

28

Fecha de presentación: septiembre, 2021

Fecha de aceptación: octubre, 2021

Fecha de publicación: noviembre, 2021

CUANTIFICACIÓN

DE HIDROXIMETILFURFURALEN LA ALGARROBINA POR CONCENTRACIÓN A VACÍO

QUANTIFICATION OF HYDROXYMETHYL FURFURAL IN ALGARROBIN BY VACUUM CONCENTRATION

Alfredo Lázaro Ludeña Gutiérrez¹

E-mail: aludenag@unp.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5674-5886>

Adrián Colomer Winter²

E-mail: colomerwinter@gmail.com

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5398-2146>

Luiggi Bruno Castillo Chung³

E-mail: lcastillo@unf.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2310-0712>

Ricardo Peña Castillo¹

E-mail: rpeñac@unp.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9366-4962>

Smith Timana Rojas¹

E-mail: stimanar@unp.edu.pe

ORCID: <https://orcid.org/000-0002-2122-1561>

¹ Universidad Nacional de Piura. Perú.

² Universidad César Vallejo. Perú.

³ Universidad Nacional de la Frontera. Perú.

Cita sugerida (APA, séptima edición)

Ludeña Gutiérrez, A. L., Colomer Winter, A., Castillo Chung, L. B., Peña Castillo, R., & Timana Rojas, S. (2021). Cuantificación de hidroximetilfurfural en la algarrobina por concentración a vacío. *Revista Universidad y Sociedad*, 13(6), 250-257.

RESUMEN

El trabajo de investigación relaciona la presencia del hidroximetilfurfural (HMF) en la algarrobina con el procesamiento, el porcentaje de la concentración de los sólidos solubles y el exceso de tiempo de exposición a la alta temperatura en la que está sometida, técnicas aún no controladas por los productores de algarrobina en Piura, también se relacionan con los precursores de la formación de HMF, los carbohidratos y sus azúcares reductores presentes en la vaina de algarroba. Como resultados en la primera etapa, se determinó un análisis bromatológico y un aminograma a la algarroba fruto del algarrobo (*Prosopis pallida*), determinando la presencia de azúcares reductores. En una segunda etapa se caracterizó el extracto extraído por lixiviación en ebullición de las vainas de algarrobo, a un tiempo de dos horas, usando una proporción de algarroba y agua de 1:4, buscando evaluar el contenido de azúcares, perfil de aminoácidos y presencia de Furfural e Hidroximetilfurfural, durante la concentración. De igual modo, se realizaron pruebas de concentración al vacío, evaluándose el color (índice de pardeamiento), sólidos solubles y contenido de hidroximetilfurfural (HMF) en producto concentrado. Se determinó diferencia estadística significativa para color y contenido de HMF entre las muestras concentradas al vacío y la muestra comercial, en cifras, un 11% menor de color y 43% a las presiones 81.43 kPa (95°C) y 54.03 kPa (85°C), respecto a 101.32 kPa en condiciones normales, 26% menos HMF.

Palabras clave: Sólidos solubles, tratamiento enzimático, hidroximetilfurfural, algarrobina.

ABSTRACT

The research work relates the presence of hydroxymethylfurfural (HMF) in carob with the processing, the percentage of soluble solids concentration and the excess of exposure time to the high temperature to which it is subjected, techniques not yet controlled by carob producers in Piura, also related to the precursors of HMF formation, carbohydrates and their reducing sugars present in the carob pod. As results in the first stage, a bromatological analysis and an aminogram of the carob fruit of the carob tree (*Prosopis pallida*) were determined, determining the presence of reducing sugars. In a second stage, the extract extracted by boiling leaching of the carob pods was characterized, at a time of two hours, using a carob and water ratio of 1:4, seeking to evaluate the sugar content, amino acid profile and the presence of Furfural and Hydroxymethylfurfural, during the concentration. Similarly, vacuum concentration tests were carried out, evaluating the color (browning index), soluble solids and hydroxymethylfurfural (HMF) content in the concentrated product. A significant statistical difference was determined for color and HMF content between the vacuum concentrated samples and the commercial sample, in figures, 11% less color and 43% at pressures 81.43 kPa (95°C) and 54.03 kPa (85°C), with respect to 101.32 kPa under normal conditions, 26% less HMF.

