

EXTRACCIÓN DEL CAROTENOIDE LICOPENO DEL TOMATE CHONTO (*Lycopersicum esculentum*)

EXTRACTION OF THE CAROTENOID LYCOPENE FROM CHONTO TOMATO (*Lycopersicum esculentum*)

Eliana M. CARDONA¹, Luis A. RÍOS^{1*} y Gloria M. RESTREPO V.¹

Recibido: Septiembre 12 de 2006 Aceptado: Octubre 31 de 2006

RESUMEN

El licopeno, al cual el tomate debe su tonalidad roja, además de presentar grandes propiedades como colorante, es un poderoso antioxidante que ayuda a combatir enfermedades degenerativas. Debido a la importancia que se ha venido dando al licopeno por sus propiedades, en esta investigación se comparan los métodos de extracción arrastre con vapor y extracción con solventes, con base en el rendimiento obtenido y el pretratamiento dado a la muestra vegetal, caracterizando los extractos obtenidos mediante espectrometría visible UV. Además, se desarrollan extracciones para determinar tanto el contenido de licopeno en tomate chonto *Lycopersicum esculentum*, como otros parámetros del proceso de extracción: temperatura, relación masa de pulpa de tomate a volumen de solvente, tiempo de extracción y número de etapas. Con estos parámetros se propone el diseño básico de una planta piloto para la extracción de dicho carotenoide, disponiendo los equipos según el correspondiente diagrama de flujo y bajo las demás condiciones de operación necesarias para evitar la degradación y descomposición del licopeno a lo largo del proceso, y que permitan obtener un rendimiento de 6 g de oleoresina/ Kg de pulpa.

Palabras clave: licopeno, extracción soxhlet, extracción con solventes, planta piloto.

ABSTRACT

Lycopene, to which tomato owes its red coloration, besides presenting great properties like colorant, is a powerful antioxidant that helps to combat degenerative diseases. Due to the importance that has been given to lycopene, because of its properties, in this investigation both steam-dragging and solvent extraction methods are compared based on the obtained yield and the pre-treatment given to the vegetable sample, characterizing the obtained extracts by means of visible UV spectrometry. Extractions are also carried out to determine the lycopene content in tomato chonto *Lycopersicum esculentum*, as well as other parameters of the extraction process: temperature, ratio mass of tomato pulp to solvent volume, time of extraction and number of stages. With these parameters, a basic design of a pilot plant is proposed for the extraction of this carotenoid, arranging the equipment according to the corresponding flow diagram and under the necessary operation conditions to avoid the degradation and decomposition of lycopene along the process and that allow to obtain a yield of 6 g of oleoresin / Kg of pulp.

Key words: lycopene, soxhlet extraction, extraction with solvents, pilot plant.

1 Grupo Procesos Físicoquímicos Aplicados. Departamento de Ingeniería Química. Universidad de Antioquia. Calle 67 No 53-108, Bloque 2. Medellín, Colombia.

* Autor a quien se debe dirigir la correspondencia: larios@udea.edu.co

INTRODUCCIÓN

La prevención de diversas enfermedades causadas por la degeneración de tejidos debida al oxígeno altamente reactivo, los radicales libres y los componentes tóxicos del medio, que causan daños en los vasos sanguíneos y en las células nerviosas, han llevado a la búsqueda e investigación de sustancias con alto potencial antioxidante, como por ejemplo, el Licopeno, el cual se encuentra en tomates, toronjas rojas, sandías y pimientos rojos, y es el principal componente responsable de su característico color rojo profundo (1, 2).

El Licopeno es un carotenoide con mayor poder antioxidante que el β -caroteno (3), y se viene utilizando en productos cosméticos con gran potencial comercial, principalmente por la gran demanda de productos con este tipo de características, ocasionada en la preocupación global por el cuidado y prevención de enfermedades de la piel causadas por el alto nivel de contaminación del medio ambiente y la exposición directa a los rayos del sol (3, 4, 5).

El Licopeno representa aproximadamente el 80 – 90% del los carotenoides que se encuentran en un tomate de aliño maduro promedio de la variedad *Lycopersicum esculentum* (tomate chonto), y su cantidad aproximada en la hortaliza es alrededor de 3000 $\mu\text{g}/100\text{g}$ (0.003%) (4, 5, 6, 7, 8).

El Licopeno es uno de los primeros carotenoides que aparecen en la síntesis de este tipo de compuestos, constituyendo la base molecular para la síntesis de los restantes carotenoides; su estructura molecular, en general, es la de un hidrocarburo, formada por cuarenta átomos de carbono unidos por enlaces dobles conjugados (once dobles enlaces conjugados en total), constituyéndose en la cadena más larga de todos los carotenoides conocidos; esta configuración es responsable de su capacidad para anular la acción de los radicales libres (4,5)

El Licopeno se obtiene fundamentalmente a partir de fuentes naturales, hongos y muy especialmente tomate de aliño. Es altamente lipofílico, y como otros carotenoides, es degradable mediante factores físicos y químicos como exposición a la luz, exposición al oxígeno, condiciones extremas de pH, temperaturas elevadas y contacto con superficies activas (4,6).

