

Diseño de una planta industrial para la obtención de ácido carmínico

Salvador Vázquez Zárate¹, Crisanto Tenopala Hernández², Ma. Elizabeth Montiel Huerta³, Kathy Laura Vargas Matamoros⁴ y Alejandra Torres Lopez⁵

Maestría en Ingeniería Administrativa
Instituto Tecnológico de Apizaco
Apizaco, Tlax.; México

[vazo64, posgradovargas, tesistamia.ale]@hotmail.com, cristenopala@gmail.com, mmontiel@itapizaco.edu.mx

Abstract— The present work shows design results of a Carminic Acid plant. The plant will be installed in Ixtacuixtla's industrial zone in Tlaxcala, all process equipment will be constructed in 316 stainless steel, sanitary grade. The plant will have a 9.75 tons. capacity per year and 37 kg of Carmine per day. The initial total investment of plant was calculated using Peters and Timmerhaus method, are estimated at MXN \$ 15,823,369.00 Mexican pesos. The product quality complies international market requirements. All of this with the purpose to offering an alternative development to Tlaxcala residents.

Keyword— *Plant Design, Carminic Acid, Carmine, Colorant, Cochineal.*

Resumen— Este trabajo presenta los resultados del diseño de una planta para producir Ácido Carmínico a partir de la Grana Cochinilla. La planta se instalará en el corredor industrial de Ixtacuixtla en el estado de Tlaxcala, todos los equipos de proceso se construirán de acero inoxidable 316 grado sanitario. La planta tendrá una capacidad de 9.75 toneladas anuales y 37 Kg. de Carmín por día. La inversión inicial total de la planta se calculó usando el método de Peters y Timmerhaus y se estima en MXN\$15,823,369.00 pesos mexicanos. La calidad del producto está dentro de los requisitos exigidos por el mercado internacional. Todo lo anterior con el propósito de ofrecer una alternativa de desarrollo a los pobladores del estado de Tlaxcala.

Palabras claves— *Diseño de planta, Ácido Carmínico, Carmín, Colorante, Grana Cochinilla.*

I. INTRODUCCIÓN

El ácido carmínico producido por un parasito de los géneros del nopal *Opuntia* y *Nopalea*, es utilizado en la industria de alimentos y bebidas, cosméticos, medicinas y textiles. Dicho ácido ha vuelto del desuso a causa de los efectos negativos en la salud causados por los colorantes artificiales. El artículo trata el proyecto del diseño de una planta de industrialización de la grana cochinilla para la extracción de carmín, esto con el objetivo de coadyuvar a detonar el desarrollo económico de la región.

II. MATERIA PRIMA

La materia prima para la producción del carmín es la cochinilla. Es un insecto hemíptero del género "*Dactylopius Coccus Costa*", que se alimenta del clorénquima de algunas especies del género *Opuntia* y *Nopalea* (Cactaceae), que tiene como hábitat preferido la estepa subtropical y cuyas características principales son:

- Temperatura 14 a 27C
- Humedad relativa 55 a 85 %
- Precipitación pluvial 400 a 800 mm/año (semiárido)
- Altitud 800 a 2 600 msnm
- Velocidad del viento 3 m/s

La cochinilla se hospeda en la planta *Opuntia Ficus Indica*, conocida con el nombre de Tuna, y se desarrolla parasitariamente en las pencas de este cactus por el lado no expuesto al sol. El insecto hembra que se encuentra en estado de gravidez tiene dentro de sus celdas lipoides el colorante orgánico denominado Ácido Carmínico y en estado vivo tiene generalmente un contenido de 10% de dicho ácido. Luego de un secado apropiado, las condiciones para su utilización como lo menciona Erazo R. [3] deben estar comprendidas dentro de los siguientes rangos:

- Ácido carmínico 9 a 20%
- Grasas 6 a 8%
- Ceras 0.5 a 2%
- Agua 10 a 20 %
- Sustancias Minerales 15 a 30 %
- Sustancias Nitrogenadas 15 a 30 %
- Solubilidad En cualquier % de mezcla de Alcohol y agua

Es importante comentar que en México después de un largo tiempo está de regreso la producción de la grana cochinilla con lo cual se cuenta con aproximadamente treinta pequeños productores de grana en el país, cada uno de ellos realizando su producción por medio de invernaderos, y con lo cual su potencial de nivel de producción oscila entre 1 y 4 toneladas anuales, para dar un total que se encuentra alrededor de las 80 toneladas anuales en todo el país, según datos mencionados por FONAES en el 2012 [4].

