




Artículo Original

Agua vegetal producida en la elaboración de pasta de tomate en la UEB Industrial Ceballos

Vegetable water produced in tomato paste elaboration at the UEB Industrial Ceballos

Anisia Navarro Páz ¹  <https://orcid.org/0000-0003-3788-0913>, Sarah Isabel Barreto-Torroella ²  <https://orcid.org/0000-0002-2471-7263>, Amaury Pérez Sánchez ²  <https://orcid.org/0000-0002-0819-6760>

Resumen:

Contexto: En la UEB Industrial Ceballos de Ciego de Ávila se generan grandes volúmenes de condensado vegetal que no se recuperan y se vierten al alcantarillado.

Objetivo: Determinar el volumen y características de los condensados obtenidos en la fase de concentración de la pasta de tomate.

Métodos: Se analizaron datos de tomates procesados y pasta de tomate producida y de las características físico químicas del condensado en 2016-2017. Se utilizó la simulación mediante SuperPro Designer.

Resultados: Se revelan las características físico-químicas de los condensados obtenidos, la cantidad de condensado y la relación existente entre el flujo de alimentación de jugo de tomate, en t/d y la producción de condensado, en t/d.

Conclusiones: El condensado vegetal diario es de 117,43 m³/d y se caracteriza por tener elevada temperatura, pH bajo y sin dureza, lo que lo hace viable para su reutilización en otras fases del proceso industrial, sustituyendo entre un 28% y una 39% de la demanda total de agua en la línea productiva, evitando que se vierta un 6% de aguas residuales al medio ambiente.

Palabras clave: características físico químicas, caudal, condensado vegetal, pasta de tomate.

Abstract:

Background: In the UEB Industrial Ceballos de Ciego de Ávila, large volumes of plant condensate are generated that are not recovered and are discharged into the sewers.

Objective: To determine the volume and characteristics of the condensates obtained in the tomato paste concentration phase.

Methods: Data on processed tomatoes and tomato paste produced and on the physical-chemical characteristics of the condensate in 2016-2017 were analyzed. Simulation using SuperPro Designer was used.

Results: The physicochemical characteristics of the condensates obtained, the amount of condensate and the relationship between the tomato juice feed flow, in t/d and the condensate production, in t/d, are revealed.

Conclusions: The daily vegetable condensate is 117.43 m³/d and is characterized by having a high temperature, low pH and without hardness, which makes it viable for reuse in other phases of the industrial process, replacing between 28% and 39% of the total demand for water in the production line, preventing the 6% of wastewater from being dumped into the environment.

Keywords: physical and chemical characteristics, flow, vegetable condensate, tomato paste.

Historial del artículo

Recibido: 27 diciembre 2020

Aceptado: 12 febrero 2021

¹UEB Industrial Ceballos, Ciego de Ávila, Cuba;

²Universidad de Camagüey "Ignacio Agramonte Loynaz", Camagüey, Cuba.

Email:

sara.barreto@reduc.edu.cu

Artículo de acceso abierto bajo licencia Creative Commons Atribución NoComercial CompartirIgual (CC-BY-NC-SA) 4.0.



Citación recomendada para este artículo:

Navarro Páz, A., Barreto-Torroella, S. I. & Pérez Sánchez, A. (2021). Agua vegetal producida en la elaboración de pasta de tomate en la UEB Industrial Ceballos. *Monteverdia*, 14 (1), pp. 10-16. Recuperado de:

<https://revistas.reduc.edu.cu/index.php/monteverdia/3593>

Introducción

El tomate es considerado como un fruto con alto contenido de agua (Ortega, Isaza, Tirado y Montes, 2015), con un 95 % de agua y 5 % de sólidos. La huella hídrica global promedio de la producción de pasta de tomate es de 855 m³/t, la del tomate fresco es de 214 m³/t (Behzadian, Farmani & Butler, 2015). En la obtención de pasta de tomate se concentran los sólidos solubles y se obtiene gran cantidad de agua en

los evaporadores de múltiple efecto (Ortega, Isaza, Tirado y Montes, 2015). La relación tomate fresco: pasta concentrada para producir una tonelada de pasta es 6:1 (Behzadian, Farmani & Butler, 2015).