Keywords: Soluble solids, enzymatic treatment, hydroxymethylfurfural, algarrobin.

INTRODUCCIÓN

La algarrobina es un producto concentrado, cuyos carbohidratos, azúcares y otros componentes como proteínas, taninos extraídos de la vaina de algarroba durante el proceso de lixiviación (S/L) a temperatura de ebullición, para luego concentrar los sólidos solubles durante un periodo de tiempo hasta llegar a una baja actividad de agua y concentración de sólidos solubles entre 70 a 80 % de sólidos solubles en la algarrobina encontrados en el mercado. Según Ludeña & Ludeña (2018), el bajo consumo per cápita y la menor frecuencia de consumo en un alimento procesado a alta temperatura contribuye a no sobrepasar los límites de ingesta de hidroximetilfurfural.

Durante la caramelización, los azúcares reductores a través de la enolización-1,2 sufren reacciones de deshidratación y ciclación para formar finalmente el HMF. En condiciones de baja humedad, se ha propuesto una vía alternativa de formación de HMF a partir de la degradación de sacarosa en fructosa, que conlleva la formación del catión reactivo fructofuranosil, el cual puede convertirse directamente a HMF (Yaylayan, et al., 2003). Según Ludeña & Ludeña (2018), a mayor tiempo de exposición, a temperatura constante, en la evaporación de agua y concentración de sólidos solubles, en la obtención de algarrobina, mayor contenido de HMF.

Según Capuano & Fogliano (2011), mencionan que la reacción de Maillard y caramelización son altamente dependientes de la temperatura y tiempo aplicados, y las condiciones del medio de reacción. La formación de HMF es a su vez directamente dependiente de estos factores, en este sentido, los productos reducidos en HMF suelen tener reducciones en el color y aromas que los caracteriza.

Ferrera (2016), refiere que la mayor preocupación está relacionada a la conversión a sulfoximetilfurfural (SMF), un compuesto que se ha reportado como mutagénico e iniciador de tumores en la piel de los ratones, además de células bacterianas y mamarias. Por otro lado, Hamzalıoğlu & Gökmen (2020), estudiaron la formación de acrilamida en el café durante el tostado. Para este propósito, se propuso un modelo cinético completo que incluye los pasos elementales para la formación de acrilamida.

Los cambios en sacarosa, azúcares reductores, aminoácidos libres, asparagina, acrilamida, 3-desoxiglucosona, metilglioxal, glioxal y 5-hidroximetilfurfural se controlaron en el café durante el tostado a 200, 220 y 240 ° C. Las rutas dominantes de reacciones complejas que conducen a la acrilamida se desentrañaron mediante un enfoque de modelado cinético de múltiples respuestas. Los resultados del modelo indicaron que la sacarosa se

degrada en glucosa y un catión fructofuranosilo reactivo. Curiosamente, la glucosa participa principalmente en la formación de intermedios, glioxal y especialmente 3-desoxiglucosona en lugar de la formación de acrilamida. Por otro lado, el catión fructofuranosilo contribuyó principalmente a la formación de 5-hidroximetilfurfural, que resultó ser el precursor intermedio más importante de la acrilamida formada en el café durante el tostado. S

Nhi, et al. (2020), consideran que los cambios provocados por la aplicación de la deshidratación al vacío en la textura del zumo dieron lugar a una mayor pérdida de agua y a un mayor contenido de azúcar ($52,92 \pm 0,79$ °Brix), también menciona que el 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y el 2,2-azino-bis-(3-etilbenzotiazolina-6-sulfonato) (ABTS) del zumo de pomelo se ven afectados por el calor y, en menor medida, por la presión.

Según Nguyen, et al. (2017), plantean que la fructosa contribuyó considerablemente a la formación de acrilamida y a la formación de HMF a través de la caramelización en los cuatro tipos de galletas, además no se encontró una correlación clara entre la acrilamida y el HMF en las galletas horneadas, ni entre la asparagina y la suma de las concentraciones de glucosa y fructosa en la harina de trigo.

