

DOI:10.18684/BSAA(14)92-99

EFECTO DE LA EXTRUSIÓN SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DE HARINA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)

EFFECT OF EXTRUSION ON THE PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF QUINOA FLOUR (*Chenopodium quinoa* Willd)

EFEITO DA EXTRUSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DA FARINHA DE QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd)

CLAUDIA LORENA CERÓN-FERNANDEZ¹, LINA VANESSA GUERRA-MORCILLO², JORGE ANÍBAL LEGARDA-
QUINTERO³, MARIO GERMAN ENRÍQUEZ-COLLAZOS⁴, YAMID PISMAG-PORTILLA⁵

RESUMEN

*La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es un pseudocereal que se produce desde hace muchos años en las zonas andinas y permite obtener diferentes transformaciones donde se pueden aprovechar todas sus cualidades nutricionales convirtiéndola en una alternativa en la agroindustria alimentaria. El objetivo del estudio fue observar los cambios físico-químicos en dos variedades de harina de quinua (Tunkahuan y Blanca dulce Jericó) durante el proceso de extrusión y determinar las condiciones (humedad de las harinas, temperatura y velocidad del tornillo) que permitieran obte-*

Recibido para evaluación: 5 de Enero de 2015. **Aprobado para publicación:** 26 de Mayo de 2016.

- 1 Universidad Cooperativa de Colombia sede Popayán, Grupo de Investigación Ingeniería Aplicada. Magister en Ciencias Agrarias. Popayán, Colombia.
- 2 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 3 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias. Ingeniero Agroindustrial. Popayán, Colombia.
- 4 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación ASUBAGROIND, Magister en Ingeniería de Alimentos. Popayán, Colombia.
- 5 Universidad del Cauca, Facultad de Ciencias Agrarias, Grupo de Investigación ASUBAGROIND. Magister en Ingeniería de Alimentos. Popayán, Colombia.

Correspondencia: claudia.cerof@ucc.edu.co

ner un extruido con propiedades funcionales similares a una harina precocida. El índice de absorción de agua (IAA), índice de solubilidad de agua (ISA) y poder de hinchamiento (PH) fueron las variables de respuesta. La extrusión de las dos harinas a temperatura promedio de extrusión de 105°C, velocidad de tornillo de 150 rpm y humedad de 25 a 30% mejoró las propiedades funcionales (El IAA incrementó de 1,81 g gel/g M.S a 4,22 g gel/g M.S en harina extruida de quinua Tunkahuan y de 2,00 g gel/g M.S a 4,27 g gel/g M.S en harina variedad Blanca dulce de Jericó) pero las propiedades nutricionales disminuyeron al igual que la digestibilidad excepto por un incremento del contenido de carbohidratos.

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa willd*) is a pseudocereal produced for many years in Andean regions and allows different transformations taking advantage of their nutritional qualities becoming it a food agribusiness alternative. Objective of this study was to observe physical and chemical changes from two quinoa flour varieties (Blanca dulce de Jericó and Tunkahuan) during extrusion process and determine conditions (flour moisture, temperature and screw speed) that allow obtain an extruded similar to precooked functional properties. Water absorption index (IAA), water solubility index (ISA) and swelling power (PH) was response variables. Two flour extruded at 105°C degrees, 150 rpm screw speed and 25 to 30% moisture improved functional properties (IAA increased from 1,81 g gel/g D.M to 4,22 g gel/g D.M in Tunkahuan extruded quinoa flour and 2,00 g gel/g to 4,27 g gel MS/MS g flour in Blanca dulce de Jericó) but nutritional properties decreased as digestibility except for a carbohydrate content increase.

