

DISEÑO DE UNA PLANTA DE PRODUCCIÓN DE CARMÍN Y ANNATO

Raymundo Erazo E.^(*) y M. J. Caso H.

Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Química e Ingeniería Química
Departamento de Análisis y Diseño de Procesos
Av. Venezuela s/n – Lima Perú

Abstract: In this work we present the design of a plant to produce Carmine and Annatto from Cochineal and annatto tree, respectively. The plant will be installed in Lima and all the equipments of the process will be built from stainless steel 316 with sanitary finishing. We estimate an inversion of US\$ 351 650 to produce 12,7 Kg of Carmine and 15,5 Kg of Annatto per day. The quality of the products are among the required standards by the international market. The rentability of the process is 20,45% for Carmine and 36,90% for Annatto and a payment time of 2,11 years.

Key words: Plant design, Carmine, Annatto.

Resumen: En este trabajo se presenta el diseño de una planta para producir Carmín y Annato a partir de la Cochinilla y el Achiote, respectivamente. La planta se instalará en Lima y todos los equipos de proceso se construirán de acero inoxidable 316 con acabado sanitario. Se estima una inversión de US\$ 351 650 dólares americanos para una planta con rendimientos de 12,7 Kg. de Carmín y 15,5 Kg. de Annato por día. La calidad de los productos están dentro de los requisitos exigidos por el mercado internacional. La rentabilidad del proceso es 20,45% para Carmín y 36,90% para Annato y el tiempo de retorno de la inversión es de 2,11 años.

Palabras clave: Diseño de planta, Carmín, Annato.

INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el Perú se ha desarrollado una importante actividad económica relacionado a la producción de colorantes naturales y su empleo en las industrias alimentaria y farmacéutica, constituyéndose en una actividad importante de captación de divisas. Sin embargo, su aplicación en el rubro alimentario es aún incipiente, no obstante el haberse comprobado la toxicidad de los colorantes sintéticos. Un factor importante para el crecimiento de esta actividad industrial en el País, es su condición de productor de cochinilla y achiote que actualmente representan más del 60% de la producción mundial.

Las ventas, principalmente en el mercado externo, en los últimos años como materia prima (cochinilla y achiote) mantuvieron una tendencia creciente y como extractos primarios (Carmín y Annato) no recuperan las exportaciones de los años 1994 y 1995.

Debido a la tendencia mundial actual de retorno al uso de productos de origen natural, las exigencias de una explotación racional de los recursos naturales y su industrialización con

tecnologías más limpias, se constituye en un reto para el industrial nacional desarrollar alternativas apropiadas, tecnológica y económica y ambientalmente viables, a fin de competir en el mercado externo. En este sentido, el objetivo de este trabajo es proporcionar el diseño de una planta de producción de Carmín y Annato.

MATERIA PRIMA

La cochinilla

La materia prima para la producción del carmín es la cochinilla. Es un insecto hemíptero del género "**Dactylopius Coccus Costa**", que tiene como hábitat preferido la estepa subtropical cuyas características se dan en la **Tabla 1**.

Tabla 1. Características principales de medio ambiente para cochinilla.

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

(*) E-mail : d160025@unmsm.edu.pe

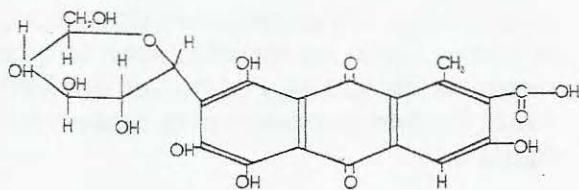
La cochinilla se hospeda en la planta **Opuntia Ficus Indica**, conocida con el nombre de Tuna, y se desarrolla parasitariamente en las pencas de este cactus por el lado no expuesto al sol. El insecto hembra que se encuentra en estado de gravidez tiene dentro de sus celdas lipoides el colorante orgánico 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 deben estar comprendidas dentro de los rangos dados en la **Tabla 2**.