III. EL ÁCIDO CARMÍNICO

Se emplea para dar color a: alimentos cárnicos, embutidos, salsas, bebidas alcohólicas, lácteos, postres de gelatina, yogures, caramelos, cerezas, chicles, confites; cosméticos, dentífricos, fármacos, etc. Tal como nos dice Gibaja S. [5].

Se comercializa en las presentaciones siguientes (denominadas carmines):

- Carmín de cochinilla (SIN 120, 40-60% de ácido carmínico, no hidrosoluble)
- Ácido Carmínico (90 a 95% de ácido carmínico, hidrosoluble)
- Carmín glicero-amoniacal
- Ácido carmínico estable a los ácidos de frutas.
- Soluciones de ácido carmínico
- Lacas de carmín

IV. ASPECTOS DEL MERCADO

Las industrias demandantes de carmín de cochinilla compran esta materia prima en el mercado internacional. Están distribuidas en todo el mundo y se clasifican por el volumen de su demanda en: Alimenticia con 75%, Cosméticos 15%, Farmacéutica y textil con 10%

Japón, Panamá, México, Irán y Argentina son por orden de importancia los mayores importadores de grana peruana. Perú es el mayor exportador latinoamericano de carmín de cochinilla, siendo el único país de América tropical con cifras significativas de exportación. Los principales países importadores de carmín peruano son Dinamarca, Brasil, España, China, Estados Unidos, Rusia, Alemania, Reino Unido, y México entre otros, todos en orden de importancia como nos dice Koo W. [6].

En el caso de México la balanza comercial esta desequilibrada como se observa en las figuras 1 y 2, es decir existe una gran demanda puesto que las importaciones superan a las exportaciones, tanto en el caso de la grana cochinilla (materia prima) como en el del ácido carmínico.

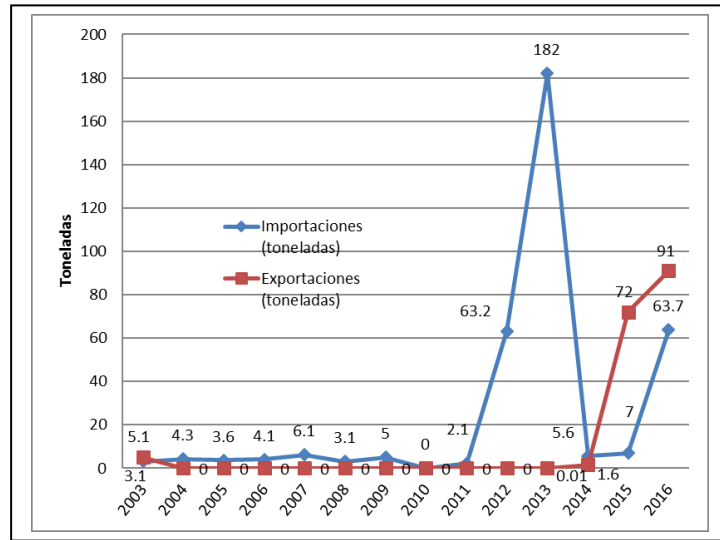


Fig. 1. Importaciones y Exportaciones de Grana Cochinilla en México, fuente SIAVI 2017.

