

Análisis y modelado de un sistema de extracción de licopeno a partir de *Solanum lycopersicum*

I. Procopio Ramos, J.A. Reyes-Vargaz¹, J.L. Morales-Pineda¹, J.P. Pérez-Orozco¹

¹ Depto. Ingeniería Química y Bioquímica, Instituto Tecnológico de Zacatepec. juan.po@itzacatepec.edu.mx

RESUMEN:

En este trabajo se realizó la recuperación de licopeno a partir de hojuelas de jitomate (*Solanum lycopersicum*) deshidratado mediante el proceso de extracción sólido-líquido usando hexano como disolvente a diferentes temperaturas (30, 40 y 50°C). Los resultados experimentales de las cinéticas de extracción se ajustaron al modelo de transferencia de masa con parámetros concentrados de Spiro y Siddique (1981), y se calculó la difusividad efectiva a partir de la ecuación de Price y Spiro (1985). A partir de esta información, se modeló la extracción de licopeno en un sistema de extracción sólido-líquido batch conformado por un hervidor, un condensador y una torre de contacto. La mejor condición de extracción corresponde a una relación de 20 g de hojuelas de jitomate deshidratado por cada 100 mL de solvente a una temperatura de 40°C, que presenta un valor de rapidez específica de extracción de 0.3648 h⁻¹ y una difusividad efectiva de 3.607x10⁻⁸ cm²/min. Los resultados numéricos obtenidos en el modelado del sistema de extracción batch proporcionan varias alternativas de operación para planificar la recuperación del licopeno.

Palabras clave: difusividad efectiva, licopeno, sistema de extracción sólido-líquido.

ABSTRACT:

In this study the recovery of lycopene from dehydrated tomato flakes (*Solanum lycopersicum*) was carried out by means of the solid-liquid extraction process using hexane as solvent at different temperatures (30, 40 and 50 ° C). The experimental results of the extraction kinetics were adjusted to the mass transfer model with concentrated parameters of Spiro and Siddique (1981), and the effective diffusivity was calculated from the Price and Spiro equation (1985). From this information, the extraction of lycopene was modeled in a solid-liquid batch extraction system consisting of a evaporator, condenser and contact tower. The best extraction condition corresponds to a ratio of 20 g of dehydrated tomato flakes per 100 mL of solvent to a temperature of 40 ° C, which has a specific extraction rate of 0.3648 h⁻¹ and an effective diffusivity of 3.607x10⁻⁸ cm²/min. The numerical results obtained in the modeling of the batch extraction system may provide various process alternatives for planning the recovery of lycopene.

Keywords: effective diffusivity, lycopene, solid-liquid extraction system.

INTRODUCCIÓN

Uno de los grandes problemas que enfrentan agricultores del estado de Morelos, principalmente aquellos dedicados al cultivo de jitomate con ayuda de bioespacios, es la dificultad para introducir su producto al mercado, sobre todo en las épocas de producción máxima, ya que su valor en el mercado cae drásticamente a niveles en los cuales no resulta factible su cosecha, y si coincide con el ingreso de producto proveniente del mercado exterior la situación se agrava provocando que en la mayoría de las veces se pierda esta materia prima. Debido a esto se pretende aprovechar todo aquel jitomate que no cumple con las características que demanda el mercado nacional o que represente un excedente de producción para trabajar sobre la extracción y recuperación de carotenos, específicamente licopeno. En estudios epidemiológicos recientes se reporta que una mayor ingesta de alimentos que contienen licopeno (principalmente productos derivados del jitomate) o un alta concentración de licopeno en la sangre se asocia con una disminución del riesgo de cáncer de próstata y enfermedades cardiovasculares (Erdman y col., 2009). De los carotenoides probados, el licopeno ha demostrado ser el más potente antioxidante in vitro que lleva a muchos investigadores a concluir que las propiedades antioxidantes de licopeno son responsables de la prevención de enfermedades. Kaur y col., 2008, analizaron las condiciones de extracción del licopeno a partir de jitomate procesado usando la metodología de superficie de respuesta, reportaron que las mejores condiciones de extracción se presentaron a una relación solvente/masa de 30:1, a una temperatura de 50°C, un tamaño de partícula de 0.15 mm y tiempo de contacto de 8 min, la concentración de licopeno obtenida después de cuatro etapas fue de 1.98 mg/100g de muestra. Colle y col. (2010) evaluaron la estabilidad del licopeno en una emulsión aceite de oilva/tomate durante procesamiento térmico (80-140°C), determinaron que la degradación total del carotenoide ocurre por arriba de 100°C, y que su energía de degradación se estima en unos 28 kJ/mol y la energía de polimerización, que ocurre antes de la degradación del licopeno, es de 52 kJ/mol. Otras técnicas de extracción de licopeno contemplan el uso de enzimas como la celulasa y pectinasa, y fluidos supercríticos (Shia y col., 2009). Los objetivos del presente trabajo fueron: i) analizar las condiciones de extracción, relación masa-disolvente y temperatura de extracción, que permita obtener una mayor recuperación de licopeno a partir de hojuelas de jitomate deshidratadas utilizando un proceso de extracción sólido-líquido; ii) calcular la rapidez específica de extracción y la difusividad efectiva utilizando el modelo de transferencia de masa con parámetros concentrados; iii) modelar el proceso de extracción sólido-líquido en un sistema batch conformado por un evaporador, un condensador y una torre de contacto.

MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 Obtención de las hojuelas e jitomate deshidratado.- Se realizó el lavado y la desinfección de jitomate fresco y entero, enjuagando con agua y jabón y sumergiéndolo en una solución de cloro al 10% durante 15 minutos. Posteriormente el jitomate fue escaldado, pasándolo por agua destilada a su punto de ebullición (10 s) y sumergiéndolo en una solución de benzoato de sodio al 1 % en peso a una temperatura de 5°C durante 5 min. Finalmente, el jitomate es picado y troceado en fragmentos de 1.5 cm aproximadamente eliminando las semillas, y se deshidrata en una estufa a una temperatura constante de 50°C por un periodo de secado de 48h.

2.2 Extracción de licopeno a partir de las hojuelas de jitomate deshidratado.-Se colocaron 20 g de muestra de jitomate deshidratado en matraces de 250 mL cubiertos con papel aluminio para evitar la presencia de luz solar que degrade el licopeno, y se pusieron en contacto con 100, 120 y 140 mL de hexano por un periodo de 6, 8 y 10 h manteniendo agitación constante a 160 rpm, y una temperatura constante de 30, 40 y 50°C. Al final de cada tiempo de contacto se determinó la concentración de licopeno en la solución mediante espectroscopia UV a una longitud de onda de 476 nm.

2.3 Modelado del sistema de extracción sólido-líquido tipo batch

Para la extracción del licopeno se propone un sistema de extracción sólido-líquido tipo batch conformado por un hervidor, un condensador y una torre de contacto. En el hervidor se concentra el licopeno extraído en la torre de contacto y se evapora el solvente, que posteriormente es condensado y alimentado en forma pura a la torre. Se realizaron los balances de materia en el sistema en combinación

con las ecuaciones de equilibrio y de transferencia de masa; el sistema de ecuaciones se resolvió utilizando el software polymath 6.0.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1 Extracción del licopeno y cálculo de la rapidez específica de extracción y difusividad efectiva.

En la Figura 1 se muestran los resultados obtenidos durante las extracciones del licopeno