Para la extracción de este tipo de sustancias se utilizan diversas técnicas; la más común es la extracción con solventes por etapas, aunque actualmente se ha utilizado la extracción con fluidos

supercríticos, con grandes ventajas sobre los demás métodos (9, 10, 11). En este estudio se comparan los métodos de arrastre con vapor, extracción soxhlet y extracción con solventes por etapas para la obtención de la oleorresina del tomate de aliño con un alto contenido de licopeno. Para la obtención de la oleorresina del tomate de aliño mediante extracción soxhlet, el material vegetal se somete a troceado, secado, molienda y posteriormente a extracción; para la obtención de la oleorresina mediante la extracción con solventes, por etapas el material vegetal se somete previamente a un proceso de licuado y eliminación de cerca de un 58.26% en peso del agua contenida en los frutos por filtración del jugo obtenido. El extracto obtenido se somete a un proceso de eliminación del solvente y la oleorresina resultante se analiza mediante espectrometría visible UV, utilizando como solvente ciclohexano, y el contenido del licopeno en la oleorresina se determina de acuerdo a la absorbancia de la solución diluida.

Los resultados obtenidos permitirán comparar: el mejor solvente para la extracción del carotenoide mediante el uso de la tecnología de extracción soxhlet, el mejor método de extracción y establecer las condiciones más apropiadas de temperatura, relación pulpa de tomate/volumen de solvente, tiempo de extracción y número de etapas, para la obtención de la oleorresina del tomate de aliño con un alto contenido de licopeno a escala de planta piloto. En la literatura consultada no se han encontrado reportes de este tipo que permitan comparar, bajo las mismas condiciones, diferentes métodos de extracción del licopeno; tampoco se han reportado las variables de extracción básicas que permitan el dimensionamiento de una planta para producir el extracto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Solventes

Los solventes que se emplean para la extracción de licopeno de tomate son: hexano, acetona, etanol y acetato de etilo de grado comercial, cuyo uso está sujeto a las autoridades gubernamentales nacionales e internacionales.

Material vegetal

Los tomates utilizados en este estudio son provenientes del oriente del departamento de Antioquia, en su mayor estado de maduración y preferiblemente cultivados en campo abierto.

Pretratamiento de la muestra

Los tomates frescos se sometieron a un proceso de adecuación según el método que se va a utilizar, de modo que se facilite el proceso de extracción por la concentración de los carotenoides, especialmente el licopeno, presente en los frutos mediante la eliminación de la humedad o del agua contenida en estos; además, el pretratamiento permite una mejor manipulación de la muestra y una mejor aplicación del método de extracción. Para la extracción soxhlet, los tomates se trocearon en casquillos entre 0.4 y 0.5 cm. de espesor (utilizando el fruto completo: piel, pulpa y semillas), luego se sometieron a secado en un secador de túnel con vapor, durante 6 horas a una temperatura inferior a los 60°C para evitar la descomposición del carotenoide. El material seco se muele en un molino de cuchillas para obtener un tamaño de partícula entre 0.5 y 1.7 mm.

Para la extracción con solventes por etapas de licopeno de tomate fresco los frutos maduros se licuan y posteriormente se filtran al vacío con un filtro Büchner y se elimina el 58.26 % en peso del agua contenida en los tomates; la pulpa concentrada es refrigerada para luego ser utilizada en la extracción de dicho carotenoide.

Extracción soxhlet

El tomate seco y molido se somete a extracción con hexano, etil acetato, acetona y etanol, en un equipo de extracción soxhlet, con baño de aceite a una temperatura mayor a la de ebullición del solvente a utilizar. La relación material vegetal/solvente es 20.0 g/120 mL, realizando un número de 10 reflujos y cubriendo los equipos con papel de aluminio para preservar la muestra de la luz.

Extracción con solventes, por etapas, de licopeno de tomate fresco

Para la determinación de las condiciones más apropiadas en la extracción del carotenoide licopeno de tomate fresco, se utilizará como solvente etil acetato, el más apropiado para la aplicación de esta tecnología en la extracción de esta sustancia (13, 14), utilizando como medio de calentamiento un baño de aceite.

Determinación de la temperatura más adecuada: Se utilizaron 50.0 g de pulpa de tomate por cada 100 mL de solvente; la extracción se lleva a cabo en una etapa durante un tiempo de 6 horas a temperaturas de 30, 40 y 50°C, con agitación constante; el extracto se separa del material sólido por decantación y

filtración y luego se almacena en un embudo de separación para retirar la fase acuosa.

Determinación de la relación masa de pulpa/volumen de solvente: La cantidad de pulpa empleada es de 50.0 g y las relaciones masa/volumen ensayadas fueron: 1:1, 1:2, 1:3 y 1:4, las extracciones se llevaron a cabo en una etapa durante un tiempo de 6 horas, con agitación constante y a la temperatura más adecuada, y los residuos sólidos, así como la fase acuosa, se separaron del extracto por decantación y filtración.

Determinación del mejor tiempo de extracción: Las condiciones de temperatura y relación pulpa/solvente empleada para la determinación de este parámetro son las más apropiadas, según se encontró en los ensayos preliminares; la extracción se lleva a cabo en una etapa durante tiempos de extracción de 0.5, 1, 1.5, 3 y 6 horas, con agitación continua; la separación de los residuos sólidos y la fase acuosa se realiza como se describe anteriormente.

Determinación del número de etapas: Las condiciones experimentales se definen de acuerdo a los mejores resultados que se obtienen para la temperatura, relación masa/solvente y tiempo de extracción. El número de etapas está limitado por la coloración del extracto obtenido, y la recuperación del extracto sigue los mismos procedimientos de decantación y filtración.

