

RECYT

Año 21 / N° 31 / 2019 / 89–98

## Efecto de la temperatura de secado y concentración del inhibidor de pardeamiento en purés de mandioca deshidratados

### Effects of temperature drying and inhibitor concentration on dehydrated mashed cassava

María M. Brousse<sup>1,\*</sup>, Ramón A. Linares<sup>1</sup>, Andrea B. Nieto<sup>2</sup>

1- Facultad de Ciencias Exactas Químicas y Naturales. Universidad Nacional de Misiones.

2- Facultad de Ciencias Exactas y Naturales – Universidad Nacional de Buenos Aires

\* E-mail: brousse.mariamarcela@gmail.com

#### Resumen

Se investigaron los efectos de la concentración del inhibidor de pardeamiento no enzimático (0,2 a 0,4 g NaHSO<sub>3</sub>/L agua) y de la temperatura de secado (80 a 120° C) sobre los parámetros de color y el índice de pardeamiento de puré deshidratado de dos variedades de mandioca: Concepción y Pomerí. Las coordenadas de color se determinaron usando un colorímetro marca HunterLab, modelo D25-9 (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, USA). Los índices de pardeamiento se midieron espectrofotométricamente a una longitud de onda igual a 420 nm, frente a un blanco de alcohol etílico en un equipo marca Spectrum SP-2102 UV-VIS (modelo LUV-400, Spectrum, USA). Los resultados mostraron que los factores estudiados tienen un efecto significativo sobre el color y el índice de pardeamiento del puré de mandioca. Los parámetros de color de las variedades estudiadas de puré de mandioca (L\*, b\*, C\*, H\*) aumentaron con la disminución de la temperatura de secado y el aumento de la concentración del inhibidor de pardeamiento. Los cambios de color son predichos por modelos de ajuste simples como una función de la temperatura de secado y el inhibidor de pardeamiento.

Palabras clave: Puré de mandioca; Color; Pardeamiento no enzimático; Modelos de ajuste; Temperatura de secado; Alimentos deshidratados.

#### Abstract

The effects of the concentration of the non-enzymatic browning inhibitor (0.2 to 0.4 g NaHSO<sub>3</sub> /L water) and the drying temperature (80 to 120° C) were investigated on the color parameters and the browning index of dehydrated mashed of two yucca varieties, Concepción and Pomerí. Color coordinates were determined using a HunterLab, colorimeter model D25-9 (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, USA). The index of non-enzymatic browning was measured spectrophotometrically at a wavelength of 420 nm against a target of ethyl alcohol in a Spectrum SP-2102 UV-VIS branded equipment (model LUV-400, Spectrum, USA). The readings were per triplicate. The results showed that the factors studied have a significant effect on the color and browning index of mashed cassava. Color parameters of the studied yucca mashed varieties (L\*, b\*, C\*, H\*) increased with the decreased in the drying temperature and the increased in the concentration of the browning inhibitor. Color changes are predicted by simple models as a function of the drying temperature and the browning inhibitor.

Keywords: Mashed cassava; Color, Non-enzymatic browning; Fit models; Drying temperature; Dehydrated foods.

#### Introducción

Las raíces de mandioca son usadas principalmente para la producción industrial de almidón y, en menor proporción, como alimento humano. Esto se debe a que el tiempo máximo de conservación de la raíz luego de la cosecha es aproximadamente 2 a 3 días, produciéndose a continuación deterioros, constituyendo esto un serio problema para su comercialización como alimento. En la actualidad, con intenciones de expandir el mercado, se estudian métodos de conservación en raíces de mandioca preservadas por

tecnología de obstáculos (1) y métodos de deshidratación posterior a la producción de puré (2).

El puré de mandioca deshidratado es un desarrollo realizado por nuestro grupo de trabajo como nueva alternativa de producción de la Cooperativa San Alberto Ltda, Misiones, Argentina. El producto llega al mercado como un producto deshidratado, el cual debe ser reconstituido para su consumo.

Investigaciones sobre el mejoramiento del producto final son requeridas para ofrecer al mercado un alimento de buena calidad. El estudio del color y del pardeamiento no enzimático es necesario para determinar si estas propie-

dades pueden ser mejoradas con el agregado de inhibidores de pardeamiento.

El color es uno de los atributos sensoriales que define a un alimento y tiene un rol fundamental en su apariencia y aceptabilidad. La percepción del color a través de los sentidos está afectada por factores subjetivos del observador; lo cual puede dar lugar a ideas preconcebidas acerca de otros factores de calidad como son el sabor y el aroma. Es por ello que el color es la única propiedad sensorial que puede ser medida más eficazmente en forma instrumental que en forma visual (3).

Numerosos investigadores demostraron que los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  son valiosos para describir en forma objetiva los cambios de color producidos en los alimentos, proporcionando información útil para el control de calidad en frutas y purés de frutas como concentrados de pulpas de fruta (4), pasta de tomate doble concentrado (5), puré de pera (6), extrusión de maíz (7).

En la literatura son reportados estudios sobre los cambios de color en productos de alto contenido de almidón. La mayoría de ellos realizan el análisis cinético usando modelos de orden cero y primer orden en función del tiempo de procesamiento y almacenamiento (8, 9, 10, 11). Las investigaciones de color reportadas en mandioca se refieren a cambios de color sobre la raíz fresca durante el proceso de cocción (12), de fermentación (13), extrusión (14) y preservación por tecnología de obstáculos (1).

Efectos de cambios de color de harinas de mandiocas en distintas formulaciones de tortas de harina y almidón sin gluten fueron estudiados (15); sin embargo no existen estudios que evalúen los cambios de color de productos deshidratados reconstituidos en función de la relación sólido/agua usada para su preparación. El tratamiento de calor afecta y altera la naturaleza de los componentes de los alimentos, incluyendo almidones y proteínas, cambiando propiedades físicas, químicas y nutricionales (16, 17). Las reacciones de pardeamiento no enzimático provocan modificaciones de color, olor y flavor de los alimentos. Siendo uno de los más importantes fenómenos químicos, que pueden afectar a la calidad de los alimentos durante el procesamiento y almacenamiento. En el pardeamiento no enzimático pueden intervenir hasta tres mecanismos de reacciones diferentes, que dependen de los sustratos y de las condiciones bajo las cuales se encuentre el alimento: reacciones de Maillard, interacción que ocurre entre los grupos carbonilos libres de los azúcares y los grupos aminos libres de los aminoácidos, la caramelización de los azúcares provocada por un tratamiento térmico intenso y la oxidación del ácido ascórbico. Importantes implicaciones médicas y tecnológicas han hecho a la reacción de Maillard una de las reacciones más ampliamente estudiada. La complejidad de la reacción de Maillard, que consiste en muchas reacciones paralelas y consecutivas con diversos componentes, revela una gran dificultad en el estudio del fenómeno por medio de un método sencillo químico

