 $\pm$ 1,01 <sup>b</sup>	17,12 $\pm$ 0,08 <sup>a</sup>	46,1 $\pm$ 0,2 <sup>b</sup>	122,91 $\pm$ 3,06 <sup>b</sup>	2,29 $\pm$ 0,05 <sup>b</sup>
CHU3	228 $\pm$ 16 <sup>d</sup>	25,9 $\pm$ 0,3 <sup>d</sup>	131 $\pm$ 8 <sup>d</sup>	565,18 $\pm$ 47,87 <sup>d</sup>	4,09 $\pm$ 0,12 <sup>d</sup>
CHU4	41,4 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	19,9 $\pm$ 0,6 <sup>b</sup>	37,8 $\pm$ 0,3 <sup>a</sup>	68,50 $\pm$ 1,16 <sup>a</sup>	1,29 $\pm$ 0,05 <sup>a</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

### 3.6. Calorimetría diferencial de barrido

En la Tabla 7 se pueden observar los valores medios obtenidos para la temperatura inicial ( $T_0$ ), la temperatura final ( $T_f$ ) y la temperatura pico ( $T_p$ ) de gelatinización del almidón para las muestras de chuño.

CHU3 tiene la temperatura de gelatinización más alta, esto se debe a que tiene más solutos (proteína, fibra, cenizas, etc.) acompañando al almidón y esto eleva la temperatura de transición de fase.

**TABLA 7.** Valores medios (y desviación estándar) de la temperatura inicial ( $T_0$ ), la temperatura final ( $T_f$ ) y la temperatura pico ( $T_p$ ) de gelatinización para las muestras de chuño.

	$T_0$ (°C) onset	$T_f$ (°C) endset	$T_p$ (°C) peak
CHU1	54,6±0,8 <sup>a</sup>	60,75±1,09 <sup>a</sup>	57,8±0,4 <sup>a</sup>
CHU2	55,9±1,8 <sup>a</sup>	60,3±0,2 <sup>a</sup>	58,1±0,9 <sup>a</sup>
CHU3	59,6±0,7 <sup>b</sup>	64,2±0,7 <sup>b</sup>	62,03±0,18 <sup>b</sup>
CHU4	57,0±0,3 <sup>ab</sup>	68,75±0,04 <sup>b</sup>	62,51±0,04 <sup>c</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

No hay bibliografía acerca del análisis DSC de chuño o tunta, por lo que los resultados obtenidos se compararon a estudios con almidón de patata y de otros tubérculos. La temperatura de gelatinización ( $T_p$ ) media para el chuño es de 60,1 °C, mientras que la del almidón de patata es 61,9 °C según Martínez et al. (2019); la de la patata es 69 °C, la del boniato es 61,3 °C y la de la yuca es 65,2 °C según Hernández-Medina (2008).

### 3.7. Caracterización funcional

En la tabla 8 se muestran los resultados obtenidos tras analizar las propiedades funcionales para las cuatro muestras evaluadas.

**TABLA 8.** Valores medios y desviación estándar para las propiedades funcionales de las muestras de chuño. WHC (Capacidad de retención de agua), FAC (Capacidad de retención de aceite), SRC<sup>B</sup> (Capacidad de retención de solvente: bicarbonato de sodio), FC (Capacidad de formar espuma) y FS (Estabilidad de la espuma a 20 y 40 minutos).

	WHC (g agua/ g harina)	FAC (g aceite/ g harina)	SRC <sup>B</sup> (%)	FC (mL)	FS 20' (%)	FS 40' (%)
CHU1	1,3±0,4 <sup>b</sup>	0,97±0,09 <sup>b</sup>	259±7 <sup>d</sup>	14,8±0,6 <sup>b</sup>	62±3 <sup>c</sup>	47±3 <sup>b</sup>
CHU2	0,99±0,18 <sup>ab</sup>	0,85±0,07 <sup>b</sup>	225±3 <sup>b</sup>	19±3 <sup>c</sup>	39,8±0,6 <sup>b</sup>	31±2 <sup>b</sup>
CHU3	1,90±0,16 <sup>c</sup>	0,86±0,09 <sup>b</sup>	237±4 <sup>c</sup>	36,50±3 <sup>d</sup>	92±2 <sup>d</sup>	89±2 <sup>c</sup>
CHU4	0,65±0,14 <sup>a</sup>	0,68±0,03 <sup>a</sup>	180±3 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>	0±0 <sup>a</sup>

Diferentes letras en la misma columna indican diferencias significativas ( $p < 0,05$ )

La capacidad de retención de agua (WHC) informa de la habilidad para absorber y retener agua ligada hidrodinámicamente, capilarmente y físicamente atrapada contra la gravedad. Los resultados muestran una WHC significativamente mayor para CHU3, seguida por CHU1 y estos resultados pueden deberse al mayor contenido de proteínas y fibra de estas muestras.

