

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA QUIMICA Y MANUFACTURERA



**ESTUDIO DE LA INDUSTRIALIZACION DEL PALILLO
(CURCUMA LONGA) PARA LA OBTENCION DE
OLEORRESINA**

T E S I S

Para optar el Título de:

INGENIERO QUIMICO

Presentada por:

**Elizabeth Bautista Dueñas
Teresa Sofía Suzuki Yuzuriha**

**Lima-Perú
1996**

INDICE GENERAL

	PAG
1. INTRODUCCION.	8
2. MATERIA PRIMA : CURCUMA.	
2.1 CLASIFICACION BOTANICA.	11
2.2 MORFOLOGIA GENERAL.	12
2.3 VARIEDADES.	15
2.4 COMPOSICION QUIMICA.	16
2.5 USOS Y APLICACIONES.	17
3. PRODUCTO : OLEORRESINA DE CURCUMA.	
3.1 DEFINICIONES.	21
3.2 OLEORRESINAS DE ESPECIAS.	22
3.3 PROPIEDADES QUIMICAS DEL COMPONENTE ACTIVO: CURCUMINA.	26
3.4 METODOS DE EXTRACCION DE LA OLEORRESINA.	30
3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DE OLEORRESINAS.	33
3.6 FORMAS DE PRESENTACION DE LA OLEORRESINA DE ESPECIAS PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE SUSTANCIAS SAPORIFERAS.	33

	PAG
3.7 APLICACIONES DE LA OLEORRESINA DE CURCUMA	42
4. ESTUDIO DE MERCADO.	
4.1 INTRODUCCION.	43
4.2 MATERIA PRIMA.	44
4.3 PRODUCTO.	47
4.4 CARACTERISTICAS DEL MERCADO.	51
4.5 CONCLUSIONES.	53
5. DETERMINACIONES EXPERIMENTALES	
5.1 METODOLOGIA DE TRABAJO UTILIZADA	55
5.2 DESCRIPCION DEL PROCESO.	56
5.3 OBTENCION DE OLEORRESINA DE CURCUMA A NIVEL LABORATORIO.	
5.3.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO.	65
5.3.2 EFECTO DE PARAMETROS.	68
5.3.3 DISCUSION DE RESULTADOS.	74
5.4 OBTENCION DE OLEORRESINA DE CURCUMA A NIVEL PILOTO.	
5.4.1 EQUIPO EXPERIMENTAL.	82
5.4.2 PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.	84
5.5 RESULTADO DE ANALISIS FISICOQUIMICOS.	89

	PAG
6. DISEÑO DE PLANTA	
6.1 CAPACIDAD INSTALADA PROPUESTA.	90
6.2 LOCALIZACION PROPUESTA.	91
6.3 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO.	94
6.4 BALANCE DE MASA.	98
6.5 DISEÑO DE EQUIPOS.	
6.5.1 MOLINO.	104
6.5.2 TANQUE DE EXTRACCION CON AGITACION.	108
6.5.3 FILTRO.	113
6.5.4 TANQUE DE CONCENTRACION	119
6.5.5 CONDENSADOR	121
6.5.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO	130
6.5.7 TANQUE DE RECEPCION DE SOLVENTE RECUPERADO	131
6.5.8 SERVICIOS.	134
6.5.9 TUBERIAS Y ACCESORIOS.	134
6.5.10 INSTRUMENTACION.	135
6.5.11 CONTROL DE CALIDAD.	136
6.6 INVERSION EN ACTIVO FIJO.	136
6.7 ESTIMACION DEL COSTO DE PRODUCCION.	137

	PAG
7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	
7.1 CONCLUSIONES.	146
7.2 RECOMENDACIONES.	148
8. RESUMEN.	149
9. BIBLIOGRAFIA.	150
10. APENDICE.	155

1. INTRODUCCION

La **cúrcuma**, llamada también **palillo** o **turmeric**, es el rizoma de la familia *Zingiberaceae*, del género cúrcuma cuyo nombre científico es ***Curcuma longa* L.**,. Esta especia es oriunda del Asia y de la India donde se cultiva extensamente, de allí fue introducida al Nuevo Continente.

En el Perú se cultiva en los departamentos de: **Huánuco, San Martín, Amazonas, Junín, Ayacucho y Cusco**. Debido a su olor aromático semejante al del jengibre y su sabor ardiente ligeramente amargo se utiliza como condimento de alimentos.

Tiene una gran aplicación en la industria alimentaria; sobre todo dentro de la formulación de alimentos grasos tales como: aceite, mayonesa, mantequilla, margarina, manteca, queso. También se usa para colorear bebidas, productos de pastelería, mostaza, sopas deshidratadas, productos dietéticos, etc..

Debido al compuesto colorante natural que contiene (**curcumina**) se utilizaba antiguamente como colorante directo para teñido de lana, seda, algodón produciendo **tonos amarillos y anaranjados** que son poco resistentes a la luz y a la acción del jabón.

De la cúrcuma se obtienen los siguientes productos:

- La **cúrcuma en polvo o molida** que se produce a partir de los rizomas secos.
- La **oleorresina de cúrcuma**, sometiendo los rizomas a una extracción por solventes volátiles (éter de petróleo, alcohol etílico, hexano u otros), el producto resultante es un líquido viscoso, de color amarillo oscuro, de aroma semejante a la especia.
- El **extracto líquido de cúrcuma o en polvo y la curcumina**. Estos productos se obtienen por extracción alcalina seguida de una neutralización con ácido precipitando la curcumina que posteriormente es deshidratada o purificada para la obtención del pigmento puro.
- El **aceite aromático** para la industria de los perfumes y cosméticos.

Todos estos productos, tienen gran aceptación en el mercado internacional sobre todo en los últimos tiempos en que se viene descartando el uso de extractos y colorantes obtenidos por síntesis química, debido a que muchos de ellos son considerados agentes cancerígenos, retornando al uso de "extractos naturales" que en pruebas realizadas no presentan esta característica.

La situación actual de las oleorresinas en el mercado es un tanto especial. Es una industria en crecimiento sobre todo porque este extracto natural reproduce las características de la especia molida más completamente que el aceite esencial y a diferencia de éste último, no existen sustitutos sintéticos para aquella, pero debido a su alta concentración y aspecto, las oleorresinas no pueden incorporarse fácilmente en las

mezclas de productos alimenticios por lo que deben ser sometidas a un tratamiento posterior con el fin de obtener especias dispersadas o encapsuladas, tratamiento que no resulta económico para los países productores de la especia.

Para solucionar este problema, se han establecido acuerdos de cooperación entre los países productores de la especia y los consumidores finales quienes son fabricantes especializados de sustancias saporíferas, a fin de que ellos sean quienes dispersen las oleorresinas según la calidad exigida para las formulaciones del exigente mercado consumidor.

El presente estudio se realiza con el fin de obtener la **oleorresina de cúrcuma** que pueda ser exportada y posteriormente transformada por los países consumidores.

2. MATERIA PRIMA : CURCUMA

2.1. CLASIFICACION BOTANICA

La cúrcuma o palillo es una planta oriunda de Asia subtropical, principalmente India y Malaya, de allí su cultivo se ha dispersado por Africa y América en regiones climáticas similares a las del país de origen. En el Perú es cultivada en las vertientes orientales de los Andes peruanos.

Le corresponde la siguiente clasificación botánica según Cronquist y

Takhtajan:

División : **Magnoliofita**
Clase : **Liliopsida**
Subclase : **Liliidae**
Orden : **Zingiberales**
Familia : **Zingiberaceae**
Género : **Curcuma**
Especie : **Curcuma longa L.**
Nombre común : **"Palillo"**

2.2. MORFOLOGIA GENERAL

La cúrcuma o palillo, es el rizoma seco de la *Curcuma longa* L., género de plantas de la familia *Zingiberaceae*, hierbas indígenas de las Indias Orientales, como en Vietnam del Sur, China, India, Indias Orientales y Occidentales.

Según Parodi (32) es una planta herbácea, frecuentemente con producciones rizomatosas y tuberosas, hasta de 1.50 mt de altura, con rizoma grueso cuyas ramificaciones están engrosadas por el extremo en forma tuberosa. Wettstein (44), dice que tienen hojas asimétricas largamente pecioladas, con peciolo envainado; las flores hermafroditas, casi siempre amarillas, forman densas inflorescencias bracteadas. Las bracteas inferiores son verdes y las superiores son estériles y coloreadas. El fruto es una cápsula globosa y trivalva, semillas con arilo. Morante (28) señala que el palillo tiene un escapo central de unos 15 cm. de largo, terminado en espiga de igual longitud, cuyas flores de color amarillo pálido, están envueltas por brácteas blancas con matiz rojizo. De ella procede el rizoma de cúrcuma.

