

## **Estudio de viabilidad de la producción de miel de caña, diseño de procesos, aceptabilidad y análisis económico**

A feasibility study of cane honey processing production, process design, acceptability and economic analysis

M. Sc. Victor Cerda-Mejía<sup>1\*</sup>, <https://orcid.org/0000-0002-2395-9711>

Dr. Sc. Erenio González-Suárez<sup>2</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5741-8959>

Ing. Héctor Millán-Cruz<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0001-5474-971X>

Ing. Jasmín Ramos-Duchicela<sup>1</sup>, <https://orcid.org/0000-0003-0267-9208>

Dr.C. Amaury Pérez-Martínez<sup>1</sup>, <http://orcid.org/0000-0003-3978-7982>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias de la Tierra. Universidad Estatal Amazónica, Puyo, Pastaza, Ecuador

<sup>2</sup>Facultad de Química. Universidad Central “Martha Abreu” de Las Villas, Cuba

\*Autor para la correspondencia. correo electrónico: [vcerda@uea.edu.ec](mailto:vcerda@uea.edu.ec)

### **RESUMEN**

La calidad desde la fase de diseño ha tenido mayor atención en el desarrollo de productos, en la industria de alimentos la aceptabilidad del producto está influida por la variabilidad de los parámetros operacionales. Por ello, es importante considerar además la calidad desde la fase de diseño del proceso. La viabilidad económica depende del costo de las materias primas, rendimiento, operaciones involucradas y productos defectuosos. Por tanto, este trabajo proporciona una herramienta de toma de decisiones para el diseño de procesos. Se predice el rendimiento y la calidad en la producción de miel de caña considerando tres estudios de casos, uno considerando la variabilidad de los °Brix y pH del producto, al segundo se añade la variabilidad de la materia prima y al tercer estudio de caso incorpora la variabilidad de los °Brix y pH a la salida de los evaporadores 1 y 2. La

simulación se desarrolló utilizando GNU Octave. El intervalo de pH y °Brix que permite cero defectuosos fue entre 3,76 - 4,22 y 74,55 - 76,75 respectivamente. Se concluye que al disminuir la variabilidad de los parámetros operacionales aumenta la aceptabilidad del producto y al considerar estos desde el diseño del proceso los indicadores económicos son más atractivos para la inversión.

**Palabras clave:** diseño de procesos; análisis técnico - económico; calidad; incertidumbre.

### **ABSTRACT**

In the design phase, quality has been important in product development. Product acceptability is influenced by the variability of the operational parameters in the food industry. Thereby, it is important to consider the quality from the process design phase. The economic viability depends of raw material cost, performance, operations involved and defective products. Therefore, this work provides a decision-making tool for process design, performance and quality in the production of cane honey. Three scenarios were considered in this case study. In one of them, it was considered the variability of the °Brix and product pH and then in the second scenario the variability of the raw material is added. In the last scenario, it incorporates the variability of the °Brix and pH at the exit of the evaporators 1 and 2. The simulation was developed using GNU Octave. The range of pH and ° Brix that allows zero defects was between 3.76 to 4.22 and 74.55 to 76.75 respectively. It is concluded that by decreasing the variability of the operational parameters increases the acceptability of the product and when considering these from the process design the economic indicators are more attractive for the investment.

Keywords: process design; technical - economic analysis; quality; uncertainty.

## **Introducción**

A nivel mundial no ha habido una sustitución extensiva del azúcar con edulcorantes alternativos. Esto ha mantenido la participación del azúcar en el mercado de edulcorantes relativamente sin cambios en alrededor del 83-84 %. <sup>(1)</sup>

Sin embargo, las estadísticas oficiales de consumo de azúcar para 2017 y 2018 muestran una clara tendencia mundial hacia la reducción del consumo, esta tendencia puede atribuirse a problemas de salud. <sup>(2)</sup>

Consumir alimentos saludables y disminuir el consumo de azúcar abre la alternativa de introducir en el mercado productos sustitutos como la miel de caña en razón que tiene menor cantidad de calorías respecto al azúcar y miel de abeja, además resulta más económica. <sup>(3)</sup>

Los derivados mínimamente procesados de la caña de azúcar (DMPC), son edulcorantes con componentes nutricionales potencialmente relevantes como polifenoles, aminoácidos y azúcares complejos, que poseen sabor y aroma únicos que lo hacen diferente del azúcar refinado. <sup>(4)</sup>

