

## Eficiencia de dos métodos comparativos de inactivación de la enzima polifenol oxidasa en rodajas de *Smallanthus sonchifolius*

Efficiency of two comparative methods of inactivation of sliced polyphenol oxidase of enzyme *Smallanthus sonchifolius*.

Kattia Marilyn Burga Muñoz <sup>1\*</sup>  Publio Oscar Castro Santander <sup>1</sup>   
Tony Steven Chuquizuta Trigoso <sup>2</sup> 

<sup>1</sup> Universidad Nacional Autónoma de Chota (UNACH). Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial, Ciudad Universitaria Colpa Huacariz, Chota, Cajamarca, Perú.

<sup>2</sup> Instituto de Investigación del Mejoramiento Productivo, Universidad Nacional Autónoma de Chota, Chota, Cajamarca, Perú.

\*Autor de correspondencia [e-mail: kattimarbm@gmail.com]

### RESUMEN

El yacón (*Smallanthus sonchifolius*) al ser cortado experimenta un rápido pardeamiento debido a la enzima polifenol oxidasa (PFO), en ese contexto, el objetivo en este trabajo fue determinar la eficiencia de dos métodos comparativos de inactivación de la enzima polifenol oxidasa en rodajas *Smallanthus sonchifolius*. Las raíces de yacón utilizadas fueron provenientes de la comunidad de Chororco, Chota-Cajamarca, tuvieron como valores iniciales  $9,4 \pm 0,36$  de sólidos solubles totales (°Brix);  $6,03 \pm 0,46$  de pH;  $0,28 \pm 0,06$  acidez (ácido cítrico) y  $90,91 \pm 0,65\%$  de contenido de humedad. Los tratamientos para el escaldado fueron tres niveles tanto de temperatura (65, 75 y 85 °C) y tiempo de escaldado en minutos (5, 10, 15), y para el acidificado fueron tres concentraciones de ácido cítrico (0,3; 0,5 y 0,7%) y tres tiempos de acidificado (6, 9 y 12 minutos). Para determinar el porcentaje de inhibición de polifenol oxidasa se utilizó el método por espectrofotometría utilizando como sustrato al catecol 1% y para el análisis de color se utilizó el método de visión por computadora. El tratamiento 5 de escaldado, temperatura de 75 °C por un tiempo de escaldado de 5 minutos, presentó una mayor eficiencia al inhibir un mayor porcentaje de PFO en 75,85%, el análisis estadístico demostró que la variable tiempo tuvo un efecto significativo en la inhibición de la PFO. En cuanto a la caracterización físico-química ambos tratamientos de inhibición mostraron disminución en cuanto al pH, °Brix, acidez (valores de ácido cítrico) y un aumento en cuanto al contenido de humedad.

*Palabras clave:* Yacón, escaldado, acidificado, pardeamiento, color.

### ABSTRACT

The yacón (*Smallanthus sonchifolius*) when cut undergoes rapid browning due to the enzyme polyphenol oxidase (PFO), in this context. The aim of this study was to determine the efficiency of two comparative methods of inactivation of sliced enzyme polyphenol

oxidase *Smallanthus sonchifolius*. Yacon roots used were from the community of Chororco, Chota-Cajamarca, had initial values 9.4 0.36 total soluble solids (°Brix); 6.03 0.46 pH; 0.28 0.06 acidity (citric acid) and 90.91 0.65% moisture content. Treatments for scalding were three levels of both temperature (65, 75 and 85°C) and scalding time in minutes (5, 10, 15), and for acidification were three concentrations of citric acid (0.3, 0.5 and 0.7%) and three acidification times (6, 9 and 12 minutes). To determine the percentage of inhibition of polyphenol oxidase, the method was used by spectrophotometry using the 1% catechol substrate and the computer vision method was used for color analysis. Scalding treatment 5, temperature 75 °C for a 5-minute scalding time, showed greater efficiency by inhibiting a higher percentage of PFO in 75.85%, statistical analysis showed that the time variable had a significant effect on inhibition of PFO. In terms of physical-chemical characterization both inhibition treatments showed a decrease in pH, °Brix, acidity (citric acid values) and an increase in moisture content.

*Keywords:* Yacón, scalded, acidified, browning, color.

## INTRODUCCIÓN

Las raíces de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) presentan propiedades funcionales debido a los altos niveles de fructooligosacáridos (FOS), que se consideran fibras prebióticas (Rodrigues et al., 2014), además, las raíces de yacón son ricas en compuestos fenólicos, por lo que se consideran un alimento funcional (Delgado et al., 2013; Campos et al., 2012; Simonovska et al., 2003).

En el Perú, se siembra y cultiva una raíz tuberosa de sabor dulce conocida como yacón (Polanco y García, 2013), pero durante su procesamiento, la superficie recién cortada experimenta un rápido pardeamiento enzimático que provoca una vida útil corta (Neves y da Silva, 2007). Esta reacción es originada cuando la enzima polifenol oxidasa cataliza la oxidación de distintos compuestos fenólicos, causando la aparición de pigmentos oscuros no deseables, efectos en las propiedades organolépticas (sabor y textura), desprendimiento de olores negativos y bajo valor nutricional (Suárez et al., 2009; Denoya et al., 2012), lo que también ocasiona grandes pérdidas económicas en la industria

de frutas y vegetales (Bravo & Osorio, 2016; Muñoz et al., 2007).

El control de la enzima polifenol oxidasa durante el procesamiento es muy importante para preservar la apariencia de las rodajas de yacón (Lago & Noreña, 2014). Se han desarrollado diversas técnicas de inhibición o inactivación del polifenol oxidasa, en especial el escaldado y el acidificado; el escaldado, es una operación unitaria que utiliza para lograr la inactivación de las enzimas que producen el pardeamiento, este procesamiento utiliza el vapor o agua caliente para blanquear los alimentos (Fante et al., 2013; Mostacero & Ruíz, 2014; Mendoza y Herrera, 2012; Latorre et al., 2013), y el acidificado es un método de conservación de los alimentos, a través de la reducción del pH por medio del uso de cítricos como el limón, para evitar el desarrollo de microorganismos (Zhou et al., 2020, Gasull & Becerra, 2006, Blach et al., 2011).