La raíz está formada por el rizoma principal, aovado o piriforme, del tamaño de una nuez, dividido en 2 ó 4 partes, raras veces también cortadas en rodajas, o por los rizomas laterales, cilíndricos de 10 a 15 mm. de grosor. Es un

rizoma compacto, pesado, córneo, que apenas puede romperse con la mano, de fractura finamente granosa, con una cubierta de color gris o amarillo; por dentro de color rojo-amarillento y aspecto céreo. Moeller-Thoms (26) encontró que el corte transversal alisado está lleno de nodulos de color amarillo claro, la corteza (1/4 a 1/8 del diámetro) claramente delimitada del núcleo medular por una línea clara, no se desprende fácilmente.

En el comercio se distinguen dos formas de rizoma: la cúrcuma larga (*Curcuma longa*) y la cúrcuma redonda (*Curcuma rotunda*). Según investigaciones realizadas por Mayer (22), la cúrcuma larga, es el rizoma no engrosado, considerado antes como tubérculo lateral; aproximadamente de 4 a 6 cm. de largo y de 8 a 12 mm. de espesor, es cilíndrico, sencillo o con ramas cortas obtusas y tienen cicatrices que forman anillos poco notorios; en la actualidad circula casi exclusivamente en el mercado, y de ella la variedad *bengal* es la más apreciada. La cúrcuma redondeada considerada antes como un tubérculo central, está formado por retículos subterráneos engrosados; trozos aovados o piriformes; de 20 a 30 mm. de largo, de 15 a 30 mm. de grosor con anillos transversales y cubiertos de raicillas delgadas y cicatrices redondas.

Maistre (20) señala que la superficie de la cúrcuma es gris amarillenta o gris oscura e incluso verdosa, marcada de huellas circulares. La rotura del tallo es limpia y fuertemente coloreada de amarillo. El rizoma tiene sabor ardiente,

algo amargo parecido al del jengibre, que tiñe de amarillo; el olor es aromático, fuerte y característico. Su tejido nutritivo está formado por perispermo y endospermo. Los rizomas contienen abundantes granos de fécula, estos generalmente reticulares y sus capas son muy excéntricas. La investigación micrográfica muestra dentro de la capa suberosa un parénquima homogéneo, invadido por haces vasculares cuyas células contienen casi siempre una masa de engrudo amarillo, a veces una gota resinosa de color más oscuro.

Se realiza el hervido de los rizomas para impedir su germinación lo cual ocasiona el engrudamiento de la fécula. Las especies de esta familia, contienen: aceite esencial, colorante curcumina, y además un alcaloide, como principios característicos. Morante (28), afirma que en la corteza y el cilindro central existen numerosos haces vasculares pequeños, que raras veces van acompañados de fibras; sobretodo abundan éstos junto a la endodermis. En la corteza se hallan haces menos numerosos que van a parar a las hojas. Aún cuando la mayor parte de la fécula está transformada en engrudo y aglomerada; sin embargo se observa que se trata de granos grandes de capas excéntricas del tipo del jengibre.

El palillo en polvo se caracteriza por contener abundantes restos de parénquima, grumos amarillos de engrudo, células de esencia, masa de resinas trozos de vasos reticulados que destacan poco y escasas fibras. El color de

palillo o cúrcuma en polvo puede ser amarillo naranja o amarillo limón, siendo el primero preferido por su mayor resistencia al desvanecimiento producido por la exposición directa o indirecta de los rayos solares.

Arctander (2), menciona que la cúrcuma o palillo está relacionada con el jengibre, ya que se parecen y se cultivan de manera similar. Esta especia tiene un aroma y sabor bien definidos pero es más usada por sus propiedades colorantes. El color es amarillo brillante aunque varía según las variedades, entre un amarillo puro a un naranja fuerte, y según la acidez del medio en el cual es usado. El color del palillo es muy sensible al pH y es un buen indicador; el color amarillo claro se desarrolla en medio ácido y el naranja en medio alcalino.

2.3. VARIEDADES

Según su origen geológico (12), la **Cúrcuma longa** presenta cuatro variedades que son: *Madrás*, *Allepey*, *Haití* y *Perú*. La variedad **Madrás** es la más apreciada en el mercado internacional, por su color **amarillo-naranja**. La variedad **Perú**, tiene un **alto contenido de curcumina**, pero por su color **marrón rojizo**, no es muy apreciada en el mercado internacional.

Las características generales, forma, color y contenido de curcumina de las variedades Madras Allepey y Perú, son las siguientes:

Variedad Madras.- Son rizomas alargados, en forma de dedos enteros que están pulidos y tienen color **amarillo-naranja**. Su contenido de curcumina varía de **3.0 a 3.5%**. Es la variedad más apreciada en el mercado internacional. Se produce en la India.

Variedad Allepey.- Son rizomas alargados en forma de dedos enteros sin pulir, de color **marrón-rojizo**. Su contenido de curcumina varía de **5.0 a 6.5%**.

Variedad Haití.- Son rizomas de color **marrón-rojizo a café oscuro**. Contiene de **5.8 a 6.0%** de curcumina.

Variedad Perú.- Las características de la cúrcuma variedad **Perú** son diferentes a las características que presentan las variedades Madras y Allepey, especialmente las referidas a su color, que han dado lugar a su poca aceptación en el mercado europeo.

2.4. COMPOSICION QUIMICA

Pelletier y Vogel (33), indican que la cúrcuma contiene: celulosa, goma, fécula, pectina, ácido péctico, materias minerales, una esencia de olor muy intenso, una materia colorante parda y otra materia colorante amarilla, que llamaron curcumina. Kachler (33) encontró en la cúrcuma una cantidad considerable de bioxalato potásico.

Perotti (33), afirma que el rizoma contiene: aceite esencial de composición compleja y poco conocida, que además de contener zingerona, hay varias cetonas terpénicas (cartumerol, terpeno y filandreno) e hidrocarburos del mismo tipo. El almidón alcanza 40 % y las pentosas llegan al 5 %, además posee materia fibrosa y cenizas. Maistre (20) señala que el palillo contiene aceite esencial, utilizado para aromatizar los productos alimenticios y también en perfumería para la obtención de perfumes de tipo oriental. Además, contiene una materia colorante denominada curcumina. En el Cuadro N° 1, se muestra la composición centesimal aproximada del palillo.

2.5. USOS Y APLICACIONES

La cúrcuma es un producto de uso versátil ya que posee propiedades saborizantes, colorantes y medicinales, siendo las dos primeras las de mayor aplicación.

Por sus propiedades saborizantes es ampliamente usado como condimento, en forma de polvo fino, para dar color y sabor a muchos platos elaborados en base a carne, pescado o vegetales. Interviene también en la preparación del curry (mezcla de especias) en polvo o en pasta, en la mostaza y en los pickles.

CUADRO N° 1

COMPOSICION QUIMICA DEL PALILLO

COMPONENTES QUIMICOS	COMENGE (1964)	C.L.A* (1964)	MAISTRE (1964)
Agua	10%	10%	8 a 9%
Cenizas Totales	8%	8%	6 a 8%
Cenizas solubles en agua	—	—	4.7 a 6.1%
Cenizas insolubles en HCl al 10%	1%	1%	0 a 0.1%
Nitrógeno Total	—	5 a 13%	0.9 a 1.7%
Proteínas Totales	5%	10%	6 a 10.8%
Extractos de Eter en Total	11%	10%	10.6 a 12%
Extractos de Eter no volátil	—	—	7.5 a 8.8%
Extractos Alcohólicos	—	—	4.3 a 1.2%
Celulosa	—	—	4.4 a 5.8%
Almidón con Acido	48 a 50%	50 a 52%	48.6 a 56.4%
Aceite Esencial	3 a 4%	—	3 a 5%
Curcumina	5 a 7%	5 a 6%	—

* C.L.A.: CODIGO LATINOAMERICANO DE ALIMENTOS

Por sus propiedades colorantes se le usa principalmente en la industria de productos lácteos y en la industria aceitera para colorear mantequilla, quesos, margarinas y aceites. En estos casos la forma de uso es como extracto líquido concentrado o en polvo, o curcumina.

Según Moeller-Thoms (26), el palillo o cúrcuma en polvo muchas veces se usa para falsificar polvos insecticidas, ruibarbo y azafrán, falsificación que al microscopio se descubre fácilmente. Según Soler y Batle (41), el palillo es usado como sustancia aromática, excitante y diurética. En farmacia se usa actualmente como colorante amarillo inocuo; en tintura, cuando es para líquidos hidroalcohólicos, y en extracto para aceites y grasas.

Según Casares (4), en Francia y Holanda se usa cúrcuma, para colorear la mantequilla. Según la Gran Enciclopedia de Química Industrial (15), la cúrcuma, conocida con el nombre de raíz amarilla se emplea en el teñido de lana, seda y algodón y para producir tonos amarillos y anaranjados, principalmente porque tiñe directamente sin necesidad de mordientes; sin embargo los tintes resultantes no son sólidos a la luz, ni a la acción del jabón. Es por estas propiedades tintóreas que en la India fue muy usado para el teñido de lanas, sedas y algodones, actualmente aún se le usa para el teñido del algodón. Sirve además para teñir papel, madera,

cuero, los barnices para metales, las ceras y pomadas, y algunos alimentos como el queso, la manteca, los artículos de repostería, los licores, etc..