La miel de caña se considera un producto bioactivo potencial, con actividad antioxidante atribuida principalmente a la retención de una gran cantidad de compuestos fenólicos y flavonoides. <sup>(4)</sup>

La posibilidad de diversificación de la industria de la caña de azúcar es amplia, en Ecuador se produce de manera industrial azúcar, y en pequeña escala miel, panela, etanol, biodiesel, papel, aglomerados, melazas, guarapo, productos de confitería. Particularmente en la provincia de Pastaza se produce panela en bloque y granulada, miel y alcohol, estos constituyen la principal fuente de economía de muchas familias. <sup>(5, 6)</sup>

La miel de caña se produce a nivel artesanal y no se controlan los parámetros de operación (temperatura, pH, °Brix), esto ocasiona deficiencias en rendimiento y calidad <sup>(2)</sup>. Además, los atributos de calidad de la miel de caña producida presentan mucha variabilidad en pruebas de aceptación. <sup>(7, 8)</sup>

Entre los factores que influyen en esta incertidumbre está la composición de la materia prima que depende de la variedad y madurez. <sup>(9)</sup> Estas deficiencias se convierten en limitantes para la comercialización del producto al reducir considerablemente las ventas y por tanto la producción. <sup>(10, 11)</sup>

En los DMPC las condiciones de operación como el pH, la temperatura y la presión, ejercen un efecto más profundo en la calidad del producto final en comparación con

las características intrínsecas de las variedades. Por tanto, es necesario que se controlen las condiciones de operación, que permitirán obtener un producto de calidad y con mejores características organolépticas, contribuyendo también a un mayor rendimiento. <sup>(12)</sup>

Por tanto, considerar los atributos de calidad de la miel de caña desde la fase de diseño del proceso posibilita predecir el rendimiento y la cantidad de productos defectuosos. En este sentido, la modelación y simulación del proceso son una herramienta para considerar la calidad desde la fase del diseño de procesos.

Varios aportes se han enfocado en aumentar la producción, competitividad y mejorar la calidad, entre ellos, los esfuerzos experimentales para el mejoramiento de la tecnología empleada en los procesos de producción de los DMPC. <sup>(13)</sup>

Sin embargo, todavía hay carencias de investigación con respecto a la calidad y seguridad de los DMPC, estas brechas incluyen la falta de estandarización en los parámetros operacionales. <sup>(14)</sup>

Por tanto, se debe realizar más investigaciones para comprender los cambios de los compuestos bioactivos y propiedades fisicoquímicas en los DMPC para identificar las condiciones óptimas de operación y diseño de equipos de transferencia de calor con el fin de optimizar la eficiencia del proceso, mantener los compuestos nutricionales y funcionales y garantizar la calidad organoléptica del producto final. <sup>(15)</sup> Pero las condiciones de operación son difíciles de controlar y la gestión de procesos es imposible si este no fue concebido apropiadamente desde la fase conceptual. <sup>(4)</sup>

La modelación matemática y la simulación permiten predecir los resultados que se obtendrán tanto en los procesos, como también en las ventas, lo que lleva a obtener ahorros en tiempo y recursos económicos. <sup>(16)</sup>

En el campo agroindustrial la simulación permite predecir los resultados de un proceso, responde a los fenómenos que ocurren en él y permite anticiparse al funcionamiento de un proceso modificado o nuevo, además permite reducir costos y tiempo. <sup>(17)</sup>

El objetivo de este trabajo es predecir el rendimiento y la calidad en la producción de miel, bajo diferentes condiciones de operación y composición de la materia prima. Este estudio proporciona una herramienta de toma de decisiones para el diseño de procesos.

## **Métodos y condiciones experimentales**

En la presente investigación se consideró la metodología planteada por <sup>(18)</sup>, la que incluye la identificación de los fenómenos que ocurren en el proceso como reducción de tamaño en la molienda, filtración, transferencia de masa y energía, etc.

Se desarrollaron los modelos matemáticos de los balances de materia y de energía y las ecuaciones de dimensionamiento de equipos se empleó el método propuesto por. <sup>(19)</sup>

Para la predicción del modelo de consumo de materia prima, consumo de jugo de caña, consumo de energía, vertimiento de residuos sólidos y residuos gaseosos se utilizaron los modelos matemáticos propuestos por otros autores, <sup>(20, 21)</sup> los mismos que toman en cuenta los indicadores ambientales.