MATERIALES Y MÉTODOS

Para la caracterización de la vaina de algarroba se preparó la materia prima (algarroba) se le realizó una molienda en un molino manual (marca Corona) por 2 veces consecutivas graduando el ajuste de eje, el algarrobo molido paso por un tamiz N°70 (marca Fisher Scientific Company con abertura de malla 212 μ m) y después se almaceno en frascos de tapa hermética para su posterior uso. Para determinar la Humedad y sólidos totales se realizó en una estufa marca Memmert, modelo UF110 plus siguiendo el método "Standard Method for Determination of Total Solids in Biomass – Laboratory Analytical Procedure LAP-001".

Para la determinación de Ceniza se realizó en un horno mufla marca Hornos Felix, modelo HM 010 siguiendo el método "Determination of Ash in Biomass - NREL/TP-510-42622". Para el contenido de extractivo se realizó en extractores soxhlet (marca Pyrex) siguiendo el método "Standard Method for the Determination of Extractives in Biomass –Laboratory Analytical Procedure LAP-010". Se determinó el análisis de perfil de aminoácidos en vainas y extracto de algarrobo. Para el análisis de aminoácidos se realizó según el manual de instrucción de WATERS "Waters AccQ Tag Chemistry Package – Instruction manual number WAT052874 Los carbohidratos estructurales se midieron usando el método "Determination

of Estructural Carbohidrates and Lignin in Biomass-Laboratory Analytical Procedure. Se determinó azúcares reductores totales mediante el método Antrona. Para el tratamiento de extracción (nivel laboratorio), se trabajó en lotes de 2 kg de vainas de algarrobo por batch y 8 litros de agua. Las vainas fueron pesadas, trozadas. Posteriormente se colocaron en un recipiente con agua y se procedió a realizar el proceso de extracción, (100 °C x 2.5 h). Luego se filtró, y el extracto fue colocado en un rotaevaporador al vacío, para su concentración.

En el producto concentrado se analizó color con un Colorímetro Konica Minolta CM-5, determinándose los parámetros de color (L^* , a^* y b^*) a partir de los cuales se calculó el índice de pardeamiento (IP); sólidos solubles totales (°Brix) e Hidroximetil furfural por HPLC. Se realizó en los laboratorios del medio ambiente de la Universidad Nacional de Trujillo. Wang, et al. (2021), proponen un método aplicado con éxito al análisis de HMF en bebidas azucaradas para verificar la viabilidad en muestras reales. También Cui, et al. (2020), desarrollaron un método basado en cromatografía de gases acoplada con espectrometría de masas de triple cuadrupolo (GC-MS / MS) combinada con extracción Queches para detectar furfural, incluidos furfural, 2-acetilfurano, 5-metil-2-furfural y 5-hidroximetil-2 -furfural, en productos lácteos a base de leche.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 1 muestra el análisis de composición química de la vaina de algarrobo en estado fruto de cáscara amarilla, donde los valores de humedad y el contenido de cenizas, para el análisis difieren, pero en el contenido de sólidos totales están dentro del rango Ludeña (2012), encontró en la pulpa de algarrobo 12.76% de humedad, 3.45% de ceniza, 59 % de sólidos solubles, 5.29 de pH valores muy aproximados a los de la tabla 1.

Tabla 1. Composición química de la vaina de algarrobo.

Análisis	Valor 1	avalor 2
Humedad (%)	37.1698 ±1.6552	7.3 a 12.5
Sólidos totales (%)	62.8302± 1.6552	59.3 a 64.8
Cenizas (%)	4.3641±0.1238	2.58 a3.79
Extractivos (%)	80.6065±1.5710	
pH (unidades)		5.25 a 6.16
Proteínas (%) (factor 6.25)		6.03 a 8.43
Azúcares reductores (g/100g glc. Eq.)		2.19 a 2.83
Carbohidratos totales (%)		33.72 a 49.73

El contenido proteico de 6.03 a 8.43 % y de carbohidratos totales 33.72 a 49.73 %, muestras de algarrobo de Piura, es menor a los que muestran Colqui & Domínguez (2018), reportando 11,6% de proteínas y 56% de carbohidratos de las muestras de pulpa de algarrobo del distrito de Tucúme; y, 11,2% de proteínas, 57% de carbohidratos y 3,2% de lípidos para las muestras del distrito de Olmos en Lambayeque; no mostrando diferencias significativas.