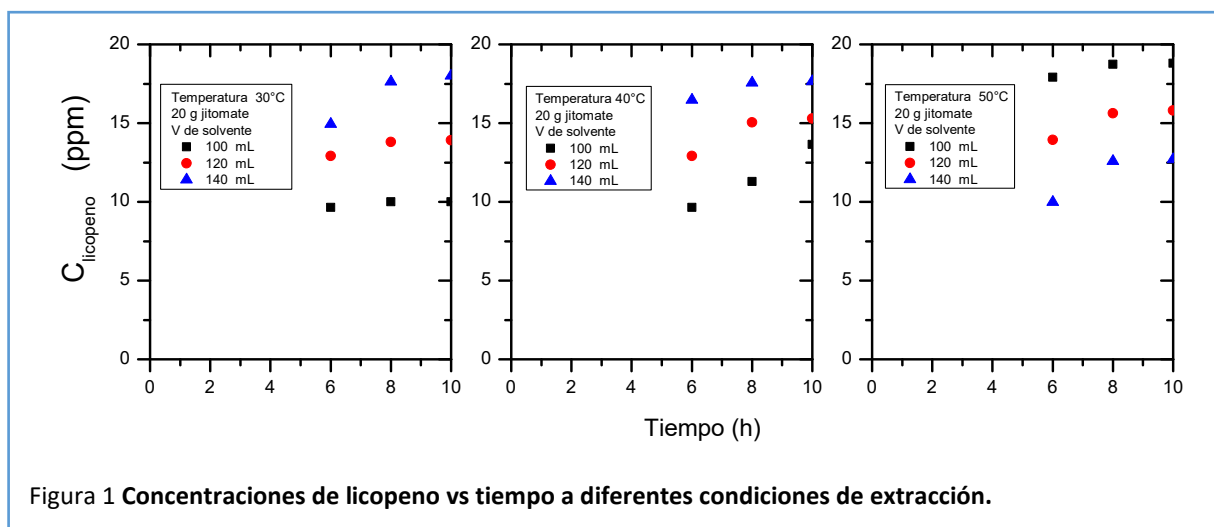


Figura 1 Concentraciones de licopeno vs tiempo a diferentes condiciones de extracción.

Los resultados experimentales de las cinéticas de extracción se ajustaron al modelo de transferencia de masa con parámetros concentrados de Spiro y Siddique (1981):

$$\frac{d(C_{\infty} - C_l)}{dt} = -k_{obs}(C_{\infty} - C_l)$$

donde C_l es la concentración de licopeno en la fase líquida en el tiempo t , k_{obs} es la rapidez específica de extracción, C_{∞} es la concentración en la fase acuosa en el equilibrio. En la tabla 1 se reportan los valores de k_{obs} la constante rapidez específica de extracción observada y los valores la concentración de equilibrio para las diferentes condiciones de extracción.

Tabla I. Valores de los parámetros cinéticos del modelo de Spiro y Siddique (1981)			
Temperatura (°C)	Vol del solvente (mL)	K_{obs} (h ⁻¹)	C_{eq} (ppm)
30	100	0.4800	10.22
	120	0.3587	14.62
	140	0.1473	25.46
40	100	0.3648	10.86
	120	0.1720	20.06
	140	0.1602	26.67
50	100	0.4349	16.13
	120	0.2340	18.47
	140	0.0609	19.32

Como se puede apreciar, los valores de la rapidez específica de extracción disminuyen al aumentar la cantidad de solvente que se pone en contacto con una misma cantidad de sólido. Esto puede

fundamentarse a que al aumentar la cantidad del solvente existe una dilución del soluto en la interfaz sólido-líquido que disminuye la velocidad de extracción para un mismo tiempo; sin embargo, como es de esperarse, la concentración de equilibrio (C_{eq}) se ve incrementada con la presencia de una mayor cantidad de solvente a una misma temperatura.

Para una geometría de placa, la ecuación de Price y Spiro (1985) que relaciona k_{obs} con el coeficiente de difusión o difusividad efectiva D_{eff} está definida por:

$$k_{obs} = \frac{2D_{eff}}{L^2} \left(1 + \frac{V_s}{\kappa V_l}\right)$$

Con

$$\kappa = \frac{C_{eq}}{X}$$

Donde L es la mitad del espesor de la placa, V_s es el volumen de la fase sólida, V_l es el volumen de la fase líquida, κ es el coeficiente de partición, C_{eq} es la composición de equilibrio en la fase líquida y X es la composición del soluto en la fase sólida. Los valores de la Difusividad efectiva del licopeno en el sólido se reportan en la Tabla II. En general, un incremento en la temperatura provoca un aumento en la difusividad. Los datos reportados en la Tabla II indican que es principio se cumple a temperaturas de 30°C y 40°C, pero no para una temperatura de 50°C. La explicación a esta excepción puede deberse a que, por una parte, a altas temperaturas la matriz estructural del jitomate se fragmenta lo que dificulta la cuantificación del licopeno y por ende el cálculo de las resistencias interna y externa a la transferencia de masa (las cuales están relacionadas a los valores de D_{eff} y k_{obs}); y por otra parte, a la termoestabilidad del licopeno extraído.