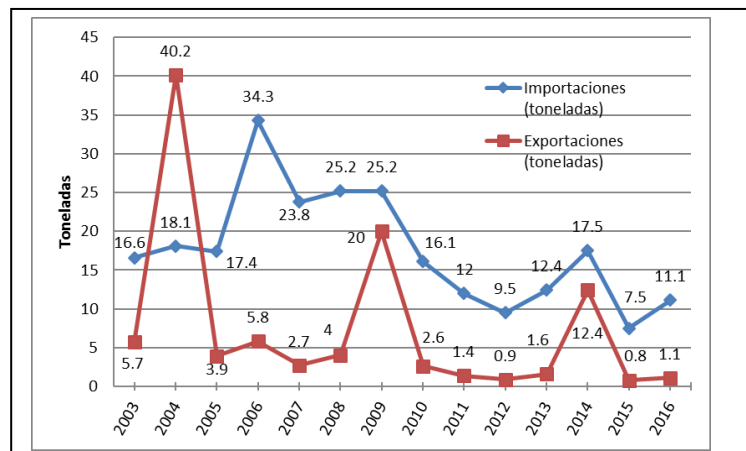


Fig. 2.. Importaciones y Exportaciones de Ácido carmínico en México, fuente SIAVI 2017.

En cuanto al precio para el carmín el tipo de precio aplicable es el internacional, el cual es el que se usa para artículos de importación-exportación. Normalmente esta cotizado en dólares estadounidenses y FOB (libre a bordo) en el país de origen, en la figura 3 se observa la variación irregular en el precio a lo largo del tiempo, lo cual es un factor importante a tomar en cuenta al realizar la evaluación del riesgo inherente en el negocio.

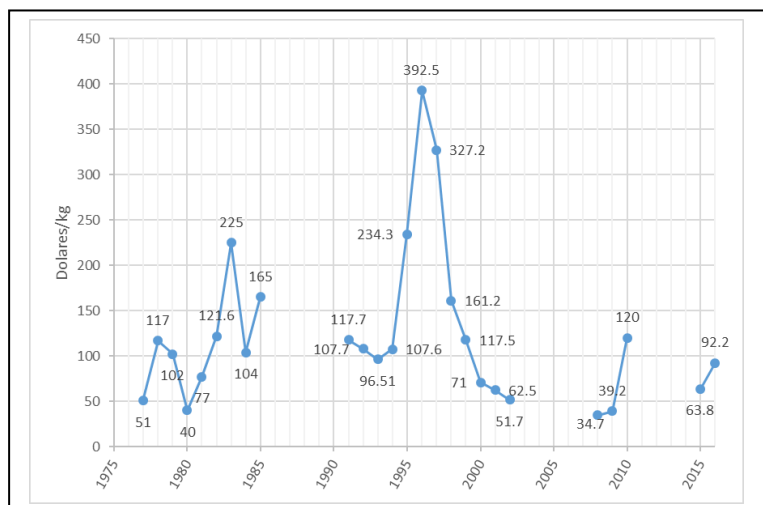


Fig. 3. Precios históricos del carmín (Fuentes: Barahona S. T. 2011, SIAVI 2012 y Koo W. 2016).

V. TAMAÑO DE PLANTA

Para determinarla se consideraron los factores siguientes: mercado, costos unitarios y capacidad de abastecimiento de insumos.

El experto Liberato Portillo Martínez, estima que en México “se deben estar produciendo entre 40 y 60 toneladas al año” (Rizo E. 2014) por lo que en el 2016 la cifra de grana producida debe de ser conservadoramente de unas 100 toneladas debido al “boom” de productores, con esta cifra y considerando el rendimiento del carmín de 240 kg de grana para obtener 93 kg de carmín (Pérez M. 2014) y con los datos del SIAVI del 2016 tenemos:

Calculo de la demanda en el 2016

$$\text{Demanda de Grana} = \text{Grana producción nacional} + \text{importaciones} - \text{importaciones}$$

Por lo tanto

$$\text{Demanda de grana} = 100 + 63.7 - 91 = 72 \text{ toneladas de grana cochinilla}$$

Tenemos 72 toneladas de grana cochinilla lo que equivale a 38.76 toneladas de carmín producido

De igual manera

$$\text{Demanda de Carmín} = \text{Carmín producción nacional} + \text{importaciones} - \text{importaciones}$$

$$\text{Demanda Carmín} = 38.76 + 11.1 - 1.1 = 48.76 \text{ Toneladas de Carmín}$$

Para proyectar la demanda consideramos la tendencia del crecimiento de la industria de alimentos y bebidas que es la principal industria demandante, para hacer proyecciones hasta a cinco años el crecimiento promedio de los sectores que demandan carmín sería de 2.8% anual.