Tabla 2. Composición y características de cochinilla en base seca.

COMPOSICION Y CARACTERISTICAS	RANGO EN PORCENTAJE, %
Acido carminico	9 a 22
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

El ácido carmínico está ligado covalentemente a proteínas. Sus características principales son: fórmula empírica $C_{22}H_{20}O_{13}$, peso molecular 492,40 y su fórmula estructural se muestra en la **figura 1**:

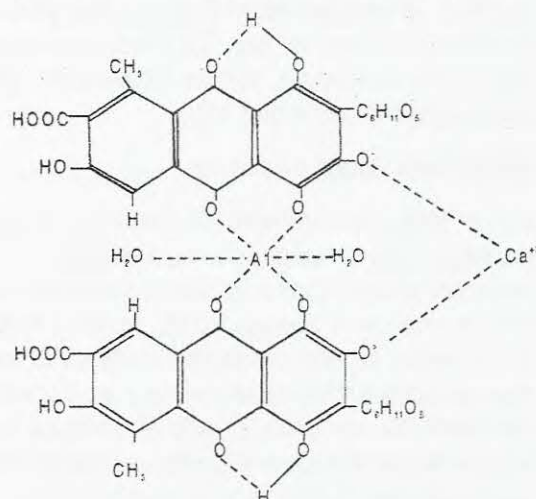
Figura 1. Fórmula estructural del ácido carmínico.



La estructura del ácido carmínico, correctamente descrita es: Acido 7-glucopiranosyl 1-3, 5, 6, 8-tetrahidroxi-1 metil-9, 10-dioxi-2 antracenocarboxílico.

La extracción primaria de colorante de cochinilla conduce al carmín, cuya estructura está formada por el ácido carmínico, calcio y aluminio según como se muestra en la **figura 2**.

Figura 2. Fórmula estructural del carmín.



Es bien conocido que todos los carmínes comerciales contienen cantidades variadas de derivados de proteínas provenientes de la cochinilla misma. En lo que respecta al ácido carmínico (puro) contiene cantidades residuales de componentes nitrogenados orgánicos.

Análisis recientes muestran que carmínes solubles de diferentes tipos contienen proporciones variables de ácido aspártico, ácido glutámico, glicina y lisina, en cantidades que sobrepasan el 50% del total de aminoácidos detectados.

El Perú ha utilizado el carmín a través de toda su historia, las culturas Nazca, Paracas y Chimú usaron el extracto acuoso para teñir lana de Alpaca, Vicuña, etc. Posteriormente en el Imperio de los Incas fue generalizado su empleo en textilera. Durante el coloniaje se exportó cochinilla a España, alcanzando un récord en el año 1607 que llegó a 7 673 arrobas [1].

Se utiliza en la industria alimentaria, en el teñido de productos cárnicos, embutidos, hamburguesas, para colorear conservas de vegetales en general, jaleas, jarabes y mermeladas, caramelos, gomas de mascar, confitería, pastelería, repostería, galletería, helados, queso, yogourts y demás productos lácteos; así como en bebidas refrescantes y alcohólicas. En la industria farmacéutica, se utiliza en el teñido de pastilla, gotas, antibióticos, jarabes, soluciones, suspensiones, cápsulas y gelatinas, etc. También se usa para pastas dentales y pomadas de uso externo. En la industria cosmética, en la preparación de lápices labiales, colorantes, esmaltes, máscaras y cremas faciales, polvos, lociones, jabones finos, etc. Y en otras industrias, en menor grado se emplea

en el teñido de textiles, como indicador químico, tintas para escribir, litografías, pinturas artísticas, imprenta, etc. En medicina se emplea para histología, teñido de células, en la determinación del boro, etc.