En algunos casos las diferencias de los valores reportados en la tabla 1, son posiblemente al estado de madurez de la vaina de algarrobo, al tipo de suelo y al estado fitosanitario del algarrobo ya que últimamente los algarrobos silvestres están padeciendo de una plaga en el algarrobo y la recurrente es la *enallodiplosis discordis* de la familia *cecidomyiidae*. Esta larva termina por secar las hojas, las cuales van cayendo y el algarrobo no puede hacer fotosíntesis y al final el algarrobo muere por inanición, según Ana Juárez, mencionado en el periódico el tiempo (Piura, 2018).

Tabla 2. Porcentaje (%) de carbohidratos en vainas de algarrobo.

Carbohidratos	Valor (%)
Celobiosa(disacar.)	3.699
Glucosa (monosa.)	7.609
Xilosa	5.087
Galactosa (monos.)	0.6198
Arabinosa	0.8618
Manosa (monosa.)	0.0855

La tabla 2, muestra los azúcares presentes en la vaina de algarrobo, entre monosacáridos de 5 carbonos (xilosa 5.087%, arabinosa 0.8618%) y monosacáridos de 6 carbonos (glucosa 7.609%, galactosa 0.6198%, Manosa 0.0855%); además de disacáridos (Celobiosa 3.699%). Se observa mayor presencia de glucosa con 7.609% en la vaina de algarrobo, indicando su presencia en la reacción para la formación de HMF en la algarrobina. Los valores de azúcares reductores mostrados en la tabla 1 como de la tabla 2, son diferentes esto podría deberse al estado de madurez de la vaina y tiempo de almacenamiento que pudo tener como fruto. Según Bermello & García (2015), encontraron en la algarroba *prosopis pallida* azúcares solubles totales de 48.5 g/100bs, sacarosa 46.1, fructosa 1.26, glucosa 1.02, xilosa 0.27 en g/100bs. valores mucho menores que los que se muestra en la tabla 1 y 2, esto podría deberse a la maduración de la vaina de algarrobo

Tabla 3. Determinación de la luminosidad (L^*) y parámetros cromáticos (a^* y b^*).

ID-CSIC	Muestra	L	Color Hunter Lab		E
			a^*	b^*	
GR139-01	Muestra A	72.15 ±0.14	3.01±0.06	30.02±0.11	78.20±0.21
GR139-02	Muestra B	69.59±0.18	4.86±0.08	23.11±0.12	73.48±0.20
GR139-03	Muestra C	63.95±0.03	7.65±0.06	24.00±0.05	68.73±0.05
GR139-04	Muestra D	69.38±0.24	3.81±0.09	28.38±0.20	75.06±0.37
GR139-05	Muestra E	64.01±0.06	7.68±0.03	23.90±0.05	68.75±0.09

La tabla 3, muestra los parámetros cromáticos de la vaina de algarroba, donde la muestra A y D, presentan mayor tendencia al color intenso amarillo (+b indica amarillo, -b indica azul), siendo más luminosa la muestra A. respecto a las demás muestras.

Tabla 4. Sólidos solubles del extracto de la algarroba.

Muestra: Agua:	1:4
Extracto	SS (°Brix)
1	11.5
2	12
3	12
Promedio	11.833
D.E	0.236
CV	2.44%

La tabla 4 muestra los sólidos solubles en un promedio de 11.833% azúcares extraídos del trozo de la vaina de algarroba sometido a una temperatura de ebullición, la relación de algarroba trozada con agua es de 1:4, Ludeña (2012), extrajo 14 % de sólidos solubles, probablemente la vaina de algarroba tuvo mayor madurez con más contenido de azúcares. En el proceso de lixiviación del transporte de los azúcares de la vaina de algarrobo al medio líquido (agua) no solo se transportan azúcares sino también taninos y otros componentes. Según Bermello & García (20215), la pulpa de algarroba tiene taninos condensados 0.41 g/100 bs y polifenoles solubles totales 0.81 g/100bs.

Tabla 5. Análisis de azúcares simples en extracto de algarroba.

Carbohidrato	Valor (g/l)
Fructuosa	0.014655
Glucosa	0.002923
Sacarosa	0.1520767

La tabla 5 muestra los azúcares simples presentes en el proceso de extracción, donde los azúcares formarán parte de la formación de acrilamida (Ludeña, 2018; Ciesarová, 2021), como de los HMF, otros azúcares contribuirán al sabor dulce y otros expresados en sólidos solubles, contribuirán al sabor amargo de la algarrobina.