Partiendo de lo anterior se estableció la capacidad de planta. El tamaño de planta propuesta, tomando el carmín como referencia principal, estará dirigido a ocupar el 20% del total del 2016, dando una capacidad de 9.75 toneladas anuales y 37 Kg. de carmín / día.

VI. LOCALIZACION DE PLANTA

Se tomaron en consideración la disponibilidad de materia prima, insumos, energía, agua, mano de obra calificada, transporte y costo de terreno.

En primer lugar, se aplicó el método de centro de gravedad utilizando las localizaciones de los productores de grana cochinilla registrados en el 2012 en el informe de actividades del FONAES, limitando solo a los productores localizados en la zona centro del país (figura 4), el resultado al aplicar el método (tabla I) fue una localización en la zona poniente del estado de Tlaxcala.

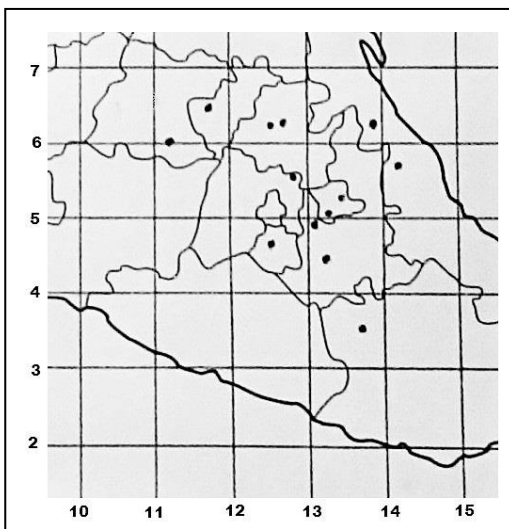


Fig. 4. Coordenadas de productores de grana cochinilla

Tabla I. Método de centro de gravedad .

	Productor	Coordenadas		Producción	dix*Pi	diy*Pi
		dix	diy	Pi (tons)		
1	Guanajuato	11.2	6.0	3.2	35.84	19.20
2	Hidalgo	12.5	6.3	3.4	42.50	21.42
3	Hidalgo	12.7	6.2	3.4	43.18	21.08
4	México, Nopaltepec	12.8	5.6	3.2	40.96	17.92
5	Morelos, Emiliano Zapata	12.5	4.7	4.0	50.00	18.80
6	Oaxaca, Villa de Segura y Luna	13.8	3.5	4.0	55.20	14.00
7	Puebla, Sta. María Zacatepec	13.1	4.9	1.0	13.10	4.90
8	Puebla, Atlixco	13.2	4.5	1.0	13.20	4.50
9	Querétaro, Mpio. del Márquez	11.8	6.5	4.0	47.20	26.00
10	Tlaxcala, Terrenate	13.2	5.1	3.2	42.24	16.32
11	Tlaxcala, Tepeyanco	13.4	5.3	2.9	38.86	15.37
12	Veracruz, Coacoatzintla	13.9	6.2	2.9	40.31	17.98
13	Veracruz	14.2	5.7	2.9	41.18	16.53
Totales				39.1	503.77	214.02

Posteriormente se aplicó el método de factores ponderados considerando las zonas industriales en el estado, considerando las ponderaciones de la tabla II para los factores y pesos siguientes:

- Factor 1.- Cercanía a la fuente de materia prima (cochinilla), 9.94%.
- Factor 2.- Cercanía a proveedores de otros insumos, 8.77%.
- Factor 3.- Disponibilidad de mano de obra calificada, 9.94%.
- Factor 4.- Cercanía a algún punto de embarque (exportación marítima), 12.87%.
- Factor 5.- Disponibilidad de servicios básicos (gas, luz, agua), 12.87%.
- Factor 6.- Posibilidad de expansión en la capacidad instalada, 7.60%.
- Factor 7.-Costos promedios de terrenos en m², 9.94%.
- Factor 8.- Condiciones sociales y culturales, 8.77%.
- Factor 9.- Aspectos ambientales, 9.36%.
- Factor 10.- Condiciones legales y políticas, 9.94%.