El achiote (*bixa orellana*)

Es un arbusto originario de América tropical, muestra una amplia heterogeneidad en sus características botánicas, tales como el tamaño y forma de la planta, hojas, flores y frutos. En América la especie **Bixa Orellana L.** es la que se cultiva comercialmente y es conocido con diversos nombres. Desde el punto de vista industrial, para la obtención del colorante, interesan solamente los frutos (específicamente las semillas). Las características que más influyen por su variabilidad en el rendimiento del número de semillas son las siguientes: color de fruto, espinosidad, forma de cápsula, color de las flores, forma de la copa de árbol. En cuanto al rendimiento de bixina, para seleccionar la de mayor concentración, se recomiendan aquellas plantas que tengan flores de color blanco con frutos de color amarillo. Específicamente en la selva central del Perú se viene recomendando al **ecotipo "Iquitos"**, que además posee una copa de forma hemisférica, que tiene el más alto rendimiento de bixina (mayor de 4%) [2].

Las semillas se encuentran adheridas a la pared interna de la cápsula (fruto) por medio de la placenta, éstas son pequeñas y livianas variando su forma desde la piramidal triangular hasta la redondeada. La cubierta de la semilla contiene un colorante rojo amarillento o anaranjado brillante, que recubre totalmente la semilla, que es la que contiene el pigmento que se explota comercialmente. El colorante principal, presente en las semillas, es la bixina (un carotenoide carboxílico con estructura química similar al caroteno). Por requerimientos técnicos, en las plantas de procesamiento, la humedad de las semillas no debe ser mayor del 9% y la concentración de bixina no menor de 2.5%.

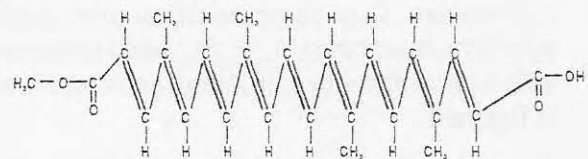
La luz degrada la concentración de bixina por lo que se recomienda un secado con las cápsulas enteras, sin excepción de las semillas, preferentemente a expensas del calor solar por espacio de 2 a 3 días hasta la obtención del porcentaje de humedad deseado. Las condiciones que miden la calidad del grano comercial de semilla de achiote se dan en la **Tabla 3.**

Tabla 3. Calidad del grano comercial de semilla de achiote.

CARACTERÍSTICAS	RANGO
Humedad	8 - 9%
Bixina	mayor de 2,5 %
Impurezas	máximo 1 %
Aspectos	semilla entera de color rojo y olor característico, libre de hongos e insectos

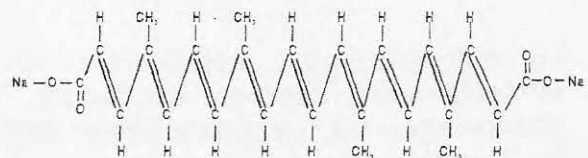
El achiote crece en forma natural en áreas tropicales, subtropicales y cálidas de nuestro país (preferentemente zonas de selva alta) en alturas que llegan hasta los 1 600 m.s.n.m. La recolección del fruto, para extraer el colorante que recubre la semilla, se recomienda hacerlo luego del tercer año de siembra del vegetal. El extracto primario contiene la bixina, un éster monometílico del ácido dicarboxílico norbixin, cuyo peso molecular es 393,96 y su concentración se lee a una longitud de onda de 480 nm. Su fórmula estructural se muestra en la **figura 3:**

Figura 3. Fórmula estructural de la bixina.



Otro componente de este extracto primario es la nor - bixina, una sal disódica o dipotásica de la bixina. Como sal disódica tiene un peso molecular de 423,94 y como sal dipotásica 456,2. Su fórmula estructural se observa en la **figura 4:**

Figura 4. Fórmula estructural de la nor - bixina.



Es importante mencionar, que el precio del colorante se incrementa en relación al contenido de bixina.