Los modelos matemáticos del costo de inversión, costos de producción, flujos de caja, valor actual neto, tasa interna de retorno, periodo de recuperación, ingresos totales, egresos totales, margen de ganancias para el análisis económico se tomaron de. <sup>(19)</sup>

Los modelos matemáticos para los atributos de calidad de la miel de caña: viscosidad, sabor y presencia de cristales se tomaron según lo reportado por la literatura. <sup>(8)</sup>

La determinación del nivel Sigma del proceso de obtención de miel está basado en la ecuación planteada por la literatura. <sup>(22)</sup> Con la ecuación planteada por otros autores, <sup>(23)</sup> se calculan los lotes defectuosos por millón de oportunidades (DPMO).

Para la simulación del proceso se definieron los siguientes límites de aplicación: caña que se procesa 1000 kg/lote, la capacidad calorífica del jugo de miel 3,96 kJ/kg K, temperatura de ebullición del jugo de caña 95 °C, calor latente del vapor producido 1989 kJ/kg.

Para la simulación se sustituirán las condiciones de operación del proceso en los diferentes modelos planteados considerando tres estudios de casos que se detallan en la tabla 1, el pH de la caña empleado en la simulación es el reportado por la literatura. <sup>(8)</sup>

**Tabla 1-** Estudio de casos considerados en la simulación

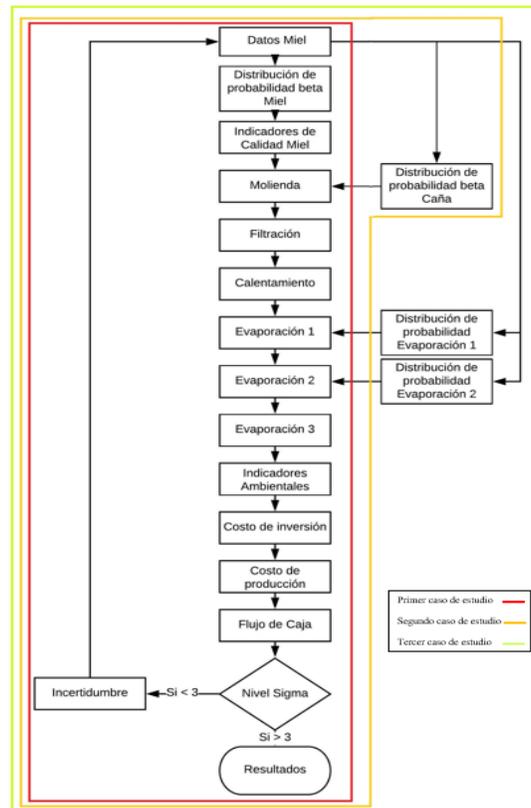
<b>Estudio de caso</b>	<b>Etapas</b>	<b>°Brix</b>	<b>pH</b>	<b>Temperatura (°C)</b>
Primer	Molienda (Caña de azúcar)	12,55	5,35	
	Evaporador 1	61		98
	Evaporador 2	68		101
	Evaporador 3	74-78	3,5-4,5	103
Segundo	Molienda (Caña de azúcar)	12-18	4,5-5,5	
	Evaporador 1	61		98
	Evaporador 2	68		101
	Evaporador 3	74-78	3,5-4,5	103
Tercer	Molienda (Caña de azúcar)	12-18	4,5-5,5	
	Evaporador 1	55-61		98
	Evaporador 2	65-69		101
	Evaporador 3	74-78	3,5-4,5	103

Los valores utilizados para el análisis económico fueron: el precio de la caña de azúcar (0,09 \$/kg), precio de venta de la miel (1,40\$/kg), la producción diaria de 10 lotes, trabajan tres operarios en el proceso tecnológico con un salario de 2,00\$/h para una jornada de trabajo de 10 h al día.