RESUMO

A quinua é um pseudocereal produzido por muitos anos nas regiões andinas, a qual permite diferentes transformações onde podem-se aproveitar todas as suas qualidades nutricionais tornando-a uma alternativa na agroindústria alimentar. O objetivo foi observar as alterações físico-químicas em duas variedades de farinha de quinua (Branco doce de Jericó e Tunkahuan) durante o processo de extrusão e determinar os parâmetros deste (umidade da farinha, temperatura e velocidade do parafuso), que permitiram obter um extrusado com propriedades funcionais semelhantes às de uma farinha pré-cozida. O índice de absorção de água (IAA), índice de solubilidade em água (ISA) e capacidade de inchar (PH), foram escolhidas como as variáveis de resposta. A extrusão de ambas variedades de farinhas a temperatura média de extrusão de 105°C, velocidade do parafuso de 150 rpm e umidade de 25 a 30%, melhorou as propriedades funcionais (IAA aumentou de 1,81 g de gel/g de M.S para 4,22 g de gel/g de M.S em farinha extrusada de quinua Tunkahuan e 2,00 g gel/g M.S para 4,28 g gel/g M.S g em farinha variedade Branca doce de Jericó), mas diminuíram as propriedades nutricionais como a digestibilidade, com exceção do aumento do conteúdo de hidratos de carbono.

PALABRAS CLAVE:

Harina precocida, Índice de absorción de agua, Índice de solubilidad de agua, Nutrientes.

KEYWORDS:

Precooked flour, Water absorption index, Water solubility index, Nutrition.

PALAVRAS-CHAVE:

Farinha pré-cozida, Índice de absorção de água, Índice de solubilidade em água, Nutrientes.

INTRODUCCIÓN

El mundo atraviesa hoy en día una de las problemáticas más preocupantes para la sociedad: la desnutrición. Esta condición está generalmente asociada a la carencia de proteína, vitaminas y minerales. La elevada búsqueda de productos de alta calidad nutricional para disminuir los índices de desnutrición y la inseguridad alimentaria, ha fortalecido el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd), pseudocereal que se produce en las zonas andinas de los países de Ecuador, Perú, Bolivia, Argentina, Chile y Colombia [1]; en la actualidad es uno de los granos más apetecidos en el mundo por su gran valor nutricional y su potencial agroindustrial que permite a la industria ofertar diferentes productos [2].

Para cumplir con los requerimientos de la demanda de los alimentos precocidos, una de las operaciones más versátiles en la agroindustria alimentaria es la extrusión, pues permite una cocción rápida, continua y homogénea del producto, mediante un proceso termo mecánico durante un tiempo corto; esta tecnología permite mejorar o modificar propiedades funcionales como la solubilidad, formación de emulsión, la gelatinización en los alimentos, induce la formación de complejos entre lípidos y carbohidratos mejorando textura y características sensoriales, además desnaturaliza e inactiva factores anti nutricionales mejorando su aptitud posterior para el desarrollo de nuevos productos [3].

En Colombia se cultivan gran cantidad de variedades de granos de quinua; para el desarrollo de esta investigación se escogieron dos que se producen en diferentes regiones del país: Tunkahuan en el municipio de Túquerres, departamento de Nariño y Blanca dulce de Jericó en el municipio de Bolívar, departamento del Cauca, las dos variedades de bajo contenido en saponina [4]. Se estudiaron las características físico-químicas y el cambio de la composición nutricional de cada una al ser sometidas al proceso de extrusión, para identificar la posible existencia de diferencias significativas entre estas y así definir cuál de las dos variedades tendría mayor potencial para elaborar productos precocidos.

MÉTODO

Obtención de harinas

Se utilizaron granos aportados por el grupo de investigación: Grupo de Investigación Ingeniería Aplicada de la

Universidad Cooperativa de Colombia; la variedad Blanca dulce de Jericó proveniente del municipio de Bolívar (Cauca) y la variedad Tunkahuan, de Túquerres (Nariño). Inicialmente se retiraron las impurezas presentes en estos, después se realizó un proceso de secado a 60°C durante cuatro horas en un horno de convección forzada Thermo Scientific y finalmente se hizo molienda en un molino analítico All Basic S1 Analytical mill hasta obtener una harina que pasara por un tamiz standard Tyler N° 60 con abertura de 0,250 μm A.S.T.M.E-11.