Casares (4), dice que la cúrcuma o palillo también se usa como especia en Inglaterra y Japón y es utilizada como componente esencial del **"Curry Powder"** que es como se conoce en el comercio, a una mezcla de especias que contienen principalmente cúrcuma, pimienta, y jengibre, además cariandro, cardamono, clavo y pimentón, con el que se prepara una salsa india.

Según Merory (25), el palillo se emplea, como saborizante de platos elaborados como carne y huevos, para mejorar el color de la mostaza, como ingrediente de polvo curry y en la producción de pepinillos encurtidos (picles). Morante (28) afirma que en China se emplea, a pesar de su poco brillo, para colorear papel, madera y alimentos.

Por sus propiedades medicinales, en la India y otros países asiáticos, ocupa un lugar importante en sus usos medicinales. Intervienen en las formulaciones de aceites, pomadas, jarabes, etc. Sus principales acciones terapéuticas son sobre el sistema digestivo (carminativo, vermícida, antiséptico).

3. OLEORRESINA DE CURCUMA

3.1 DEFINICIONES

Las definiciones que se presentan a continuación están basadas en la "Technology for the Flavour Industry" (3) adoptada por la OIIS (Organización Internacional de la Industria Saporífera).

Aceite esencial: Sustancia volátil que se extrae por un procedimiento físico de plantas aromáticas de una misma variedad y especie botánica.

Aroma (materia prima): Sustancias tales como plantas y especias, de las que se extraen aceites esenciales y oleorresinas.

Aroma (fragancia): Denominación genérica del olor de una sustancia. Se refiere también a todas las sustancias aromáticas excepto los perfumes.

Sabor: Denominación genérica del sabor de una sustancia. Se refiere también a todas las sustancias saporíferas, excepto los productos acabados como los jugos de frutas, los condimentos, etc.

Sustancia saporífera: Sustancia elaborada que da sabor a un producto acabado.

Sustancia aromática: Sustancia elaborada que da aroma.

Sintético: Cuando se refiere a los aromas y a los sabores, esta voz denomina

los constituyentes obtenidos de los aceites esenciales y de los productos químicos aromáticos, aislados sintéticamente de sustancias naturales, de subproductos de la industria petroquímica y del alquitrán de hulla.

Oleorresina: Preparados extraídos de plantas mediante disolventes.

3.2. OLEORRESINAS DE ESPECIAS

Las oleorresinas (5) son preparados líquidos consistentes en aceites esenciales y materias resinosas. Se extraen de la especia molida con un disolvente adecuado, y hay que preocuparse mucho de la pureza del disolvente de modo que no queden fragmentos que puedan hervir a alta temperatura y darle un sabor desagradable.

Pueden dividirse en dos grandes grupos: las que se preparan con especias y hierbas por extracción con disolventes volátiles, utilizadas casi exclusivamente en la industria de sustancias saporíferas; y las que se preparan a partir de cualquier parte odorífera de la planta, exceptuadas las flores, cuyo empleo principal es la perfumería. Las oleorresinas de especias corresponden por entero a la primera categoría; hay que distinguirlas de las llamadas **acuorresinas**, que típicamente se preparan por extracción con alcohol acuoso y no con disolventes, aunque hay cierta superposición en las aplicaciones de ambos tipos de productos.

Puesto que disolventes distintos pueden dar como resultado productos de diferentes características de olor a partir de la misma sustancia, la elección del disolvente es uno de los factores más importantes en la extracción de la oleorresina. Después de la separación de las materias sobrantes se liberan el extracto de su disolvente volátil mediante la destilación al vacío, lo que deja como residuo la oleorresina deseada.

Las oleorresinas de especias, que constituyen la forma líquida más concentrada de la especia, reproducen el carácter de la especia con mucha mayor plenitud que los aceites esenciales. Se utilizan principalmente como agente saporífero en la industria de elaboración de alimentos. Como su elevada concentración hace difícil que las oleorresinas como tales se incorporen a las mezclas de productos alimentarios, se dispersan en una base seca, por ejemplo, harina, bizcocho y dextrosa. Más recientemente se ha desarrollado una técnica para encapsular oleorresinas con goma impermeable.

Las oleorresinas son de empleo más económico (4), de más fácil control de calidad y más limpias que las especias molidas equivalentes, y son más estables cuando se calientan:

- *Ventaja económica:* cuando se emplean especias molidas en la preparación de alimentos, éstos sólo toman el sabor que se desprende de la especia por el

molida. Esto hace que se pierda gran parte del sabor porque, por muy finamente molida que esté la especia, muchas de las células que contienen los aceites volátiles y fijos, (los principios saporíferos, aromáticos y picantes) quedan intactas durante toda la preparación del producto y el consumidor, por decirlo así, las ingiere enteras. Cuando se extrae de la especia la oleorresina con un disolvente se trasladan a ésta todos los principios saporíferos, aromáticos y picantes, permitiendo que se aprovechen todas las propiedades de la especia. De este modo el fabricante de alimentos obtiene una ventaja económica. **Por ejemplo, de 100 Kg de pimienta negra se obtienen unos 10 Kg de oleorresina de pimienta, pero de ordinario sólo se necesitan de 4 a 5 Kg de oleorresina para obtener el sabor que procede del empleo de 100 Kg de pimienta negra molida.** Por consiguiente, la diferencia entre el rendimiento y la cantidad de producto necesario para obtener el mismo resultado permite a la empresa extractora recuperar los gastos de extracción, obtener un beneficio, e incluso ofrecer oleorresinas a precios más bajos que el de su equivalencia en especia molida;

- *Control*: la fuerza saporífera apreciable de las especias puede variar hasta en un 40 por ciento de una partida a otra. Dosificando y ajustando la cantidad de los principales componentes saporíferos o picantes de las oleorresinas, las empresas extractoras pueden reducir muchísimo tales diferencias. Esta es una ventaja muy grande para las empresas comerciales fabricantes de alimentos que

tienen que evitar a toda costa las diferencias de sabor de los productos que fabrican:

- *Limpieza*: las oleorresinas de especia son estériles y por tanto, están exentas de toda contaminación bacteriológica a la que suelen estar expuestas las especias naturales.

Las oleorresinas de especia tienen también algunas ventajas respecto de los aceites esenciales: las dos principales son las siguientes:

- *Intensidad del sabor*: la oleorresina contiene los aceites volátiles "esenciales" y los aceites fijos o resinas que forman parte de la especia de la que se extrae. Por consiguiente, su sabor es casi idéntico al de la especia pura en tanto que el **aceite esencial no contiene ninguna** de las sustancias no volátiles. **Por ejemplo, el aceite de pimienta tiene algo del aroma de la pimienta negra molida pero carece por completo de la "acribidad" o picante que causa el componente no volátil que se llama piperina. Asimismo, los componentes picantes del jengibre faltan en el aceite esencial.**

- *Estabilidad calorífica*: para fabricar la mayoría de los productos alimenticios se necesita calor. Por definición, un aceite esencial es una sustancia volátil que se disipará tanto más rápidamente cuanto más suba la temperatura. El contenido no volátil de la oleorresina seguirá dando sabor al producto mucho después de que se evapore por completo el aceite esencial.

3.3. PROPIEDADES QUIMICAS DEL COMPONENTE ACTIVO : CURCUMINA

La curcumina es un colorante amarillo, que pertenece a la clase dicinimol metano, su peso molecular es 369.39 y su fórmula global es $C_{21}H_{20}O_6$.

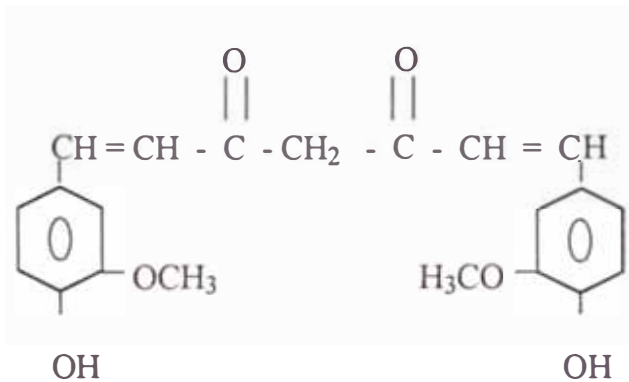
Según Mayer (22) la curcumina es un colorante que se encuentra en las raíces y brotes de la *Curcuma tintoria*, *Curcuma longa* y *Curcuma viridiflora*, que crecen en forma silvestre en Asia Tropical y se cultivan en China, Cochinchina y las Indias Orientales.

La materia colorante obtenida posee olor a jengibre sabor ardiente contiene aceite esencial y otra materia colorante parda, además de la curcumina.