El primer investigador en descubrir la bixina fue Bonsingault (1825), posteriormente Herzig y Faltis definen la fórmula compuesta de la bixina como un éster monometílico del ácido tetrametil-octo-deca-nona-ende-carbonilo. En el mercado se encuentra como sigue:

- a) En polvo de semillas con una concentración de colorantes entre 2,4 a 3%.
- b) Formas semiprocesadas de pasta o polvo con concentración de 5 a 50% de colorante, denominado colorante crudo.
- c) Cristales de bixina cuya concentración de colorantes puede llegar hasta 96 %.

El colorante crudo posee las siguientes características físicas y químicas: (polvo seco 5% humedad); color: Rojo – naranja; solubilidad; alcohol, éter, cloroformo, bencina, aceites y soluciones alcalinas. Sensible a la luz, decolorándose con mayor rapidez a la luz directa del sol en exposición de 6 a 8 días. El olor fuerte desaparece por desecación. El agua oxigenada lo decolora lentamente y el hierro lo oxida en condiciones alcalinas.

La bixina es un colorante natural que es usado actualmente como sustituto de algunos colorantes de origen sintético, como la eritrosina y la geranina, por lo que su uso en alimentos es permitido por su comprobada y total inocuidad (ITINTEC, 1988).

Los usos más comunes son: En la industria alimentaria, para coloración de mantequillas y margarinas, en la coloración de quesos y derivados, coloración de aceites, helados y harinas, coloración de galletas, tortas, y panetones; coloración de salchichas, sopas instantáneas, embutidos, bocaditos y chizitos. En la industria cosmética, para colorear esmaltes de uñas, lacas, bronceadores, lápices de labios, etc. En la industria textil, se emplea para teñir fibras naturales como el algodón, lana, seda, lográndose distintas tonalidades. Otras industrias: en coloración de cueros, betunes, cera para pisos, barnices para muebles, jabones, y como colorante para maderas.

ASPECTOS DEL MERCADO

Exportaciones de cochinilla, carmín, achote y annato

A nivel de las exportaciones el Perú, antes de 1990, aportaba con el 70% del carmín y con la quinta parte de la producción mundial de colorantes de origen natural [3].

Entre los años 1990 y 1999 las exportaciones de cochinilla tuvieron un promedio anual de 255 TM/año, teniendo su nivel más alto en el año 1996 con 416 toneladas. Considerando las exportaciones según país de destino, los principales consumidores son: España,

EE.UU., Alemania, Japón, Argentina, Corea del Sur, Italia y otros.

Con respecto a las exportaciones del carmín de cochinilla el Perú exportó entre los años 1990 y 1999, un promedio anual de 73,9 TM/año y tuvo su nivel máximo en el año 1994 con 143 toneladas. Considerando las exportaciones según país de destino, los más importantes consumidores de carmín peruano son: Alemania, Argentina, Irlanda, Brasil, Japón, Dinamarca, EE.UU. y otros.

Referente a los precios podemos mencionar que el precio F.O.B. de exportación, tanto de la cochinilla como del carmín, más alto que se ha registrado fue en el año 1996 con los valores siguientes: Precio promedio cochinilla 76,71 dólares/Kg (FOB), precio promedio carmín: 327,83 dólares/Kg (FOB).

En las **Tablas 4, 5, 6 y 7** se pueden apreciar los volúmenes de exportación de cada uno de estos productos.

Tabla 4. Exportaciones de cochinilla registrada según la partida arancelaria N° 0511991000.

AÑO	COCHINILLA, T.M.	PRECIO FOB (\$/Kg)
1993	177,0	13,27
1994	177,0	15,20
1995	258,0	50,08
1996	416,0	76,74
1997	379,0	69,17
1998	375,6	30,25
1999	380,9	24,24
2000 (Marzo)	82,7	19,01

Fuente: Ministerio de Agricultura– Superintendencia Nacional de Aduanas.