Análisis Químico

Análisis proximal. Se obtuvieron los datos de composición proximal con métodos de la norma ICONTEC GTC 1 para humedad, ISO 1871 para proteína, ISO 2171 para cenizas, lípidos y fibra bruta mediante NTC 668. El contenido de carbohidratos se determinó mediante el complemento.

Digestibilidad en pepsina. Se determinó mediante la metodología descrita en la NTC 719 y fue realizada en el laboratorio AVALQUÍMICO S.A.S

Análisis Físico

Índice de solubilidad (ISA) e índice absorción de agua (IAA). Se utilizó la metodología descrita por [5]. Una porción de 2,5 g (BH) de cada muestra se suspendió en 30 mL de agua destilada a la cual se le registro el peso, la mezcla resultante se colocó a baño maría a 30°C y en agitación constante durante 30 minutos. De cada una de las soluciones obtenidas se toma una alícuota de 10 mL de peso conocido, la cual se coloca en los tubos Falcón de una centrifuga Hermle labortechnik 6 mbH Type 2306 programada a 3000 rpm por 30 minutos. Finalizado el tiempo se retira el sobrenadante de cada tubo Falcón y se deposita en cajas Petri secas y previamente pesadas. Las cajas Petri y su respectivo contenido se colocan en un horno convección forzada a una temperatura de 70°C por un periodo de 12 horas. El IAA se calculó a partir del peso del precipitado y se expresó como g gel/g sólidos (MS). El ISA, expresado como g sólidos/g sólidos originales, se calculó a partir del peso de los sólidos secos.

Curvas de empastamiento. Se utilizó un reómetro de Marca TA Instruments modelo Q10. Se prepararon aproximadamente 25 mL de una suspensión al 8% en base seca de cada una de las harinas a evaluar en agua destilada según lo descrito por [6] y el método empleado en el software fue [7].

Microscopia óptica. Se utilizó un microscopio óptico de alta resolución NIKON eclipse 801 y cámara digital sight DS- 2MV NIKON. Las muestras se prepararon según lo descrito por [8].

Análisis estadístico

Para evaluar las condiciones óptimas en el proceso de extrusión se usó un diseño factorial 2³ (temperatura del extrusor, humedad de la harina, velocidad del tornillo como factores) para un total de 8 tratamientos, siendo los factores empleados similares a los reportados por [9]. Las variables de respuesta fueron los resultados obtenidos de los análisis de IAA, ISA y PH. Para el análisis de las características físico-químicas se utilizó un diseño unifactorial y se evaluaron diferencias significativas entre las dos variedades de harina antes y después del proceso de extrusión. Los datos se analizaron por el método de análisis de varianza mediante el software SPSS statistics 19.

RESULTADOS

Ensayos preliminares de extrusión

Se procedió a realizar pruebas preliminares empleando perfiles de temperatura (100°C y 90°C), porcentajes de humedad (20% y 30%) y velocidad del tonillo (120 rpm y 150 rpm) similares a los reportados por [9]. Durante el primer ensayo de extrusión se observó un atoramiento de las harinas en los tornillos del extrusor cuando estas presentaban una humedad baja (20%), por tanto se procedió a hacer una corrección inmediatamente de la humedad para tener como resultado niveles de humedad de 25% y 30%.

Ensayos definitivos de extrusión

Las pruebas de extrusión preliminares mostraron que unas condiciones finales de operación que permiten un buen funcionamiento del equipo para el tratamiento de las harinas extruidas son: temperatura: 95°C y 105°C, humedad: 25% y 30% y velocidad del tornillo: 120 rpm y 150 rpm Se realizó un balance de masa para determinar la cantidad de agua que se debió agregar a muestras de 200 g.

Análisis variables de respuesta post extrusión

En el Cuadro 1 se observa los resultados de IAA, ISA y PH para cada uno de los tratamientos.

Cuadro 1. Resultados IAA, ISA y PH.