En ese contexto, el objetivo en este trabajo fue, comparar los métodos de escaldado y acidificado, en la inactivación de la enzima polifenol oxidasa (PFO) en rodajas de yacón.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el distrito de Chota, ubicado entre 5° 57'S – 78° 14'O y 6° 41'S – 79° 27' 06" O, a 2388 msnm (MPCH, 2018). Se utilizaron raíces frescas de yacón (*S. Sonchifolius*) de la variedad anaranjada, cosechadas entre los meses de agosto a septiembre del año 2019, procedentes de una parcela de la familia Muñoz Sánchez, situada en la comunidad de Chororco, provincia y distrito de Chota, departamento de Cajamarca (Figura 1). La caracterización físico – mecánica de las muestras se realizó

en la Universidad Nacional Autónoma de Chota en el laboratorio de Tecnologías Limpias de la Escuela Profesional de Ingeniería Agroindustrial ubicado en la comunidad de Colpa Huacariz distrito y provincia de Chota, pero para la determinación de la inactivación de PFO, se utilizó el laboratorio de Química de la Escuela Profesional de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional de Cajamarca, ubicado en el distrito, provincia y departamento de Cajamarca.

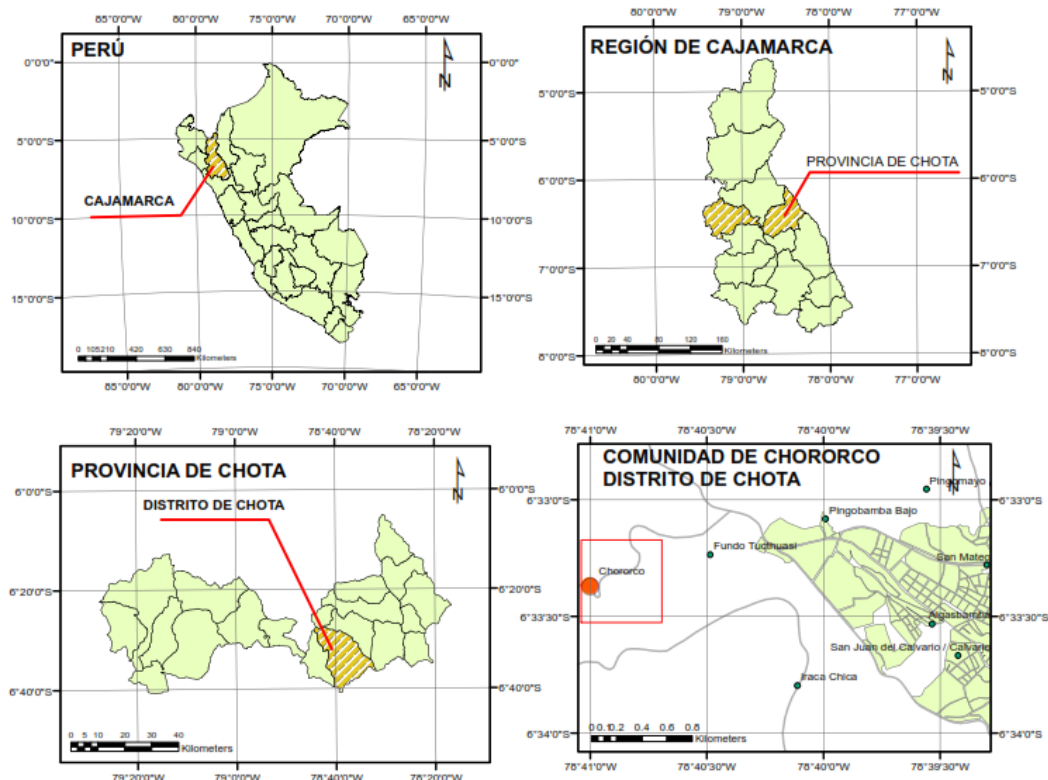


Figura 1. Ubicación de la comunidad de Chororco, provincia y distrito de Chota, departamento de Cajamarca

Se utilizaron 12 unidades de yacón para cada método de inactivación, con las siguientes consideraciones: libre de daños mecánicos y/o daño por insectos, tamaño y peso homogéneo (raíz madura), de las cuales se utilizaron rodajas de 18 a 21 gramos por unidad experimental.

Las muestras fueron desinfectadas utilizando hipoclorito de sodio a 150 ppm y agua potable siguiendo la metodología descrita por (Montarroyos et al., 2017). A las raíces de yacón se les retiró la cáscara, posteriormente fueron cortadas de tamaño, espesor y forma homogéneo utilizando un molde circular de acero inoxidable de 1 cm

de altura y 5 cm de diámetro, luego se secaron las muestras con papel toalla para eliminar el excedente de humedad en la superficie de las muestras y se colocaron en una bandeja de plástico para ser sometidas a cada uno de los tratamientos de inhibición de PFO.

#### Tratamiento de escaldado en rodajas de yacón

Para la determinación de la inactivación de polifenol oxidasa en rodajas de yacón mediante el método de escaldado se utilizó un diseño de investigación factorial 3k (32 = 9) con tres puntos centrales, haciendo un total de 12 tratamientos; teniendo como factores k=2. El factor A (temperatura °C) y factor B (tiempo); así como 3 niveles: temperatura (65, 75 y 85 °C) y los tiempos de escaldado (5, 10 y 15 minutos) sin

repeticiones (Gutiérrez y De la Vara, 2008), tal como se puede observar en la Tabla 1.