Tabla II. Valores de la difusividad efectiva en las hojuelas de jitomate deshidratado.	
<i>Temperatura (°C)</i>	<i>$D_{eff} \times 10^{08} (cm^2/s)$</i>
30	1.660
40	3.607
50	0.905

3.2 Modelado del sistema de extracción sólido-líquido tipo batch

Para obtener los modelos que describen el comportamiento del sistema de extracción se consideran las siguientes condiciones:

- i) La resolución de la torre de extracción se realiza considerando que se encuentra en un estado pseudoestacionario a temperatura constante, y que presenta un flujo pistón en su interior.
- ii) Las partículas de jitomate se consideran esféricas con un diámetro promedio de 0.3 mm
- iii) El flujo alrededor de las partículas genera un régimen de flujo que permite que éstas se encuentren suspendidas.
- iv) No hay modificación de la concentración de licopeno a lo largo de las tuberías que unen al hervidor con la torre de extracción
- v) La torre de extracción dimensionar de tal forma que se garantice que la altura sea mayor a la altura de una unidad de transferencia.

Realizando un balance de materia en un elemento diferencial en la torre de contacto y aplicando las condiciones i) y v), se establece que la composición a la salida de la torre, C_{1l} , está dada por:

$$C_{l1} = C_{eq} - C_{eq} \exp\left(-\frac{k_c V_T a_V}{\dot{v}}\right)$$

donde k_c es el coeficiente convectivo de transferencia de masa, C_{eq} es la composición de licopeno en equilibrio, a_V es el área específica de transferencia de las partículas de jitomate, V_T es el volumen de la torre de contacto y \dot{v} es el flujo volumétrico que entra y sale de la torre.

La composición de equilibrio se puede obtener aplicando una ecuación tipo Langmuir:

$$\frac{C_{eq}}{X} = \frac{1}{Nb} + \frac{C_{eq}}{N}$$

donde X son los gramos de licopeno/g de sólido seco, $1/N$ es la pendiente y $1/Nb$ es la intercepción con el eje de las abscisas. A una temperatura de 40° C, los datos experimentales obtenidos en la extracción del licopeno (Tabla I) se ajustaron a la ecuación:

$$\frac{C_{eq}}{X} = 1.7281C_{eq} - 7.57$$

El valor de k_c aplicando la condición iii) puede evaluarse mediante la correlación

$$k_c = \frac{2D_{eff}}{d} + 0.31Sc^{-2/3} \left(\frac{|\rho - \rho_s| \mu g}{\rho} \right)^{0.333}$$

donde ρ es la densidad del solvente, ρ_s es la densidad del sólido, Sc es el número de Schmidt.

Realizando un balance de materia en el hervidor teniendo en consideración la condición iv) tenemos:

$$\frac{dC_{l2}}{dt} = \frac{\dot{v}}{V_h} C_{eq} \left[1 - \exp\left(\frac{k_c a_V V_T}{\dot{v}}\right) \right]$$

donde V_h es el volumen del hervidor.

En la Figura 2 se muestran la composición de licopeno obtenidas bajo diferentes condiciones de operación del sistema de extracción sólido-líquido para una masa de 10 kg de jitomate deshidratado con un volumen de 50L en la torre de contacto. Los resultados muestran que las condiciones más apropiadas de operación son utilizar una relación V_T/V_h de 1 y un flujo volumétrico de 1.26 L/min.