V	T (°C)	Vel (rpm)	H (%)	ISA (g gel/g sólidos)	IAA (g gel/g sólidos)	PH
A	105	120	25	7,38	3,72	4,02
B	105	120	25	7,23	4,12	4,44
A	105	120	30	6,79	4,00	4,29
B	105	120	30	5,61	2,71	2,87
A	105	150	25	7,40	3,77	4,07
B	105	150	25	6,77	4,28	4,58
A	105	150	30	6,57	4,22	4,51
B	105	150	30	7,58	4,16	4,50
A	95	120	25	7,72	3,19	3,45
B	95	120	25	8,46	3,35	3,66
A	95	120	30	7,43	3,42	3,69
B	95	120	30	9,29	4,16	4,59
A	95	150	25	7,60	3,46	4,50
B	95	150	25	7,15	3,66	3,95
A	95	150	30	7,78	4,16	3,45
B	95	150	30	9,65	3,73	4,12

V: variedad harina de quinua

A: harina variedad Tunkahuan

B: harina variedad Blanca de Jericó

T: temperatura de extrusión

Vel: velocidad del tornillo

H: porcentaje de humedad

De las tres variables de respuesta se decidió escoger el índice de absorción (IAA) como variable de respuesta de mayor prevalencia, pues el IAA es una medida del grado de gelatinización del almidón y medida de la capacidad de absorción de agua de los componentes del material después del proceso de extrusión [10] que permite inferir las condiciones de proceso más adecuadas para lograr facilidad de hidratación, solubilización y desarrollo de una textura viscoelástica, características principales que se requieren en la obtención de harinas precocidas, las cuales generalmente se deben rehidratar para su utilización y por tanto es importante conservar la habilidad de absorción e hinchamiento al contacto con el agua [11]. Como resultado final se determinó que las condiciones de extrusión más adecuadas en harina de quinua variedad Tunkahuan y variedad Blanca dulce de Jericó fueron: temperatura de 105°C, velocidad de 150 rpm y humedad de 25 a 30%.

En caso contrario en que se desee elaborar un producto instantáneo donde las partículas de polvo formen

una solución con el líquido [11], se debe dar mayor prevalencia al índice de solubilidad en agua (ISA) que está relacionado con la cantidad de sólidos solubles en una muestra seca y permite verificar el grado de severidad del tratamiento en función de degradación, gelatinización, dextrinización y consecuente solubilización del almidón [10]. Finalmente se encontró que el mejor tratamiento para cada una de las harinas es temperatura de 95°C, velocidad del tornillo de 150 rpm y humedad de 30%.

Caracterización de las harinas extruidas

Análisis Proximal. Los resultados del contenido de fibra dietaria, humedad, cenizas, proteína, grasa y carbohidratos en las harinas extruidas correspondientes a los tratamientos con mayor IAA se muestran en el Cuadro 2.

El porcentaje de fibra presentó una disminución significativa ($p < 0,05$) en las dos variedades de harina de quinua extruida; esta reducción posiblemente se presenta porque la alta presión, la temperatura elevada y la cizalla que se presenta durante la extrusión fragmenta moléculas más grandes de hidratos complejos de carbono en moléculas más pequeñas que son solubles en agua, al igual los fragmentos de fibra se unen para formar complejos grandes con otros compuestos y participan en la reacción de Maillard [12].

El contenido de humedad se reduce notablemente por efecto de la extrusión [12].

El porcentaje de cenizas en la harina Blanca dulce de Jericó no presentó cambios, mientras que la harina de

la variedad Tunkahuan si presentó una disminución significativa desde 3,5% a 2,6% debido a que durante la extrusión los minerales participan en diferentes interacciones con distintos elementos y algunos nutrientes como las proteínas y la fibra dietética [12].

Los porcentajes de proteína obtenidos en las harinas extruidas presentaron disminución, en la variedad Tunkahuan disminuyó en un 2,67% mientras en la Blanca dulce de Jericó un 0,87%, una diferencia no significativa ($p > 0,05$). El proceso de extrusión contribuye con la desnaturalización de las proteínas mejorando su digestibilidad [13] pues estas son muy vulnerables al calor a temperaturas superiores 60°C, ocurren cambios en la estructura nativa de la proteína dado lugar a varias reacciones químicas en la propia molécula proteica, o bien entre distintas proteínas, además participan con los hidratos de carbono (sobre todo los azúcares reductores), en la reacción de Maillard [12].