analítico adecuado para describir todo el proceso. Es especialmente es muy difícil el estudio de las reacciones de pardeamiento durante el secado en condiciones dinámicas cuando decrece la humedad del producto y la temperatura aumenta. Las medidas espectrofotométricas y, en particular la absorbancia a 420 nm, es el método más común para la detección del pigmento marrón (18). Sin embargo, no se han encontrado trabajos que hayan informado sobre el efecto de la temperatura de secado de purés de mandioca de las variedades estudiadas, preparados industrialmente y en forma manual, con el agregado de diferentes cantidades de bisulfito de sodio ( $\text{NaHSO}_3$ ) como conservante.

El objetivo de la presente investigación fue estudiar los efectos de diferentes temperaturas de secado y concentraciones de bisulfito de sodio sobre el color y el pardeamiento no enzimático en puré deshidratado de dos variedades de mandioca, Concepción y Pomberí.

## **Materiales y Métodos**

### **Materiales**

#### **Raíces**

Las raíces de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) utilizadas en esta investigación fueron de las variedades, Concepción y Pomberí. Fueron adquiridas en la Cooperativa San Alberto Ltda., Puerto Rico, Misiones, Argentina.

#### **Obtención de los purés de mandioca deshidratados a partir de la raíces**

Las raíces de mandioca, de ambas variedades, Concepción y Pomberí, fueron lavadas, peladas y cortadas en trozos. Se sumergieron 300 gramos de los trozos de raíz en 3 L de agua y se agregó 0,2; 0,3 y 0,4 gramos de bisulfito de sodio por L al agua de cocción. Se cocinó por 30 minutos, se retiró y se realizó el puré a mano. Los diferentes purés colocados en capa fina en bandejas se secaron a dos temperaturas, 80 y 120° C, en un secadero de planta piloto con flujo de aire a una velocidad de 2,5 m/s, hasta que alcanzaron una humedad menor al 10%. Las muestras se molieron y tamizaron. La porción de muestra que se utilizó para el estudio, fue las que pasaron el tamiz de 50 mesh y fueron retenidas por el tamiz de 100 mesh. Para el blanco de referencia se realizó el mismo procedimiento en la preparación del puré pero no se le agregó el inhibidor de pardeamiento al agua de cocción. Fueron secados a las mismas temperaturas, 80° C y 120° C. Todas las experiencias se realizaron por duplicado.

#### **Preparación de los purés y acondicionamiento de la muestra para la determinación de los parámetros de color**

Se preparó el puré con concentración de 200 g/L. Para ellos se pesó 20 g de puré deshidratado de mandioca

y se le agregó 0,1 L de agua a 80° C. Se cocinó por un tiempo de 2 min y las mediciones de color se realizaron a diferentes temperaturas de ensayo (80, 40, y 27° C). El puré obtenido fue vertido en cajas de petri de 50 mm de diámetro y 10 mm de altura, realizándose las mediciones de color cuando las muestras alcanzaron las temperaturas de ensayo. Las temperaturas seleccionadas fueron elegidas de acuerdo a los siguientes criterios: 80° C: temperatura promedio del puré al terminar el tiempo de cocción y al momento de servirse para comer, 27° C: temperatura ambiente, 40° C: temperatura intermedia a las anteriores. Las determinaciones se realizaron por triplicado a las diferentes concentraciones y a las distintas temperaturas de ensayo.

**Acondicionamiento de la muestra para determinación del pardeamiento no enzimático**

Para la determinación de las sustancias coloreadas solubles formadas en el pardeamiento no enzimático, se colocó 4 g de muestra de puré deshidratado de mandioca, en 20 mL de etanol al 80%. Se agitó por 30 minutos en intervalos de 5 minutos, bajo oscuridad. Luego se centrifugó por 15 min a 3000 rpm (ROSCO CM 2036).

**Métodos**

**Determinación de los parámetros colorimétricos**

Los parámetros de color se determinaron con un colorímetro marca HunterLab, modelo D25-9 (Hunter Associates Laboratory, Reston, Virginia, USA).

Se midió el color según el sistema CIELab, utilizando las coordenadas L\* (luminosidad) que varía entre 100 (blanco) y 0 (negro), a\* varía entre +60 (rojo) y -60 (verde) y b\* varía entre +60 (amarillo) y -60 (azul). El equipo fue estandarizado usando los patrones blanco y negro.

A partir de los parámetros de color a\* y b\* se determinaron las coordenadas cilíndricas croma (C\*) a partir de Ec. 1 y el matiz o HUE (H\*) a partir de la Ec. 2. El vector formado entre el origen y cada punto del gráficos, corresponde al croma C\* y el ángulo que dicho vector forma con el eje de la abscisa al tono H\* a las distintas concentraciones y temperaturas.

$$C^* = Croma = (a^{*2} + b^{*2})^{1/2} \tag{1}$$

$$H^* = Matiz = \arctan(b^* / a^*) \tag{2}$$

La diferencia de color entre el blanco de referencia y el puré reconstituido a la concentración de 200 g/L a las diferentes temperaturas de ensayo (80, 40, y 27° C) fueron analizadas por el parámetro Diferencia Total de Color ( $\Delta E^*$ ) dado por la Ec. 3. El valor de  $\Delta E^*$  es una combina-

ción de los parámetros L\*, a\* y b\* y es ampliamente usado para caracterizar las variaciones de color de los alimentos durante su proceso.

$$\Delta E^* = [(L^* - L_0^*)^2 + (a^* - a_0^*)^2 + (b - b_0^*)^2]^{1/2} \tag{3}$$

donde L\*, a\* y b\* son los parámetros de color del puré reconstituido; L<sub>0</sub>\*, a<sub>0</sub>\* y b<sub>0</sub>\* son las lecturas de los parámetros de color del blanco de referencia.

**Determinación del pardeamiento enzimático**

Se tomó alícuotas del sobrenadante, luego de la centrifugación de las muestras y se colocó en cubetas de cuarzo de 1 cm de paso.