La capacidad de absorción de grasa (FAC) se atribuye a la habilidad que tienen las proteínas para ligar lípidos, por lo tanto, la muestra CHU4 que es la

que tiene menor cantidad de proteínas, ha obtenido el valor significativamente más bajo en esta prueba.

La capacidad de retención de solvente (SRC), en este caso bicarbonato de sodio, informa de la capacidad de retención de agua por el almidón dañado, por lo tanto, la muestra CHU1 que presenta el valor más alto es la que tiene mayor presencia de almidón dañado, esta muestra al igual que CHU3 que presentan los valores más altos de SRC, presentan mayor aglomeración física de gránulos según las micrografías observadas, esto puede producir una menor retención de agua por parte del almidón al no estar expuesta debidamente su superficie de contacto.

La capacidad de formar espuma (FC) y estabilidad de la espuma (FS) fueron significativamente mayores para la muestra CHU3, una vez más debido a su mayor contenido proteico que permite formar y estabilizar la espuma significativamente mejor que las demás muestras. La muestra CHU4 no tiene capacidad para formar espuma.

#### **4. CONCLUSIONES**

Hace falta hacer una caracterización más profunda para poder conocer todas las propiedades tecnológicas que pueden aportar el chuño y la tunta al diseño de alimentos en el futuro, ya que se ha probado que mantiene gran cantidad de nutrientes tras su proceso de elaboración.

El contenido de nutrientes, compuestos fenólicos y la capacidad antioxidante dependen de la variedad de patata utilizada para este proceso; pero definitivamente, el tiempo, envasado y transporte influye en la retención de compuestos fenólicos de las muestras y la capacidad antioxidante se pierde en un porcentaje elevado.

El chuño negro (CHU3) tiene mejores propiedades tecnológicas, aporta más fibra, proteínas y minerales que las demás muestras y su proceso de elaboración es menos complicado que el de la tunta, por lo que sería una candidata ideal para la formulación de nuevos alimentos.

Gracias a las observaciones microscópicas y a los resultados obtenidos, se puede concluir que la muestra CHU4 no es chuño ni tunta y que ha pasado por un proceso de elaboración distinto, por lo que es incorrecto llamarlo chuño. Es sólo almidón de patata y aporta menos nutrientes que las correspondientes al proceso de elaboración artesanal.

#### **5. REFERENCIAS**

- AACC. 2005 Approved methods of the American Association of Cereal Chemists, (10<sup>th</sup> edition). St. Paul, MN, USA: American Association of Chemists.
- Ahn, H.J.; Kim, J.H.; Ng, P.K.W. 2005. Functional and thermal properties of wheat, barley, and soy flours and their blends treated with a microbial transglutaminase. *Journal of Food Science* 70: 380-386.
- Ainia. 2016. Diseño de ingredientes para los alimentos del futuro. [En línea]. <https://www.ainia.es/tecnoalimentalia/formacion/disenio-ingredientes-alimentarios/>. [Consultado 12 agosto 2019].