#### Tratamiento de acidificación en rodajas de yacón

Para la determinación de la inactivación de polifenol oxidasa en rodajas de yacón mediante el método de acidificación (ácido cítrico) se utilizó un diseño de investigación factorial 3k (32 = 9) con tres puntos centrales, haciendo un total de 12 tratamientos; teniendo como factores k=2. El factor A (concentración de ácido cítrico) y factor B (tiempo de acidificación); así como 3 niveles: la concentración de ácido cítrico (0,3%, 0,5% y 0,7%) y los tiempos de acidificación (6, 9 y 12 minutos) sin repeticiones (Gutiérrez y De la Vara, 2008), tal como se muestra en la Tabla 2.

Tabla 1. Matriz de diseño experimental para tratamiento de escaldado

Corrida	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Inhibición de PFO (%)	Color		
				L*	a*	b*
T <sub>1</sub>	75	10				
T <sub>2</sub>	85	5				
T <sub>3</sub>	85	10				
T <sub>4</sub>	75	10				
T <sub>5</sub>	75	5				
T <sub>6</sub>	75	10				
T <sub>7</sub>	65	15				
T <sub>8</sub>	75	15				
T <sub>9</sub>	85	15				
T <sub>10</sub>	75	10				
T <sub>11</sub>	65	10				
T <sub>12</sub>	65	5				

Tabla 2. Matriz de diseño experimental para tratamiento de acidificado

Corrida	Con ácido cítrico (%)	Tiempo (min)	Inhibición de PFO (%)	Color		
				L*	a*	b*
T <sub>1</sub>	0,3	9				
T <sub>2</sub>	0,5	6				
T <sub>3</sub>	0,3	12				
T <sub>4</sub>	0,5	9				
T <sub>5</sub>	0,7	9				
T <sub>6</sub>	0,5	12				
T <sub>7</sub>	0,7	6				
T <sub>8</sub>	0,5	9				
T <sub>9</sub>	0,5	9				
T <sub>10</sub>	0,7	12				
T <sub>11</sub>	0,5	9				
T <sub>12</sub>	0,3	6				

Para medir el pH de las muestras se utilizó la metodología descrita por Casaubon et al. (2018), primero se calibró el pH-metro, colocando el electrodo en solución tampón a pH 7; finalmente se introdujo el electrodo en 20 ml de extracto de yacón y se realizó la medición del pH por triplicado.

Para la medición de acidez se aplicó el método descrito por Salas (2017), se realizó la titulación de neutralización en una relación de 1:10 (extracto: agua hervida) dejándola calentar por un promedio de 30 a 60 segundos, luego se deja enfriar y se le adiciona 0,5 ml de fenolftaleína al 0,5% (en alcohol al 95%) añadiendo hidróxido de sodio al 0,1 N como solución titulante hasta obtener una coloración levemente rosada, la determinación de la acidez se realizó por triplicado. Calculando el resultado como ácido cítrico (ácido predominante en el yacón) con la ecuación 1.

$$\text{Acidez total} = \frac{(N * \text{Meq} * V)}{P} \times 100$$

(Ecuación 1)

En la ecuación 1, N es la normalidad del NaOH, Meq es el peso equivalente del ácido predominante expresado en gramos del

(ácido cítrico 0.064 g), V es la cantidad en ml de hidróxido de sodio utilizado, y P es el peso de la muestra en gramos.

Para la determinación de los sólidos solubles presentes en la muestra se usó un refractómetro Atago Master M, el cual determinó los grados °Brix presentes en el extracto de yacón, se agregó el extracto de yacón en el prisma del refractómetro y la lectura se realizó de manera directa sobre la escala del porcentaje de azúcares presentes en la muestra, para la mediación de los °Brix se realizó por triplicado.

Para la determinación de la humedad se determinó por el método gravimétrico, este método se fundamenta en la pérdida de peso de la muestra al elevar la temperatura a 60 °C por un tiempo de 48 horas hasta obtener peso constante, donde el contenido de humedad se determina después de la evaporación del agua presente en el alimento. Los cálculos se hallan mediante la ecuación 2 realizando la medición por triplicado.

$$\% \text{ de humedad} = \frac{(pmh - pms)}{pmh} \times 100$$

(Ecuación 2)

En la ecuación 2, Pms es el peso de la muestra seca y Pmh es el peso de la muestra húmeda.

Determinar la actividad de polifenol oxidasa en rodajas de yacón mediante espectrofotometría y visión por computadora

La preparación del extracto puro de la enzima polifenol oxidasa en las rodajas de yacón se llevó a cabo siguiendo el procedimiento de Arrazola et al. (2016). La enzima fue extraída a partir de las muestras sometidas al tratamiento de inhibición por el método de escaldado y acidificado con temperaturas, tiempo y concentración de ácido cítrico especificados anteriormente (tabla 1 y 2). Se utilizó una relación de 0,5 ml de muestra de extracto de yacón con 5 mL buffer fosfato 0,2 M con pH 7.

Cada una de las muestras se agitaron por 1 hora en un agitador magnético, luego el extracto obtenido fue refrigerado a 4 °C por 15 minutos. Posteriormente fue centrifugado a 4000 rpm durante 15 minutos, luego de la separación del sólido el extracto enzimático fue recolectado y almacenado a 4 °C.

Para la determinación de la actividad de polifenol oxidasa se utilizó el espectrofotómetro modelo UV/VISIBLE marca Dinámica Halo DB-20 a 420 nm y 30 °C, para la preparación de las lecturas de cada una de las muestras primero se procedió a calibrar el espectrofotómetro; luego se realizó la lectura de la muestra patrón que consistió en colocar el extracto puro de yacón sin aplicar ningún tratamiento de inactivación de polifenol oxidasa; después se acondicionó a cada una de los tratamientos añadiendo en una celda 0,5 mL de extracto enzimático, 1 mL de solución de catecol al 1% y 2mL de buffer fosfato 0,2 M, que actúa como regulador de pH a neutro. Se usó una celda de referencia con soluciones iguales a la anterior pero que

contenía 0,5 mL de agua en lugar de extracto enzimático. La absorbancia fue medida durante 3 min, en intervalos de 1 min con tres lecturas, la actividad enzimática del polifenol oxidasa se expresó como  $\Delta U_{Abs} \text{ min}^{-1} \text{ mg}^{-1} \text{ proteína}$  (variación de unidades de absorbancia por minuto por gramo de proteína).