Obtención de la oleorresina

Los extractos obtenidos mediante los métodos empleados se someten a un proceso de eliminación del solvente utilizando un rotavaporador R-205 marca Büchi, acoplado con una bomba de vacío y a una temperatura inferior a los 40°C, para evitar las pérdidas del carotenoide por oxidación. La oleorresina obtenida se disuelve en ciclohexano y se almacena en atmósfera de nitrógeno, en la nevera y en un recipiente color ámbar para protegerla de la luz y otros factores que puedan causar su descomposición.

Análisis de las muestras

Las muestras obtenidas se analizaron mediante espectrofotometría ultravioleta visible UV-vis, en un espectrómetro Thermospectronic Unicom UV-VIS Heλios α, utilizando ciclohexano como blanco. Se toma una alícuota de oleorresina y se disuelve en un volumen de ciclohexano hasta completar 10.0 mL. Las absorbancias de las soluciones se miden a 476 nm, longitud de onda a la cual la absorptividad E del licopeno en ciclohexano es de 3310 (15, 16, 17). La cuantificación del licopeno presente en la muestra inicial de pulpa de tomate se realiza con la siguiente ecuación:

$$\frac{\mu\text{g licopeno}}{100 \text{ g de pulpa}} = \frac{A * V(\text{mL}) * 10^4}{E * m(\text{g})} * 100 \text{ g} \quad (1)$$

El rendimiento de la oleorresina en base a la masa total de muestra empleada, se determinó por diferencia de peso del balón de rotavaporación antes y después de dicho proceso y se calculó con la siguiente ecuación:

$$\text{Rendimiento} = \frac{\text{peso de la oleorresina}}{\text{peso inicial de la muestra}} * 100 \quad (2)$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Extracción soxhlet

La extracción soxhlet es más efectiva si se utiliza tomate seco y molido, puesto que el alto contenido de agua en el tomate fresco (95% p/p) hace difícil la penetración del solvente que cae sobre la muestra vegetal, de manera que no puede llevarse a cabo un adecuado contacto entre la muestra y el solvente para efectuar la extracción del material soluble de interés; además, si el tomate seco se muele, los menores tamaños de partícula conducen a una mayor área de transferencia de masa, lo cual facilita la extracción de las sustancias carotenoides presentes en el tomate de aliño.

Los resultados obtenidos al emplear el sistema de extracción con solventes en soxhlet, apropiado para la extracción de este tipo de sustancias lipofílicas, con los cuatro solventes propuestos, permitieron determinar tanto el rendimiento de la oleorresina como la cantidad de licopeno presente en los extractos, y son la base de la extracción de licopeno de tomates frescos empleando la planta piloto diseñada en este trabajo.

Al evaluar el rendimiento con respecto a la cantidad de oleorresina obtenida en los diferentes ensayos para los solventes utilizados (acetona, etil acetato, etanol y hexano), el etanol presenta un mayor rendimiento, por la alta solubilidad de compuestos grasos y otras sustancias carotenoides presentes en la muestra de tomate seco en dicho solvente (véase figura 1) para las mismas condiciones de operación. Sin embargo, el mayor rendimiento en cuanto a contenido de licopeno se obtuvo con el etil acetato (figura 2). El nivel de licopeno en el tomate se calculó

con base en la propiedad de este tipo de sustancias carotenoides de absorber luz a una determinada longitud de onda y empleando la ecuación 1. Estos resultados indican que con solventes próticos y polares, como el etanol, se extraen otras sustancias diferentes al licopeno que son altamente solubles en este solvente, lo que conduce a un alto rendimiento en la extracción de la oleorresina del tomate; los solventes menos polares y no polares (etil acetato y hexano) extraen muy poca cantidad de oleorresina, lo que indica una baja solubilidad de los constituyentes del tomate seco en estos solventes. Es muy interesante observar que los solventes que presentaron un menor rendimiento en la extracción de la oleorresina presentaron una mayor eficacia en la extracción del licopeno del tomate, el etil acetato demostró ser el mejor solvente para la extracción del carotenoide, obteniéndose en promedio 64.20 mg de licopeno/100 g de pulpa (véase figura 2) y 0.568 g de oleorresina/20.0 de tomate seco (véase figura 1).

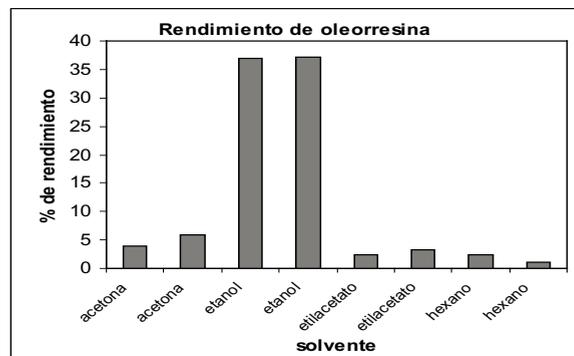


Figura 1. Rendimiento de la oleorresina para extracción soxhlet utilizando tomate seco. Para 10 reflujos y una relación masa de muestra vegetal/solvente 20.02 g/120.0 mL

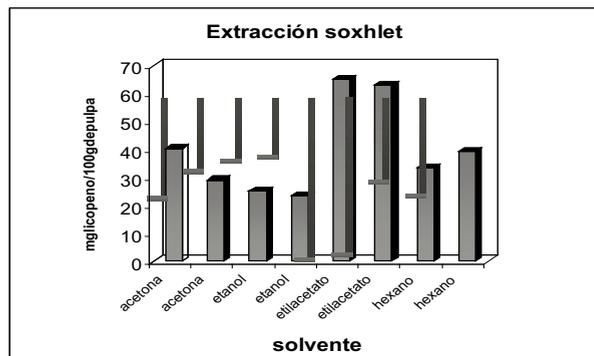


Figura 2. Rendimiento de licopeno para extracción soxhlet con tomate seco. Para 10 reflujos y una relación masa de muestra vegetal/solvente 20.0 g/120.0 mL

Extracción por etapas de licopeno de tomate fresco

Para las condiciones de operación utilizadas, se obtuvo una mayor cantidad de licopeno a una temperatura de 50 °C (véase figura 3), utilizando etil acetato como solvente de extracción, porque la temperatura favorece la solubilidad de las sustancias lipofílicas en el solvente.