- Belitz H.-D., Grosch W., Schieberle P. 2011. *Química de los alimentos*. Editorial Acribia (tercera edición). Zaragoza, España.
- Bressi, G. B. 2017. Aspectos tecnológicos y nutricionales de pasta sin gluten a base de harina de garbanzo y harina de chufa. Trabajo de Fin de Máster en Ciencia e ingeniería de los alimentos. Universidad Politécnica de Valencia.
- Del Mar Verde Méndez, C.; Rodríguez Delgado, M.A.; Rodríguez Rodríguez, E.M.; Díaz Romero, C. 2004. Content of free phenolic compounds in cultivar of potatoes harvested in Tenerife. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 52: 1323-1327.
- García-Gabarra, A.; Castellà-Soley, M.; Calleja-Fernández, A. 2017. Ingestas de energía y nutrientes recomendadas en la Unión Europea: 2008-2016. *Nutrición Hospitalaria*, 34(2): 490-498.
- Goldstein, P.S., 2003. From stew-eaters to maize-drinkers. The Chicha economy and the Tiwanaku expansion. In: Tamara, L., Kluwer, (Eds.), *The Archaeology and Politics of Food Feasting in Early States and Empires*. Academy/Plenum Publishers, New York, USA: 143–172.
- Heywood, A. A.; Myers, D.J.; Bailey, T.B.; Johnson, L.A. 2002. Functional properties of low-fat soy flour produced by an extrusion expelling system. *Journal of the American Oil Chemistry Society* 79: 1249-1253.
- Hernández-Medina, M.; Torruco-Uco, J. G.; Chel-Guerrero, L.; Betancur-Ancona, D. 2008. Caracterización fisicoquímica de almidones de tubérculos cultivados en Yucatán, México. *Food Science and Technology*, 28(3): 718-726.
- Horwitz, W. 2000. *Official methods of analysis of the AOAC*. Maryland, U.S.A. Published by Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists (17<sup>th</sup> edition).
- Instituto Internacional de la papa. 2019. La papa y la nutrición; procesamiento y uso de la papa [en línea]. [www.cipotato.org](http://www.cipotato.org). [Consultado 11 agosto 2019]
- Kuskoski, E.M.; Asuero, A. G.; Troncoso, A. M.; Mancini-Filho, J.; Fett, R. 2005. Aplicación de diversos métodos químicos para determinar actividad antioxidante en pulpa de frutos. *Food Science and Technology*, 25(4): 726-732.
- Lin, C.S.; Zayas, J.F. (1987) Functionality of defatted corn germ proteins in a model system: fat binding capacity and water retention. *Journal of Food Science* 52: 1308-1311.
- Martínez, P.; Peña, F.; Bello-Pérez, L. A.; Núñez-Santiago, C.; Yee-Madeira, H.; Velezmoro, C. 2019. Physicochemical, functional and morphological characterization of starches isolated from three native potatoes of the Andean region. *Food Chemistry*: X, 2, 100030.
- Narayana, K., & Narasinga Rao, M. S. 1982. Functional properties of raw and heat processed winged bean (*Psophocarpus tetragonolobus*) flour. *Journal of Food Science*, 47(5): 1534-1538.
- Pardo, O. H.; Castañeda, J. C.; Ortiz, C. A. 2013. Caracterización estructural y térmica de almidones provenientes de diferentes variedades de papa. *Acta Agronómica*, 62(4): 289-295.
- Peñarrieta, J.M., Salluca, T., Tejeda, L., Alvarado J., Bergenståhl, B. 2011(a). Changes in phenolic antioxidants during chuño production (traditional Andean freeze and sun dried potato). *Journal of food composition and analysis*, 24.4-5: 580-587.
- Peñarrieta, J., Alvarado, J., Bravo, J., Bergenstahl, B. 2011(b). Chuño and Tunta; the traditional andean sun-dried potatoes. In: *Potatoes: Production, Consumption and Health Benefits*. Editor: Claudio Caprara. Nova Science Publishers, pp.1-12.

- Peñarrieta, J. M.; Alvarado, J. A.; Åkesson, B.; Bergenståhl, B. 2008. Total antioxidant capacity and content of flavonoids and other phenolic compounds in canihua (*Chenopodium pallidicaule*): An Andean pseudocereal. *Molecular nutrition & food research*, 52(6): 708-717.
- Portal antioxidantes. 2011. Base de datos de antioxidantes en hortalizas [en línea]. <http://www.portalantioxidantes.com/base-de-datos-de-actividad-antioxidante-orac-y-de-contenido-de-polifenoles-totales-pft-en-hortalizas/>. [Consultado el 5 septiembre 2019].
- Puertas-Mejía, M. A.; Rivera-Echeverry, F.; Villegas-Guzmán, P.; Rojano, B. A.; Pelaez-Jaramillo, C. 2012. Comparación entre el estado de maduración del fruto de café (*Coffea arabica* L.), el contenido de antocianinas y su capacidad antioxidante. *Revista Cubana de Plantas Medicinales*, 17(4): 360-367.
- Vargas, G.; Martínez, P.; Velezmore, C. 2016. Propiedades funcionales de almidón de papa (*Solanum tuberosum*) y su modificación química por acetilación. *Scientia Agropecuaria*, 7(SPE): 223-230.
- Woolfe, J. 1987. *The potato in the human diet*. Cambridge University Press, pp. 231.