La grasa no presentó cambios significativos en ninguna de las dos variedades de harina de quinua extruida, los lípidos son parcialmente estables cuando se someten a tratamientos térmicos, las disminuciones presentadas se pudieron dar debido a la alta temperatura y la velocidad de tornillo empleadas en el extrusor, lo cual pudo ocasionar la degradación de los lípidos [13].

Las harinas extruidas presentaron un aumento significativo en el contenido de carbohidratos pasando de un porcentaje de 65,14% a 67,89% la variedad Blanca dulce de Jericó y de 64,56% a 70,30 % la variedad Tunkahuan. Posiblemente debido a que durante el proceso de extrusión ocurren cambios en la estructura micro y macromolecular del almidón, hay una modificación de la cristalinidad por efecto de la gelatinización y rompimiento de las cadenas de amilosa y amilopectina [13]. Además sufre una degradación molecular por la temperatura, humedad y velocidad del tornillo del extrusor [9].

Digestibilidad de proteína *in vitro*. El Cuadro 3 muestra los resultados de digestibilidad obtenidos para muestras de harina de quinua extruidas en comparación con las muestras sin extruir.

Se presenta una reducción del porcentaje de digestibilidad de proteína en ambas variedades, resultado contrario a lo expuesto generalmente por la bibliografía. Las posibles razones para que se obtuviera una reducción de la digestibilidad se orientan como lo plantea [14] a la modificación de la estructura primaria de las

Cuadro 2. Análisis proximal harinas extruidas.

Componente	HBJE	HTKE
Fibra Dietaria Total	3,11 ± 0,23	3,22 ± 0,32
Humedad	4,94 ± 0,11	5,11 ± 0,11
Cenizas	2,61 ± 0,02	2,61 ± 0,02
Proteína total (%N x 6,25)	17,91 ± 0,3	15,14 ± 0,3
Grasa	6,635 ± 0,14	6,83 ± 0,15
Carbohidratos totales	67,90 ± 0,27	70,30 ± 0,27
Calorías totales kcal/100g	402,93 ± 0,23	403,25 ± 0,23

HBJE: Harina Blanca dulce de Jericó extruida

HTKE: Harina Tunkahuan extruida

Cuadro 3. Digestibilidad de proteína *in vitro*.

Harina	Digestibilidad de proteína <i>in vitro</i> (%)
Blanca Jericó cruda	82,17 ^a
Blanca Jericó extruida	63,23 ^b
Tunkahuan cruda	92,46 ^a
Tunkahuan extruida	67,77 ^b

proteínas disminuyendo o modificando la digestibilidad de las mismas debido a la formación de uniones covalentes, isomerización de aminoácidos, o modificación de las cadenas laterales de los restos de aminoácidos, que al modificarse no pueden ser reconocidos por las proteasas como sitios de hidrólisis.

Análisis morfológico del gránulo de almidón después de extrusión. Posterior al proceso de extrusión se realizó una prueba de microscopía óptica para observar los cambios morfológicos y especialmente del diámetro del gránulo de almidón de las muestras de quinua generados por el procesamiento térmico.

Los resultados infieren que no se presentó una diferencia estadísticamente significativa entre el diámetro del gránulo de almidón antes y después de extrusión en la variedad Tunkahuan (10,037 μm a 9,834 μm) pero si en la variedad Blanca dulce de Jericó (14,018 μm a 11,821 μm).

Aunque se presentó una leve disminución del diámetro del gránulo, se evidencia mayores cambios en la forma de gránulo pos extrusión, se observaron formas circulares más irregulares lo que sugiere que se presentaron daños estructurales debido al calor y la presión generados en el proceso térmico permitiendo como lo señala [15], el aumento de la solubilidad y la absorción de agua que de otro modo es coherente con los resultados obtenidos en esta investigación.