La simulación en GNU Octave se efectuó considerando los límites de aplicación de los tres estudios de casos planteados. El ciclo se repite hasta lograr una incertidumbre que proporcione un nivel sigma mayor a tres según lo recomendado por la literatura. <sup>(24)</sup>

Las operaciones identificadas en el proceso se programaron en scripts en diferentes módulos para cada una de las etapas del proceso de obtención de miel. Las ecuaciones planteadas se agruparon en balances de masa, de energía, diseño de equipamiento, indicadores ambientales, análisis económico, modelos para los

atributos de calidad, determinación del nivel sigma y los DPMO, tal como se esquematiza en la figura 1.



**Fig. 1-** Estructura de los scripts para los 3 casos de estudio.

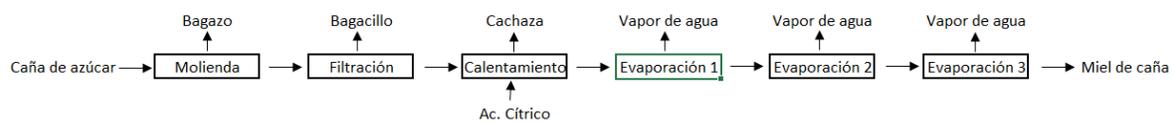
Los modelos matemáticos en cada una de las etapas del proceso con los cuales se creará los scripts que permitirá obtener los balances de masa y energía, el dimensionamiento del equipamiento, análisis económico, atributos de calidad y nivel Sigma. Se desarrollará un script que tiene relación con todos los demás, ya que es el que contiene los datos necesarios para dar solución a los modelos establecidos.

## Resultados y discusión

### Identificación de la tecnología y de los fenómenos que ocurren en la obtención de miel

El proceso de obtención de miel inicia con la molienda de la caña de azúcar, donde se extrae el jugo y se obtiene bagazo como residuo, posteriormente el jugo pasa a un proceso de filtrado donde se retira el bagacillo restante. Además, se realiza un calentamiento retirando la cachaza formada. El jugo pasa por dos etapas de evaporación donde la miel alcanza entre 65 y 75 °Brix. <sup>(8)</sup>

La figura 2 muestra tres etapas de evaporación en razón que estas son las condiciones de operación en las paneleras de Pastaza.



**Fig. 2-** Diagrama de bloque del Proceso de obtención de miel

### **Cantidad de miel aceptada, rendimiento y nivel sigma**

La cantidad de miel que se puede producir no solamente se ve afectada por la calidad de la materia prima (°Brix de la caña de azúcar), sino también de las condiciones de operación y la calidad del producto a la salida del evaporador 3 (tabla 2). Se puede observar que en la última iteración de todos los estudios de todos los productos están dentro de los límites de aceptabilidad (de 6 a 10) según la literatura. <sup>(25, 26)</sup>

El primer y tercer estudio de caso fue necesario realizar dos iteraciones en el proceso de simulación para que los valores de los atributos de calidad del producto fueran superior al valor predefinido del nivel sigma. Al avanzar en las iteraciones se puede observar que los valores de pH y °Brix reducen su incertidumbre permitiendo aumentar el número de lotes aceptados, por ende, la cantidad de miel aceptada y que el valor del nivel Sigma hasta alcanza valores superiores a 3. Se infiere que la reducción de la incertidumbre del rango de los parámetros operacionales y el aumento de los lotes aceptados permita acercarse a las condiciones óptimas del proceso. Estas condiciones permitirían obtener el valor de pH y °Brix que máxime la calidad del proceso o al menos encontrar una región donde se localicen valores de los parámetros operacionales que maximicen la aceptabilidad del producto final.

En el segundo estudio fue necesario realizar tres iteraciones para alcanzar el valor del nivel Sigma superior a 3. Esto se debió a que los valores de pH y °Brix generados en el Evaporador 3 influyeron en los atributos de calidad en estudio, en la cantidad de producto aceptado y el rendimiento del proceso de obtención de miel.