La curcumina es una cetona análoga del zingerol (que es una condensación de la zingerona con aldehído), que se obtiene de la raíz de la cúrcuma, encontrada también en el ruibarbo y responsable del empleo de los extractos de cúrcuma o palillo, como indicadores y como reactivos del ácido bórico; es la forma monoénolica del diferuloilmetano.

La constitución del colorante fue determinada por Kostanecki (15) en 1910 y la síntesis verificada por Lampe (15) en 1918; la fórmula global de la curcumina ($C_{21}H_{20}O_6$) fue sugerida por primera vez por Ciamician y Silver en 1827.

Según la Gran Enciclopedia de Química Industrial (15), la fórmula desarrollada es:



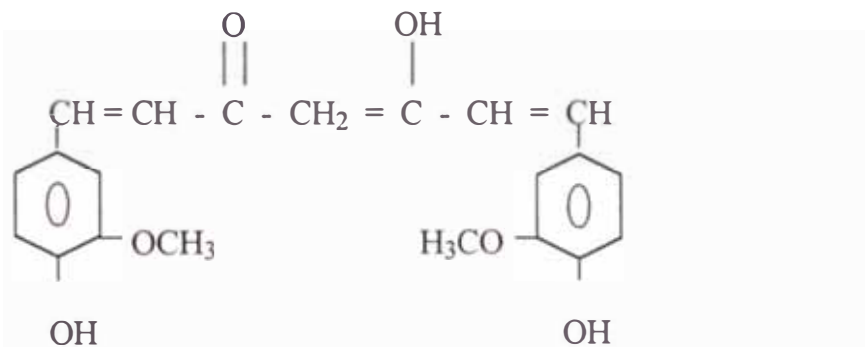
- Forma : cristalina, prismas de color amarillo
- Punto de fusión : funde a 183°C, de color amarillo-rojizo.
- Solubilidad : soluble en alcohol.
soluble en ácido acético glacial.
soluble en álcali.
ligeramente soluble en éter.
ligeramente soluble en sulfuro de carbono.
insoluble en benceno.
insoluble en agua.

Según Moeller-Thoms (26), la curcumina se disuelve en los álcali dándoles color pardo-rojizo intenso y precipita nuevamente por los ácidos, sales de cal y barita, produciendo precipitaciones pardo-rojiza. El compuesto plúmbico que resulta de precipitar una solución alcohólica, es un precipitado de color rojo de fuego, fácilmente soluble en ácido acético. Los demás compuestos metálicos reaccionan igual que el plúmbico.

La curcumina se decolora al sol. La amalgama de sodio en solución alcohólica la desdobra también; calentando con los ácidos minerales una solución alcalina de borato de curcumina, toma color rojo sangre, que al enfriarse se precipita en forma granular de color negra llamado *rosacianina*, que es insoluble en agua y en éter, pero soluble en alcohol, tomando hermoso color rojo, que con los álcali pasa a azul de ultramar.

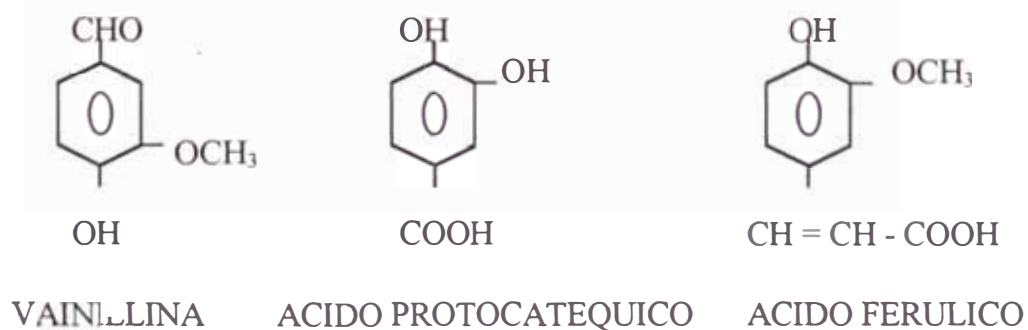
Las reacciones coloreadas de la curcumina pura son más intensas que las de la tintura. El papel impregnado con esta tintura (papel de curcumina), se toma con los álcali color rojo pardusco, que por desecación adquiere color algo violáceo; los ácidos diluídos restablecen la coloración amarilla original. La curcumina se disuelve en ácido sulfúrico concentrado, dando una coloración rojo amarillenta, y en solución etérea muestra una débil fluorescencia verde.

La curcumina puede adoptar por ejemplo la forma enólica:



Los productos de degradación de la curcumina, están de acuerdo con la constitución dada anteriormente, así por ejemplo con álcali, se obtienen los ácidos vainillínico y ferúlico, el último de los ácidos se ha sintetizado a partir de la vainillina, mediante la síntesis de Perkin.

Por fusión con álcali se obtienen ácido protocatequico ($C_7H_6O_4$) esto se muestra a continuación:



3.4 METODOS DE EXTRACCION DE LA OLEORRESINA

Extracción por Etapas con Agitación Mecánica

La extracción consiste básicamente en agitar la especia molida y el solvente dentro de un tanque en una relación establecida previamente, poniendo de esta manera en contacto íntimo estos para extraer la oleorresina de cúrcuma. Es común en este tipo de extracción realizar varios lavados o cambios de solvente, debido a que este se satura durante la extracción. En la Figura N°1 se muestra la extracción por agitación mecánica utilizada.

Extracción Continua con Soxhlet

Se coloca la especia dentro del percolador en un saco a través del cual el solvente pueda atravesar logrando que se ponga en contacto con esta; en el recipiente inferior (balón) se coloca el solvente, se calienta, se evapora y luego sus vapores condensan al pasar por el condensador refrigerado con agua, cae a través del lecho formado por los sacos rellenos de especia así se produce la extracción; al completarse la capacidad del percolador actúa el sifón y se produce un vacío, toda esta solución regresa al primer recipiente (balón) repitiéndose nuevamente el ciclo. Un esquema de el soxhlet se muestra en la Figura N° 2