La densidad óptica se midió espectrofotométricamente a 420 nm, frente a un blanco de alcohol etílico. (SPECTRUM SP-2102 UV-VIS).

**Ajustes de los parámetros estudiados**

Para el estudio de la variación del color con las concentraciones del inhibidor de pardeamiento en el agua de cocción, se modelaron los valores experimentales a través de las Ecs. 4 y 5.

$$P = a + bC + cC^2 \tag{4}$$

$$P = a C^b \tag{5}$$

Donde P: son los parámetros color son L\*, a\* y b\*; C\*, H\* y  $\Delta E^*$  y a, b y c son los parámetros de los modelos.

**Análisis estadístico**

Los datos obtenidos se sometieron a un análisis estadístico de varianza (ANOVA) y las constantes de los modelos se obtuvieron con el programa Statgraphics Plus 5.1.

La bondad del ajuste de los diferentes modelos fue evaluada mediante los siguientes parámetros: coeficiente de determinación (R<sup>2</sup>), error cuadrático medio (RMSE) y error porcentual (E%) (19)

$$RMSE = \left[ \frac{\sum_{i=1}^n (c_{cal} - c_{exp})^2}{n} \right]^{0,5} \tag{6}$$

$$RMB = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{cal} - c_{exp})}{n} \tag{7}$$

$$E \% = \frac{\sum_{i=1}^n (c_{cal} - c_{exp})}{n} * 100 \tag{8}$$

donde c<sub>cal</sub> es el valor calculado, c<sub>exp</sub> es el valor experi-

mental y  $n$  es el número de determinaciones.

Un buen ajuste es indicado por valores pequeños de RMSE y MBE,  $R2 > 0,85$  y  $E \% < 10\%$  (20, 21).

## Resultados

El ANOVA mostró que la concentración del inhibidor de pardeamiento y las temperaturas ensayadas (80, 40 y 27° C) en la medición de los parámetros de color, tienen efectos estadísticamente significativos sobre  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$ ,  $\Delta E^*$  ( $p < 0,05$ ), para los purés de mandioca a partir de las raíces Concepción y Pomberí y secadas a las dos temperaturas (80 y 120° C).

Se evaluó el ajuste de los datos experimentales obtenidos a los modelos: cuadrático (Ec. 4) y exponencial (Ec. 5). Los resultados de los valores de los parámetros de las ecuaciones y de la bondad del ajuste de los modelos se encuentran resumidos en las tablas 1 a 4.

Los modelos propuestos presentaron buena bondad del ajuste para los parámetros estudiados, siendo mejor el modelo cuadrático. Para los purés de las dos variedades

de mandioca, Concepción y Pomberí, se obtuvo que a 80° C los valores de  $L^*$  fueron mayores que a 120° C, presentando la misma tendencia los parámetros  $b^*$  y  $C^*$ . El parámetro  $a^*$  tuvo una tendencia contraria. Sin embargo  $\Delta E^*$  fue mayor para los purés secados a 120° C.

## Modelado de los cambios de color

Las comparaciones entre el color de las muestras del puré de ambas variedades a las distintas concentraciones del inhibidor de pardeamiento (0,2; 0,3 y 0,4 g de inhibidor de pardeamiento/L de agua de cocción) y temperaturas de ensayo (27, 40 y 80° C) y el puré blanco o referencia, pueden expresarse como  $\Delta L^*$ ,  $\Delta a^*$ ,  $\Delta b^*$ ,  $\Delta C^*$ ,  $\Delta H^*$  y  $\Delta E^*$ . Este análisis se realizó para las dos temperaturas de secado, 80 y 120° C.

Los parámetros estudiados que ajustaron a la regresión múltiple en función de la temperatura (T) y la inversa de la concentración (1/C) (22) junto con la bondad del ajuste son presentados en la tabla 5.

**Tabla 1:** Valores de las constantes para los parámetros de color  $L^*$ ,  $a^*$ ,  $b^*$  para el puré de la raíz Concepción deshidratado a dos temperatura (80 y 120° C) y reconstituidos y la bondad del ajuste de los modelos cuadráticos y exponencial.

TE (°C)	PC	TS (°C)	Modelo	a	b	c	R2	RMSE	MBE	E%	
80	$L^*$	80	1	53±0,2	30±1	-35±2	1,00	0,001	-0,001	0,002	
			2	56,2±0,2	0,15±0,01		0,95	1,750	-1,587	2,68	
		120	1	50,1±0,2	11±1	15±2	1,00	0,001	0,001	0,002	
			2	49,07±0,08	0,371±0,006		1,00	4,950	-4,675	8,44	
	$a^*$	80	1	-4,02±0,08	-16,1±0,6	17±1	1,00	0,001	0,001	0,009	
		120	1	-6,8±0,1	17,3±0,8	-45,3±1	1,00	0,0004	0,0003	0,005	
	$b^*$	80	1	12,67±0,1	34,93±0,8	-40±1	1,00	0,001	-0,001	0,005	
			2	16,27±0,2	0,563±0,05		0,95	2,020	-1,828	9,29	
		120	1	14,73±0,05	3,1±0,4	3,2±0,6	1,00	0,0001	-0,0001	0,0004	
			2	14,53±0,02	0,312±0,004		1,00	0,5043	-0,333	2,55	
	40	$L^*$	80	1	55,5±0,1	9,9±0,8	-5±1	1,00	0,0001	0,0001	0,0002
				2	55,96±0,04	0,115±0,002		1,00	1,072	-0,929	1,60
120			1	39,8±0,2	77±1	-103±2	1,00	0,004	0,003	0,006	
			2	48,5±0,7	0,29±0,04		0,87	3,618	-3,363	6,28	
$a^*$		80	1	-3,69±0,04	-17,1±0,3	19,7±0,5	1,00	0,0004	-0,0003	0,005	
		120	1	-7,0±0,1	20,33±0,7	-51±1	1,00	0,001	-0,001	0,02	
$b^*$		80	1	11,9±0,3	32±2	-40±4	1,00	0,004	-0,004	0,02	
			2	15,4±0,3	0,45±0,05		0,91	1,247	-1,073	5,94	
		120	1	13,31±0,03	1,9±0,2	11,5±0,4	1,00	0,0033	-0,003	0,02	
			2	12,6±0,1	0,59±0,01		1,00	1,4209	-1,255	8,16	
27		$L^*$	80	1	52,10±0,04	28,5±0,3	-33,2±0,5	1,00	0,0004	-0,0003	0,001
				2	54,9±0,2	0,15±0,01		0,95	1,653	-1,493	2,58
	120		1	41,7±0,2	54±1	-59±2	1,00	0,003	-0,003	0,006	
			2	46,94±0,4	0,354±0,03		0,96	4,429	-4,164	7,90	
	$a^*$	80	1	-3,9±0,1	-15±1	17±2	1,00	0,001	0,001	0,01	
		120	1	-3,9±0,1	1±1	-20±1	1,00	0,0003	-0,0003	0,006	
	$b^*$	80	1	14,5±0,1	9,3±0,9	-4±1	1,00	0,003	-0,003	0,02	
			2	14,94±0,04	0,399±0,009		1,00	0,939	-0,787	4,57	
		120	1	12,16±0,05	-13,62±0,3	49,17±0,6	1,00	0,0040	-0,004	0,03	