**Tabla 2-** Rendimiento, cantidad de productos aceptados y nivel Sigma

Caso.	1ro		2do										3ro														
Iterac.	1		1					2					3														
	1	2	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5										
Caña (°Brix)	12,55	12,55	17,47	17,05	15,65	17,60	16,28	17,47	17,05	15,65	17,60	16,28	17,47	17,05	15,65	17,60	16,28	17,54	16,12	13,26	16,82	13,74	17,54	16,12	13,26	16,82	13,74
Evap. 3 (°Brix)	74,29-77,08	74,64-76,38	74,10-77,76	74,12-77,79	74,27-77,49	74,59-76,92	74,07-77,93	74,40-76,10	74,72-76,74	74,89-76,71	74,88-76,52	74,75-75,86	74,55-75,61	74,84-75,87	74,94-75,85	75,18-75,94	75,10-75,58	74,43-77,02	74,33-76,48	74,22-77,04	74,22-77,00	74,08-77,48	74,74-76,07	74,61-75,79	74,78-76,19	75,05-76,74	74,99-76,75
Evap. 3 (pH)	3,61-4,35	3,76-4,21	3,50-4,20	3,52-4,29	3,59-4,43	3,62-4,08	3,52-4,35	3,80-4,09	3,69-4,17	3,72-4,20	3,75-3,93	3,69-4,08	3,85-4,03	3,80-4,01	3,79-3,97	3,82-3,90	3,78-4,02	3,71-4,48	3,52-4,31	3,62-4,45	3,51-4,44	3,51-4,35	3,88-4,22	3,81-4,22	3,83-4,04	3,80-4,11	3,77-4,07
Lotes Defect.	5	0	5	5	5	3	4	1	1	1	1	3	0	0	0	0	3	4	2	3	4	0	0	0	0	0	0
Nivel sigma	1,50	6,00	1,50	1,50	1,50	2,02	1,75	2,78	2,78	2,78	2,78	2,02	6,00	6,00	6,00	6,00	2,02	1,75	2,34	2,02	1,75	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00	6,00
Miel aceptada (kg/d)	612,00	1224,90	870,50	849,80	779,30	1227,30	970,50	1580,90	1534,10	1407,90	1581,80	1140,90	1758,70	1707,90	1568,10	1760,20	1631,20	1225,80	968,58	1057,80	1170,80	820,08	1758,90	1620,00	1328,40	1676,70	1372,90
Rendimiento (%)	5,29	10,59	7,53	7,35	6,74	10,62	8,40	13,68	13,27	12,18	13,68	9,87	15,21	14,78	13,57	15,23	14,11	10,60	8,38	9,15	10,13	7,09	15,22	14,02	11,49	14,51	11,88

La mayor cantidad de miel aceptada (1 760,20 kg/d) y el rendimiento (15,23 %) se obtuvo en el Segundo estudio de caso para unas condiciones de operación (pH 3,82-3,90 y °Brix 75,18 - 75,94) en el Evaporador 3 y de materia prima (°Brix 17,60). Se puede observar que la variabilidad de las condiciones de operación en el Evaporador 3 influye directamente en la variabilidad de la cantidad de miel aceptada y en el rendimiento.

La variabilidad de los atributos de calidad obtenidos y la cantidad de miel aceptada está en correspondencia con lo planteado por algunos autores. <sup>(7, 8)</sup>

### **Dimensionamiento de equipos en las diferentes etapas del proceso en los tres estudios de casos planteados**

La variabilidad de los resultados balances de masa y energía que se evidencia con la variabilidad de la cantidad de miel aceptada provoca que exista una variabilidad en el dimensionamiento del equipamiento, fundamentalmente en el área de transferencia de calor del evaporador 3 (tabla 3). Las áreas de transferencia de calor en este equipo oscilan entre 0,117 1 a 0,437 6 m<sup>2</sup>, esto evidencia que hay una variabilidad en el parámetro de diseño que caracteriza a este tipo de equipamiento y que se ve reflejado directamente en el costo de adquisición del equipamiento. Esto puede influir directamente combinados con otros factores en factibilidad económica de la tecnología en esta fase de diseño. Un aumento de la capacidad de producción repercutiría en las dimensiones y en el costo de adquisición del equipamiento como expresa. <sup>(19)</sup>

La tendencia en el área de transferencia de calor en el evaporador 3 en los tres estudios de casos es a disminuir a medida que se suceden las iteraciones. Esta disminución provoca que los costos de adquisición también disminuyan y su influencia futura sea positiva en la factibilidad económica y la viabilidad de la tecnología. La menor área de transferencia de calor en este evaporador se obtiene en el tercer estudio de caso con un valor de (0,117 1 m<sup>2</sup>) siendo inferior al área del segundo estudio de caso donde se obtuvo un valor de (0,422 3 m<sup>2</sup>). Esta disminución se debe a las condiciones que se definieron para el Segundo y Tercer estudio de caso donde en el primero los valores de los parámetros operacionales de los Evaporadores 1 y 2 se mantuvieron fijos en un valor y esto afectó el área de transferencia de calor del Evaporador 3. Teniendo que evaporar mayor cantidad de agua para alcanzar los valores de °Brix que se obtuvieron en la tabla 2.