El resultado obtenido es coherente con los datos reportados en la literatura, en la cual se recomienda trabajar en un rango de temperaturas entre los 40 °C y los 65 °C, preferiblemente entre 50 °C y 60 °C (15).

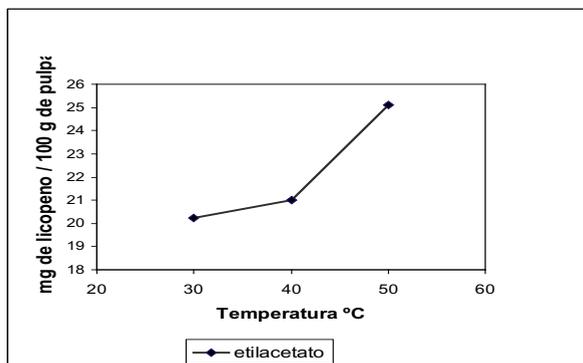


Figura 3. Influencia de la temperatura en la extracción de licopeno de tomate fresco. Para un tiempo de extracción de 6 horas, una etapa y relación masa de pulpa/solvente 1/2.

La relación masa de pulpa de tomate a volumen de solvente empleado constituye uno de los factores más importantes en la extracción con solventes, debido a que de este depende el número de etapas a realizar y el tiempo de duración de cada una de ellas. Una cantidad de solvente considerablemente mayor con respecto a la cantidad de material vegetal tendrá capacidad de extraer más soluto en un lapso de tiempo mayor que una cantidad de solvente relativamente pequeña con respecto a la muestra inicial. Las cantidades pequeñas de solvente permiten que se alcance rápidamente el equilibrio, y se sature más rápidamente con el soluto, es por esto que con la relación 1 a 4 se obtiene un mayor rendimiento del licopeno presente en la pulpa de tomate (véase figura 4).

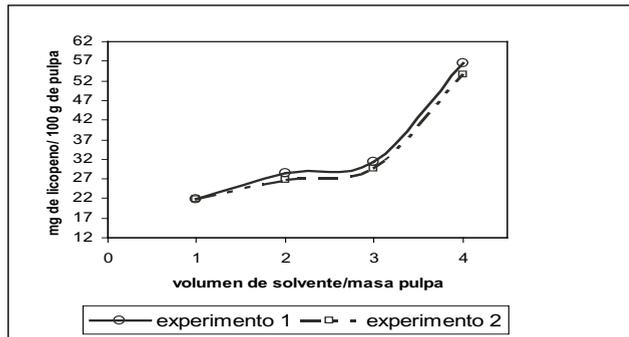


Figura 4. Influencia de la relación volumen de solvente/masa de pulpa, en la extracción de licopeno de tomate fresco. Condiciones: una etapa, tiempo de extracción de seis horas, 50°C y etil acetato como solvente.

El tiempo constituye otro de los factores importantes en la extracción por etapas de licopeno de tomate, dependiendo de la cantidad de solvente que se emplee ello. Un mayor tiempo de contacto lleva a la obtención de una mayor concentración de licopeno (véase figura 5).

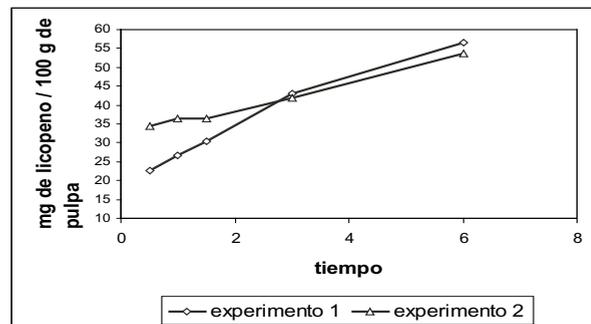


Figura 5. Influencia del tiempo en la extracción de licopeno de tomate fresco. Condiciones: una etapa, relación masa de pulpa/ volumen de solvente 1/4, temperatura 50°C y etil acetato como solvente.

Es importante definir el número de etapas en las cuales se va a realizar la extracción, de acuerdo a la cantidad del carotenoide obtenido en cada etapa individual. Si en una etapa de extracción, para unas condiciones de operación establecidas (cantidad de solvente, tiempo y temperatura), se obtiene una cantidad representativa del licopeno contenido en la hortaliza, no se justificaría el gasto energético y de solvente para realizar otras etapas en las cuales se obtendría una cantidad de carotenoide muy pequeña; además en el proceso siguiente de purificación se pueden presentar pérdidas significativas.