PC: Parámetro de color – TE: Temperatura de ensayo - TS: Temperatura de secado - 1-Cuadrático; 2- Exponencial

**Tabla 2:** Valores de las constantes para los parámetros de color C\*, H\*, ΔE\* para el puré de la raíz Concepción deshidratado a dos temperatura (80 y 120° C) y reconstituidos y la bondad del ajuste de los modelos cuadráticos y exponencial.

TE (°C)	PC	TS (°C)	Modelo	a	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	E%
80	C*	80	1	13,3±0,1	38,3±0,7	-44±1	1	0,001	-0,001	0,004
			2	17,2±0,3	0,59±0,05		0,95	2,36	-2,156	10,27
		120	1	16,3±0,06	-3,9±0,5	20,3±0,8	1	0,005	0,005	0,03
			2	108,4±0,3	10±2	-9±3	0,99	0,034	0,034	0,03
	H*	80	1	109,2±0,08	0,036±0,002		0,97	0,359	-0,143	0,3
			2	113±0,3	-51±2	128±4	1	0,021	-0,021	0,02
		120	1	103,1±0,8	0,23±0,02		0,92	6,577	-6,229	5,61
			2	17,6±0,08	-48,9±0,6	56±1	1	0,004	0,004	0,05
	ΔE*	80	1	17,8±0,1	-6,4±0,9	-23±2	1	0,002	-0,002	0,01
		120	1	12,5±0,3	36±2	-44±4	1	0,004	0,004	0,02
40	C*	80	1	16,4±0,3	0,49±0,05		0,92	1,615	-1,433	7,4
			2	15,02±0,04	-6±0,3	-30±0,5	1	0,004	0,004	0,03
		120	1	108,3±0,4	15±3	-14±4	0,99	0,009	-0,009	0,01
			2	109,5±0,1	0,06±0,004		0,97	0,971	-0,831	0,74
	H*	80	1	116,0±0,4	-61±3	138±4	1	0,022	-0,022	0,02
			2	104,6±0,9	0,20±0,03		0,88	5,644	-5,324	4,77
		120	1	14,3±0,3	-36±2	41±3	1	0,006	-0,006	0,08
			2	22,4±0,2	-46,9±1	45±2	1	0,003	0,003	0,02
	ΔE*	80	1	14,9±0,2	14±1	-11±2	1	0,001	0,001	0,01
		120	1	15,90±0,08	0,44±0,02		0,99	1,293	-1,135	6,13
27	C*	80	1	12,77±0,07	-13,6±0,5	53,8±0,9	1	0,004	0,004	0,03
			2	106,1±0,3	35±2	-47±4	0,99	0,046	0,046	0,04
		120	1	110,0±0,3	0,058±0,009		0,85	1,114	-0,954	0,85
			2	106,3±0,4	30±3	-23±4	1	0,016	0,016	0,01
	H*	80	1	108,3±0,2	0,140±0,005		0,99	3,84	-3,617	3,19
			2	11,1±0,2	-26±1	26±2	1	0,006	-0,006	0,1
		120	1	19,5±0,1	-23,4±1	-5±2	1	0,003	0,003	0,03
			2							
	ΔE*	80	1							
		120	1							

PC: Parámetro de color – TE: Temperatura de ensayo - TS: Temperatura de secado - 1-Cuadrático; 2- Exponencial

**Tabla 3:** Valores de las constantes para los parámetros de color L\*, a\*, b\* para el puré de la raíz Pomberí deshidratado a dos temperatura (80 y 120° C) y reconstituidos y la bondad del ajuste de los modelos cuadráticos y exponencial.

TE (°C)	PC	TS (°C)	Modelo	a	b	c	R <sup>2</sup>	RMSE	MBE	E%
80	L*	80	1	54,55±0,07	6,6±0,5	6,5±0,8	1,00	0,0001	0,0001	0,0002
			2	54,09±0,04	0,184±0,002		1,00	2,186	-2,016	3,51
		120	1	56,5±0,2	-44±1	107±2	1,00	0,006	0,006	0,01
			2	47,8±0,6	0,38±0,04		0,92	5,048	-4,749	8,75
	a*	80	1	-5,81±0,05	1,5±0,3	-11,2±0,5	1,00	0,0004	-0,0003	0,005
			120	1	-1,82±0,09	-20,9±0,6	25±1	1,00	0,0002	0,00001
		120	1	13,49±0,08	30,5±0,6	-41±1	1,00	0,004	0,004	0,02
			2	17,03±0,3	0,30±0,05		0,84	0,693	-0,506	3,25
	b*	80	1	8,5±0,5	41±4	-48±6	0,99	0,001	-0,001	0,006
			2	52,48±0,06	17,7±0,4	-10,5±0,7	1,00	0,002	-0,002	0,004
		120	1	53,45±0,08	0,201±0,004		1,00	2,449	-2,271	3,97
			2	52,4±0,1	-21,7±0,7	76±1	1,00	0,001	-0,001	0,001
40	L*	80	1	46,5±0,4	0,45±0,03		0,97	5,904	-5,580	10,37
			2	15,29±0,05	7,8±0,4	-1,8±0,6	1,00	0,003	0,003	0,02
		120	1	-6,34±0,05	8,1±0,4	-22,5±0,6	1,00	0,001	-0,001	0,01
			2	-1,62±0,05	-20,4±0,4	25,3±0,6	1,00	0,001	-0,001	0,02
	a*	80	1	15,29±0,05	7,8±0,4	-1,8±0,6	1,00	0,003	0,003	0,02
			2	15,55±0,02	0,39±0,004		1,00	0,944	-0,791	4,44
		120	1	4,18±0,06	66,2±0,4	-90,7±0,7	1,00	0,001	0,001	0,004
			2							
b*	80	1								
	120	1								