Análisis reológico después de la extrusión. La prueba de reología se realizó bajo las mismas condiciones tanto para la harina cruda como extruida, en el Cuadro 4 se observa los resultados obtenidos a partir la curva de viscosidad vs tiempo/temperatura que se genera con el software para cada una.

Temperatura de gelatinización (T. gel). Presentó un aumento significativo ($P < 0,05$) en las harinas, pues durante el proceso de extrusión la acción de cizalla, alta presión y temperatura aplicada a estas [16], produjeron una ruptura de la estructura granular del almidón [17].

Cuadro 4. Resultados viscoamilogramas.

Harina	T. gel	V. máx.	Cocción (min)	Inest. Gel	Ind. Gel
Blanca Jericó normal	59,9 ^a	100,4	3,4	26,6 ^a	60,2
Blanca Jericó extruida	63,9 ^b	152,6	3,4	40,4 ^b	93,8
Tunkahuan normal	57,7 ^a	122,3	3,5	38,1 ^a	69,8
Tunkahuan extruida	77,4 ^b	158,2	2,5	92,4 ^b	52,2

Viscosidad máxima (V. Max). Las harinas extruidas presentan picos de viscosidades máximas más altos que las harinas sin extruir, pues la aplicación de calor y presión a las que fueron sometidas causaron una ruptura irreversible de la estructura cristalina del almidón aumentando su capacidad de absorción de agua [11].

Facilidad de cocción (F. cocción). Para las harinas extruidas se presentó una disminución no significativa ($p > 0,05$) pero con los resultados obtenidos las harinas de quinua pueden ser de interés para diversos procesos agroindustriales como los alimentos precocidos, pues la demanda de energía es menor para lograr la gelatinización y en este mercado se busca que este tiempo sea inferior a 5 min [18].

Inestabilidad del gel (Inest. Gel). en las harinas extruidas se presentó un aumento significativo ($p < 0,05$), lo que indica que los gránulos de estas harinas son frágiles y están más expuestos al rompimiento del gel por causas mecánicas que en las harinas crudas, lo que conlleva a la pérdida de viscosidad en el sistema [19].

Índice de gelificación (Ind. Gel). La quinua en general presenta bajo índice de gelificación pues tiene un elevado contenido de amilopectina [18]. Esta composición en sus gránulos de almidón hace que sea un almidón con propiedades más de espesar que de gelificar pues la amilopectina, al enfriarse hace viscosa la mezcla, pero no gelifica [19].

Evaluación sensorial harinas extruidas

Para identificar las características organolépticas de las harinas extruidas se elaboró una colada como producto piloto con cada una de las harinas en estudio para ser comparada con una de tipo comercial

mediante la degustación a 96 personas de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad del Cauca. Se plantearon las formulaciones teniendo en cuenta la composición nutricional de una colada comercial cuyo ingrediente es la harina de quinua.

Después de realizar el análisis de las encuestas se observó que el color, la apariencia y la textura fueron variables que no presentaron diferencias entre las coladas de quinua y la tipo comercial; mientras que las variables que presentaron diferencia son: el olor, sabor y grado de sabor.

Los encuestados calificaron que las coladas de quinua de la variedad Tunkahuan y Blanca dulce de Jericó presentaron un aroma agradable con un porcentaje de 90,63% y 88,54% respectivamente, frente a la comercial que fue de 72,92%; posiblemente el uso de mayor cantidad de harina de quinua en las coladas de investigación provocó que se atenuara un olor en estas más que en la de tipo comercial, pues este era el olor más sobresaliente entre las materias primas utilizadas.

El sabor era una de las características más importantes que se quería evaluar con las encuestas realizadas puesto que las variedades estudiadas son catalogadas como variedades dulces. Se quería comprobar si en la elaboración de un producto aún se presentaba el sabor amargo característico de la quinua. Con los resultados obtenidos se pudo observar que las coladas de quinua tenían sabor más dulce con porcentajes de percepción de 88,54% para Tunkahuan y 93,75% para Blanca dulce de Jericó con respecto a la comercial que fue de 73,96%; aunque posiblemente el uso de otras materias primas dulces ayudaron a mejorar el sabor de las coladas; en estas el sabor amargo presentó porcentajes bajos, lo que favorece la investigación, pues se pueden postular las harinas estudiadas como futuras materias primas en la elaboración de diferentes productos en la agroindustria alimentaria.