Tabla 5. Exportaciones de carmín registrada según la partida arancelaria N° 3203002100

AÑO	CARMIN, T.M.	PRECIO FOB (\$/Kg)
1993	98,0	69,27
1994	143,0	69,96
1995	92,0	195,43
1996	53,0	327,37
1997	26,5	272,37
1998	35,8	130,18
1999	38,0	108,17
2000 (Marzo)	16,5	71,54

Fuente: Ministerio de Agricultura – Superintendencia Nacional de Aduanas.

Tabla 6. Exportación de achiote registrada según la partida arancelaria N° 1404101000

AÑO	ACHIOTE, T.M.	PRECIO FOB (\$/Kg)
1993	1361,0	993,38
1994	1123,0	2384,68
1995	1499,0	2552,36
1996	1660,6	1424,96
1997	2251,4	869,23
1998	1572,2	629,24
1999	2117,1	525,43
2000 (Marzo)	386,0	550,52

Fuente: Ministerio de Agricultura – Superintendencia Nacional de Aduanas.

Tabla 7. Exportación de colorante crudo de achiote: Annatto Powder según la partida arancelaria N° 3203001910

AÑO	ANNATTO POWDER, T.M.	PRECIO FOB (\$/Kg)
1993	34,0	18,26
1994	117,0	29,20
1995	96,0	54,34
1996	77,7	60,79
1997	82,4	28,05
1998	62,7	22,86
1999	76,9	14,87
2000 (Marzo)	13,0	15,62

Fuente: Ministerio de Agricultura – Oficina de Información Agraria y Superintendencia Nacional de Aduanas.

TAMAÑO DE PLANTA

Se consideran los factores siguientes: mercado, costos unitarios y capacidad de abastecimiento de insumos. En base a los datos de las **tablas 5 y 7** se determina la capacidad de planta. El tamaño de planta propuesta, tomando el carmín como referencia principal, estará dirigido a ocupar el 7,20% del total de las exportaciones estimadas al 2000, dando una capacidad de 12,7 Kg. de carmín / día, así como 15,5 Kg. de annato / día que representa el 5,65% de exportación estimado de annato al 2000.

LOCALIZACION DE PLANTA

Se toman en consideración la disponibilidad de materia prima, insumos, energía y agua, mano de obra, transporte, mercados, efectos sobre el medio ambiente, equipamiento urbano, facilidades de construcción, vulnerabilidad de la

operación normal, efectos del medio ambiente, así como las relaciones económicas, industriales y administrativas del medio. Estos factores son analizados siguiendo un procedimiento ingenieril estándar, y se determina la ciudad de Lima como el punto de ubicación para la planta de procesamiento.

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 [4, 5]. Se obtiene un rendimiento de 25,40% con contenidos de 60 a 64% de ácido carmínico. Para obtener el carmín se necesitan los siguientes insumos: cochinilla, carbonato de sodio, agua desionizada, sulfato doble de potasio y aluminio, carbonato de calcio y ácido cítrico. Las operaciones unitarias de extracción, precipitación, centrifugación y secado son realizados en tanques de acero inoxidable 316 y con agua desionizada. El diseño y especificaciones técnicas de los equipos para estas operaciones se realizaron conforme a los principios de la Ingeniería Química [6, 7, 8]. Los detalles de construcción de equipos y accesorios están disponibles en los planos de este proyecto.

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.

En la **Figura 6** se muestra el diagrama de flujo para la fabricación de annato. En la síntesis y análisis de este proceso se siguió los mismos criterios que los señalados para el proceso de carmín. El rendimiento en annato seco es de 8,37%. Los insumos requeridos son: achiote, ácido sulfúrico, hidróxido de sodio y agua desionizada.

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 ¾" 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.