El porcentaje de inhibición (%Inh) de PFO se determinó mediante la ecuación 3:

$$\%Inh = \frac{(A_0 - A)}{A_0} \times 100 \quad (\text{Ecuación 3})$$

En la ecuación 3, se muestra la fórmula para estimar la inhibición de PFO, donde  $A_0$  del extracto crudo y  $A$  en condición de temperatura, tiempo y concentración de ácido cítrico.

Sistema de análisis de imagen mediante visión por computadora (CIE-L\*a\*b)

Para el diseño y construcción del sistema de análisis de imagen por computadora (SVC) se basó en lo propuesto por Chuquizuta et al. (2017) para la obtención de las imágenes de cada una de las muestras tratadas. En la tabla 3, se describe las características y especificaciones de los materiales utilizados para la construcción del SVC.

Las muestras tratadas por acidificado y escaldado fueron secadas con papel absorbente a fin de eliminar la humedad superficial. Seguidamente se procedió a obtener las imágenes mediante el SVC de cada uno de los tratamientos y se guardaron en el formato \*.jpg. El SVC para la adquisición de las imágenes consistía en una caja de 100 x 100 cm cuyas paredes internas son de color negro mate (para evitar la luz o algún reflejo), iluminado por cuatro luces fluorescentes (18 W, temperatura de color de 2700 K) y el sistema de captura (cámara de video Sony con una resolución de imagen de 21,4 pixeles un tamaño de imagen de 4320 x 3240) conectado a un

ordenador Intel Core i5 y 8 GB de RAM. Las muestras obtenidas por cada uno de los tratamientos aplicados fueron sometidos a adquisición de imágenes en formato \*.jpg. Para la extracción de las características de color de las imágenes obtenidas se desarrolló una secuencia lógica realizada en una interfaz gráfica de usuario (GUI) creada en el software matemático Matlab R2014a para el análisis de color en sus coordenadas

XYZ las imágenes obtenidas en el formato jpg se pasaron a matriz RGB y posteriormente ser transformadas a las coordenadas L\*ab; se utilizó el procedimiento y los algoritmos descritos en sus estudios de investigación por Chuquizuta et al. (2017), Castro et al. (2017) y Saldaña et al. (2014) quienes realizaron estudios de investigación en panificación y en rodajas de yacón.

Tabla 3. Detalles de la construcción del sistema de adquisición de imágenes

Ítem	Parámetro	
Paredes	Color interior	Negro mate
	Dimensiones (cm)	100x100x100 (cm)
Luminarias	Cantidad	4
	Tipo	Luz de día
	Potencia	18 W
	Color (temperatura)	2700 K
	Disposición	(10 cm arista)
Cámara	Resolución (Píxeles x 106)	21,4
	Dimensión imagen (píxeles)	4320 x 3240
	Sensor	CCD
Computador	Procesador	Intel Core i5 Inside
	Memoria RAM (Gigabytes)	8

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 4, se muestra la inhibición de PFO con el tratamiento de escaldado en rodajas de yacón de la variedad anaranjada, obtenidas de la comunidad de Chororco, Chota-Cajamarca, donde se puede observar que el tratamiento 5 (temperatura de 75 °C y tiempo de escaldado= 5 min) presentó mayor inhibición de la enzima polifenol oxidasa con un 75,85%, Fante et al. (2012) relaciona la eficiencia de este tratamiento con el tiempo de escaldado, pero este disminuye de manera progresiva cuando la

temperatura se incrementa. El método de acidificado en las rodajas de yacón, alcanzó un mayor porcentaje de inhibición de PFO (69,73%), para el tratamiento 10 (concentración de ácido cítrico= 0,7 % y tiempo de acidificado= 12 minutos), tal como se puede observar en la Tabla 5, porcentaje inferior al obtenido por Carvalho y Zapata (2014); esta diferencia se debe a que en concentraciones de ácido cítrico cercanas al 4,2%, las condiciones de los acidulantes tienden a afectar de manera

más efectiva la actividad y estabilidad de la enzima, controlando el pardeamiento provocado por la PFO (Menezes et al., 2018).

Tabla 4. Inhibición de PFO con el tratamiento de escaldado en rodajas de yacón.

Tratamiento	Temperatura (°C)	Tiempo (min)	Inhibición de PFO (%)
T <sub>1</sub>	75	10	68,12 ±0,002
T <sub>2</sub>	85	5	65,42 ±0,005
T <sub>3</sub>	85	10	63,84 ±0,002
T <sub>4</sub>	75	10	66,65 ±0,004
T <sub>5</sub>	75	5	75,85 ±0,004
T <sub>6</sub>	75	10	55,86 ±0,004
T <sub>7</sub>	65	15	64,33 ±0,003
T <sub>8</sub>	75	15	45,28 ±0,005
T <sub>9</sub>	85	15	59,39 ±0,003
T <sub>10</sub>	75	10	62,55 ±0,004
T <sub>11</sub>	65	10	69,68 ±0,002
T <sub>12</sub>	65	5	66,89 ±0,004

Tabla 5. Inhibición de PFO con el tratamiento de acidificado en rodajas de yacón.