Tabla II. Ponderaciones de los factores.

Puntaje	Descripción
10	Excelente
8	Muy bueno
6	Bueno
4	Regular
2	Deficiente

Tabla III. Evaluación de las alternativas para la localización.

	Factores	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	100
		Peso	9.94	8.77	9.94	12.87	12.87	7.60	9.94	8.77	9.36	
CIX I Tetla	Puntos	6	8	8	10	8	4	4	6	6	8	
	Ponderación	0.60	0.70	0.80	1.29	1.03	0.30	0.40	0.53	0.56	0.80	6.99
CIX II Huamantla	Puntos	2	10	6	10	8	4	2	6	4	10	
	Ponderación	0.20	0.88	0.60	1.29	1.03	0.30	0.20	0.53	0.37	0.99	6.39
CIX III Tlaxco	Puntos	6	6	10	8	4	6	6	4	8	8	
	Ponderación	0.60	0.53	0.99	1.03	0.51	0.46	0.60	0.35	0.75	0.80	6.61
Corredor Apizaco-Xalostoc	Puntos	4	10	8	10	6	4	10	8	4	6	
	Ponderación	0.40	0.88	0.80	1.29	0.77	0.30	0.99	0.70	0.37	0.60	7.10
Corredor Malinche	Puntos	6	8	8	8	8	6	4	6	6	6	
	Ponderación	0.60	0.70	0.80	1.03	1.03	0.46	0.40	0.53	0.56	0.60	6.69
Corredor Panzacola	Puntos	6	8	6	8	8	4	8	6	6	6	
	Ponderación	0.60	0.70	0.60	1.03	1.03	0.30	0.80	0.53	0.56	0.60	6.74
Parque Industrial Calpulalpan	Puntos	10	4	6	10	10	8	6	4	8	4	
	Ponderación	0.99	0.35	0.60	1.29	1.29	0.61	0.60	0.35	0.75	0.40	7.22
Parque Industrial Ixtacuixtla	Puntos	8	8	10	8	10	6	8	6	6	4	
	Ponderación	0.80	0.70	0.99	1.03	1.29	0.46	0.80	0.53	0.56	0.40	7.54
Parque Industrial Xiloxostla	Puntos	6	10	8	6	6	4	2	4	6	4	
	Ponderación	0.60	0.88	0.80	0.77	0.77	0.30	0.20	0.35	0.56	0.40	5.63

Como resultado se determinó el corredor industrial de Ixtacuixtla en el estado de Tlaxcala como el punto de ubicación para la planta de procesamiento (tabla III).

VII. ASPECTOS TECNOLÓGICOS

En la Figura 5 se muestra el diagrama de flujo para la fabricación de carmín, obtenido por un procedimiento de síntesis y análisis. Se obtiene un rendimiento de 35.6% con contenidos de 60 a 64% de ácido carmínico. Para obtener el carmín se necesitan los siguientes insumos: cochinilla, carbonato de sodio, agua des ionizada, sulfato doble de potasio y aluminio, carbonato de calcio y ácido cítrico. Las operaciones unitarias de extracción, precipitación, centrifugación y secado son realizadas en tanques de acero inoxidable 316 y con agua des ionizada. El diseño y especificaciones técnicas de los equipos para estas operaciones se realizaron conforme a los principios de la Ingeniería Química. El proceso para la obtención del carmín en polvo posee las características generales siguientes: Versatilidad, elasticidad y simplicidad. Lo que permite una baja incidencia de mano de obra directa, facilidad de mantenimiento y un bajo índice de contaminación.