Con respecto al grado de sabor una de las desventajas que se presentó es no conocer el porcentaje de sacarosa utilizado en el producto comercial lo que pudo causar su alta calificación de 61,46% como simple; las coladas de quinua se les adicionó la misma cantidad de materias primas, con los resultados obtenidos se pudo observar que para el 75% de las personas encuestadas la variedad Tunkahuan fue catalogada con un sabor normal, mientras con un porcentaje del 54,17% la variedad Blanca dulce de Jericó presentó mayor dulzura, aunque esta presenta menor contenido de carbohidratos y la misma cantidad de sacarosa que la colada de Tunkahuan,

posiblemente la sensación de ser más dulce se pudo presentar por su textura pues al ser más espesa dura más tiempo en la boca, lo que permite que las papilas gustativas capten mejor el sabor.

CONCLUSIONES

Las harinas de quinua sin extruir y extruidas no son materias para elaborar productos donde se desee la formación de gel, pues el poco contenido de amilosa y gran contenido de amilopectina le confieren la propiedad de espesar más no de gelificar.

El proceso de extrusión afecta el valor nutricional de las harinas de quinua, ya que en ambas variedades se encontró una disminución en los contenidos de proteína, fibra y grasa mientras que el contenido de carbohidratos se vio incrementado afectando finalmente las propiedades nutricionales de las harinas extruidas.

La extrusión afectó positivamente las propiedades funcionales de absorción, solubilidad e hinchamiento de almidones de las harinas de quinua presentándose un incremento respecto a los valores de las harinas sin extruir.

Las condiciones de extrusión más adecuadas para lograr un incremento del índice de absorción de agua y consecuentemente, un aumento del índice de solubilidad en agua y del poder de hinchamiento en ambas variedades de harina de quinua son: temperatura promedio de extrusión de 105°C, velocidad de tornillo de 150 rpm y rango de humedad de 25 a 30%.

La digestibilidad de proteína *in vitro* disminuyó de harina sin extruir a harina extruida variedad Blanca dulce de Jericó un 23,05% y de harina sin extruir a harina extruida variedad Tunkahuan un 26,70%. Posiblemente el tratamiento térmico provocó entrecruzamientos proteína-proteína derivándose en enlaces isopeptídicos que no son reconocidos por la enzima pepsina permitiendo así una disminución de la digestibilidad.

La harina extruida Blanca dulce de Jericó es una materia prima que se podría utilizar en la elaboración de productos precocidos donde se desee una textura espesa dado que su IAA después de la extrusión infiere que permite obtener dicha característica. Los resultados de la encuesta revelan que esta, comparada con la harina variedad Tunkahuan, es la que exhibe las propiedades organolépticas más atractivas al consumidor especialmente en la característica de sabor.

Queda a disposición de futuros estudios detallar con mayor precisión el diámetro y otras características del gránulo de almidón y proponer otras condiciones de operación que permitan obtener mayor digestibilidad de proteína *in vitro*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan su agradecimiento a la Universidad Cooperativa de Colombia por la financiación del proyecto y a la Universidad del Cauca por facilitar los espacios físicos requeridos.