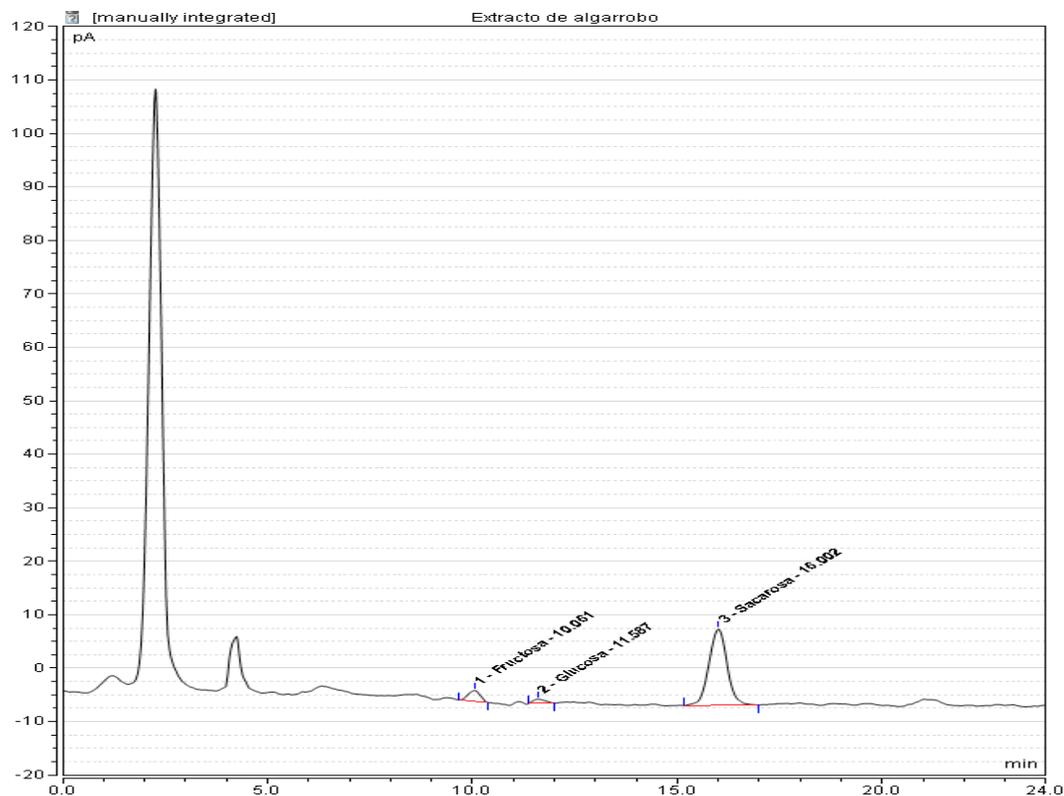


Figura 1. Azúcares en extracto de vainas de algarroba.

La figura 1 muestra el espectro de los azúcares presentes en el extracto de la vaina de algarroba, de la tabla 5.

Tabla 6. Concentración de azúcares reductores en el extracto de algarrobo.

Muestra	Concentración (g/l)
Extracto de algarroba	52.89±0.459

La tabla 6, muestra el contenido de extracto de azúcares reductores en el extracto de azúcares extraídos por lixiviación con una cantidad de 52.89±0.459, azúcares que participarán en la reacción de Maillard. Según Jiménez & Peñafiel (2016), el HMF es un contaminante químico derivado de la reacción de Maillard, formado por la deshidratación de la fructuosa. Esta reacción ocurre principalmente en aquellos alimentos que contienen azúcares reductores que sufren un procesado térmico por calentamiento o conservación a temperaturas ambiente y se produce generalmente a baja actividad del agua.

Tabla 7. Tratamiento de extracción (nivel laboratorio).

Tratamientos	Presión (kPa abs)	T°C
T1	101.33	100
T2	81.43	95
T3	54.03	85

A nivel experimental en la tabla 7, se observa que en el rotavapor con el extracto de azúcares (lixiviado), sometiéndolo a tres tratamientos de presión y temperatura

Tabla 8. Parámetros de color e Índice de pardeamiento de miel de algarrobo.