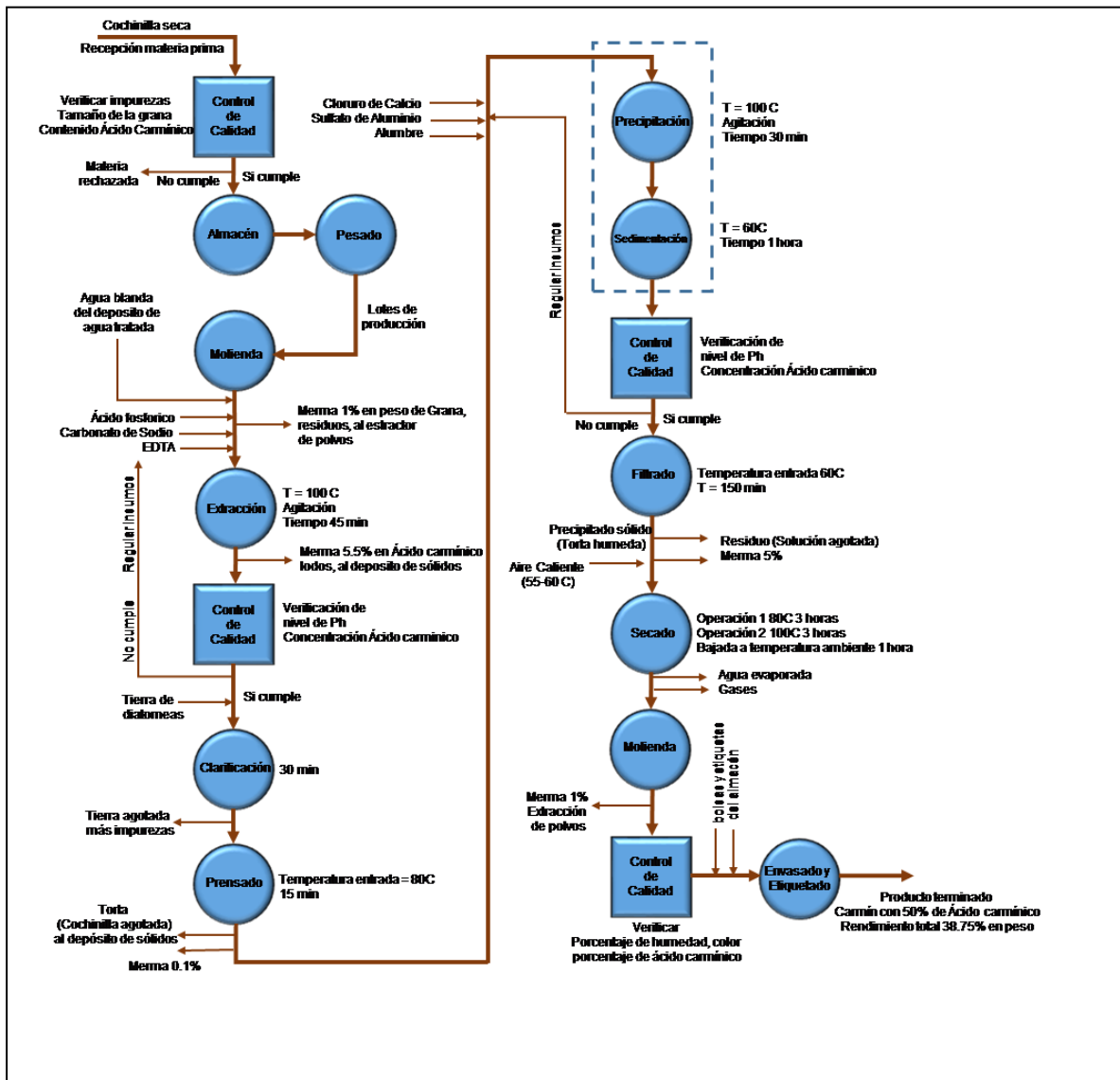


Fig. 5. Diagrama de Operaciones del proceso (basado en Pérez M. A. 2014).

El tanque extractor y el tanque precipitador deben ser cónicos, provistos de chaquetas de vapor, con agitadores de hélice y motorreductores verticales, todo en acero inoxidable 316, de 1/16" de espesor.