Se realizó la extracción en varias etapas, en la que se obtuvo un extracto coloreado (a simple vista), pero sólo en la primera etapa se obtiene una cantidad representativa del licopeno presente en la pulpa de tomate; por lo tanto no se justifica el gasto energético ni de insumos realizando una etapa más (ver figura 6). La extracción en una sola etapa presenta un rendimiento muy alto con respecto a la cantidad de licopeno que tiene la pulpa de tomate sometida al proceso de extracción (véase figura 6); se obtienen en promedio 55.99 mg de licopeno/100 g de pulpa y un rendimiento de oleoresina de 0.600 g de oleoresina/100 g de pulpa.

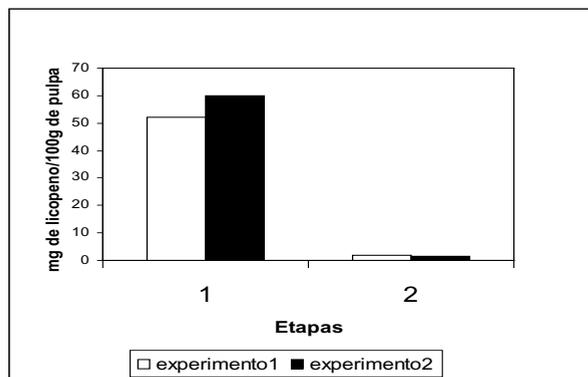


Figura 6. Influencia del número de etapas en la extracción de licopeno de tomate fresco. Para un tiempo de extracción de 3 horas, 50°C, relación masa de pulpa/volumen de solvente 1/4.

Con base en el contenido de agua retirado del tomate empleado para la extracción soxhlet (tomate seco) y el porcentaje de agua retirada de la pulpa para la extracción por etapas de licopeno de tomate fresco, se calcula que 20.0 g de tomate seco corresponden a 166.96 g de pulpa; este dato permite comparar los rendimientos de licopeno entre las extracciones con soxhlet (que utilizaron tomate seco) y las extracciones por etapas (que utilizaron pulpa de tomate). Es así como en la extracción con soxhlet, a las mismas condiciones de la figura 6, excepto que en lugar de 3 horas se emplean 10 reflujos se obtiene en promedio 64.20 mg de licopeno/100 g de pulpa, mientras que mediante la extracción por etapas se obtiene un rendimiento promedio de 55.99 mg de licopeno/100 g de pulpa: Tomando con el mayor rendimiento posible en la extracción del licopeno el valor obtenido mediante la extracción

con soxhlet, se deduce que la extracción en una sola etapa tiene una eficiencia del 87.2%, lo cual indica que este procedimiento es bastante adecuado para su aplicación industrial.

Diseño de planta piloto

Los resultados satisfactorios obtenidos en la extracción de licopeno a partir de tomate fresco, son la base para el diseño básico de una planta piloto. Los criterios de diseño incluyen tanto el pretratamiento de la muestra como el proceso de extracción y obtención de la oleoresina. Los cálculos de diseño están soportados en la referencia bibliográfica número 18.

Criterios de diseño: El escalamiento del proceso a planta piloto se basa en las condiciones más apropiadas para este fin que se obtuvieron, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1. Parámetros de diseño de la planta piloto para la extracción de licopeno del tomate.

CONDICIONES DE DISEÑO	
Temperatura	50°C
Relación masa de pulpa a volumen de solvente	1/4
Solvente	Etil acetato
Tiempo de extracción	3 horas
Número de etapas	1
Rendimiento de la oleoresina	6 g/Kg de pulpa
Rendimiento de licopeno	55.99 mg de licopeno/100 g de pulpa
Cantidad de tomate fresco a procesar	24.0 Kg
Porcentaje de humedad retirada	58.26% (p/p)
Cantidad de pulpa obtenida	10.0 Kg

Estos datos permiten realizar el dimensionamiento básico de los equipos necesarios para la obtención del carotenoide de interés, comprendiendo el proceso de obtención de la pulpa deshidratada, el proceso de extracción en tanque agitado con calentamiento durante tres horas, el proceso de separación de residuos sólidos y de la fase acuosa del extracto y, por último, la etapa de recuperación de la oleoresina por evaporación del solvente al vacío (véase tabla 2).

Tabla 2. Características básicas de los equipos, determinadas a partir de balances de materia y energía

Equipo	Cantidad	Características
Tanque de extracción	1	V=62.5 L; D= 0.309m; H= 0.772 m; acero inoxidable AISI 304; espesor=1/8"; largo de la paleta= 0.1545 m; ancho de la paleta= 0.0386 m; velocidad de agitación= 155 rpm; diámetro de la chaqueta= 0.366 m; aislamiento= lana de vidrio.
Tanque decantador	1	V= 55.0 L; D= 0.304 m; H= 0.700 m; acero inoxidable AISI 304; espesor= 1/8".
Tanque de evaporación	1	V=54.5 L; D= 0.307 m; H= 0.675 m; acero inoxidable AISI 304; largo de la paleta= 0.1535 m; ancho de la paleta= 0.0384 m; velocidad de agitación= 125 rpm; diámetro de la chaqueta= 0.417 m; espesor= 1/8".
Condensador	1	Diámetro interno de la coraza= 0.2032 m; L= 0.50 m; Número de tubos= 32; tamaño nominal= 1 ¼ Sh 40; arreglo triangular 1 9/16; cabezal= placa de tubos fija; acero inoxidable AISI 304
Tanque de almacenamiento	1	V= 52.03 L; D= 0.311 m; H= 0.622 m; acero inoxidable AISI 304; Diámetro de la chaqueta= 0.368 m; espesor= 1/8".