REFERENCIAS

- [1] FOOD AND AGRICULTURE ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS y ASOCIACIÓN LATINOAMERICANA DE INTEGRACIÓN (FAO). Tendencias y perspectivas del comercio internacional de quinua. Santiago (Chile): FAO y ALADI, 2013, 30 p.
- [2] PERU. GERENCIA REGIONAL DE AGRICULTURA - LA LIBERTAD. Quinua peruana, "Grano de Oro" que va ganando el paladar del mundo. Trujillo (Perú): 2015, 8 p.
- [3] COLINA, M.L. Extrusión. Iztapalapa (México): Universidad Autónoma Metropolitana, Unidad Iztapalapa, 2013, 2 p.
- [4] MURILLO, Á., *et al.* Desarrollo de líneas promisorias F6 de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Ecuador [online]. 2015. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/1915>. [citado: 5 de febrero 2016].
- [5] ANDERSON, R., CONWAY, H.F., PHEISER, V.F. and GRIFFIN, E.L. Gelatinisation of corn grits by roll and extrusion cooking. *Starch*, 22, 1970, p. 130-135.
- [6] BASTIOLI, C. Starch-Based Technology. En: *Handbook of Biodegradable Polymers*. London (United Kingdom): Rapra Technology Limited, 2005, p. 257-286.
- [7] INTERNATIONAL ASSOCIATION OF CEREAL SCIENCE AND TECHNOLOGISTS (ICC). Standard Method No. 162: Rapid pasting method using the newport rapid visco analyser. Detmold (Germany): 1996.
- [8] BASURTO, L. Práctica 1: Observación de las características físicas de los granos. Zamora (Venezuela): Tecnología de cereales y oleaginosas, Instituto Tecnológico de Estudios Superiores de Zamora, 2014.
- [9] ENRÍQUEZ, M., *et al.* Evaluación del efecto del proceso de extrusión sobre harina normal y germinada de quinua para la obtención de un producto precocido [Tesis Ingeniería de alimentos]. Popayán (Colombia): Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería de Alimentos, 2014, p. 36, 42-47, 53-58, 66-67.
- [10] CONTRERAS, E., *et al.* Propiedades funcionales de harinas de maíz nixtamalizado obtenidas por extrusión a baja temperatura. *CyTA*, 12(3), 2014, p. 263-270.
- [11] KOÇ, B. and KAYMAK-ERTEKIN, F. The effect of spray drying processing conditions on physical properties of spray dried maltodextrin. *Foodbalt*, 2014, p. 243-247.
- [12] RAMÍREZ, J., *et al.* Caracterización físico-química de pellets extruídos de torta de higuera (*Ricinus communis* L) visando su uso en alimentos balanceados. *Embrapa Agroindústria de Alimentos*, 2013, p. 1-6
- [13] ESPAÑA. HENUFOOD. Técnicas culinarias y tecnología alimentaria: efecto en la nutrición. Madrid (España): 2012, 3 p.
- [14] LUPANO, C. Modificaciones de componentes de los alimentos: cambios químicos y bioquímicos por procesamiento y almacenamiento. Buenos Aires (Argentina): Universidad Nacional de La Plata, 2013, 18 p.
- [15] ARISTIZÁBAL-GALVIS, J., *et al.* Efecto de las técnicas de extrusión y secado en rodillos sobre las propiedades reológicas de harinas compuestas de arroz, maíz, batata, frijol, yuca y hoja de yuca. *Ingeniería e investigación*, 33(1), 2013, p. 29-34.
- [16] RAMÍREZ, E., *et al.* Elaboración de cereales de desayuno a través del proceso de extrusión. *Rev. Vent. Cient.* 1(6), 2013, p. 33-44.
- [17] BEJARANO, N., *et al.* Evaluación de las propiedades fisicoquímicas de un bioplástico elaborado con harina de yuca gelatinizada. [Tesis ingeniería agroindustrial]. Cali (Colombia): Universidad de San Buenaventura, Facultad De Ingeniería, 2014., p. 23,24,25
- [18] VICUÑA, G.C. Elaboración de compota a base de frutas y quinua (*Chenopodium quinoa*) como alimento complementario para infantes [Tesis Ingeniería en Agroindustria Alimentaria]. Zamorano (Honduras): Escuela Agrícola Panamericana, Facultad Agroindustria Alimentaria, 2015, 11 p.
- [19] LANDIRES, D.G., MÁRQUEZ, G.C. y CORNEJO, F. Análisis del contenido amilosa - amilopectina en seis variedades de arroz ecuatoriano [Tesis ingeniería de alimentos]. Guayaquil (Ecuador): Escuela Superior Politécnica del Litoral, Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción, 2013, 26 p.