Los motorreductores deben ser de 0,5 HP con velocidad de salida de 400 a 500 rpm y con agitadores de 3/4" a 1" de diámetro y con hélices de Acero inoxidable 316. El filtro prensa debe tener capacidad para procesar 1000 L de solución en 60 minutos y su construcción será en acero inoxidable.

VIII. DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE PLANTA

Para la distribución de la planta se utilizó la metodología SLP (Systematic Layout Planning), mediante la obtención de un diagrama de relación de actividades, una hoja de trabajo de relación de actividades y un diagrama adimensional de bloques como lo sugieren Meyers F. E. y Stephens M. P [7], los detalles de dicho procedimiento están disponibles en el contenido de este proyecto, dicho procedimiento nos condujo al LayOut de la planta de la figura 6.

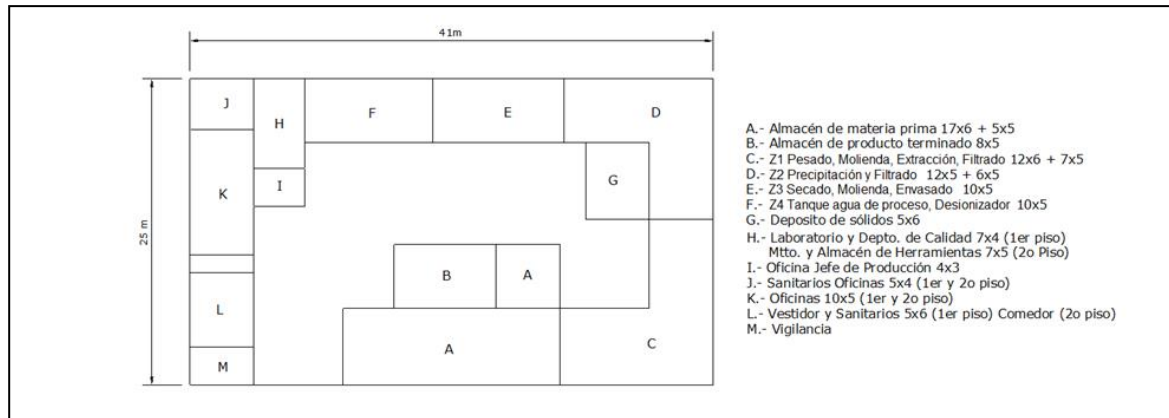


Fig. 6. LayOut de la planta de proceso (basado en Pérez M. A. 2014).

En la figura 7 se presentan los equipos y líneas de proceso para la fabricación de carmín.

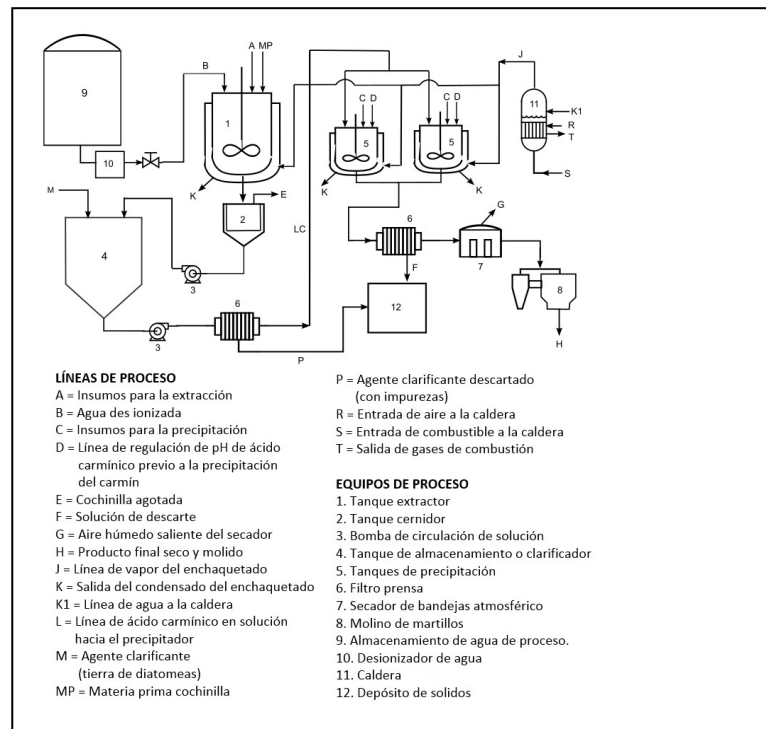


Fig. 7. Diagrama del proceso (basado en Erazo R.)