V =volumen, D= Diámetro, H=altura

Operaciones y selección de equipos: Los equipos fueron diseñados siguiendo procedimientos estándares de ingeniería. Los detalles de los cálculos están disponibles en la referencia 18.

- Obtención de la pulpa: Para la obtención de 10.0 Kg de pulpa de tomate de la cual se ha retirado un 58.26 % del contenido de agua presente en el fruto, se requieren 24.0 Kg de tomate fresco, entero y maduro que será procesado en un molino de cuchillas y un filtro prensa para eliminar 14.0 Kg de agua.
- Proceso de extracción: En esta parte del proceso los 10.0 Kg de pulpa obtenida se mezclan con 40.0 litros de solvente, según la relación masa/volumen determinada, bajo las condiciones de tiempo, temperatura y número de etapas previamente establecidas. El proceso de extracción se lleva a cabo por lotes, en un tanque que consta de una camisa para calentamiento con vapor, un sistema de control de temperatura para mantenerla cerca a los 50°C, un sistema de agitación con dos impulsores que permita mantener en contacto continuo la pulpa con el solvente, y un condensador en la parte superior para evitar las pérdidas de solvente por evaporación y, además, evitar la presurización del tanque.

El tanque se diseño para ocupar un 80% de su volumen total, con una relación altura diámetro de 2.5 (para un tanque de 62.5 litros el diámetro del tanque es 0.309 m y la altura de la parte cilíndrica 0.772 m). La agitación se lleva a cabo con un agitador de paletas planas que permite homogenizar la temperatura de la mezcla y mantener en contacto

continuo la pulpa con el solvente. Empleando una relación largo del impulsor/diámetro del tanque de 0.5, y una relación largo/ancho del impulsor de 4, se calcula un impulsor de 0.1545 m de largo y 0.039 m de ancho.

El espaciamiento entre la pared exterior del tanque y la pared interna de la chaqueta es de 2.54 cm., que permite el paso de 57.821 Kg/h de vapor para fines de calentamiento.

- Proceso de separación del extracto: La suspensión coloreada, después de transcurrido el tiempo de extracción, pasa a un filtro prensa donde se separa la fase líquida de los residuos sólidos; posteriormente el extracto pasa a un tanque decantador donde se deja reposar por un periodo de 30 minutos para separar la fase orgánica de la fase acuosa, la cual es desechada. Los residuos sólidos producidos son desechados inicialmente pero podrían aprovecharse en la preparación de abonos o material orgánico y así evitar su exposición directamente al ambiente que los convierte en un agente contaminante.

El tanque decantador se dimensiona para manejar un volumen de 55.0 litros; para una relación altura/diámetro del tanque de 2.3 se obtiene un diámetro de 0.304 m y 0.700 m de altura; la tapa del fondo del tanque es de forma cónica para facilitar la separación y evacuación de la fracción acuosa separada.

- Proceso de obtención de la oleoresina: La fase orgánica separada en el decantador pasa a un tanque de evaporación que consta de un sistema de agitación con dos impulsores y una chaqueta

para calentamiento con aceite térmico, para eliminar el solvente. Esta operación se lleva a cabo a una temperatura de 40°C y con vacío para evitar la descomposición del licopeno, bien sea por oxidación o por isomerización. El vapor producido pasa a un condensador de tubos y coraza y el solvente es recuperado y almacenado en un tanque con refrigeración.

Se recomienda no eliminar la totalidad del solvente para evitar que el carotenoide se pierda por adición a las paredes del tanque.

El tanque de evaporación tiene un volumen de 54.5 litros, un diámetro de 0.307 m y 0.675 m de altura. Los impulsores tienen un ancho de 0.0384 m y un largo de 0.1535 m. El espaciamiento entre la pared exterior del tanque y la pared interior de la chaqueta es de 5.08 cm. El condensador de tubos y coraza consta de un paso por la coraza y dos pasos por 32 tubos; la refrigeración se realiza con agua

a 18°C. El condensado se almacena en un tanque para un volumen de 52.03 litros, con dimensiones de 0.311 m de diámetro y 0.622 m de altura. El tanque de almacenamiento cuenta además con una chaqueta de 0.368 m de diámetro interno, para refrigeración con agua, y de esta manera se evitan las pérdidas de solvente por evaporación a las condiciones de temperatura del condensado y de presión de vacío logradas por la bomba.

Diagrama de bloques y de flujo del proceso de extracción de licopeno de tomate fresco: En la figura 7 se muestra el diagrama de bloques del proceso para obtener 60 g de oleoresina de los 10.0 Kg de pulpa procesados, según los parámetros y condiciones de diseño encontrados en el laboratorio. En la figura 8 se muestra de una manera más amplia, mediante el diagrama de proceso, identificando los equipos (véase tabla 3) y corrientes (véase tabla 4), tal y como se dispone en el diagrama de bloques.