Tratamiento	Con. Ácido cítrico (%)	Tiempo (min)	Inhibición de PFO (%)
T <sub>1</sub>	0,3	9	65,55 ±0,02
T <sub>2</sub>	0,5	6	61,41 ±0,02
T <sub>3</sub>	0,3	12	46,46 ±0,03
T <sub>4</sub>	0,5	9	65,46 ±0,02
T <sub>5</sub>	0,7	9	65,80 ±0,02
T <sub>6</sub>	0,5	12	61,37 ±0,02
T <sub>7</sub>	0,7	6	65,62 ±0,03
T <sub>8</sub>	0,5	9	51,79 ±0,03
T <sub>9</sub>	0,5	9	65,25 ±0,03
T <sub>10</sub>	0,7	12	69,73 ±0,02
T <sub>11</sub>	0,5	9	58,08 ±0,03
T <sub>12</sub>	0,3	6	68,21 ±0,02

En la Tabla 6, se muestra las características físico-químicas del yacón antes y después de someterlo a los tratamientos de inhibición enzimática. Se realizó la caracterización físico-química para las muestras de yacón que obtuvieron mayor porcentaje de inactivación de PFO por el método de

escaldado (Tabla 4), y por el método de acidificado (Tabla 5).

Las rodajas de yacón sometidas a escaldado presentan menor pH, pero mayor contenido de humedad, justificando este incremento por el proceso de absorción de agua en las rodajas de yacón, asimismo reporta una disminución en cuanto a su acidez, debido a



ello se produjo una pérdida de nutrientes (proteínas, azúcares, etc.) por difusión con el agua.

El pH en las rodajas tratadas con ácido cítrico disminuyó, resultado que tiene relación con lo reportado por Carvalho y Zapata (2014). Asimismo, los °Brix observados en las rodajas de yacón antes y después del tratamiento de acidificado tienen la misma tendencia con lo reportado

por Vasconcelos et al. (2015) quienes evidenciaron una disminución en el contenido de °Brix aplicando tratamiento de acidificado, indicando que el contenido del total de sólidos solubles se debe a la hidrólisis de fructooligosacáridos (FOS) que liberan azúcares simples como fructosa para cumplir con procesos de energía para la respiración y procesos de transpiración.

Tabla 6. Caracterización físico-química del yacón

Propiedad	Yacón antes del tratamiento por escaldado o acidificado	Yacón después del tratamiento de escaldado a 75 °C por minutos	Yacón después del tratamiento de acidificado con concentración de ácido cítrico de 0.7% y tiempo de 12 minutos
pH	6,03 ±0,46	4,37 ± 0,12	4,007 ± 0,003
°Brix	9,4 ±0,36	7,3 ± 0,12	5,27 ± 0,15
Acidez (Ac. cítrico)	0,28 ±0,06	0,051 ± 0,01	0,020 ± 0,1
Humedad	90,91 ±0,65%	93,97 ± 0,34	93,68 ± 0,17

En la figura 2, se muestra la superficie de respuesta de los parámetros de color L\*, a\* y b\* de las muestras de rodajas de yacón sometidas al tratamiento de escaldado. La rodaja de yacón del tratamiento 10 presenta un mejor índice de luminosidad L\*= 85,09 característico de un color claro; a\*= -2,51 y referente al b\*= 12,79 al aplicar una temperatura de 75°C por 10 minutos. Según Fante et al. (2012) la disminución de los valores para a\* tornando a un negativo demuestra una pérdida de color rojo reflejando un color verdoso en la muestra, el

aumento en L\* y b\* se debe al aumento de la temperatura y tiempo de blanqueo indicando un color más claro y el aumento del tono a\* un amarilleo disminuyendo la intensidad del enrojecimiento; por otro lado, Ndiaye et al. (2009) mencionan que a tiempos mayores a 7 minutos de escaldado con vapor en rodajas de mango el índice de pardeamiento es más estable y los valores b\* y L\* contribuyen de manera positiva al índice de pardeamiento en comparación con a\*.