AGITACION MECANICA

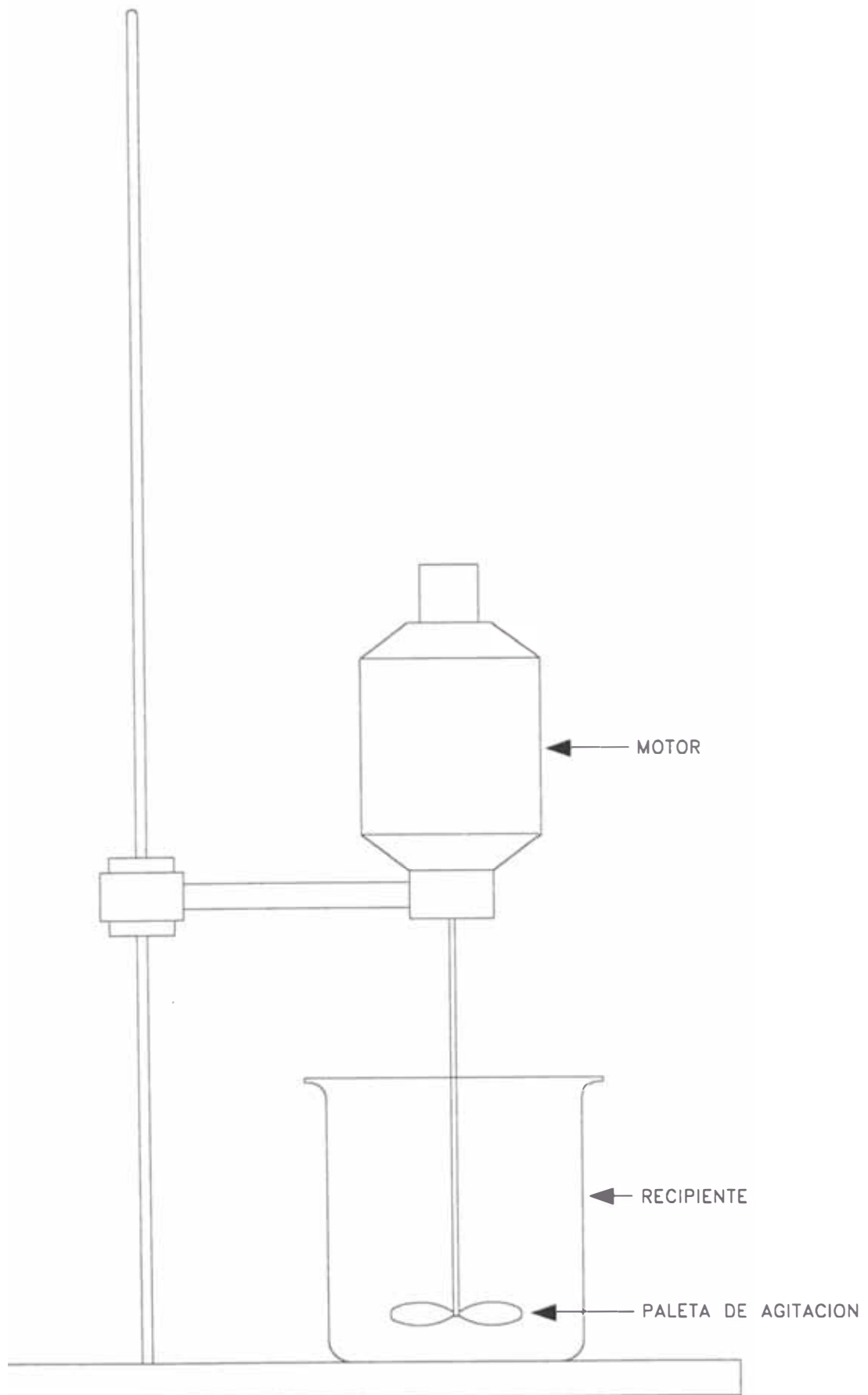


FIGURA No.1

S' XHLET

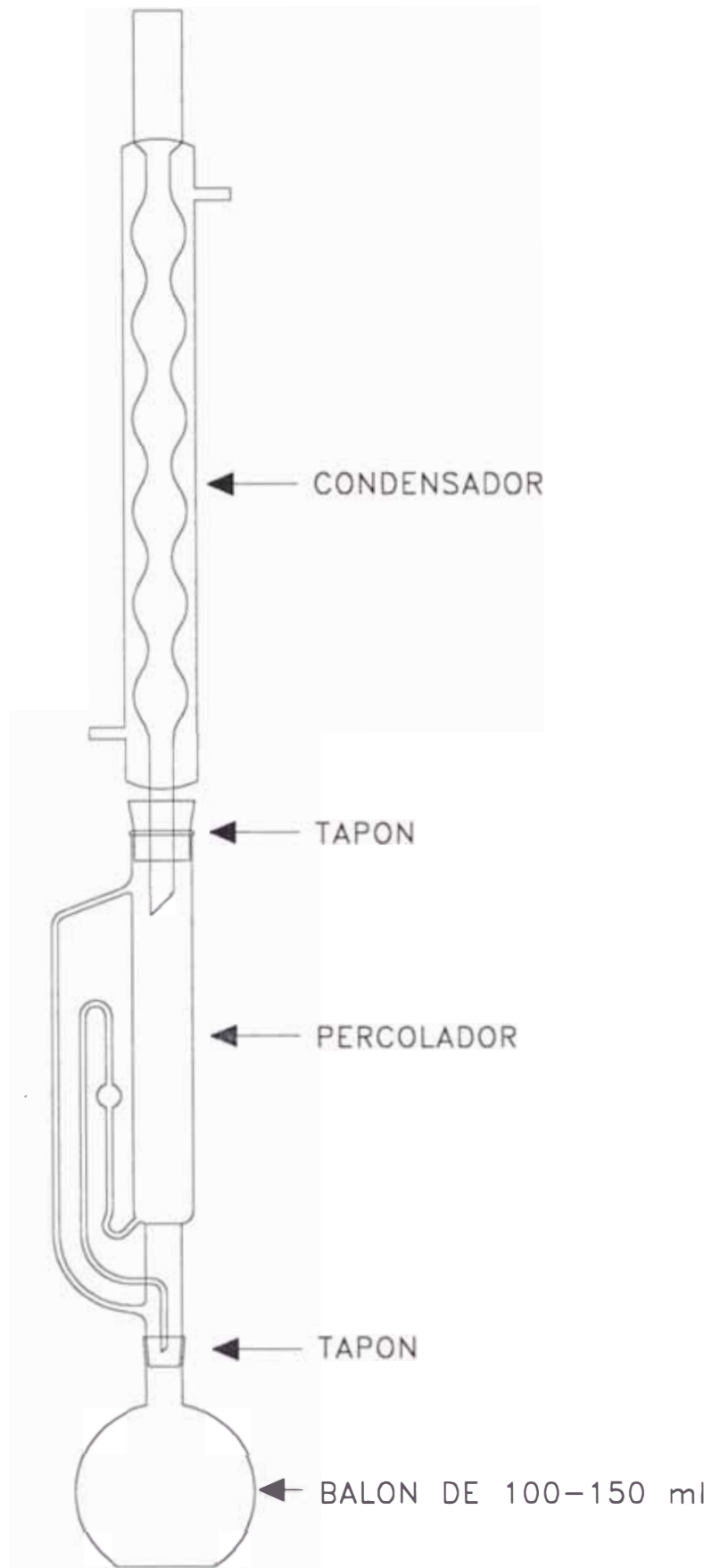


FIGURA No.2

Este tipo de extracción permite obtener soluciones concentradas, pero en el caso de productos naturales, estos permanecen mucho tiempo expuestas a alta temperatura lo cual puede originar su degradación.

3.5 VENTAJAS E INCONVENIENTES DEL USO DE OLEORRESINAS

Las ventajas e inconvenientes del uso de oleorresinas frente a otros productos como especias tradicionales y aceite esencial (5), se presentan en los Cuadros N° 2, 3, 4, 5 y 6.

Además se ha incluido las ventajas que presentan las especias preparadas, es decir, especias dispersadas y encapsuladas provenientes del tratamiento de la oleorresina.

3.6 FORMAS DE PRESENTACION DE LAS OLEORRESINAS DE ESPECIAS PARA SU USO EN LA INDUSTRIA DE SUSTANCIAS SAPORIFERAS

Los fabricantes de productos alimenticios (5) no emplean las oleorresinas en la forma en que se las extrae porque son sumamente fuertes (por ejemplo, 1 Kg de oleorresina de pimienta equivale a 20 o 25 Kg de pimienta molida).

CUADRO N° 2

ESPECIAS TRADICIONALES MOLIDAS

INCONVENIENTES

1. Sabor variable.
2. Fuerza variable del sabor.
3. Antihigiénicas.
4. A menudo contaminadas por impurezas de toda clase.
5. Fácilmente alteradas por sustancias menos apreciadas.
6. Presencia de lipasas.
7. Pérdida del sabor y deterioro durante el almacenamiento.
8. Aspecto poco agradable del producto final
9. Repartición mediocre del sabor, especialmente en los líquidos aguados (salsas).
10. Decoloración debida a los taninos.
11. Las hierbas aromáticas suelen exhalar un olor a heno.
12. Polvorientas y poco agradables de manipular a granel.

VENTAJAS

1. Exhalación lenta del sabor durante la transformación a alta temperatura.
2. Fácil de manipular y de pesar con precisión.
3. Ningún problema en la declaración en los marbetes.

CUADRO N° 3

ACEITES ESENCIALES

INCONVENIENTES

1. Sabor bueno pero incompleto.
2. Sabor a menudo mal distribuido.
3. Algunos se oxidan fácilmente.
4. No contienen ningún antioxidante natural.
5. Se alteran fácilmente.
6. Muy concentrados, por lo tanto difíciles de manipular y de pesar con precisión.
7. No se dispersan fácilmente sobre todo en los productos secos.

VENTAJAS

1. Higiénico, exentos de bacterias, etc.
2. Sabor corriente suficientemente fuerte.
3. Calidad del sabor conforme con la materia prima.
4. No colorean al producto.
5. Exento de enzimas.
6. Exento de taninos.
7. Estables si se almacenan en buenas condiciones.

CUADRO N° 4

OLEORRESINAS

INCONVENIENTES

1. Sabor bueno pero tan variable como el de la materia prima.
2. Muy concentradas, por lo tanto difíciles de manipular y de pesar con precisión.
3. Su densidad varía de líquida a sólida viscosa, por lo cual resulta difícil incorporarlas de manera uniforme en las mezclas de productos alimenticios.
4. Contienen tanino, excepto cuando se las somete a un tratamiento especial.
5. La calidad del sabor depende del disolvente que se emplee.

VENTAJAS

1. Higiénicas, exentas de bacterias, etc.
2. Puede normalizarse su sabor.
3. Contienen antioxidantes naturales.
4. Exentas de enzimas.
5. Se pueden almacenar durante mucho tiempo en condiciones óptimas.

CUADRO N° 5

ESPECIAS DISPERSADAS

INCONVENIENTES	VENTAJAS
1. Tolerancias necesarias para la base que se emplee.	1. Sabor normalizado.
2. Exhalación de las sustancias volátiles cuando se las almacena por largo tiempo, especialmente si la temperatura del medio es alta.	2. Sabor correspondiente al de la materia prima. 3. Excelentes desde el punto de vista higiénico, exentas de bacterias y de toda impureza. 4. Exentas de enzimas. 5. Fáciles de manipular y de pesar con precisión. 6. De dispersión fácil en las mezclas de productos alimenticios.
3. No resisten la transformación a alta temperatura y en recipientes abiertos.	7. Generalmente exentas de polvo durante la manipulación. 8. Contienen antioxidantes naturales. 9. Bajo porcentaje de humedad. 10. No provocan manchas ni colores desagradables en el producto final.