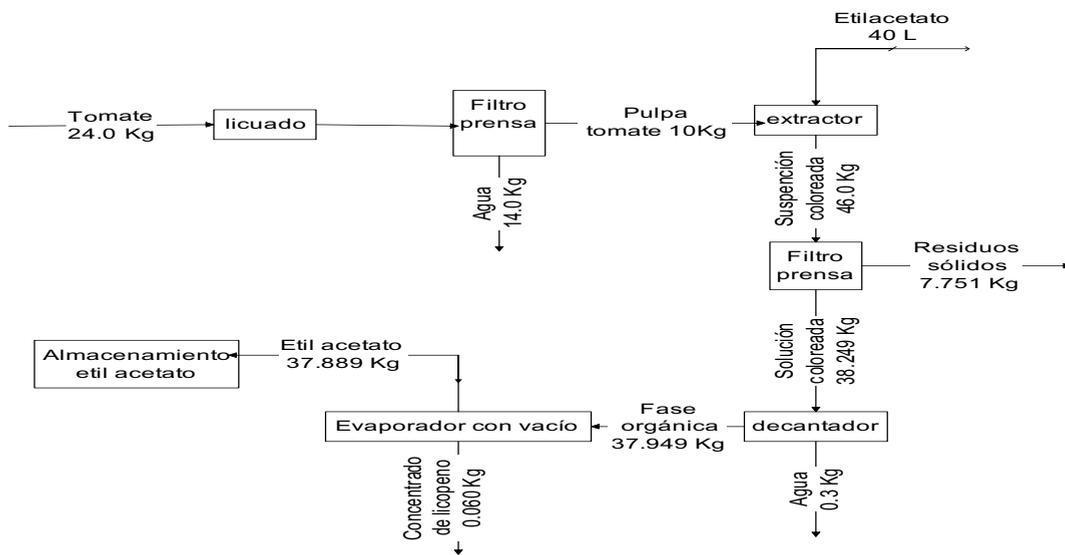


Figura 7. Diagrama de bloques del proceso de extracción de licopeno de tomate chonto a escala de planta piloto.

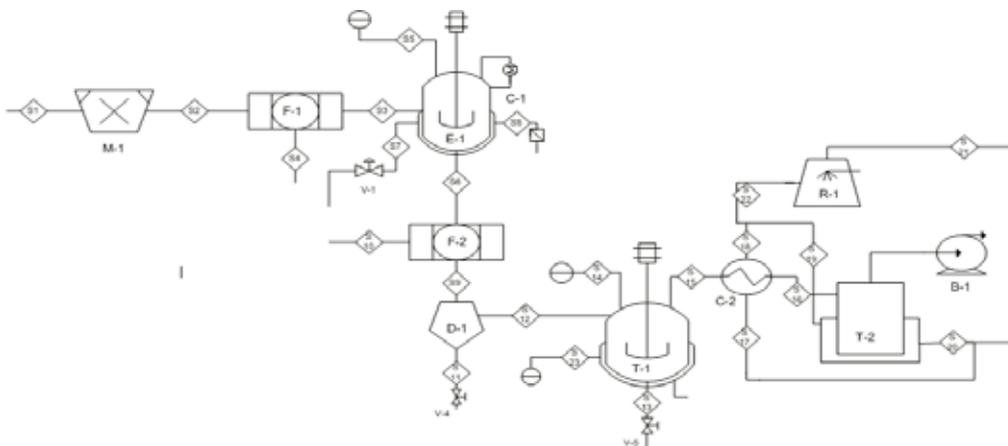


Figura 8. Diagrama de proceso para la extracción de licopeno de tomate fresco a escala de planta piloto.

Tabla 3. Nomenclatura de equipos.

M-1	Molino de cuchillas
F-1	Filtro prensa para separar la pulpa del suero
E-1	Tanque extractor con agitador y chaqueta de calentamiento.
F-2	Filtro prensa para eliminar residuos sólidos
D-1	Decantador (separador de fase orgánica y fase acuosa).
T-1	Tanque de evaporación, con sistema de agitación, vacío y chaqueta de calentamiento.
C-1	Serpentín condensador del vapor producido en el extractor.
C-2	Condensador del solvente evaporado en el tanque de evaporación.
R-1	Refrigerador de agua.
T-2	Tanque de almacenamiento del solvente.
B-1	Bomba de vacío.

Tabla 4. Nomenclatura de corrientes.

S1	Tomates frescos
S2	Tomate molido (picado)
S3	Pulpa de tomate
S4	Agua retirada del tomate molido
S5	Etil acetato
S6	Pulpa y extracto
S7	Vapor saturado a 40 psi
S8	Salida de vapor
S9	Extracto
S10	Residuos sólidos (pulpa después de la extracción)
S11	Fase acuosa
S12	Fase orgánica
S13	Oleoresina disuelta
S14	Solvente de dilución de oleoresina
S15	Vapor de etil acetato y agua
S16	Mezcla etil acetato y agua condensada
S17	Agua de refrigeración a la salida del condensador
S18	Agua de refrigeración a la entrada del condensador
S19	Agua de refrigeración para la chaqueta del tanque de almacenamiento
S20	Agua de refrigeración a la salida de la chaqueta
S21	Mezcla de agua de refrigeración a la salida del condensador y chaqueta del tanque de almacenamiento
S22	Agua de refrigeración a la salida del refrigerador
S23	Aceite térmico para calentamiento en el tanque de evaporación

CONCLUSIONES

- El método de extracción con solventes, por etapas, de licopeno de tomate fresco (pulpa) es muy eficaz y requiere condiciones de operación menos exigentes que la extracción con soxhlet, en cuanto a la cantidad de energía y solvente, así como al tiempo de extracción. La extracción con soxhlet exige el uso de tomate seco, mientras que la extracción por etapas funciona eficientemente con tomate hidratado (pulpa)
- El arrastre con vapor no es adecuado para la extracción del licopeno, puesto que este carotenoide es insoluble en agua y presenta un alto peso molecular, de modo que el extracto obtenido es completamente incoloro.