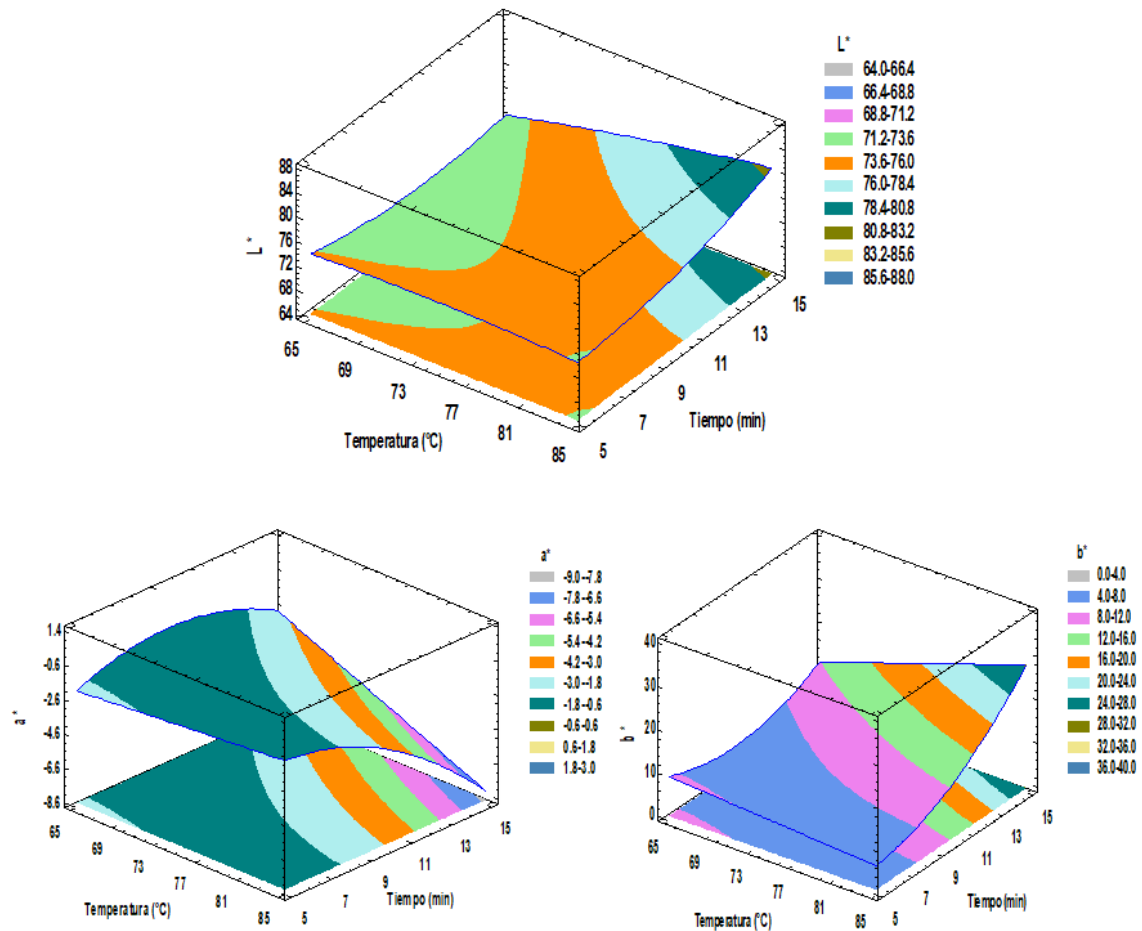


Figura 2. Superficie de respuesta  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  (temperatura y tiempo)

En la figura 3, se muestra la superficie de respuesta de los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  de las muestras de rodajas de yacón sometidas al tratamiento de acidificado. Las rodajas de yacón presentan mejores valores de  $L^*=76,67$ ;  $b^*= 10,30$ ;  $a^*= -1,88$  y  $\Delta E= 12,28$  aplicando tratamiento de acidificado en concentración de ácido cítrico al 0,5% durante 6 minutos. Al utilizar ácido cítrico

como agente antipardeante disminuye la pigmentación de este evidenciando así la efectividad de los ácidos en retardar el pardeamiento enzimático provocado por enzimas como la PFO tal como argumenta Vasconcelos et al. (2015), por esta razón se obtuvieron valores bajos dado que el yacón por su naturaleza presenta un color amarillo pálido.

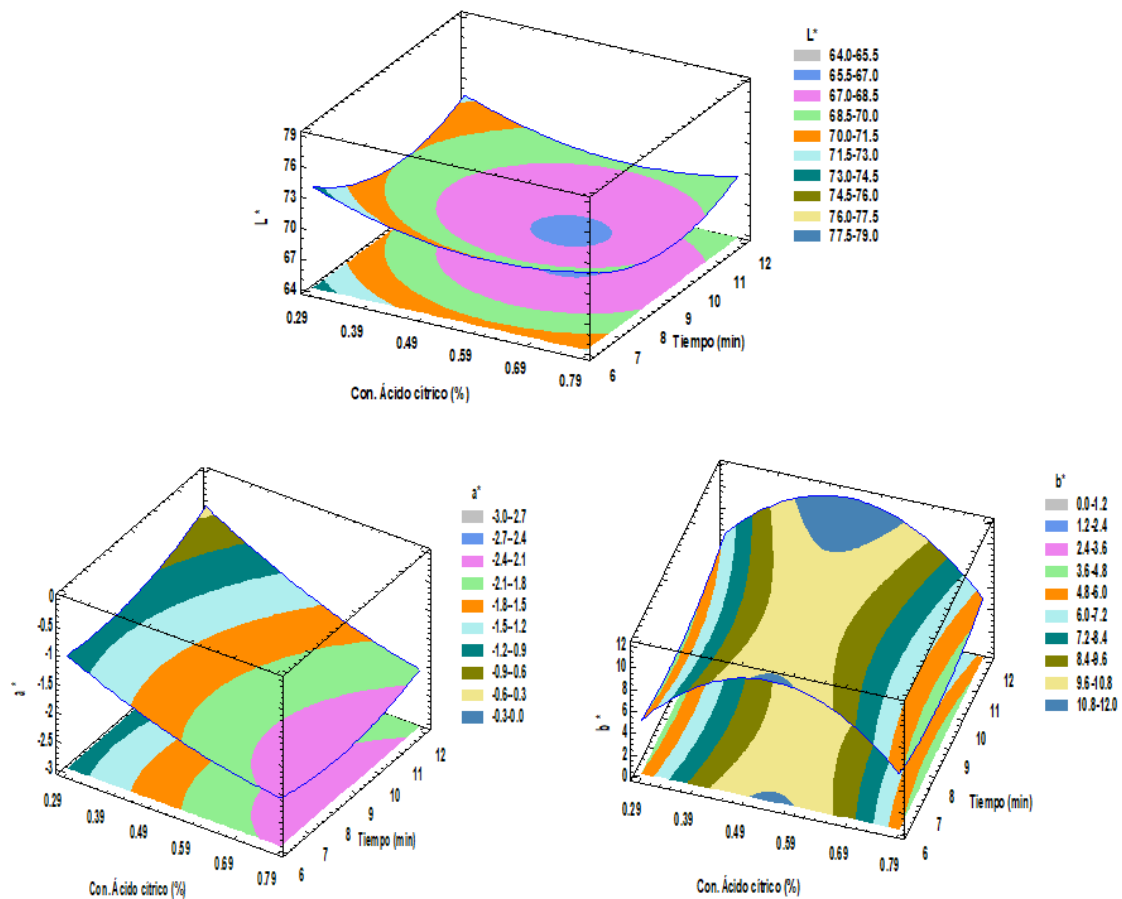


Figura 3. Superficie de respuesta  $L^*$   $a^*$  y  $b^*$  (concentración de ácido cítrico y tiempo)

En la tabla 7 se muestra el tratamiento óptimo del diseño de deseabilidad. Para optimizar un diseño con múltiples respuestas se utiliza la deseabilidad, la cual emplea un enfoque de optimización simultánea, en el que convierte, primeramente, cada respuesta de la variable dependiente en una función de deseabilidad que varía entre 0 y 1 y que representa la cercanía de una respuesta al valor ideal (Yaguas, 2017).