Figura 5. Diagrama de flujo para la fabricación de carmín a partir de cochinilla

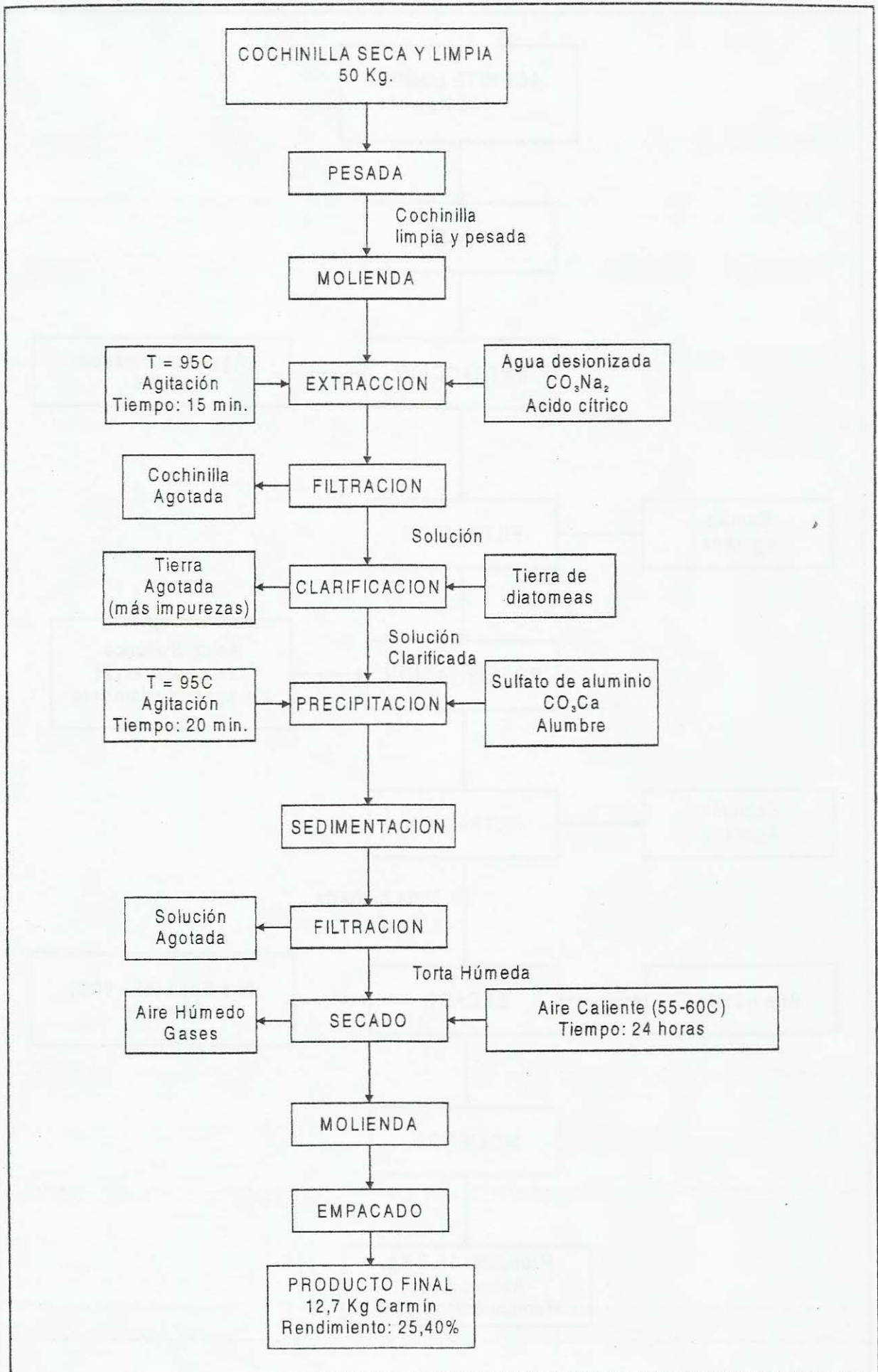
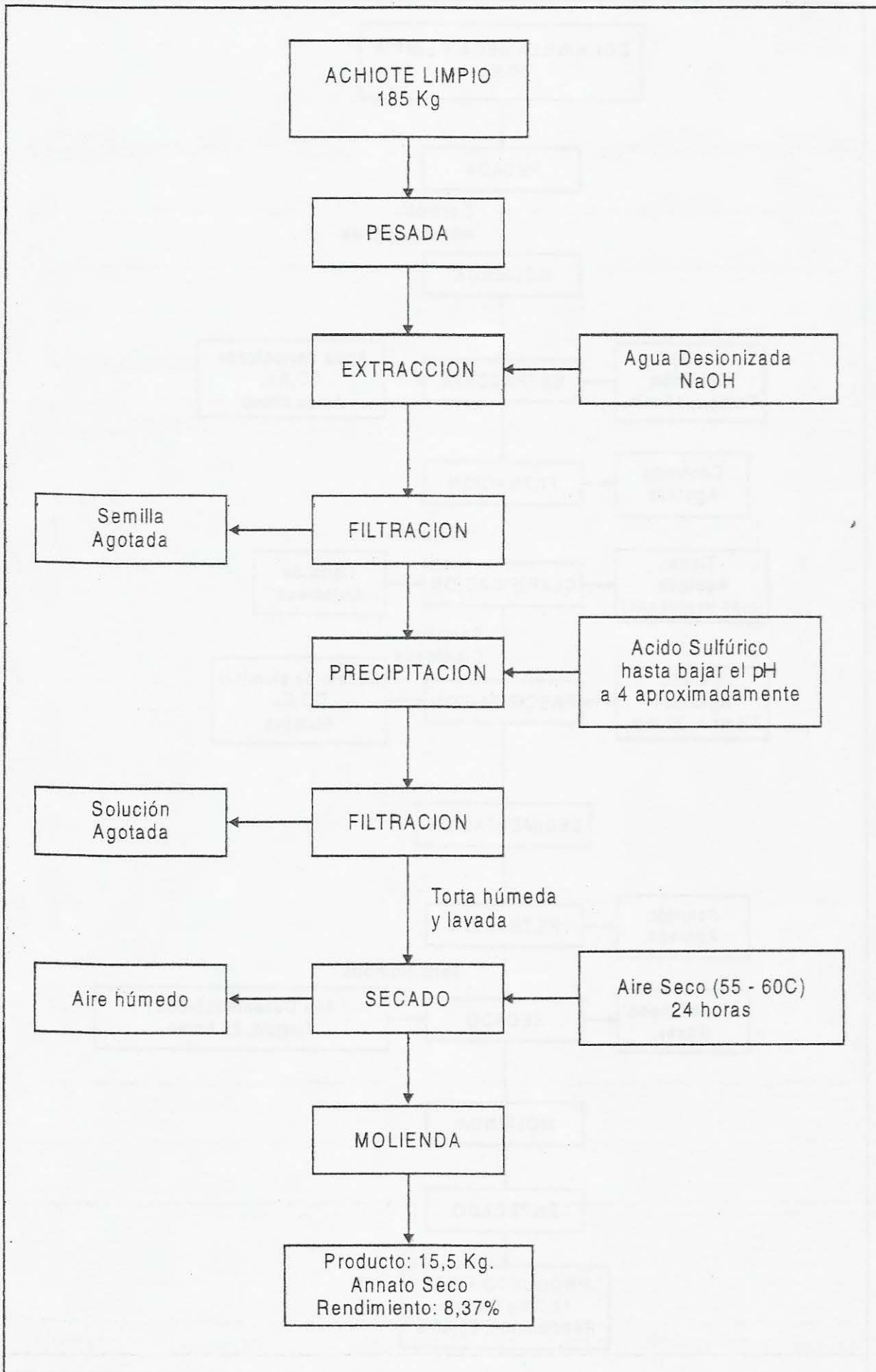