Cuba, consciente de sus limitaciones de recursos hídricos ha desarrollado políticas y programas dirigidos al incremento y protección de las fuentes de agua. Las carencias de los últimos años de ese recurso y las amenazas del cambio climático han llevado al

país a elaborar nuevos documentos regulatorios y políticas encaminados al ahorro y uso racional del agua (Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente, 2017).

En Cuba se considera que el consumo de agua para la producción de conservas de tomate deba estar entre 7-10 L/t (Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos, 1995), por lo que constituye un alto consumidor de este recurso, de modo que buscar oportunidades de ahorro de agua es estratégico para este tipo de industria. Una de las vías es la recuperación de condensados obtenidos a partir del agua que se evapora en el procesamiento del tomate que, dependiendo de su calidad, puede usarse en la alimentación de calderas (Prevez, González, Abreu & Guzmán, 2011), entre otros usos, adecuando su calidad para ello.

El presente estudio se realiza en la Unidad Empresarial de Base (UEB) Industrial Ceballos de Ciego de Ávila, a solicitud de la propia empresa, que como resultado del trabajo inversionista iniciado en la misma desde el año 2012 adquirió el evaporador de cuatro efectos, donde se procesan jugos de frutas y vegetales, el cual posibilita triplicar los volúmenes anteriores con una reducción considerable de los portadores energéticos.

Sin embargo, aún quedan tareas pendientes en el camino de las producciones más sustentables con el medio ambiente, pues con esta nueva tecnología se generan volúmenes de agua de condensado vegetal que no se recuperan y se vierten al alcantarillado. La elaboración de un sistema para la recuperación y reutilización del agua producida en los procesos de evaporación puede conducir al incremento de la eficacia en los procesos de producción en la UEB Industrial Ceballos. Uno de los primeros pasos en esa dirección es la determinación del volumen y características físico químicas del condensado, que es lo que se expone en este trabajo.

En la obtención del condensado vegetal los evaporadores son equipos claves, estos son aparatos de transferencia de calor donde el mecanismo de transferencia está controlado por la convección natural o forzada. Una solución, conteniendo el producto deseado, es alimentada hacia el evaporador y es calentada por una fuente de calor tal como vapor de agua. Debido al calor aplicado, el agua contenida en la

solución es convertida en vapor y es condensada, mientras que la solución concentrada puede ser removida o alimentada hacia un segundo evaporador para su posterior concentración (Sorour, 2015). Para determinar el volumen de condensado vegetal generado en los evaporadores de múltiple efecto, donde se concentra el jugo desde 4 °Bx (grados Brix) hasta 24 °Bx, se puede emplear la simulación, para ello, se requieren las características de los evaporadores instalados, las condiciones de operación de estos, el flujo másico, las características del jugo a tratar y de la pasta obtenida y el punto de ebullición del licor en el último efecto. Los cálculos se basan en balances de masa y de energía a partir de la capacidad instalada, del flujo y características de la materia prima procesada y de las características del producto (Sorour, 2015). Resulta importante determinar la temperatura a la salida de los evaporadores porque, según (Ortega, Isaza, Tirado y Montes, 2015) la temperatura de ebullición depende de la concentración, la presión, la variedad de tomate y las diferentes interacciones de estas variables y es más alta que la temperatura de ebullición del agua pura a la misma presión y concentración.

Materiales y métodos

Proceso de obtención de pasta de tomate

La producción de pasta de tomate consta de las siguientes operaciones: lavado, selección, trituración, precalentamiento y refinado, evaporación, pasteurización, homogenización y llenado.

En la Fig. 1 se muestra el proceso de concentración de la pasta de tomate en los evaporadores de cuatro efectos, donde el jugo entra a un tanque de recepción; de ahí se envía, mediante una bomba de desplazamiento positivo, al evaporador de múltiple efecto, desde donde la pasta bombeada hacia un tanque de descarga. El condensado vegetal es vertido al alcantarillado.

Lavado: Los tomates se someten a un lavado con agua clorada a temperatura ambiente para eliminar las suciedades u otras sustancias que afecten su limpieza.

Selección: El tomate lavado es transportado mediante rodillos a la mesa de selección, se eliminan manualmente los frutos no aptos, quedando solo los sanos, limpios, con la madurez requerida y libres de materias extrañas.