El punto de deseabilidad máximo se alcanza a un tiempo de 11,3997 minutos y una temperatura de 85 °C, encontrando esta combinación de factores con una deseabilidad óptima de 0,77584. Asimismo, para el tratamiento de acidificado, la deseabilidad máxima alcanza un tiempo de 7,19988 minutos y una concentración de ácido cítrico de 0,357237%, encontrando la combinación de factores con una deseabilidad óptima de 0,82769.

Tabla 7. Valor óptimo de maximización de las variables L\* a\* b\*.

Factor	Temperatura y tiempo		Concentración de ácido cítrico y tiempo	
	Temperatura	Tiempo	Con ácido cítrico	Tiempo
Bajo	65,0	5,0	0,3	6,0
Alto	85,0	15,0	0,7	12,0
Óptimo	85,0	11,3997	0,357337	7,19988

## CONCLUSIONES

La aplicación de los métodos de escaldado y acidificado para la inactivación de la polifenol oxidasa evidencian cambios en las características físico-químicas del yacón.

De los análisis de colorimetría aplicados a las diferentes muestras de yacón, el tratamiento de escaldado a una temperatura de 75 °C y un tiempo de 10 minutos mostró una mayor conservación del color característico del yacón, mayor intensidad de brillo, menor intensidad de rojo virando a un ligero verde.

Se recomienda realizar investigaciones complementarias que permitan evaluar la vida útil del yacón, después de haber sido sometido a tratamientos de inhibición de polifenol oxidasa.

## AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Nacional Autónoma de Chota por haberme financiado el proyecto y por brindarme los conocimientos para mi formación profesional y personal.

## REFERENCIAS

Arrazola, G., Alvis, A., y García, C. (2016). Efecto del tratamiento de escaldado sobre la actividad enzimática del polifenol oxidasa en dos variedades de batata (*Ipomoea batatas Lam.*). Revista

Colombiana De Ciencias Hortícolas, 10(1), 80-88.

<https://doi.org/10.17584/rcch.2016v10i1.5125>

Blach, D., Donado, J., y Pinzón, M. (2011). Actividad de la peroxidasa y polifenol oxidasa en rodajas de carambolo (*Averrhoa Carambola L.*) Fresco cortado durante su almacenamiento en atmósfera modificada. Alimentos Hoy, 19(20), 34-42.

<http://www.alimentoshoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/62>

Bravo, K., y Osorio, E. (2016). Characterization of polyphenol oxidase from Cape gooseberry (*Physalis peruviana L.*) fruit. Food Chemistry, 197, 185-190. DOI: 10.1016/j.foodchem.2015.10.126

Campos, D., Betalleluz-Pallardel, I., Chirinos, R., Aguilar-Galvez, A., Noratto, G., & Pedreschi, R. (2012). Prebiotic effects of yacón (*Smallanthus sonchifolius Poepp. & Endl*), a source of fructooligosaccharides and phenolic compounds with antioxidant activity. Food Chemistry, 135(3), 1592-1599. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.088>

Carvalho, C., y Zapata, C. (2014). Kinetic and Thermodynamic of Thermal Inactivation of the Peroxidase, Polyphenoloxidase and Inulinase Activities during Blanching of

- Yacon (*Smallanthus sonchifolius*) Juice. Food Bioprocess Technol, 7, 3560-3568. DOI 10.1007/s11947-014-1366-y
- Casaubon, P., Lamshing, P., Isoard, F., Casaubon, S., Delgado, D., y Pérez, A. (2018). pH de los alimentos: ¿una herramienta para el manejo de los pacientes con reflujo gastroesofágico? Revista Mexicana de Pediatría, 85(3), 89-94. <https://www.medigraphic.com/pdfs/pediat/sp-2018/sp183c.pdf>
- Castro, W., Oblitas, J., Chuquizuta, T., y Avila, H. (2017). Aplicación del análisis de imágenes para la optimización del proceso de panificación en función de la aceptabilidad del color de la corteza. Revista de ciencia de cereales, 74, 194-199. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0733521016302776>
- Chuquizuta, T., Florián, G., Castro, W., y Fito, P. (2017). Efecto de las condiciones de proceso en el desarrollo del color durante la elaboración de pan: uso de técnicas de análisis de imagen para evaluación del color. ResearchGate, 32-39. DOI: 10.25127/ucni.v2i1.223
- Delgado, G. T. C., Tamashiro, W. M. D. S. C., Junior, M. R. M., & Pastore, G. M. (2013). Yacon (*Smallanthus sonchifolius*): a functional food. Plant Foods for Human Nutrition, 68(3), 222-228. <https://link.springer.com/article/10.1007%252Fs11130-013-0362-0>
- Denoya, G., Ardanaz, M., Sancho, A., Bénéitez, C., González, C., y Guidi, S. (2012). Efecto de la aplicación de tratamientos combinados de aditivos sobre la inhibición del pardeamiento enzimático en manzanas cv. Granny Smith mínimamente procesadas. Revista de Investigaciones Agropecuarias, 38(3), 263-267. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=4168728>
- Fante, L., Scher, C. F., Noreña, C. P. Z., & Rios, A. O. (2013). Study of enzyme inactivation using steam in yacon (*Smallanthus sonchifolius*) roots. Journal of Food Processing and Preservation, 37(1), 16-24. <https://doi.org/10.1111/j.1745-4549.2011.00609.x>
- Gasull, E., y Becerra, D. (2006). Caracterización de Polifenol oxidasa Extraída de Pera (cv. *Packam's Triumph*) y Manzana (cv. *Red Delicious*). Información Tecnológica, 17(6), 69-74. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642006000600012>
- Gutiérrez, H., y De la Vara, R. (2008). Análisis y diseño de experimentos. México: McGRAW- Hill/Interamericana Editores, S.A. de C.V.
- Lago, C. C., & Noreña, C. P. Z. (2014). Kinetic and thermodynamic of thermal inactivation of the peroxidase, polyphenoloxidase and inulinase activities during blanching of yacon (*Smallanthus sonchifolius*) juice. Food and bioprocess technology, 7(12), 3560-3568. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11947-014-1366-y>
- Latorre, L., Pantoja, A., Mejía, D., Hurtado, A., y Osorio, O. (2013). Evaluación de tratamientos térmicos para inactivación de enzimas en jugo de fique (*Furcraea gigantea* Vent.). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial, 11(1), 133-122. <http://www.scielo.org.co/pdf/bsaa/v11n1/v11n1a14.pdf>
- Mendoza, R., y Herrera, A. (2012). Cinética de Inactivación de la Enzima Peroxidasa, Color y Textura en Papa Criolla (*Solanum tuberosum* Grupo *phureja*) sometida a tres Condiciones de Escaldado.