**Tabla 3-** Dimensionamiento de los equipos

Caso	1 ro		2 do										3 ro																			
Iteración	1	2	1					2					3					1					2									
Item	1	1	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5					
<b>Molino</b>																																
Capacidad de molienda (kg/h)	1155,9																															
<b>Calentador</b>																																
Área de calentamiento (m <sup>2</sup> )	0,9735	0,9735	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466	0,9391	0,9417	0,9505	0,9383	0,9466
<b>Evaporador 1</b>																																
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )	3,7799	3,7799	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469	3,3774	3,4097	3,5176	3,3676	3,469
<b>Evaporador 2</b>																																
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )	0,1552	0,1552	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063	0,2214	0,2161	0,1983	0,223	0,2063
<b>Evaporador 3</b>																																
Área de transferencia de calor (m <sup>2</sup> )	0,2974	0,2955	0,4336	0,4224	0,3907	0,4376	0,4144	0,4019	0,4124	0,3791	0,4287	0,3891	0,3974	0,4055	0,3713	0,4233	0,3866	0,3866	0,4233	0,3866	0,3866	0,4233	0,3866	0,3866	0,4233	0,3866	0,3866	0,4233	0,3866	0,3866	0,4233	0,3866
COSTO DE ADQUISICION EQUIPAMIENTO (\$)	17286	17299	24588	24004	22012	24763	22844	24807	24073	22093	24822	23020	24838	24121	22146	24860	23037	24730	22799	18673	23620	19304	24840	22879	18761	23681	19389	0,1304	0,1293	0,1293	0,1293	0,1293

En el tercer estudio de caso el área de transferencia de calor en el Evaporador disminuye debido a que las condiciones de operación de los evaporadores varían dentro de un rango y por lo tanto la cantidad de agua evaporada que se evapora se desplaza hacia los primeros evaporadores como ocurre en la industria azucarera. (27)

### **Análisis Económico en las diferentes etapas del proceso en los tres estudios de casos planteados**

Una vez realizadas las simulaciones y obtenida la cantidad de miel se determinaron los costos de inversión y de producción, a través de los cuales se realizó un análisis económico, con la finalidad de conocer la viabilidad del proyecto.

Como se observa en la tabla 4, el VAN obtenido en la primera iteración resultó negativo, esto se debe a que la cantidad de productos defectuosos es alta, mientras que, para la siguiente iteración, el valor actual neto presentó incrementos significativos, debido a que disminuyeron los productos defectuosos.

El rango de pH y °Brix que hicieron el VAN más alto fue de 3,62 a 4,08 y 74,59 a 76,92 respectivamente en el segundo estudio de caso en la iteración 3 correspondiente al cuarto día de la simulación, en correspondencia con lo sugerido por la literatura. (28)

**Tabla 4-** Indicadores económicos



se encuentran dentro de los bibliográficos permitiendo que todos los lotes sean aceptados en razón que el nivel sigma es mayor a seis, y el rendimiento es adecuado.

## Conclusiones

La simulación del proceso de obtención de miel permitió determinar los rangos de los parámetros del proceso pH y °Brix entre 3,76 - 4,22 y 74,55 - 76,75 respectivamente. A partir de estos se realizó el balance de masa y se obtuvo rendimientos entre un rango de 10,59 a 15,23, lo cual estuvo influido por la variabilidad de la materia prima, con estos rangos se simuló la aceptabilidad de la miel de caña hasta alcanzar un nivel Sigma mayor a tres y se cuantificó los productos defectuosos.

Al disminuir la variabilidad de los parámetros operacionales aumenta la aceptabilidad del producto y al considerar estos desde la fase de diseño del proceso los indicadores económicos son más atractivos para la inversión, los valores positivos del VAN fluctúan entre 11981 a 815105.

El área de transferencia de calor como parámetro de diseño estuvo influida por los parámetros del proceso, a partir de la simulación se obtuvo la menor área global para el calentador, evaporador 1, evaporador 2, evaporador 3 en la iteración dos del tercer estudio de caso.