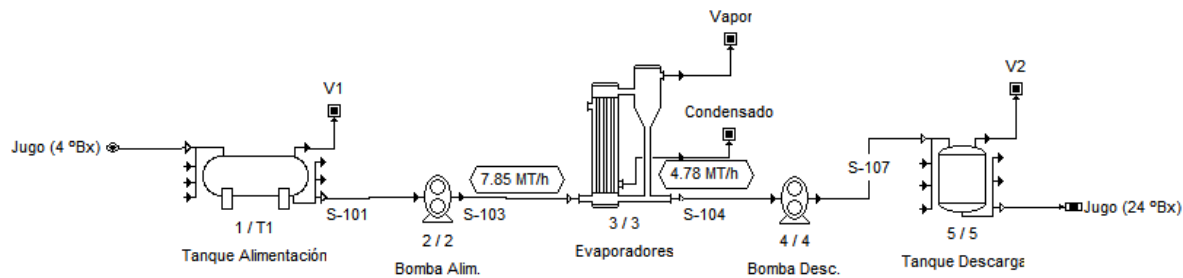


Fig. 1. Esquema del proceso de concentración de tomate y generación de condensado.

Trituración: Los tomates limpios y seleccionados son triturados a fin de transformarlos en jugo, el cual estará acompañado de restos de piel y semillas.

Pre calentamiento y refinado: En esta etapa el jugo se calienta y pasa por tamices que permiten la separación de los restos de la piel y las semillas, obteniéndose un jugo totalmente refinado.

Evaporación: El jugo refinado es enviado al proceso de evaporación al vacío de cuatro efectos, el cual tiene una capacidad de 18 t/h donde se eleva su concentración de sólidos solubles desde 4 °Bx (grados Brix) hasta 24 °Bx.

Pasteurización, homogenización y llenado: El producto concentrado es conducido al pasteurizador mediante una bomba de pistones que empuja el producto a través de una válvula de homogenización que garantiza que las partículas no se aglomeren, el fluido alcanza una temperatura de entre 88°C y 90° C garantizándose la inocuidad del mismo. El producto pasteurizado pasa a un tanque colector el cual alimenta la línea de envasado.

Esterilización y enfriamiento: Los envases llenos y tapados son conducidos por la esfera hasta un túnel que permite la esterilización de la pasta de tomate y su posterior enfriamiento, con este fin se regula la velocidad de la esfera para que el producto alcance y mantenga 90°C y posteriormente se enfríe a temperaturas inferiores a 40°C.

Procedimiento realizado para la determinación del volumen de condensado y sus características

Se procesaron los resultados de producción de la campaña del tomate en los años 2016-2017, de cantidades de tomate procesados (t) y de pasta de tomate producida (t) determinándose los valores

promedio, mínimo y máximo, así como los rangos más frecuentes, empleando el STATGRAPHICS XVI.

Para determinar la cantidad de condensado vegetal que se genera por día se simuló el proceso de producción para los caudales promedio, mínimo y máximo, determinados anteriormente, de tomate procesado y pasta de tomate obtenida. La cantidad de jugo conseguido se calculó a partir de los datos antes mencionados usando los índices de rendimiento de jugo de 1,2 - 1,5 a 4 °Bx a la entrada al evaporador (ver Fig. 2).

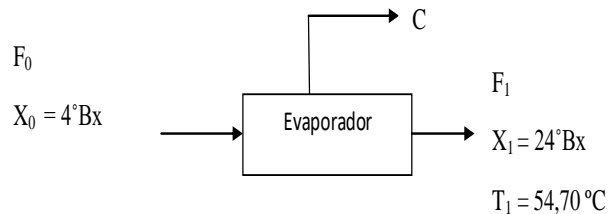


Fig. 1. Características de las corrientes de entrada y salida del evaporador.

Se introdujeron además el coeficiente global 850 W/m²K, según (National Programme on Technology Enhanced Learning, 2013) y el área de transferencia de calor de cada evaporador de 110 m², también el punto de ebullición del licor en el último efecto: 54,70 °C (N = 6, desviación estándar 0, 362 y coeficiente de variación 0, 661).

Las características del jugo se muestran en la Tabla 1, asumidas según USDA (2018), para el jugo y para la pasta, según lo determinado por la industria y declarados en la etiqueta del producto.

La humedad se determinó por Horwitz (2000), la balanza empleada fue: ORMA Modelo: THERMORED, con precisión de ±0,1%. Se obtuvo, por regresión lineal la relación entre el flujo de alimentación a los evaporadores y la producción de

condensados empleando el STATGRAPHICS XVI.