27	L*	80	1	54,45±0,09	2,0±0,6	7±1	1,00	0,003	0,003	0,006
			2	53,90±0,05	0,110±0,003		1,00	0,930	-0,789	1,41
		120	1	47,5±0,2	9±1	19±2	1,00	0,003	0,003	0,007
			2	46,2±0,1	0,400±0,007		1,00	5,087	-4,805	9,11
	a*	80	1	-6,3±0,1	9±1	-24±2	1,00	0,0005	0,0004	0,007
		120	1	0,36±0,04	-31,0±0,3	39,8±0,5	1,00	0,0004	-0,0003	0,006
	b*	80	1	16,47±0,07	-13,5±0,5	37,5±0,8	1,00	0,001	-0,001	0,006
			2	13,53±0,2	0,56±0,05		0,95	1,498	-1,324	8,07
		120	1	2,5±0,4	68±3	-87±5	1,00	0,002	0,002	0,01

PC: Parámetro de color – TE: Temperatura de ensayo - TS: Temperatura de secado - 1-Cuadrático; 2- Exponencial

**Tabla 4:** Valores de las constantes para los parámetros de color C\*, H\*, ΔE\* para el puré de la raíz Concepción deshidratado a dos temperatura (80 y 120° C) y reconstituídos y la bondad del ajuste de los modelos cuadráticos y exponencial.

TE (°C)	PC	TS (°C)	Modelo	a	b	c	R2	RMSE	MBE	E%
80	C*	80	1	14,66±0,09	28,3±0,6	-35±1	1	0,005	0,005	0,02
			2	17,7±0,2	0,35±0,04		0,92	1,043	-0,876	4,36
		120	1	8,7±0,5	45,8±4	-54±6	1	0,001	-0,001	0,008
			2	111,9±0,1	-31,1±0,7	66±1	1	0,006	-0,006	0,005
	H*	80	1	111,9±0,1	-31,1±0,7	66±1	1	0,006	-0,006	0,005
			2	106,4±0,4	0,08±0,01		0,84	1,7646	-1,5836	1,45
		120	1	105,2±0,6	23±4	-29±6	0,97	0,018	-0,018	0,02
			2	107,7±0,2	0,050±0,007		0,89	0,744	-0,579	0,57
	ΔE*	80	1	20,22±0,09	-21,1±0,6	15±1	1	0,002	0,002	0,02
		120	1	21,4±0,3	15±2	-65±4	1	0,003	-0,003	0,02
40	C*	80	1	16,54±0,06	4,7±0,4	5,8±0,7	1	0,003	0,003	0,02
			2	16,19±0,03	0,442±0,005		1	1,325	-1,167	6,19
		120	1	4,48±0,06	69,2±0,4	-93,9±0,7	1	0,0005	-0,0004	0,003
			2	111,9±0,1	-29±1	64±2	1	0,036	0,036	0,03
	H*	80	1	111,9±0,1	-29±1	64±2	1	0,036	0,036	0,03
			2	106,6±0,4	0,08±0,01		0,85	1,7715	-1,5917	1,45
		120	1	109,4±0,2	-6 ±1	17±2	0,99	0,046	0,046	0,04
			2	108,1±0,1	0,034±0,003		0,93	0,316	-0,055	0,24
	ΔE*	80	1	18,58±0,05	-19,0±0,4	9,0±0,6	1	0,004	-0,004	0,03
		120	1	24,46±0,08	-15,2±0,6	-19,3±0,9	1	0,005	-0,005	0,03
27	C*	80	1	17,63±0,04	-15,9±0,3	43,7±0,5	1	0,003	-0,002	0,01
			2	14,2±0,2	0,61±0,05		0,95	1,86	-1,673	9,58
		120	1	2,3±0,4	74±3	-95±5	1	0,0011	-0,0011	0,007
			2	110,6±0,5	-10,6±3	29,2±5	0,99	0,03	0,03	0,03
	H*	80	1	110,6±0,5	-10,6±3	29,2±5	0,99	0,03	0,03	0,03
			2	108,2±0,2	0,062±0,006		0,93	1,1401	-0,985	0,89
		120	1	104,4±0,4	29±3	-37,85±5	0,99	0,0087	-0,009	0,008
			2	107,6±0,3	0,059±0,008		0,89	1,0386	-0,88	0,8
	ΔE*	80	1	29,89±0,08	-116,6±0,5	143,2±0,9	1	0,009	0,0091	0,12
		120	1	48,4±0,3	-204±2	263±4	1	0,013	0,013	0,12

PC: Parámetro de color – TE: Temperatura de ensayo - TS: Temperatura de secado - 1-Cuadrático; 2- Exponencial

Los datos experimentales ajustaron adecuadamente a los modelos presentados, dando errores porcentuales menores al 10% excepto para  $\Delta H^*$  para la variedad Pomberí. En la tabla 5 se observa que  $\Delta L^*$ ,  $Da^*$ ,  $Db^*$  y  $\Delta C^*$  para las dos variedades de purés y  $\Delta E^*$  para la variedad Concepción disminuyó para las dos temperaturas de secado a medida que aumentó la concentración del inhibidor de pardeamiento. Las mayores diferencias para todas las