CUADRO N° 6

ESPECIAS ENCAPSULADAS

INCONVENIENTES

1. Concentrados, de ordinario al décuplo de modo que es difícil pesarlos.

VENTAJAS

1. Aromas completamente protegidos de la volatilización y la descomposición.
2. Conservación larga en almacén en toda condición.
3. Fáciles de incorporar en las mezclas de productos alimenticios.
4. Exento de olores desagradables (se aplica especialmente al ajo y la cebolla).
5. Excelentes desde el punto de vista higiénico por estar exentos de bacterias e impurezas.
6. Exentos de enzimas.
7. Bajo porcentaje de humedad.
8. No causan manchas o colores inconvenientes en el producto final.

La dispersión incompleta de las oleorresinas en un producto puede fácilmente causar lo que se denomina "puntos cálidos" o gamas de una gran concentración de condimento. Desde el punto de vista del fabricante, esto es un inconveniente y aún puede ser peligroso para el consumidor si la especia de que se trate es muy picante. Por ello se **"dispersa" o se parece a las oleorresinas en una base o soporte seco para obtener una especia dispersada en seco**, que pueda ser empleada por los fabricantes de productos alimenticios. Las bases más empleadas son: la sal, la dextrosa, la **narina** y el bizcocho. Los fabricantes de condimentos recomiendan el empleo de las diferentes bases tal como se muestra en el Cuadro ° 7, porque siendo en su mayor parte fluidos muy viscosos, es **sumamente** difícil incorporarlos directamente al producto alimenticio.

Al dispersar de esta manera las oleorresinas, los fabricantes de condimentos pueden ofrecer a los fabricantes de productos alimenticios la sustancia saporífera que estos últimos necesitan. La variedad más apreciada de sustancias saporíferas se vende como "equivalente de especias" cuyo contenido saporífero es igual al de la especia pura, **por ejemplo, 100 Kg de oleorresina de pimienta dispersada (que contiene de 4 a 5 Kg de oleorresina pura de pimienta) es igual a 100 Kg de pimienta molida (en cuanto a aplicación se refiere)**. Tales productos tienen un gran éxito porque facilitan la sustitución de las especias molidas por oleorresinas al permitirle al fabricante emplear el mismo peso de oleorresinas que el de especias molidas.

CUADRO N° 7

BASES DE DISPERSION PARA OLEORRESINAS

OLEORRESINAS E

ALIMENTOS

UNA BASE DE:

SAL

Sopa en polvo, carnes preparadas, embutidos, papas fritas y otros productos a base de papa, conservas de carne, pasteles de carne, encurtidos y salsas, pescados, quesos y productos lácteos.

DEXTROSA

Confitería, encurtidos, salsas, mezclas preparadas para pasteles chutney, mincemeat, rellenos de bizcochos, alimentos para animales domésticos.

HARINA

Productos de panadería y pastelería, sopas en polvo, salsas, sopas espesas, jugos para condimentar, budines con especias.

BIZCOCHO

Embutidos, rellenos de carne, pasteles de carne, carne enrollada.

Las oleorresinas de especia también se presentan en forma de emulsión, disueltas en una base líquida como el vinagre, alcohol, propilenglicol agua o en cualquier otro disolvente adecuado, y se emplean como **esencias** para encurtidos, haciendo innecesaria la cocción de las especias en agua para obtener un condimento líquido.

A la variedad de oleorresinas que emplean los fabricantes de productos alimenticios, se han añadido hace poco los condimentos "encapsulados" que son pequeños glóbulos de oleorresinas envueltos o "encapsulados" en una capa impermeable de goma arábica o de gelatina que encierra el aceite esencial volátil de la oleorresina.

El procedimiento que suele emplearse es emulsionar la oleorresina con una goma arábica, gelatina o en uno de los almidones modificados siguiendo luego una deshidratación por aspersión para producir la especia encapsulada. Se pretende que estos productos se conserven por más tiempo que las oleorresinas dispersadas y que son especialmente convenientes para productos tales como las sopas en paquetes, en las cuales la envoltura de goma se disuelve, y libera el sabor encapsulado, sólo cuando se agrega agua y se aplica calor para preparar la sopa. Pero la desventaja de las especias encapsuladas es que las bases descritas así como la maquinaria para deshidratación por aspersión son de alto costo.

3.7 APLICACIONES DE LA OLEORRESINA DE CURCUMA

La principal esfera de aplicación de la **Oleorresina de Cúrcuma** (4) como saporífero es en las mezclas para salsa curry, encurtidos, los productos cárnicos (jamón, embutidos salchichas, alimentos enlatados, etc.), los alimentos de preparación "instantánea", las salsas y en la fabricación de condimentos.

Tiene las mismas aplicaciones que la cúrcuma no elaborada. La **oleorresina de cúrcuma** es un colorante alimentario, que se utiliza ampliamente para dar color a artículos alimenticios, tales como: mayonesas, quesos, mantequillas helados, conos para helados, galletas productos de pastelería, aceites y grasas, postres, refrescos y productos para panadería, alimentos deshidratados como: sopas, caldos, cremas, catchup, etc.

4. ESTUDIO DE MERCADO

4.1. INTRODUCCION

Entre las actividades económicas a las que se dedica la población peruana, la agricultura es de suma importancia ya que genera la participación de un buen porcentaje de la población. A ella está dedicada más de la tercera parte de la fuerza de trabajo. Pero como aumenta la población peruana y sus necesidades, se hace notoria la falta de recursos de agua y de técnicas modernas de cultivo. A la solución de estos factores negativos está dirigida la política gubernamental desde hace varias décadas.

Por otro lado, en el comercio internacional el Perú tiene una fuente de generación de divisas, además nos permite relacionarnos con los demás países y adquirir su tecnología. La situación en que se encuentre el sector exportación es sinónimo de progreso y desarrollo económico real, principalmente el de exportaciones no tradicionales.

Es por este motivo que los proyectos agroindustriales con miras a la exportación; como es el caso de las oleorresinas de especias para las que no

existen productos alternativos sintéticos, son tan importantes para el desarrollo del país.

En este caso se ha elegido la **Curcuma longa L.**, conocida como *palillo* para la producción de la **oleorreina**. El estudio determinará la demanda de esta oleorresina por parte del mercado internacional en base a las series de exportaciones peruanas. Además, por ser un proyecto agroindustrial es necesario asegurar el abastecimiento de la materia prima (cúrcuma o palillo), pero como no se cuenta con los datos de producción a nivel nacional, se ha trabajado con los datos de exportaciones peruanas de la especia molida.

4.2. **MATERIA PRIMA**

La materia prima es la **cúrcuma, palillo o turmeric**, que gracias a la variedad de climas y suelos, se cultiva en nuestro país. Es un cultivo que se desarrolla en zonas tropicales ya que requiere de un clima húmedo y cálido; necesitando además un suelo bien drenado. Se propaga vegetativamente por medio de rizomas. Los trozos de rizomas (fingers) son plantados a 5 ó 7 cm. de profundidad y espaciados entre 30 y 50 cm. En cultivos regados por lluvias, los rizomas empiezan a brotar al mes de plantados, mientras que en cultivos irrigados, el brote tiene lugar a los 15 días. El crecimiento vegetativo es rápido

durante los primeros 4 meses; después de esto los rizomas empiezan a desarrollar y madurar durante los meses fríos.

La cosecha puede efectuarse a los 8 o 9 meses de plantado. El rendimiento de cúrcuma fresca varía entre 16800 Kg a 22400 Kg. por hectárea en el caso de cultivos irrigados, y 7000 Kg en promedio por hectárea en cultivos regados por lluvias.

La madurez del cultivo y el tiempo de cosecha se determinan cuando se observan que los tallos y hojas empiezan a marchitarse; la cosecha de cúrcuma consiste en cortar los tallos y hojas marchitas e enterrados y luego en extraer los rizomas enterrados con una herramienta adecuada.

Las superficies cultivadas están concentradas en los departamentos de Junín, Ayacucho y Cusco, Huánuco, San Martín y Amazonas, siendo las principales el valle del río Apurímac (Ayacucho) y el Valle de la Convención (Cusco). Es necesario mencionar que la cúrcuma se halla distribuida prácticamente en toda la selva peruana y en ceja de selva en condición de planta silvestre, no existe pues un trabajo de cultivo de esta planta, sino más bien se trata de recolección de rizomas dispersos, lo cual distorsiona las estadísticas de producción.

A consecuencia de lo anteriormente mencionado las estadísticas de exportación de palillo pueden mostrar cifras considerablemente superiores a las de producción.

De las estadísticas de producción y exportación de cúrcuma proporcionadas por el Ministerio de Agricultura y la Superintendencia Nacional de Aduanas (SUNAD) que se presentan en el Apéndice N° 2, se puede observar que los destinos principales durante el período comprendido entre los años 1985 a 1994 han sido Argentina, EEUU, México, Alemania Federal y Venezuela.