Tratamientos	L*	a*	b*	IP
T1	27.35	4.96	5.88	36.6
T2	21.99	3.45	4.27	32.7
T3	22.19	2.21	2.91	21.0

La tabla 8, muestra el índice de pardeamiento (IP), a mayor luminosidad mayor índice de pardeamiento, mostrando la muestra de algarrobina un color marronesco, por efecto de la temperatura moderada (85°C) a 54.03 kpa, respecto a la temperatura de concentración (100°C) a presión de vacío a 54.03 kpa abs, de la algarrobina.

Ludeña (2012), obtuvo una algarrobina color oscuro a una temperatura de 105°C a presión atmosférica y a 72% sólidos solubles. Tal como se observa en la tabla 8, la muestra de miel concentrada a mayor temperatura y presión presentó mayor valor de IP. Según Nhi, et al. (2020), mencionan que la alta presión mostró efectos insignificantes sobre el color. Sin embargo, un mayor tiempo de calentamiento pareció provocar el pardeamiento del zumo. En comparación con la muestra fresca, el valor de la diferencia de color total (DCT) de la muestra tratada fue de $6,73 \pm 0,58$ tras 150 minutos de calentamiento a 85°C.

Tabla 9. Contenido de Hidroximetilfurfural en miel de algarroba.

Tratamientos	Presión (kPa)	T°C	HMF (ppm)
T1	101.33	100	181.16±5.91
T2	81.43	95	175.18±0.58
T3	54.03	85	174.55±1.83
Muestra comercial			236.85±6.07
Reducción			26%

La tabla 9, muestra el contenido de HMF, mostrando que a mayor presión de vacío menor contenido de HMF (174.55 ± 1.83) a una temperatura de 85°C, aunque sus valores de HMF no muestran mucha diferencia significativa entre las muestras; pero si mucho menor al contenido de HMF encontradas por Ludeña (2012), obteniendo en tres muestras 593 ug/kg, 431 ug/kg y 0 ug/kg de HFM a presión atmosférica, a 105°C, donde a mayor tiempo en el proceso de concentración mayor presencia de HMF, encontrándose muestras incluso con 0 ug/kg de HMF, dando entender que el HFM también se puede descomponer a otros elementos, supuestamente tóxicos o no.

Según Crăciun, et al. (2020), encontraron un contenido de HMF (mg/kg) de 1.21 ± 0.03 a $1.18-1.25$ de miel de la

acacia Rumania, mucho menor que las muestras de algarrobina, De aquí podemos deducir que, para obtener algarrobina, depende del material donde se encuentra la solución a concentrar, utilizar un rota vapor (material de vidrio), es diferente a concentrar en ollas de aluminio como en los peroles de bronce., influenciando mucho la conductividad térmica del material; además también hay que considerar el tiempo de exposición, concentrar bajos volúmenes de una solución es más manejable que grandes cantidades durante la concentración, esto también influye en la presencia de acrilamida como de hidroximetilfurfural.

Según Arrivas (2013), menciona que la RM y la caramelización se ven favorecidas en gran medida por la relación temperatura/tiempo y las condiciones del medio de reacción (contenido de agua, acidez, cationes divalentes). De esta manera, disminuyendo la temperatura durante el procesamiento y/o almacenamiento se consigue disminuir la formación de HMF de una manera sencilla. En general, el aumento del tiempo de almacenamiento también aumenta la cantidad de HMF formado. Condiciones de baja y moderada humedad se asocian a un aumento en la formación de HMF, debido a que la RM se ve acelerada por la deshidratación del azúcar.

En condiciones extremas de procesado se ha observado un descenso del HMF en galletas debido a la degradación de éste a productos secundarios, la mayor parte volátiles (Ameur, et al., 2006). Sin embargo, estas condiciones afectarán de forma drástica a la calidad del producto pudiendo llegar a generarse otros compuestos indeseados como la acrilamida. Por lo expuesto, el sistema de concentración al vacío permitió reducir el color en un 11% y 43% a las presiones 81.43 kPa (95 °C) y 54.03 kPa (85 °C) respectivamente, en comparación al tratamiento a condiciones normales (101.32 kPa).