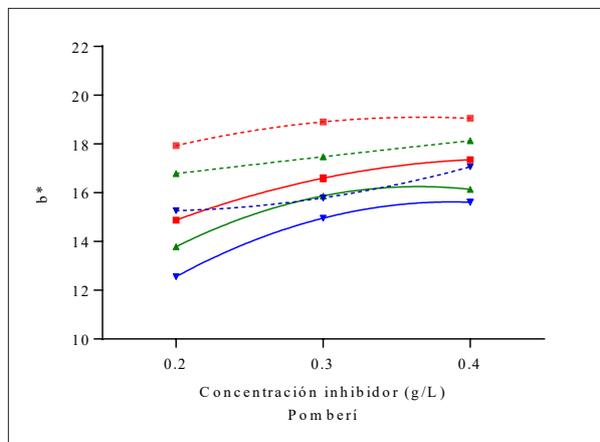
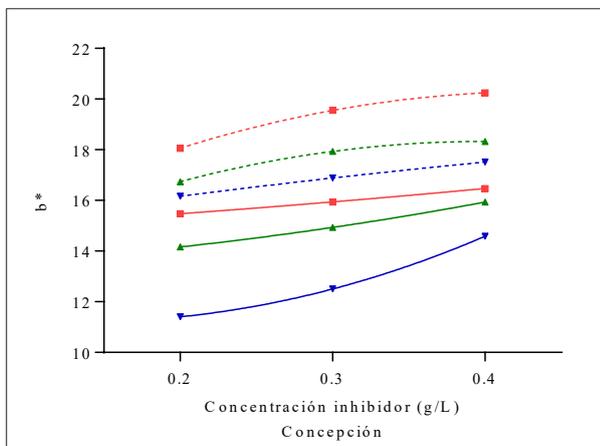
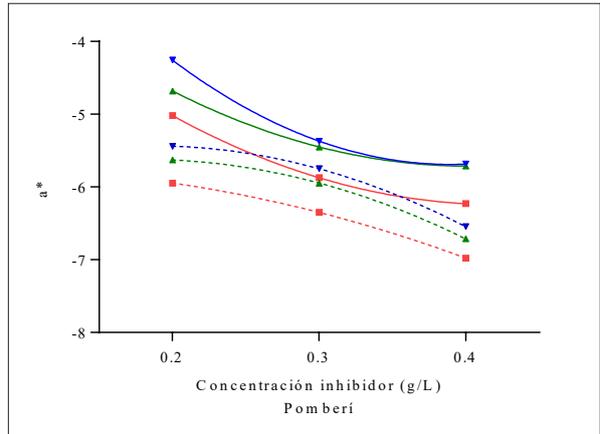
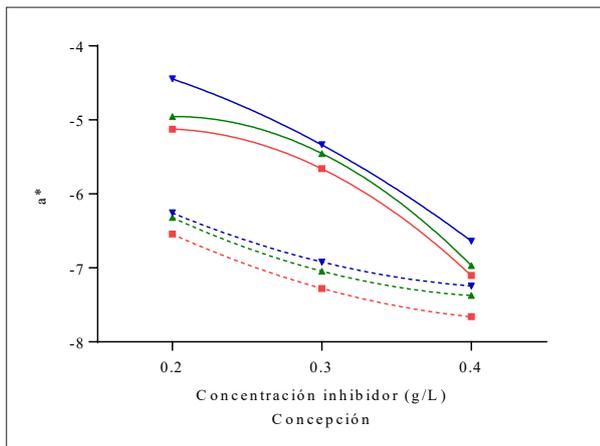
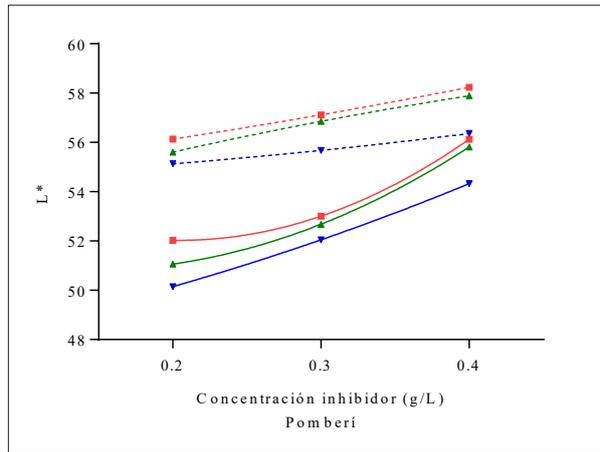
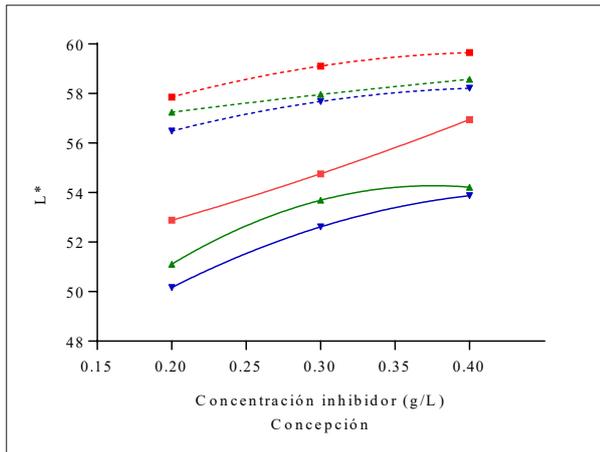
temperaturas (80, 40 y 27° C) estudiadas se presentaron a la mayor temperatura de secado.  $\Delta H^*$  en cambio, aumentó con el incremento de la concentración del inhibidor, para la variedad Pomberí.

En la figura 1 se muestran los ajustes de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  para ambas variedades de puré de mandioca y las dos temperaturas de secado.

**Tabla 5:** Ecuaciones de ajuste para las diferencias de color como una función de la temperatura y la concentración para las dos temperaturas de secado.

Variedad	Temperatura de secado (° C)	Modelo	R2	RMSE	MBE	E%
Concepción	80	$\Delta L^* = -1,018+0,638(1/C)+0,049T$	0,92	0,41	0,004	13,14
	120	$\Delta L^* = 1,917+1,44(1/C)+0,027T$	0,92	0,482	-0,0002	5,58
Pomberí	80	$\Delta L^* = 6,40+0,72(1/C)+0,055T$	0,85	0,61	-0,0001	4,55
	120	$\Delta L^* = 6,82+1,62(1/C)+0,053T$	0,84	0,9	-0,0001	4,92
Concepción	80	$Da^* = 0,968+0,421(1/C)+0,012T$	0,79	0,26	-0,01	8,14
	120	$Da^* = 1,03+0,762(1/C)+0,01T$	0,84	0,391	0,0001	7,99
Pomberí	120	$Da^* = 0,20+0,50(1/C)-0,051T$	0,97	0,0945	0,0003	4,5
Concepción	80	$Db^* = 1,90+0,682(1/C)+0,018T$	0,87	0,316	0,0003	5,5
	120	$Db^* = 5,303+0,746(1/C)+0,012T$	0,71	0,784	0,0012	5,77
Pomberí	80	$Db^* = 2,72+0,55*(1/C)+0,038*T$	0,87	0,39	0,0001	5,53
	120	$Db^* = 2,35+1,08*(1/C)+0,049*T$	0,89	0,54	0,0001	5,67
Concepción	80	$\Delta E^* = 1,359+1,007*(1/C)+0,044T$	0,89	0,512	-0,00004	7,02
	120	$\Delta E^* = 5,198+1,71*(1/C)+0,029*T$	0,95	0,444	-2E-06	3,14
Concepción	80	$\Delta C^* = 2,145+0,789*(1/C)+0,02T$	0,86	0,38	-0,033	5,96
	120	$\Delta C^* = 5,329+0,973*(1/C)+0,015*T$	0,79	0,547	0,000003	5,51
Pomberí	80	$\Delta C^* = 2,44+0,65*(1/C)+0,036*T$	0,87	0,4	-0,00001	5,67
	120	$\Delta C^* = 2,27+1,18*(1/C)+0,045*T$	0,90	0,53	0,00002	5,49
Pomberí	80	$\Delta H^* = 3,88-0,59(1/C)+0,022*T$	0,80	0,4	-0,00007	12,73
	120	$\Delta H^* = 2,25-0,42(1/C)+0,039*T$	0,93	0,27	-0,0001	12,21