## Referencias bibliográficas

1. OECD and FAO. *OECD - FAO Agricultural Outlook 2020 - 2029* [online]. Paris : OECD Publishing, 2020. ISBN 9789264582958. Available from: [www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm](http://www.oecd.org/about/publishing/corrigenda.htm)
2. MORALES, Carlos. Preferencia y consumo de panela granulada frente a la azúcar refinada extraída de la caña de azúcar en Manta, Ecuador, en el año 2014. *Heosphoros: Revista de Investigación Multidisciplinaria*. 2015.
3. Composición Nutricional de azúcar. [online]. 2019. [Accessed 30 December 2019]. Available from: <https://www.composicionnutricional.com/alimentos/AZUCAR-1>

4. VELÁSQUEZ, Fabián, ESPITIA, John, MENDIETA, Oscar, et al. Non-centrifugal cane sugar processing: A review on recent advances and the influence of process variables on qualities attributes of final products. *Journal of Food Engineering journal*. 2019. **255**, February, p. 32–40. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2019.03.009.
5. GUERRA, Marisa and MUJICA, María. Physical and chemical properties of granulated cane sugar “panelas.” *Ciência e Tecnologia Alimentaria*. 2009. **20**(1)
6. SABLÓN, Neyfe, PÉREZ, Manuel, ACEVEDO, José, et al. La integración en la cadena agroalimentaria de panela en el Puyo-Ecuador. *Cultivos Tropicales*. 2016. **37**(4), p. 128–135. DOI 10.13140/RG.2.2.29471.56480.
7. CERDA MEJÍA, Víctor Rodrigo, QUEZADA MORENO, Walter, PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, et al. Influence of the uncertainty of the operational parameters in obtaining cane syrup in sensorial attributes. In : *Proceedings of MOL2NET 2016, International Conference on Multidisciplinary Sciences, 2nd edition* [online]. Basel, Switzerland : MDPI, 25 January 2017. p. 3897. Available from: <http://sciforum.net/conference/mol2net-02/paper/3897>
8. QUEZADA, Walter, GONZÁLEZ, Erenio, QUEZADA TORRES, Walter, et al. Cane Honey : Process , Quality and Harmlessness. *International Journal of Engineering Research*. 2016.**5** ( 7), p. 589–593.
9. CARTAY, Rafael, GARCÍA BRIONES, Martha, MEZA MOREIRA, Dolores, et al. Caracterización económica de un productor de aguardiente en Junín, Manabí, Ecuador. *ECA Sinergia*. 2019. **10** (1), p. 85. DOI 10.33936/eca\_sinergia.v10i1.1213.
10. CERDA MEJÍA, Víctor Rodrigo, PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, GONZÁLEZ-SUÁREZ, Erenio, et al. El diseño de procesos bajo condiciones de incertidumbre: estrategia para el desarrollo socio-económico en la agroindustria ecuatoriana. *Universidad y Sociedad*. 2019. **11** (5) p. 131–139.
11. SABLÓN, Neyfe, PÉREZ, Manuel, BAUTISTA, Horacio, et al. Strategic collaborative planning model and its applications in Ecuador, Mexico and