Tabla 1. Composición del jugo de tomate a la entrada de los evaporadores.

Nº	Descripción	Contenido, %
1	Carbohidratos	3,47
2	Grasas	0,25
3	Fibra	0,23
4	Proteínas	0,79

Fuente: USDA (2018).

En la Fig. 2: C: condensado vegetal, F0: tomate procesado (jugo de tomate) en t/día, X0: concentración del jugo de tomate en °Bx, F1: Pasta de tomate producida en t/día, X1: concentración de la pasta de tomate en °Bx.

En la Tabla 2 se ofrecen las características de la pasta de tomate.

Tabla 2. Composición de la pasta de tomate a la salida de los evaporadores.

Nº	Descripción	Contenido, %
1	Carbohidratos	22,80
2	Grasas	1,64
3	Fibra	1,52
4	Proteínas	5,19

También se procesaron, mediante estadística descriptiva, los resultados de las muestras analizadas por el laboratorio de las características del condensado vegetal tales como: temperatura, pH, acidez y dureza, correspondientes a los datos de producción antes mencionados.

Resultados y discusión

Tomate procesado y pasta de tomate obtenida durante 2016-2017

Según análisis estadístico, se procesa en zafra un promedio de 229,45 t de tomate por día, el máximo es de 424,38 y el mínimo de 14,77 (ver Tabla 3), pero como la distribución no es normal para los datos analizados y la que más se ajusta es la logística generalizada, el valor más probable no puede ser el promedio sino el de mayor frecuencia (ver Fig. 3).

La capacidad del evaporador de cuatro efectos que se utiliza en el proceso es de 18 t/h y se trabajan 2 turnos de 12 horas, según la distribución que más se ajusta se determina que se procesa en zafra 282,5 t/día

La distribución porcentual por mes se muestra en la Fig. 4, donde se aprecia que las mayores producciones

son en los meses de marzo y abril, la menor en mayo.

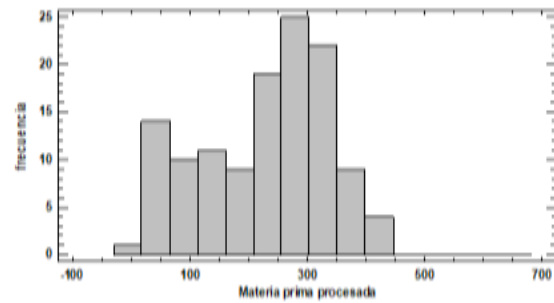


Fig. 3. Histograma de frecuencia para la materia prima procesada, t/d.

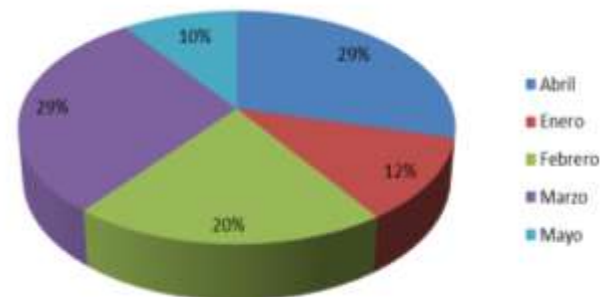


Fig. 4. Distribución mensual de la cantidad, en por ciento de toneladas de tomate procesadas

Se produce en zafra un promedio de 38,35 t de pasta de tomate por día, el máximo es de 76,6 y el mínimo de 3,02 (ver Tabla 3). En este caso al igual que en la variable de materia prima procesada, la distribución no es normal y la que más se ajusta es la logística generalizada (ver Tabla 3 y Fig. 5). El valor escogido de pasta de tomate producida es de 42,75 t/día.

Tabla 3. Datos de la producción de 2016 - 2017.

Estadísticos	Tomate procesado (t)	Producción diaria de pasta de tomate (t)
N	124	124
Promedio, t	229,45	38,35
Desviación estándar	110,984	18,215
Coefficiente de Variación	48,37	47,49
Mínimo, t	14,77	3,02
Máximo, t	424,38	76,6

La producción de pasta de tomate por tomate procesado es de un rango de (0,15 a 0,23 t/t) el promedio es de 0,17 t/t (ver Fig. 6), o sea, se requieren 6 t de tomate para producir una de pasta (Behzadian,

Farmani & Butler, 2015), si se consideran los valores promedios, si se valoran los escogidos a partir de la distribución entonces es de 6,6: 1, los autores mencionados hablan de variedades específicas de tomate, en este caso se emplean distintas variedades.