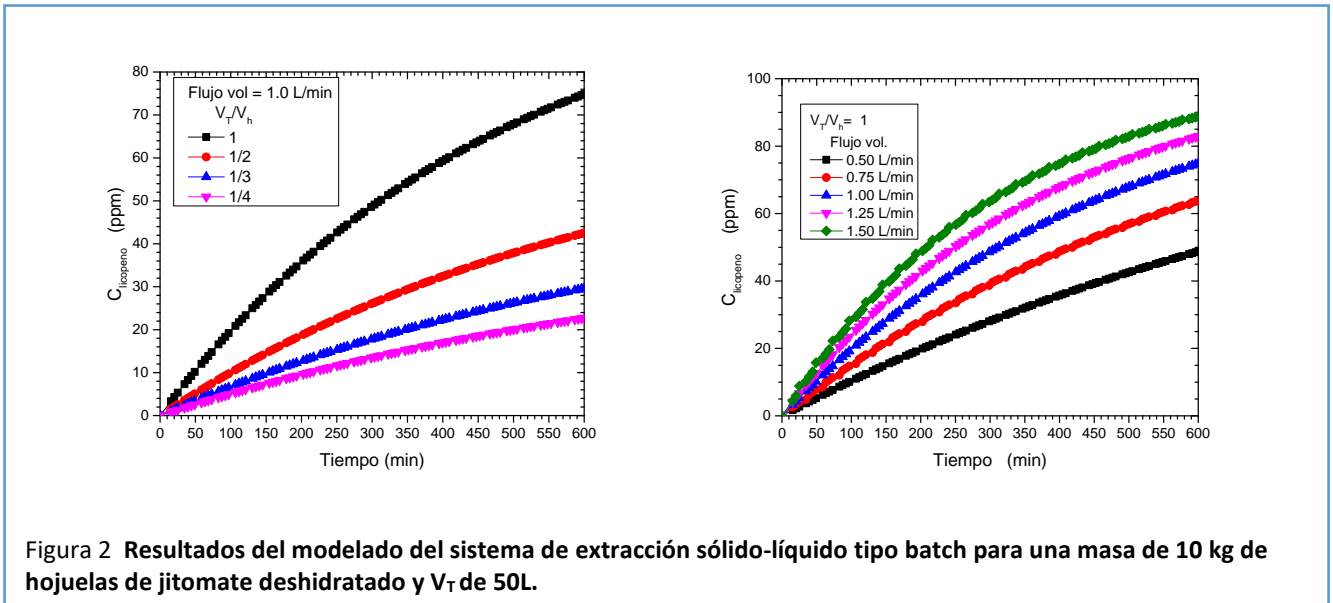


Figura 2 Resultados del modelado del sistema de extracción sólido-líquido tipo batch para una masa de 10 kg de hojuelas de jitomate deshidratado y V_T de 50L.

CONCLUSIONES

El licopeno fue extraído a partir de hojuelas de jitomate deshidratado mediante una extracción sólido-líquido usando como disolvente hexano. Los valores experimentales mostraron que las mejor condición de extracción se presentó a una relación de 0.2 g de hojuelas de jitomate deshidratado por cada mL de solvente a una temperatura de 40°C. Los datos experimentales de las cinéticas de extracción de licopeno presentaron ajustes aceptables al modelo de transferencia de masa de parámetros agrupados de Spiro para una placa, por lo que fue posible calcular las tasas de velocidad específica de extracción y difusividades efectivas. Los resultados numéricos obtenidos en el modelado del sistema de extracción batch proporcionan varias alternativas de operación para planificar la recuperación del licopeno.

BIBLIOGRAFÍA

- Colle I.J. P., Lemmens L., Tolesa G.N., Van Buggenhout S., De Vleeschouwer K., Van Loey A.M., & Hendrick M.E. (2010). Lycopene Degradation and Isomerization Kinetics during Thermal Processing of an Olive Oil/Tomato Emulsion. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 58, 12784–12789.
- Erdman JW, Ford, N.A. y Lindshield B.L. (2009) Are the health attributes of lycopene related to its antioxidant function? *Archives of Biochemistry and Biophysics*, 483, 229–235.
- Kaur, D., Wani, A.A., Oberoi, D.P.S. y Sogi, D.S. 2008. Effect of extraction conditions on lycopene extractions from tomato processing waste skin using response Surface methodology. *Food Chemistry*, 108, 711-718.
- Price WE y Spiro M, 1985. Kinetics and equilibria of tea infusion: rates of extraction of theaflavin, caffeine and theobromine from several whole teas and sieved fractions. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 36, 1309–1314.
- Shia J., Khatria M., Jun Xuea S., Mittal G.S., Mac Y., y Li D. (2009). Solubility of lycopene in supercritical CO₂ fluid as affected by temperature and pressure. *Separation and Purification Technology* 66, 322–328.
- Spiro M y Siddique S, 1981. Kinetics and equilibria of tea infusion. Kinetics of extraction of theaflavins, thearubigins, and caffeine in Koonsong Broken Pekoe. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 32, 1135–1139.