Figura 6. Diagrama de flujo para la fabricación del annato a partir de achiote.



DISTRIBUCION DE EQUIPOS DE PLANTA

En la **figura 7** se presentan los equipos y líneas de proceso para la fabricación de carmín y annato. Solo cuando se desea producir carmín debe seguirse la línea LC que incluye una operación de clarificación.

ASPECTO ECONÓMICO

Los cálculos económicos fueron realizados siguiendo el procedimiento para plantas químicas [9, 10]. En el estimado de inversión se considera tanto costos de activos fijos, costos de capital de trabajo y los costos de inversión indirecta, los que asciende a un total de US\$



Figura 7. Distribución de equipos y líneas de proceso en la fabricación de carmín y annato.

351 650 dólares americanos. La rentabilidad estimada en base al precio de exportación FOB del carmín de 161 \$/Kg y del annato de 20,88 \$/Kg, referidos a Marzo del 2000, es de 20,45% y 36,90% para carmín y annato, respectivamente. El retorno de la inversión se estima en 2,11 años.

IMPACTO AMBIENTAL

El impacto ambiental generado por la industria de procesamiento de carmín y annato es mínimo por cuanto el diseño del proceso se ha desarrollado considerando las normas de prevención y control para procesos químicos y alimentarios [11].

Las pérdidas de ácido carmínico y de norbixina, en los efluentes líquidos residuales los cuales dependen de la técnica extractiva empleada, no tienen efecto sobre el medio ambiente pues son biodegradables.

La tierra de diatomeas, usada como ayuda filtrante en la extracción de ácido carmínico, no puede ser reciclable y pasa a formar parte de los desechos. Estas diatomeas pueden ser secadas, molidas y lavadas (para eliminar rezagos del colorante y otros iones) y darle algún uso como carga o relleno en la industria de los calcáreos.

Los gases de combustión generados en los secadores 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.

CONCLUSIONES

Por su versatilidad esta planta también puede ser usada en la extracción del colorante del palillo y del maíz morado.

El proceso permite la fácil ampliación de la capacidad de producción agregando unidades de extracción o precipitación. Es de fácil mantenimiento y de bajo nivel de contaminación por la facilidad de operación y limpieza de los equipos que se utilizan en el proceso.

Los rendimientos de producto final, carmín y annato, están en función principalmente de la concentración de la materia prima (cochinilla – ácido carmínico y achiote – bixina) y del porcentaje de humedad que éstas presentan.

El carmín obtenido cumple con las propiedades colorimétricas y de concentración de ácido carmínico establecidas por el mercado. Así como el extracto de achiote en polvo, annato, también cumple con las exigencias de calidad requeridas en el mercado internacional.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Foster G. A. *Revista Indoagro*, Revista del Fondo para el desarrollo de proyectos agrarios (FONDE), edición Agosto y Setiembre (1997).
- [2] "El achiote, tendencias y perspectivas" *Boletín de la Asociación Nacional de Colorantes Naturales*, Boletín N° 5 (1991).
- [3] Perú – exporta, Edición Internacional N° 260, Mayo (1998).
- [4] Douglas J. M., *Conceptual Design of Chemical Processes*. Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. (USA) 1998.
- [5] Smith R., *Chemical Process Design*. Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. (USA) 1995.
- [6] Woods D. R., *Process Design and Engineering Practice*. Ed. PTR Prentice Hall N.J. (USA) 1995.
- [7] Baasel W. D., *Preliminary Chemical Engineering Plant Design* Ed. Van Nostrand Reinhold VNR N.Y. (USA) 1990.
- [8] Luyben W. L., *Process modeling, Simulation, and Control for Chemical Engineers*. Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. (USA) 1990.
- [9] Deshotel R. D., y Zimmerman R., *Cost – Effective Risk Assessment for Process Design* Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. (USA) 1995.
- [10] Peters M. S., y Timmerhaus K. D., *Plant Design and Economics for Chemical Engineers* Fourth Edition. Ed. Mc Graw – Hill Inc. N.Y. (USA) 1991.
- [11] Allen D. T., y Rosselot K. S., *Pollution prevention for Chemical Processes*. Ed. John Wiley & Sons Inc. N.Y. (USA) 1997.