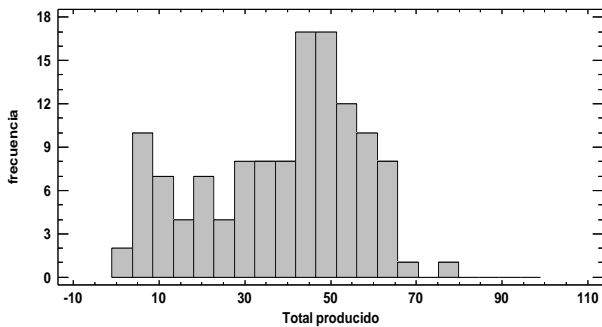


Fig. 5. Histograma de frecuencia para la producción de pasta de tomate, en t/d.

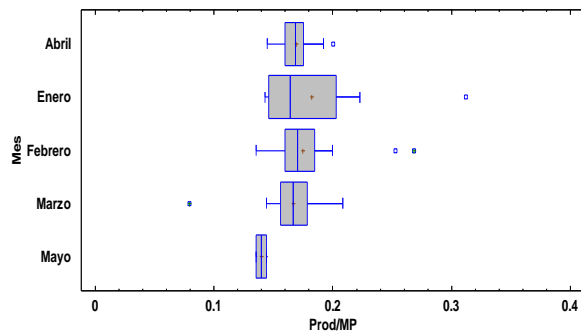


Fig. 6. Pasta de tomate producida por tomate procesado (t/t).

Nótese, en la Fig. 4, que en el mes de mayo dicha relación fue inferior, con un promedio de 0,12 t/t, pero en los restantes, de la zafra estudiada, los datos son similares, aunque en enero son más dispersos los datos, coincide que en esos mismos meses la cantidad de tomates procesados fue inferior 12 % en enero y 10 % en mayo del total procesado en la zafra Fig. 6.

En la Tabla 4 se ofrece la humedad promedio determinada a las corrientes de entrada y salida del evaporador.

Tabla 4. Humedad determinada a las corrientes de entrada y de salida del evaporador.

Estadígrafos	Humedad, %	
	Jugo	Pasta
N	3	3
Promedio, t	95,26	68,85
Desviación estándar	0,015	0,565
Coefficiente de Variación	0,016	0,819

Estos datos se introdujeron en el simulador, conjuntamente con las cifras ofrecidas en las Tablas 1 y 2 para obtener la cantidad de condensado que se produce.

Características físico químicas del condensado vegetal obtenido

Las características físico químicas del condensado, obtenidas del procesamiento estadístico de los datos del laboratorio de la fábrica se muestran en la Tabla 5, ninguna mostró una distribución normal, en el caso de la acidez, la que más se ajustó fue la uniforme, por lo que se escoge el valor de mayor frecuencia 0,043 % (ver Fig. 7).

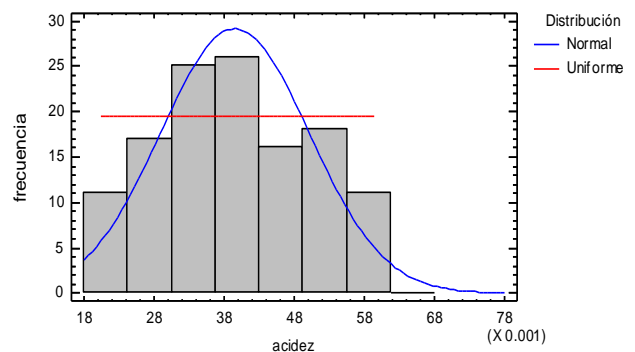


Fig. 7. Histograma de frecuencia para la acidez.

Para el pH, la distribución de mejor ajuste es la logística, el valor escogido es el de mayor frecuencia 3,34 u, el valor del pH puede deberse a la presencia de tomate, considerando que las pastas tienen pH bajo (Ortega, Isaza, Tirado y Montes, 2015).

En el caso de la temperatura el valor promedio es 71,47 °C el máximo de 76,57 y el mínimo de 60,65 con una desviación estándar de 2,467, la distribución de mejor ajuste es la Weibull, el valor de mayor frecuencia es 71,6 °C. El condensado no presentó dureza.