- Información Tecnológica, 23(4), 73-82. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-07642012000400009>
- Menezes, N., Dionisio, A., De souza, T., Da Silva, I., y Wilane, R. (2018). Optimización del tratamiento con ácido de yacón para inactivar las polifenol oxidasas manteniendo sus propiedades funcionales. Revista Brasileña de Tecnología de Alimentos, 21. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.06316>
- Montarroyos, V., Alvachian, S., Sarmento, M., Montenegro, T., y Magalhaes, S. (2017). Optimización de yogures simbióticos con pulpa de yacón (*Smallanthus sonchifolius*) y evaluación de la viabilidad de bacterias del ácido láctico. Ciencia y tecnología de los alimentos, 37(2), 166-175. <https://doi.org/10.1590/1678-457x.14016>
- Mostacero, G., y Ruiz, M. (2014). Efecto de la variación térmica del escaldado sobre la actividad de la peroxidasa en tubérculos de *Solanum tuberosum*. SAGASTEGUIANA, 2(2), 105-112. <https://core.ac.uk/download/pdf/267889091.pdf>.
- Municipalidad Provincial de Chota. (2018). Plan de desarrollo urbano de la ciudad de Chota PDU 2017 – 2027. MPCH.
- Muñoz, K., Bravo, K., Zapata, P., y Londoño, J. (2007). Caracterización preliminar del enzima polifenol oxidasa en frutas tropicales: implicaciones en su proceso de industrialización. Scientia et technica, 1(33). <http://dx.doi.org/10.22517/23447214.6097>
- Neves, V. A., & da Silva, M. A. (2007). Polyphenol oxidase from yacón roots (*Smallanthus sonchifolius*). Journal of agricultural and food chemistry, 55(6), 2424-2430. <https://doi.org/10.1021/jf063148w>
- Ndiaye, C., Ying Xu, S., y Wang, Z. (2009). Efecto de escaldado con vapor sobre la polifenol oxidasa, la peroxidasa y el color de las rodajas de mango (*Mangifera indica* L.). Food Chemistry, 113(1), 92-95. doi:10.1016 / j.foodchem.2008.07.027
- Polanco, M., y García, M. (2013). Caracterización morfológica y molecular de materiales de yacón (*Smallanthus sonchifolius* Poep. & Endl) H. Robinsón colectados en la eco región eje cafetero de Colombia. 4(2), 97-116. <http://bdigital.unal.edu.co/3715/1/7206010.2011.pdf>
- Rodrigues, O. R. L., Asquiere, E. R., & Orsi, D. C. (2014). Prevention of enzymatic browning of yacón flour by the combined use of anti-browning agents and the study of its chemical composition. Food Science and Technology, 34, 275-280. <http://dx.doi.org/10.1590/fst.2014.0045>
- Saldaña, E., Siche, R., Huamán, R., Quevedo, R. (2014). Measurement parameter of color on yacón (*Smallanthus sonchifolius*) slices using a computer vision system. Food Science and Technology, 59, 2(2), 1220-1226. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643814003909>
- Simonovska, B., Vovk, I., Andrenšek, S., Valentová, K., & Ulrichová, J. (2003). Investigation of phenolic acids in yacón (*Smallanthus sonchifolius*) leaves and tubers. Journal of chromatography A, 1016(1), 89-98. [https://doi.org/10.1016/S0021-9673\(03\)01183-X](https://doi.org/10.1016/S0021-9673(03)01183-X)
- Suárez, P., Andreu, A., Colman, S., Clausen, A., y Feingold, S. (2009). Pardeamiento enzimático: caracterización fenotípica, bioquímica y molecular en variedades de papa nativas de la Argentina. Revista Latinoamericana de la Papa, 15(1), 66-71.

Burga, Castro y Chuquizuta (2022). Eficiencia de dos métodos...

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5512034>

Vasconcelos, C., De Olivera, E., Nunes, S., Furtado, L., Puschmann, R., y Paes, J. (2015). Evaluating Strategies to Control Enzymatic Browning of Minimally Processed Yacon (*Smallanthus sonchifolius*). *Food Bioprocess Technol*, 8, 1982-1994.

<https://doi.org/10.1007/s11947-015-1558-0>

Yaguas, O. (2017). Metodología de superficie de respuesta para la optimización de una

producción agrícola. *Ingeniería Industrial*, 16(1), 205-222. <http://orcid.org/0000-0002-8214-3931>

Zhou, L., Liao, T., Liu, W., Zou, L., Liu, C., & Terefe, N. S. (2020). Inhibitory effects of organic acids on polyphenol oxidase: From model systems to food systems. *Critical reviews in food science and nutrition*, 60(21), 3594-3621. <https://doi.org/10.1080/10408398.2019.1702500>

Recibido: 03-03-2022 Aceptado: 29-07-2022 Publicado: 31-07-2022