**Figura 1:** Variación de los parámetros  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  del color del puré de mandioca deshidratado reconstruido en función de la concentración del inhibidor de pardeamiento para las variedades Concepción y Pomberí. Valores experimentales y calculados a las temperaturas 27 (▼), 40 (●), 80 (■) °C. Temperatura de secado 80 °C (---) y 120 °C (—)



Se observa que  $L^*$  y  $b^*$  presentan la misma tendencia de aumento con las dos temperaturas ensayadas y las tres concentraciones de inhibidor de pardeamiento. En cambio el parámetro  $a^*$  muestra una tendencia contraria.

**Índice de pardeamiento**

Un ANOVA de los valores del índice de pardeamiento y su variación con la temperatura y con la concentración de bisulfito de sodio indicó que existen diferencia significativas ( $p < 0,05$ ) de un nivel de temperatura a otro y entre las diferentes concentraciones de bisulfito de sodio, dentro del rango

de estudio, para las dos variedades de puré de mandioca. La interacción bisulfito de sodio y temperatura no es significativa.

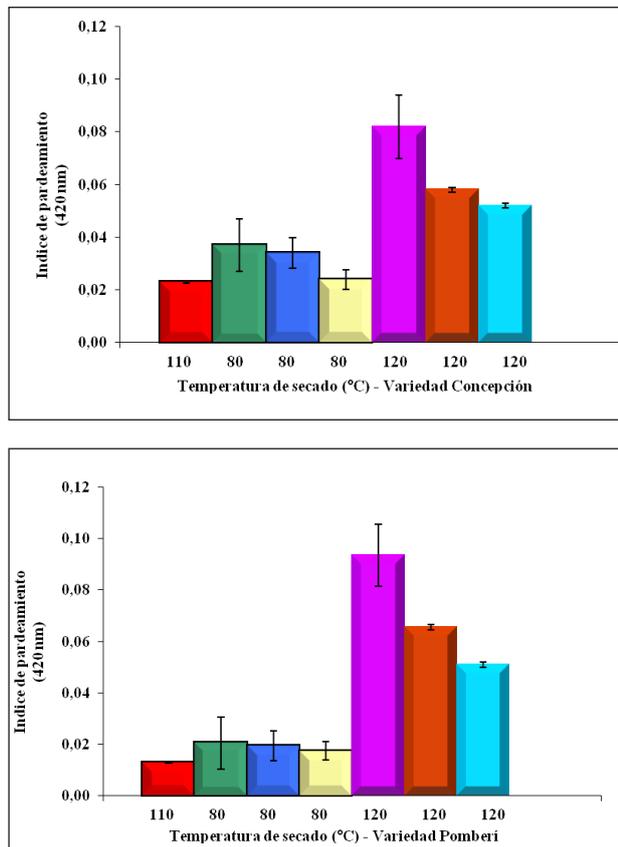
Los índices de pardeamiento disminuyen al aumentar la concentración de bisulfito de sodio y al disminuir la temperatura de secado.

El puré elaborado en la Cooperativa San Alberto Ltda., secado en el horno de la planta a  $110^\circ\text{C}$ , arrojó valores de índice de pardeamiento de 0,023 y 0,013 para la variedad Concepción y para la variedad Pomberí, respectivamente. Este puré solamente es tomado a modo comparativo no como blanco de referencia.

De las distintas concentraciones de inhibidor de pardeamiento

miento utilizada en esta investigación la más eficaz fue la mayor concentración (0,4 g/L) a las dos temperaturas de secado obteniéndose los menores valores de índice de pardeamiento.

En la figura 2 se presenta en forma gráfica la variación de los índices de pardeamiento de los purés de las dos variedades de mandioca ensayadas a las dos temperaturas de secado, 80 y 120° C y de las muestras de la Cooperativa secadas a 110° C, con las distintas concentraciones del inhibidor de pardeamiento.



**Figura 2:** Comparación de los índices de pardeamiento de muestras de puré variedad Pomeri, con distintas concentraciones de inhibidor de pardeamiento: ( ) 0 g/L; ( ) 0,2 g/L; ( ) 0,3 g/L; ( ) 0,4 g/L.

Cuando se compararon los índices de pardeamiento que fueron medidos a 420 nm para los purés de la Cooperativa (secados a 110° C) frente a los del laboratorio (secados a 80° C y 120° C), se observó que los purés de la Cooperativa, aunque no contenía inhibidor de pardeamiento, presentaron el menor índice de pardeamiento, comparándolo con las restantes muestras, como se observa en la figura 2. Las muestras secadas a 80° C y con la mayor concentración del bisulfito de sodio, tuvieron valores similares sin diferencias significativas ( $p < 0,05$ ).

Los índices de pardeamiento de la variedad Concepción fueron más elevados que la variedad Pomeri cuando la temperatura de secado fue 80° C. Al elevar la temperatura de secado se presenta que los purés de la variedad Pomeri, fueron mayores a las menores concentraciones del inhibidor; en cambio a la mayor concentración del inhibidor de pardeamiento, los índices de la variedad Concepción

fueron mayores.

La pasta de yuca o mandioca entera frita (M. esculenta) “agbele krakro” tuvo un valor de 0,021 para la densidad óptica (OD) a 420 nm (23), valores cercanos a los reportados para los purés investigados.

El ANOVA indicó que a 80° C la variedad influyó significativamente ( $p < 0,05$ ) sobre los índices de pardeamiento, mientras que a 120° C no influyó ( $p > 0,05$ ).

Al aumentar la temperatura los índices de pardeamiento aumentan y se reduce la calidad de los productos alimenticios debido a los efectos del pardeamiento principalmente debido al efecto térmico del secado por aire (24).