Los valores para estas características, determinados por (Prevez, González, Abreu & Guzmán, 2011) en cítricos, son semejantes en pH bajo, temperatura y ausencia de dureza. Al comparar estas características con las exigidas para el vertimiento (NC 27, 2012) se constata que la temperatura no satisface sus requerimientos. Es posible así, aprovechar dichos condensados en calderas pirotubulares según (UNE-9075, 2008), excepto el pH, que habría que llevarlo a 8 – 9, por lo que ese sería un uso potencial (Prevez, González, Abreu & Guzmán, 2011).

Tabla 5. Características físico químicas del condensado vegetal obtenido en la elaboración de pasta de tomate en la UEB Ceballos.

Características	N	Promedio	Desviación	Coficiente	Mínimo	Máximo
Acidez, %	124	0,040	0,011	26,83	0,020	0,060
pH	124	3,51	0,455	12,98	2,367	5,176
Temperatura, ° C	124	71,47	2,467		60,65	76,57

Volumen de condensado vegetal producido en la producción de pasta de tomate

Al simular la concentración del jugo para los datos anteriormente descritos y obtener la cantidad generada de condensados, se probaron varios modelos que describen la relación existente entre ambas variables, el que más se ajustó fue el que muestra la ecuación (1), evidenciándose que el 99,78% de la variabilidad de la producción de condensado puede ser explicada por la variabilidad del flujo de alimentación a los evaporadores, dentro el marco experimental estudiado (ver Fig. 8).

$$C = (-0,00407283 + 1,75052/F_0)^{-1} \tag{1}$$

La probabilidad de error al aceptar una relación lineal entre la variable repuesta y la variable predictor es menor que 0,05 (P = 0,0000) lo que valida la hipótesis acerca de la significación de este modelo, el cual puede emplearse para estimar el flujo de condensado a partir del flujo de jugo de tomate que se procese.

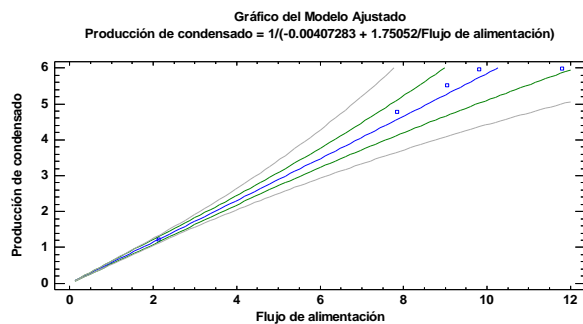


Fig. 8. Relación obtenida entre el flujo de alimentación y la producción de condensado, ambos en t/h.

Volumen de condensado vegetal producido en la producción de pasta de tomate

Se determinó que la cantidad de condensado promedio que se produce diariamente es de 114,72 t/d, que constituye el 40 % del fruto procesado, en t/d. El flujo volumétrico promedio es de 117,43 m³/d, considerando que la temperatura es de 71,47° C (ver Tabla 5), el máximo 147,16 m³/d, en el año serían, como promedio, 17 615 m³.

Se producen 2,75 m³/t de pasta de tomate (0,42 m³/t de tomate procesado), que constituye el 28 - 39 % de la demanda total de esa línea de producción, considerando los índices de consumo de 7-10 m³/t (INRH, 1995) por lo que su recuperación sustituiría la que se usa actualmente y contribuiría a la reducción del consumo de agua subterránea, preservando esa fuente. Si se tiene en cuenta que, según Behzadian, Farmani & Butler (2015), se generan 1,5 – 7,5 m³/t de tomate procesado de aguas residuales, se dejarían de disponer al medio ambiente alrededor del 6 % de las que se vierten actualmente.

Al simular la concentración del jugo para los datos anteriormente descritos y obtener la cantidad generada de condensados, se probaron varios modelos que describen la relación existente entre ambas variables, el que más se ajustó fue el que muestra la ecuación (1), (ver Fig. 8), evidenciándose que el 99,78% de la variabilidad de la producción de condensado puede ser explicada por la variabilidad del flujo de alimentación a los evaporadores, dentro el marco experimental estudiado. La probabilidad de error al aceptar una relación lineal entre la variable repuesta y la variable predictor es menor que 0,05 (P = 0,0000) lo que valida la hipótesis acerca de la significación de este modelo, el cual puede emplearse para estimar el flujo de condensado a partir del flujo de jugo de tomate que se procese.