Por otro lado, se realizó una evaluación sensorial con público consumidor, reportándose ligera reducción del sabor amargo en los tratamientos elaborados a presión de vacío. Sin embargo, se recomienda realizar un análisis descriptivo con panelistas entrenados para validar los resultados. También se puede observar de la tabla 9, que el sistema de concentración al vacío permitió obtener muestras con 26% menos HMF respecto a una marca comercial. Según Hamzalıoğlu & Gökmen (2020), la sacarosa se degrada en glucosa y un catión fructofuranosilo reactivo. el catión fructofuranosilo contribuyó principalmente a la formación de 5-hidroximetilfurfural, que resultó ser el precursor intermedio más importante de la acrilamida formada en el café durante el tostado.

Según Vieira, et al. (2017), analizaron HMF en 38 muestras de zumos y néctares de manzana comerciales donde el 100% tenía presencia de HMF con un intervalo de 0,7 -27 mg/L y media de 6,7 mg/L con un porcentaje de 15,8% (n=6) de las muestras positivas a HMF y por encima de los límites legislados. Marcondes, et al. (2021), mencionan que en el contenido de 5-HMF en los 23 productos a base de tomate analizados osciló entre 1,30 y 312 mg kg⁻¹, lo que se correlacionó positiva y significativamente con los niveles de azúcares (fructosa y glucosa) y la acidez.

Este estudio pone de manifiesto la importancia del control del 5-HMF en los productos a base de tomate, así como la necesidad de establecer límites máximos legales para ofrecer un producto seguro al consumidor. Jung, et al. (2021), evaluaron el impacto de la acidez en los parámetros cinéticos de la conversión hidrotermal de fructosa a 150 ° C.

Los parámetros de reacción se variaron en el tiempo (5-180 min), ácido (NaHSO₄, H₃PO₄, ácido cítrico y ácido fórmico) y concentración de ácido (0,016 a 1,6 mol / l). Los datos experimentales se evaluaron con un modelo cinético novedoso que incluye la formación de HMF, LA y huminas. Si bien se esperaba que la tasa de deshidratación de fructosa a HMF y la tasa de rehidratación de HMF a ácido levulínico dependieran linealmente de la concentración de protones, los resultados muestran que en realidad existe una relación exponencial. Esto puede explicarse por la participación del ión ácido en reposo en las reacciones de deshidratación y rehidratación. Por el contrario, la tasa de formación de humin depende linealmente de la concentración de protones y, además, la sensibilidad de esta relación es bastante baja. Esto aclara por qué altas concentraciones de ácido o concentraciones de protones, respectivamente, aumentan la formación de LA a expensas de la formación de humina.

CONCLUSIONES

En el estudio se demostró que para la extracción de azúcares se utilizó una dilución algarroba trozada con agua en 1:4

A presión de vacío de 54.03 kpa absoluta, con 85°C de temperatura se obtuvo 174.55±1.83 de HMF, con una reducción del 26% respecto a la algarrobina comercial.

El color de la algarrobina concentrada a vacío es marroneo a comparación del color oscuro de la algarrobina comercial. A mayor presión de vacío menos HMF y menor índice de pardeamiento (IP).

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ameur, L. A., Trystram, G., Birlouez-Aragon, I. (2006). Accumulation of 5-hydroxymethyl-2-furfural in cookies during the baking process: validation of an extraction method. *Food Chem.* 98, 790-796.
- Arrivas, G. (2013). Análisis, inhibición e ingesta de nuevos contaminantes químicos de procesado en alimentos. (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid.
- Bermello, S., & García D. (2015). Métodos de extracción para los compuestos esenciales del algarrobo (*Prosopis Pallida*) y su posible aplicación a nivel industrial. (Tesis para optar el título de Ingeniero Químico). Universidad Técnica de Manabí.
- Capuano, E., & Fogliano, V. (2011). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural (HMF): A review on metabolism, toxicity, occurrence in food and mitigation strategies. *LWT -Food Science and Technology*, 44(4), 793-810.
- Ciesarová, Z., Kukurová, K., Torbica, A., Belović, M., Horváthová, J., Daško, Ľ., & Jelemenská, V. (2021). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural in thermally treated non-wheat flours and respective breads. *Food Chemistry*, 365.
- Colqui, A., & Domínguez, E. (2018). Comparación del porcentaje de proteínas, carbohidratos y lípidos de *Prosopis pallida* "algarrobo" proveniente de los distritos de Tucúme y Olmos, departamento de Lambayeque. (Tesis de Maestría). Universidad Privada Antonio Guillermo Urrello.
- Crăciun, M.E., Pârvulescu, O.C., Donise, A.C., Dobre, T., & Stanciu, D.R. (2020). Characterization and classification of Romanian acacia honey based on its physicochemical parameters and chemometrics, 10(1).
- Cui, Y., Shi, X., Tan, Y., Xie, Y., & Du, Z. (2020). The effects of heat treatment and fermentation processes on the formation of furfurals in milk-based dairy products using a Quenchers technique followed by gas chromatography coupled with triple quadrupole mass spectrometry. *Food Chemistry*, 31330.
- El Tiempo. (2018). Temible plaga amenaza bosque de algarrobos. <https://eltiempo.pe/algarrobo-temible-plaga-amenaza-bosque-de-algarrobos/>
- Ferrera, A. (2016). Efecto del escaldado con ultrasonido sobre la formación de acrilamida y 5-hidroximetilfurfural en rodajas de papas. (Tesis de Pregrado). Universidad de Chile.