IX. ASPECTO ECONÓMICO

Los cálculos económicos fueron realizados siguiendo el procedimiento de estimación de costos para plantas químicas sugerido por Walas S. [13] y el Índice de Costos de Plantas del Chemical Engineering (CEPIC) [2]. En el estimado de la inversión se consideran los costos de activos fijos, costos de inversión indirecta y los costos de capital de trabajo, obtenidos como lo recomiendan Peters M.S., y Timmerhaus K. D. [9], lo que asciende a un total de MXN\$15,823,369.00 pesos mexicanos de inversión inicial.

X. IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental generado por la industria de procesamiento de carmín es mínimo ya que se han considerado las normas de prevención y control para procesos químicos y alimentarios.

Las pérdidas de ácido carmínico, en los efluentes líquidos residuales, no tienen efecto sobre el medio ambiente pues son biodegradables.

Los gases de combustión generados en el secador de bandeja utilizado en el secado del producto húmedo, se ventean a la atmósfera de acuerdo a las normas de control ambiental de emisión de gases contaminantes.

REFERENCIAS

- [1] Barahona S. T., “Exportación de Cochinilla deshidratada producida en Ecuador hacia el mercado francés”, Trabajo de Titulación para optar al título de Licenciatura en Marketing, Universidad de las Américas, Facultad de Ciencias Económicas y Administrativas, Ecuador. (2011)
- [2] CEPIC Chemical Engineering Plant Cost Index, “Equipment Index”, Chemical Engineering Plant Cost Index, U.S.A., (2014)
- [3] Erazo R., “Diseño de una planta de Carmín y Annato”, Revista Perú Ingeniería Química Volumen 3, No. 1 Págs. 48-56, Perú, (2001)
- [4] FONAES Fondo Nacional de Apoyos para Empresas en Solidaridad, “Padrón de beneficiarios Cuarto trimestre 2012”, México (2012)
- [5] Gibaja S. “Pigmentos Naturales Quinónicos”, Fondo Editorial UNMSM, Perú, (1998).
- [6] Koo W, “Cochinilla Carmín Exportación 2016”, Agrodata Perú, Perú, (2016). Disponible: <http://www.agrodataperu.com/2016/11/cochinilla-carmin-peru-exportacion-2016-octubre.html>
- [7] Meyers F. E., Stephens M. P., “Diseño de Instalaciones de Manufactura y Manejo de Materiales”, Tercera Edición, Pearson Prentice Hall, México (2005)
- [8] Pérez M. A. “Estudio técnico para la implementación de una planta procesadora de cochinilla para la obtención del carmín”, Tesis Ingeniería Industrial, Pontificia Universidad Católica de Perú, Lima Perú, (2014).
- [9] Peters M.S., y Timmerhaus K. D., “Plant Design and Economics for Chemical Engineers”, Fourth Edition. Ed. Mc Graw - Hill Inc. N.Y., U.S.A. (1991).
- [10] Rizo E., “Grana cochinilla algo más que un insecto”, Revista digital tierra fértil, México, (2014). Disponible: <http://www.tierrafertil.com.mx/grana-cochinilla-algo-mas-que-un-insecto-2/>
- [11] Secretaría de Economía, Sistema de Información Comercial Vía Internet, SIAVI, México, (2016)
- [12] TRADEMAP, Estadísticas del comercio para el desarrollo internacional de las empresas, TRADEMAP (2016)
- [13] Walas S., “Chemical Process Equipment Selection and Design”, Reed Publishing Inc., U.S.A. (1990)