El valor del índice de pardeamiento hallado para el puré de mandioca elaborado en la planta de la Cooperativa San Alberto Misiones, es debido a que los tiempos de residencia de secado son muy bajos. Este puré tiene un tiempo de secado de una hora, mientras que los realizados en el laboratorio, necesitan tiempos más elevados, para alcanzar la misma humedad final. Por lo tanto debido a que los tiempos de residencia dentro de los secaderos son muy diferentes entre el laboratorio y la planta industrial, no podemos dar comparaciones reales con las distintas concentraciones de inhibidor de pardeamiento agregados al agua de cocción de las raíces. Por lo tanto, es conveniente trabajar a nivel laboratorio con la mínima concentración de inhibidor de pardeamiento estudiado.

## Conclusiones

Durante el secado a dos temperaturas, 80 y 120° C, el parámetro  $a^*$  disminuye mientras que la luminosidad ( $L^*$ ) y la amarillez ( $b^*$ ) aumentan con la concentración del inhibidor de pardeamiento para las dos variedades de puré de mandioca. La diferencia de color total disminuye.

Los cambios de color son predichos por modelos simples como una función de la temperatura de secado y el inhibidor de pardeamiento.

Los índices de pardeamiento de los purés rehidratados de ambas variedades disminuyen conforme disminuye la temperatura de secado y aumenta la concentración del inhibidor en el agua de cocción.

## Referencias

1. Brumovsky, L.; Hartwig, V. y Horianski, M. *Evaluación de propiedades organolépticas en Raíces de Mandioca Preservadas por Tecnología de Obstáculos*. Revista de Ciencia y Tecnología. 10b: p. 34-40. 2008.
2. Brousse, M.; Linares, R.; Nieto, A. y Vergara, M. *Cinética de adsorción de agua en purés deshidratados de mandioca (Manihot esculenta Crantz)*. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3(1): p. 80-96. 2012.
3. Magariños, C. y Bauzá, M. *Determinación del color de aceites de oliva vírgenes (Mendoza-Argentina)*. Revista de

- la Facultad de Ciencias Agrarias. 35(2): p. 71-76. 2003.
4. Lozano, J. y Ibarz, A. *Colour changes in concentrated fruit pulps during heating at high temperatures*. Journal of Food Engineering. 34: p. 365–373. 1997.
  5. Barreiro, J.; Milano, M. y Sandoval, A. *Kinetics of colour change of double concentrated tomato paste during thermal treatment*. Journal of Food Engineering. 33: p. 359-371. 1997.
  6. Ibarz, A.; Pagan, J. y Garza, S. *Kinetic models for color changes in pear puree during heating at relatively high temperatures*. Journal of Food Engineering. 39: p. 415-422. 1999.
  7. Ilo, S. y Berghofer, E. *Kinetics of colour changes during extrusion cooking of maize grits*. Journal of Food Engineering. 39: p. 73-80. 1999.
  8. Rodríguez- Saona, L.; Wrolstad, R. y Pereira, C. *Modeling the contribution of sugars, Ascorbic acid, chlorogenic acid, and amino acids to non enzymatic Browning of potato chips*. Journal of Food Science. 62(5): p. 1001-1005. 1997.
  9. Krokida, M.; Oreopoulou, V.; Maroulis, Z. y Marinos-Kouris, D. *Effect of osmotic dehydration retreatment on quality of french fries*. Journal of Food Engineering. 49(4): p. 339–345. 2001.
  10. Pedreschi, F.; Moyano, P.; Kkaack, K. y Granby, K. *Color changes and acrylamide formation in fried potato slices*. Food Research International. 38: p. 1-9. 2005.
  11. Gutkoski, L. y El-Dash, A. *Effect of extrusion process variables on physical and chemical properties of extruded oat product*. Plant Foods for Human Nutrition. 54: p. 315-325. 1999.
  12. Padonou, W.; Mestres, C. y Nago, M. *The quality of boiled cassava roots: instrumental characterization and relationship with physicochemical properties and sensorial properties*. Food Chemistry. 89: p. 261-270. 2005.
  13. Dzedzoave, N.; Ellis, W.; Oldman, J. y Osei-Yaw, A. *Subjective and objective assessment of Agbelima (cassava dough) quality*. Food Control. 10: p. 63-67. 1999.
  14. Leonel, M.; Freitas, T. y Mischán, M. *Physical characteristics of extruded cassava starch*. Scientia. Agricola. 66(4): p. 486-493. 2009.
  15. von Atzingen, M. y Machado Pinto, M. *Evaluación de la textura y color de almidones y harinas en preparaciones sin gluten*. Ciencia Tecnología Alimentaria. 4(5): p. 319-323. 2005.
  16. Harper, J., *Food extrusion. Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 11: p. 155-215. 1979.
  17. Sgaramea, S. y Ames, J. *The development of color in extrusion cooked foods*. Food Chemistry. 46: p. 129–132. 1993.
  18. Labuza, T. y Baiser, W. *The kinetics of non-enzymatic browning*. In: Schwartzberg, H. y Hartel, R., Physical Chemistry of Foods. Marcel. Dekker, New York. p. 595–649. 1992.
  19. Linares, R.; Hase, L.; Vergara, M. y Resnik, S. *Modeling yerba mate aqueous extraction kinetics: Influence of temperature*. Journal of Food Engineering. 97: p. 471–477. 2010.
  20. Park, K.; Vohnikova, Z. y Brod, F. *Evaluation of drying parameters and desorption isotherms of garden mint leaves (Mentha crispa L.)*. Journal of Food Engineering. 51(3): p.193-199. 2002.
  21. Vega-Gálvez, A.; Lara-Aravena, E. y Lemus-Mondaca, R. *Isotermas de adsorción de harina de maíz*. Ciencia e Tecnología de Alimentos. 26(4): p. 821-827. 2006.
  22. Corzo, O.; Bracho, N. y Marval, J. *Effect of brine concentration and temperature on color of vacuum pulse osmotically dehydrated sarine sheets*. LWT. 39: p. 665-670. 2006.
  23. Quayson, E. y Ayernor G. *Non-enzymatic browning and estimated acrylamide in roots, tubers and plantain products*. Food Chemistry. 105: p. 1525-1529. 2007.
  24. Chou, S. y Chua, K. *New hybrid drying technologies for heat sensitive foodstuffs*. Trends in Food Science and Technology. 12: p. 359-369. 2001.

Recibido: 27/02/2018.

Aprobado: 25/09/2018.