- Cuba. In : *Proceedings of the International Conference on Industrial Engineering and Operations Management*. 2018.
12. PEREZ, Marco. *Procesos de fabricación de panela y su aplicación a proyectos de automatización para el caso Colombiano*. Universidad Militar de Nueva Granada, 2014.
  13. ALBERNAS-CARVAJAL, Yaillet, CASTELLANOS-GALLO, Lilisbet, CORSANO, Gabriela, et al. *Aspectos de la estrategia de procesos para el aprovechamiento de la biomasa - Como fuente de productos químicos y biocombustibles*. Editorial. Argentina, 2014.
  14. VERA-GUTIÉRREZ, Tatiana, GARCÍA-MUÑOZ, María Cristina, OTÁLVARO-ALVAREZ, Angela María, et al. Effect of processing technology and sugarcane varieties on the quality properties of unrefined non-centrifugal sugar. *Heliyon*. 2019. 5(10). DOI 10.1016/j.heliyon.2019.e02667.
  15. ESPITIA, John, VELÁSQUEZ, Fabián, LÓPEZ, Ricardo, et al. An engineering approach to design a non-centrifugal cane sugar production module: A heat transfer study to improve the energy use. *Journal of Food Engineering*. 2020. **274**. DOI 10.1016/j.jfoodeng.2019.109843.
  16. SCENNA, Nicolas, AGUIRRE, Pio, BENZ, Onia, et al. *Modelado, simulación y optimización de procesos químicos*. 1999. ISBN 950-42-0022-2.
  17. PUCHE, José, CARPENA, Juan, GOMEZ, Joaquin, et al. *Guia práctica para la simulación de procesos Industriales*. 2005. Murcia.
  18. BRITO, Lucía, ALEMÁN, Isidro, FRAGA, Elena, et al. Papel de la modelación matemática en la formación de los ingenieros. *Revista de Ingeniería Mecánica*. 2011. **14**(2) p. 129–139.
  19. PETERS, Max S., TIMMERHAUS, Klaus and WEST, Ronald. *Plant Design and Economics for Chemical Engineers*. Fifth. New York : McGraw Hill, 2003. ISBN 0072392665.

20. PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, CERVANTES-MENDEIETA, E, JULIÁN-RICARDO, M.C, et al. Procedimiento para enfrentar tareas de diseño de procesos de la industria azucarera y sus derivados. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 2012.11( 2) p. 333–349.
21. PÉREZ-MARTÍNEZ, Amaury, BENÍTEZ-CORTÉS, Isnel, OQUENDO-FERRER, Hilda, et al. Integración del diseño del sistema de control automático al diseño total de una planta para obtención de alimento animal a partir de residuos de la industria azucarera. *ICIDCA : Sobre los Derivados de la Caña de Azúcar* [online]. 2013. 47( 2) p. 42–51. Available from: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=2231/223128548007>
22. ABDELHAMID, Tariq. Six-Sigma in Lean Construction Systems: Opportunities and Challenges. In : *Proceedings of the 11th Annual Conference for Lean Construction* [online]. Blacksburg, Virginia, 2003. p. 65–83. Available from: <http://www.iglc.net/conferences/>
23. KELLER, Paul. *Six Sigma demystified*. 2nd Editio. 2011. ISBN 9780071760829.
24. ALDERETE, Verónica Paola, COLOMBO, Ariadna Lorena, DI STÉFANO, Victorio, et al. SIX SIGMA “0 de cómo las pinzas y martillos se tornan tecnología de punta.” In : *XXVI Congreso del Instituto Argentino de Profesores Universitarios de Costos*. La Plata, 2003. p. 21.
25. LAWLESS, Harry T. and HEYMANN, Hildegard. *Sensory Evaluation of Food*. Second. Springer, 2010. ISBN 9781441964878.
26. ZAMORA UTSET, Esperanza. *Evaluación Objetiva de la Calidad Sensorial de Alimentos procesados* [online]. La Habana, Cuba : Editorial Universitaria de la Republica de Cuba, 2007. [Accessed 12 January 2020]. ISBN 9789591605818. Available from: <http://revistas.mes.edu.cu>
27. HIGA, M., FREITAS, A. J., BANNWART, A. C., et al. Thermal integration of multiple effect evaporator in sugar plant. *Applied Thermal Engineering*. 1 February 2009. 29( 2–3) p. 515–522. DOI 10.1016/j.applthermaleng.2008.03.009.

28. ALFARO VIVES, Orlando, JUANTORENA UGÁS, Alina and NOVOA CASTIEL, Roberto. Metodología para el análisis de alternativas tecnológicas. *Tecnología Química*. 2000. **XX**(1) p. 13.

### **Conflicto de interés**

Los autores declaran que no existen conflictos de intereses

### **Contribución de autores**

M. Sc. Victor Cerda-Mejía: Confección del informe y discusión de resultados.

Dr. Sc. Erenio González-Suárez: Modelado de los balances de masa y energía, dimensionamiento de equipos y análisis económico.

Ing. Héctor K. Millán Cruz: Programación en scripts de los balances de masa y energía, dimensionamiento de equipos, análisis económico.

Ing. Jasmín A. Ramos Duchicela: Programación en scripts de los atributos de calidad y nivel Sigma.

Dr. Amaury Pérez Martínez: Modelación y Simulación en Octave.