- Hamzalıođlu, A., & Gökmen, V. (2020). 5-Hydroxymethylfurfural accumulation plays a critical role on acrylamide formation in coffee during roasting as confirmed by multiresponse kinetic modelling. *Food Chemistry*, 318(15).
- Jiménez, V., & Peñafiel R. (2016). Evaluación de hidroximetilfurfural en diferentes marcas de miel de abeja, comercializadas en un supermercado de Guayaquil. (Tesis de Maestría). Universidad de Guayaquil.
- Jung, D., Körner, P., & Kruse A. (2021). Kinetic study on the impact of acidity and acid concentration on the formation of 5-hydroxymethylfurfural (HMF), humins, and levulinic acid in the hydrothermal conversion of fructose. *Biomass Conversion and Biorefinery*. 11(4).
- Ludeña, A. L., & Ludeña A.A. (2018). Quantification of Acrylamide and Hydroxymethylfurfural in the Consumption of Algarrobin in the City of Piura-Peru. *Research Article. Nursing & Primary Care*, 2 (5), 1-4.
- Ludeña, A. L. (2012). Acrilamida en el consumo de algarrobina, con fines de estandarización en un proceso tecnificado-Piura. (Tesis Doctoral). Universidad Nacional de Piura.
- Marcondes, M. M., Della Betta F., Seraglio S., Schulz M., Nehring P., Gonzaga L.V., Fett R., & Costa A.C. (2021). Determination of 5-hydroxymethylfurfural in tomato-based products by MEKC method. *Journal of Food Composition and Analysis*, 100.
- Nguyen, H., Van der Fels-Klerz, H., & Van Boekel, M. A. (2017). Acrylamide and 5-hydroxymethylfurfural formation during biscuit baking. Part II: Effect of the ratio of reducing sugars and asparagine. *Food Chemistry*, 230, 14-23.
- NH, T.T.Y., Phat, D. T., Quyen, N. N., Cang, M. H., Truc, T. T., Bach, L. G., & Muoi, N. V. (2020). Effects of vacuum concentration on color, polyphenol and flavonoid contents and antioxidant activity of pomelo citrus maxima (Burm. f.) Merr. Juice. 991 (1).
- Vieira, F., Rodríguez, Y., & Berrada H. (2017). Evaluación de la presencia de patulina y hidroximetilfurfural en zumos de frutas a base de manzana. XXII Congreso Español de Toxicología y VI Iberoamericano. *Rev. Toxicol*, 31(1).
- Wang, Z. H., Zhang, J. X., Gao, M., QiCui, W., Xu, L., linZhu, X., JinLi, J., Huang, Z. E., Hussain, D., YuZhang, J., Chen, D., & Xu, X. (2021). Stable isotope labelling-flow injection analysis-mass spectrometry for rapid and high throughput quantitative analysis of 5-hydroxymethylfurfural in drinks. *Food Control*, 130.
- Yaylayan, V.A., Perez, C., Wnorowski, A., & O'Brien, J. (2005). Mechanistic path ways of formation of acrylamide from different aminoacids. En, M. Friedman y D. S. Mottram, *Chemistry and Safety of Acrylamide in Food*. (pp 191-203). Springer.