Los precios promedio FOB anuales por Kg de cúrcuma fluctúan entre 0.94 a 1.78 US\$ de 1995. Pero es necesario aclarar que no son los productores quienes directamente exportan, el productor cultiva o recolecta el palillo, y una vez que lo obtiene debe secarlo para poder venderlo al mayorista, este agente acapara la producción a bajo precio: 0.62 US\$ de 1995 por Kg. se dedica a moler el palillo, distribuirlo al minorista y abastecer al exportador. El exportador compra el palillo y se asegura de cumplir los requisitos para el mercado de exportación (estos requisitos se muestran en el Apéndice N° 3).

El presente proyecto tiende a simplificar esta cadena, beneficiando al productor al darle un precio más justo, y a la vez permitiría incrementar el valor

agregado del producto ya que no sólo se exportaría cúrcuma molida sino la oleorresina.

Así mismo de acuerdo a la serie histórica que se presenta, las exportaciones se incrementan siendo para el último año (Setiembre 94) aproximadamente de 263 TM. Como sólo se han obtenido estadísticas de producción del año 1984 y por la naturaleza misma del producto, el volumen autoconsumido es reducido, consideraremos el total de exportaciones como la disponibilidad de materia prima para el proyecto, cantidad que es factible ampliar incrementando las áreas de cultivo para esta especia, con un adecuado incentivo para los productores.

4.3. PRODUCTO

El producto final resultante de las operaciones de la planta es la oleorresina de cúrcuma concentrada para ser refinada en los países importadores con el fin de que obtengan la oleorresina dispersada según las exigencias del mercado mundial de oleorresinas.

Hasta principios del decenio de 1970, la producción de oleorresinas de especias tenía lugar principalmente en los países industrializados, con predominio de los EEUU y el Reino Unido, debido a la complejidad de la

tecnología y a sus riesgos potenciales. Posteriormente, en parte reconociendo la ventaja que se podía obtener al reducir los costos de transporte, ha habido una transferencia parcial de tecnología a ciertos países productores de especias. El ritmo más rápido en el crecimiento del consumo de oleorresinas se registró durante el período 1965 - 1975, pero después de este ritmo se hizo considerablemente más lento.

En los últimos años, debido a la exigencia en el uso de productos naturales y a sus ventajas sobre las especias en crudo y los aceites esenciales, se estima que el consumo de las oleorresinas en el sector industrial seguirá aumentando.

Para las oleorresinas de especias en general, los principales mercados son EEUU, Canadá y Reino Unido y son potenciales Francia, Japón y La República Federal de Alemania.

Un desglose del consumo estimado de oleorresinas en los principales mercados a mediados del decenio de 1980 se presenta en el Apéndice N°4. Las cifras allí citadas, sugieren que el consumo mundial se situaba para dichos años alrededor de 1450 a 1650 toneladas anuales. Pero hay que reiterar que dichas cifras son meramente estimaciones, ya que existen muy pocas estadísticas publicadas sobre la producción y comercio de oleorresinas de especias.

Con respecto al mercado de oleorresina de cúrcuma a nivel mundial, aunque no existen estadísticas publicadas, se sabe que la India produce alrededor de 35 a 45 toneladas anuales de esta oleorresina y que los EEUU utilizan unas 70 toneladas por año. Por consiguiente, es probable que la producción mundial anual sobrepase en algo las 100 toneladas, que en su mayor parte se consumen en los EEUU y Europa Occidental.

Actualmente el Perú realiza exportaciones de oleorresina de cúrcuma, las estadísticas proporcionadas por la Asociación de Exportadores (ADEX), se muestran en el Apéndice N°4.

Los principales destinos de la oleorresina, para el período 1988 - 1994, han sido los países de EEUU, Japón y Países Bajos. Los precios promedio FOB anuales fluctúan entre 33.14 y 48.75 US\$ de 1995 por Kg de oleorresina.

Según la serie histórica, las exportaciones presentan un comportamiento variable, mostrándose incrementos y decrementos año a año, observándose que en el último año se tiene un volumen considerable de oleorresina exportada (15 Tn).

Para realizar la proyección de la demanda del mercado externo para los años de vida útil del proyecto, se utilizan la demanda histórica en el período

1988 - 1994, considerando que cada siete años se repetirá el mismo ciclo, lo cual se refleja por medio del uso de los denominados "índices estacionales"; se procede de la siguiente forma:

1. Se realiza un análisis de regresión lineal para estimar la recta que muestre la tendencia general de las exportaciones.
2. Se determina un factor denominado índice estacional para cada período (considerando cada año como un período):

$$IE_i = \frac{Y_i}{\hat{Y}_i}$$

donde:

IE_i = índice estacional para el periodo i .

Y_i = valor histórico real para el periodo i .

\hat{Y}_i = valor estimado para el periodo i .

3. Se proyectan los valores de la recta de tendencia general (hallada anteriormente) para los años de vida útil del proyecto.
4. Se determina la demanda estimada ajustada multiplicando los valores de la recta de proyección con los índices estacionales correspondientes.

$$Pron_i = IE_i * \hat{Y}_i$$

Los cálculos y gráficos correspondientes a esta proyección se encuentran en el Apéndice N° 5.

4.4. CARACTERISTICAS DEL MERCADO

Los mercados se caracterizan en general por la gran competencia, las normas de alta calidad y la dificultad de acceso a los mercados por los nuevos proveedores. La calidad constante, las remesas ininterrumpidas y los precios estables son requisitos indispensables, siendo la calidad y la seguridad de las remesas más importante que el precio. El acceso al mercado requiere un esfuerzo de comercialización considerable y prolongado por parte de los posibles nuevos productores de oleorresinas.

En primer lugar, hace falta algún tiempo para que un producto sea definitivamente aceptado como ingrediente de una sustancia saporífera, por razones tanto técnicas como económicas, puesto que para aceptar definitivamente el producto, el importador necesita tener la garantía de que contará con el suministro ininterrumpido de un producto de calidad corriente a un precio estable. Es cierto que en muchos casos son inevitables las diferencias de calidad del producto natural ya que procede de diferentes fuentes; por lo que es importante para el mercado comprobar la confiabilidad del nuevo productor evitando así adulteraciones. En tal caso, el vendedor puede mejorar su posición presentándole al comprador, junto con una buena muestra, un certificado de calidad emitido por un laboratorio reconocido internacionalmente.

Las muestras presentadas no deben diferir en forma apreciable o subjetiva, tanto en calidad como en característica, de las remesas de las que se dice han sido extraídas. En muchas oleorresinas es necesario proceder a una mayor inspección de calidad anterior al embarque para reducir al mínimo la utilización de envases deteriorados o que no son adecuados por cualquier otro motivo eliminar las prácticas de adulteración e impedir la contaminación excesiva con materias extrañas resultante de procedimientos deficientes de extracción, filtrado inadecuado, etc.

Es necesario una corriente más constante de información en toda la cadena de comercialización desde el productor al usuario **final, sobre las cifras** previstas en los **sumin'** os con el fin de facilitar el que puedan amortiguarse las inevitables fluctuaciones de la oferta. En algunos casos se plantea la necesidad de atenerse más a los procedimientos comerciales y documentales reconocidos y, en particular, de cumplir estrictamente las fechas de entrega.

Un problema importante que se plantea a la mayor parte de los países en desarrollo como productores, es la falta de instalaciones para dispersar las oleorresinas en una base sólida adecuada. Como la mayoría de los usuarios finales **prefieren las oleorresinas dispersadas a las concentradas**, los productos procedentes de países en desarrollo tienen que ser sometidos a nueva elaboración en los países consumidores por fabricantes de oleorresinas ya

establecidos. Los intentos actuales para comercializar desde el lugar de origen los productos excesivamente refinados han tropezado con dificultades, ya que el margen para una elaboración posterior con el fin de obtener especificaciones precisas es mucho más limitado. Las leyes de los distintos países que reglamentan el empleo de aditivos en los productos alimenticios, se aplican a los residuos del disolvente empleado en la extracción de las oleorresinas. En cuanto al uso de los disolventes, se especifica que el empleo de los mismos debe ser conforme a las buenas técnicas de fabricación, esto es emplear la cantidad mínima necesaria de disolvente para la extracción y eliminar la máxima cantidad de disolvente sin menoscabo de la calidad de la sustancia extraída.