- El proceso de deshidratación del tomate, así como la reducción de tamaño, favorecen la extracción Soxhlet, los tamaños de partícula pequeños permiten una mayor área de contacto con el solvente.
- La extracción de licopeno de tomate chonto se optimiza operando bajo las siguientes condiciones:
 - Solvente: etil acetato.
 - Temperatura: 50 °C.
 - Relación masa de pulpa de tomate a volumen de solvente: 1/4.
 - Tiempo de extracción: 3 horas.
 - Número de etapas: 1.
- La extracción de licopeno requiere condiciones especiales de temperatura, aislamiento de la luz, e inmediatez en el análisis, tanto durante las etapas del proceso como para su almacenamiento; condiciones que deben tenerse en cuenta en el escalamiento del proceso de extracción, de manera que pueda asegurarse un buen rendimiento del carotenoide extraído con respecto a la muestra inicial. Las pérdidas durante el procesamiento del tomate para la extracción del licopeno no pueden evitarse, ya que durante el procesamiento y almacenamiento de alimentos ocurren alteraciones o pérdidas por la remoción física (lavado, transferencia de un solvente a otro), isomerización geométrica (cis- trans) y oxidación enzimática.
- La variación en las cantidades de licopeno obtenidas para las mismas condiciones, se deben en primera instancia, a la variación en el contenido de este carotenoide en el fruto. El estado de maduración es uno de los factores más decisivos en la composición de los carotenoides; pues estos aumentan en número y cantidad con la maduración, las temperaturas elevadas y la larga exposición a la luz del sol; contiene mayores niveles de carotenoides la piel que la pulpa.
- El diseño de la planta piloto se desarrolló para la obtención de oleorresina en un promedio de 0.3 g por cada 50g de pulpa, porque en la etapa de evaporación no puede eliminarse la totalidad del solvente ya que representaría grandes pérdidas del licopeno extraído por adición a las paredes del tanque.
- El proceso de obtención de la oleorresina de tomate chonto de la variedad *Lycopersicum escul-*

lentum con alto contenido de licopeno, consta de las siguientes etapas:

- 1) Pretratamiento de la muestra vegetal.
- 2) Extracción con solvente (tanque agitado a 50 °C).
- 3) Recolección del extracto.
- 4) Eliminación de agua por decantación.
- 5) Eliminación del solvente por evaporación con vacío a 40 °C.
- 6) Obtención de la oleorresina.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Stahl W, Sies H. Lycopene: a biologically important carotenoid for human? Arch. Biochem. Biophys 1996;(336):1-9.
2. Shi J, Le Maguer M. Lycopene in tomatoes: the chemical and physical properties affected by food processing. Crit. Rev. Food Sci Nutr 2000;(40):1-42.
3. Calvo C. Colorantes funcionales. Alimentación, equipos y tecnología 2003 Junio; 22(180):87-92.
4. Torres AM, Rojas LF, Mazo JC, Sampedro C, Restrepo S, Atehortúa. L, et al. Estudio de medios de cultivo para la síntesis de Licopeno a partir de *Clavibacter michiganensis* sub. *Michiganensis*. Vitae 2003;10(2):37-45.
5. Licopeno. [Citado Abril de 2005]. Disponible en URL: <http://www.encyclopedia.wikipedia.com>.
6. Nguyen ML, Schwartz SJ. Lycopene: Chemical and biological properties. Food Technology 1999 Feb;53(2):38-45.
7. Licopeno. [Citado Abril de 2005]. Disponible en URL: <http://encyclopedia.us.es/index.php/licopeno>.
8. Licopeno. [Citado Abril de 2005]. Disponible en URL: <http://www.cci.org.co>
9. Extracción de aceites esenciales. [Citado Octubre de 2005]. Disponible en URL: <http://www.flissbis.com/aroam/extracción.html>.
10. Fernández DP, Fernández R. Fluidos supercríticos. Ciencia Hoy 1997;8(43):36-45.
11. Guash L. CSIC AGRO017- Supercritical fluid extraction and selective fractionation of lycopene and other carotenoids from natural sources. Oficina de patentes Venezolanas 200201310.2002 Junio 6.
12. Ausich, RL, Sanders DJ, inventores. Kemin Foods, L.C., Assignee. Process for the isolation and purification of lycopene crystals. Oficina de Patentes Europeas. 1999 Enero 12.
13. Giori A, inventor. Process for the preparation of tomato extracts with high content in lycopene. Patente de los EE.UU. USP 20050153038; 2005 Julio 14.
14. Zelkha M, Sedlov T, inventores. Lycored Natural Products Industries Ltd., Assignee. Carotenoid extraction process. Patente de los EE.UU. USP 6797303. 2004 Septiembre 28.
15. Rodriguez DB. A guide to carotenoid analysis in foods. Washington DC: ILSI press; 2001.
16. Rodriguez DB, Kimura M. Harvestplus handbook for carotenoid analysis. Washington DC: Harvestplus; 2004.
17. Institute of Medicine. Food and Nutrition Board. Committee on Food Chemicals Codex. Lycopene. [Monografía en Internet] 2005. [Citado febrero 2006]. Disponible en URL: www.iom.edu/file.aspx?ID=26488.
18. Cardona EM. Extracción del carotenoide licopeno del tomate chonto [Tesis]. Medellín: Universidad de Antioquia; 2006.