Conclusiones

La caracterización que se realiza desde la zafra al proceso de producción de la pasta de tomate, revela que, de un promedio de 282,5 t/día de tomate por zafra, se obtienen 42,75 t/día de pasta (0,17 t/t), con las mayores producciones en los meses de marzo y abril. En este ciclo, el caudal de condensado vegetal que se obtiene diariamente es de 117,43 m³/d, el cual se caracteriza por tener alta temperatura, pH bajo y sin dureza.

El aprovechamiento del condensado vegetal podría sustituir el 28 - 39 % de la demanda actual de agua en la línea de producción de pasta de tomate de la industria y, en consecuencia, se dejarían de disponer

al medio ambiente alrededor del 6 % de las aguas residuales que se vierten actualmente.

Recomendaciones

Realizar una evaluación desde las perspectivas técnica, económica y ecológica, en función de determinar otras posibilidades de reutilización del condensado vegetal.

Extender la investigación hacia otros procesos productivos similares, de los que se desarrollan en el país.

Financiamiento de la investigación

Esta investigación se realizó por solicitud de la UEB Industrial Ceballos y bajo el financiamiento de dicha empresa y de la Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz”.

Contribución de los autores

Navarro Páz: Diseño de la investigación, gestión de la bibliografía, colecta y procesamiento de los datos, determinación de las características del agua, análisis de los resultados, redacción y revisión final del artículo.

Barreto Torroella: Diseño conceptual y metodológico de la investigación, gestión de la bibliografía, análisis, revisión de los resultados, redacción y revisión final del artículo.

Pérez Sánchez: Gestión de la bibliografía, simulación del proceso para la obtención del volumen de condensado producido, redacción y revisión final del artículo.

Conflictos de intereses

No se expresan conflictos de intereses.

Referencias

Behzadian K., Farmani R. & Butler D. (2015). *Water in tomato paste*, Centre for Water Systems, University of Exeter, USA, Recuperado de <http://www.localnexus.org/wp.../04/Water-inTomatoPaste-draft-report.pdf>

Ministerio de Ciencia Tecnología y Medio Ambiente (2017). *Enfrentamiento al Cambio Climático en la República de Cuba. Tarea Vida*. La Habana, Cuba. Recuperado de <http://www.contraloria.gob.cu/documentos/noticias/folleto%20tarea%20vida.pdf>

Horwitz, W. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International*, Association of Official Analytical Chemistry, Gaithersburg, Md., USA.

Instituto Nacional de Recursos Hidráulicos. (1995) *Índices de consumo de agua para el sector de la economía no agrícola*. Resolución N° 58 (1995). Autor, La Habana, Cuba.

NC 27 (2012). *Vertimiento de las aguas residuales a las aguas terrestres y al alcantarillado-Especificaciones, Segunda, 14*. Oficina Nacional de Normalización, La Habana, Cuba.

National Programme on Technology Enhanced Learning. (2013). *Module 3: design of Evaporator. Lecture 2: methods of feeding of evaporators*, Autor, India, Recuperado de <https://nptel.ac.in/courses/103103027/module3/lec2/1.html>

Ortega Quintana, F. A., Isaza Maya, Y. L., Tirado Medrano, T., & Montes Montes, E. J. (2015). Efecto de la concentración y presión sobre la elevación del punto de ebullición de pasta de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.). *Revista ION*, 28, 51-59.

Prevez-Pascual, L., González-Rodríguez, L., Abreu-Saiz, S., & Guzmán-Hidalgo, J. (2011). Utilización del condensado vegetal como agua de alimentación de la caldera en el procesamiento industrial de cítricos. *Ciencias Químicas*, 42(1), 37-41.

Sorour M. A. (2015). Optimization of Multiple Effect Evaporators Designed for Fruit Juice Concentrate. *American Journal of Energy Engineering*, 3(2-1), 6-11. DOI: 10.11648/j.ajee.s.2015030201.12

UNE-9075 (2008). *Calderas pirotubulares. Requisitos para la calidad del agua de alimentación y del agua de caldera, Una Norma Española (UNE)*, Barcelona, España. Recuperado de <http://www.eminfor.com/es/arti03.htm>

USDA (2018). *Full Report (All Nutrients): 45196500, Diced Tomatoes in Tomato Juice, UPC: 046567032665*. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, USA. Recuperado de <https://ndb.nal.usda.gov/ndb>