4.5. CONCLUSIONES

El mercado ofrece posibilidades a los nuevos productores de oleorresinas en general. Pero para países en desarrollo, como el nuestro es más aconsejable conseguir la cooperación de los fabricantes de sustancias saporíferas y **realizar la producción de oleorresinas concentradas que podrían ser refinadas por los países importadores para obtener cualquier especificación deseada (encapsuladas, dispersadas, etc.)**, con lo cual se reducirían los costos de transporte marítimo, pero se mantendría la adaptabilidad del producto; de esta manera se incrementaría nuestra participación en el mercado. Es importante resaltar que la situación como

nuevo productor dependerá de que pueda garantizarse el abastecimiento regular de **oleorresinas de buena calidad** manteniendo un nivel alto y constante de calidad del producto, en contacto estrecho y continuo con los compradores. Actualmente existen pocos problemas en lo que atañe al comercio y a los procedimientos de comercialización o de envasado, pero para tener éxito en el mercado de oleorresinas de especias, un nuevo productor debe realizar consultas previas con sus posibles compradores; entre los que se encuentran como principales: EEUU, Canadá, Japón, la República Federal de Alemania, Francia, Irlanda, los Países Bajos Suiza y el Reino Unido.

De acuerdo a lo estudiado, es viable la **producción de oleorresina de cúrcuma concentrada, como producto intermedio para ser exportado**. Pero es necesario buscar mecanismos que permitan realizar esta exportación en común acuerdo con los países compradores quienes se encargarán de refinar posteriormente la oleorresina hasta obtener las especificaciones deseadas por el mercado de fabricantes de sustancias saporíferas, así como de asegurar su compra.

De los datos estadísticos y de las consideraciones sobre el mercado, se observa que la demanda de la oleorresina de cúrcuma aparece estable y existen expectativas de crecimiento en un futuro.

5. DETERMINACIONES EXPERIMENTALES

5.1. METODOLOGIA DE TRABAJO UTILIZADA

Se han realizado pruebas a nivel laboratorio con el fin de fijar los parámetros que permitan realizar la mejor extracción de oleorresina con una mayor concentración de curcumina dentro de condiciones adecuadas para una operación rápida y económica. Por lo que se calificó como extracción óptima aquella que permite una mayor eficiencia de extracción de curcumina.

Las pruebas comprenden determinaciones e **perimentales en las** operaciones de Molienda, Extracción, Filtración y Concentración.

Se trabajó con dos tamaños de partículas, para verificar datos obtenidos en estudios anteriores (45).

Para la extracción se utilizó como solvente alcohol etílico 96°, probando en forma experimental con cada uno de los dos métodos:

- Extracción Continua con Soxhlet.
- Extracción por Etapas con Agitación Mecánica.

eligiendo el que ofrecía mayores ventajas para la obtención de oleorresina.

Una vez determinado el método de extracción más eficiente, se realizaron los ensayos para determinar las mejores condiciones para esta operación.

Luego con los datos obtenidos de las pruebas anteriores se llevó a cabo la prueba a nivel piloto para comprobar las observaciones a una escala mayor y a la vez registrar datos experimentales, que pudieran ser utilizados para el diseño de los equipos de la planta propuesta.

5.2. DESCRIPCION DEL PROCESO

Preparación de la materia prima

La variedad de contaminantes que se encuentran en la materia prima (palillo), luego de la cosecha tales como: raíces secas, materias extrañas, hojas secas, tallitos de plantas, tierra, polvo, etc. hace necesario disponer de un sistema de limpieza adecuado. Para obtener un producto de buena calidad y mejorar los rendimientos, debe dejarse la materia prima limpia para las operaciones posteriores, por lo tanto previamente a las pruebas experimentales se separaron los contaminantes por selección manual para luego desecharlos.

Secado de la Materia Prima

Ya sea que la materia prima se encuentre recién cosechada o parcialmente seca, se hace necesaria esta operación de secado porque muchas veces, el porcentaje de humedad es más elevado de lo requerido. Con este fin se utilizó el secador a vacío Fisher entre 60° y 70° C durante 24 horas. El contenido de humedad debe ser alrededor del 14%, para así realizar con eficiencia las operaciones posteriores del procesamiento.

Molienda

La operación de molienda se realiza para facilitar la extracción de la oleorresina. La disminución de tamaño de partículas de un sólido conduce a un aumento de la superficie del mismo, que contribuye a incrementar la velocidad en el proceso de extracción; al aumentar el área de contacto entre el sólido y el solvente, la velocidad de extracción del soluto deseado se ve incrementada, pero cuanto más fino se muele el material, mayor es el costo de la operación. En este estudio se utilizó un molino de granos Landers de operación manual; la abertura de los discos fue regulada para obtener cada vez menores tamaños de partícula.

Tamizado

La separación o clasificación de tamaño de partículas se realizó con un tamiz malla 30 US, con la finalidad de utilizar en la extracción las partículas pasantes ya que este tamaño, según estudios anteriores, es el más favorable para esta operación.

Extracción de la Oleorresina

El solvente utilizado para la extracción de la oleorresina es alcohol etílico 96°, el cual actúa primeramente en las capas exteriores y posteriormente en las capas subsiguientes, lo que da como consecuencia que la extracción se vaya haciendo más difícil y la velocidad de extracción sea menor cuanto mayor es la cantidad de soluto constituyente. Por este motivo se probaron diversas relaciones de solvente a materia prima.

Las partículas sólidas se suspenden en el líquido por medio de la agitación para mantener en contacto el solvente y la materia prima, facilitando la transferencia de masa durante la extracción. Se utilizó un agitador de hélice a diferentes velocidades de agitación hasta obtener la que permita mayor extracción.

Filtración del Extracto

La operación de filtración es necesaria para separar las partículas sólidas: torta o bagazo del líquido: extracto y así obtener esta solución transparente sin sólidos en suspensión. Por el tipo de suspensión que se presenta, es necesario utilizar un filtro a 25 pulg de Hg de vacío.

Concentración

La concentración o evaporación, es la operación de concentrar la solución por ebullición y separación del solvente. Con este fin se utilizó un rotavapor Yamato calentado por un baño maría de 50° C, obteniéndose el concentrado: oleorresina y el solvente recuperado: alcohol etílico 95°.

Para reducir el riesgo de deteriorar los productos sensibles al calor durante la evaporación se debe mantener baja la temperatura de ebullición y utilizar tiempos de residencia cortos, de la solución en la zona de calefacción. Las temperaturas de ebullición se disminuyeron reduciendo la presión de trabajo del rotavapor (0.97 psi) . Con ello, es posible obtener diferencias de temperatura satisfactoria con un medio de calefacción.

5.3. OBTENCION DE OLEORRESINA DE CURCUMA A NIVEL LABORATORIO.

5.3.1 DESCRIPCION DEL EQUIPO

Las pruebas a nivel laboratorio se desarrollaron en el Laboratorio N°21 de Investigación y Química Aplicada y en el Laboratorio N°23 de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera de la Universidad Nacional de Ingeniería. Los equipos e instrumentos con los cuales se realizaron los ensayos se detallan a continuación:

Secador a Vacío **Fisher Vacuum Over**. Con:

Vacuómetro de 0 - 30 pulg Hg y escala de temperatura (1 - 10).

Molino de granos **Molino de granos Landers. Corona 120 - 2C**. Molino Tradicional Corn Mill de Tolva alta. Fabricación LANDERS Y CIA S.A (Medellín Colombia).

Material: hierro fundido y pulido recubierto electrolíticamente con estaño puro.

Tipo: discos molidores ajustables para permitir la molienda gruesa o fina, según se desee.

Tamiz malla 30 Escala US.

Agitador **Kika - Werk. Janke - Kunkel RW 10R**. Con:

Motor de 220 VAC

Perilla reguladora de velocidades.

Impulsor de dos hélices.

Equipo de Filtración al vacío Conformado por:

*** 1 Kitasato.**

*** 1 embudo Buchner.**

*** 1 tanque pulmón.**

*** 1 Bomba de vacío: General Electric.**

Motor 220 VAC y 1/6 HP,

Medidor de presión de 0 - 30 lb/pulg²

Medidor de vacío de 0 - 30 pulg Hg.

Equipo de Concentración a vacío

Rotavapor Yamato: Pera de capacidad de 1000 cc, en la cual se concentra la solución extraída.

Balón de 500 cc, en donde se receptiona el solvente recuperado.

Condensador ensamblado con el rotor que posee un regulador de la velocidad de giro de la pera.

Calentador de baño maría: Calentador eléctrico con una resistencia de 600 watts y con una perilla para regular la temperatura del baño.

Bomba de vacío Arthur Pfeifer G.m.b.H. Wetzlar

Tipo : PH 10

Régimen : 300 rpm.

Rendimiento : 10 m³/h.

Voltios : 220 v.

Tanque pulmón Seltz Werke G.m.p.H. Bad Kreuznage. Rheinland.

Tipo : DR,B

Capacidad : 100 lt.

Presión de trabajo : 2 atm.

Planchas eléctricas

* **Corning** : Escala de temperatura (0 a 3).

Voltios: 120 voltios.

Resistencia: 600 - 615 watts.

* **Gerhardt**: Escala de temperatura (0 - 10).

Voltios : 220 V.

Estufa Blue M. Electric Company USA Single Wall Transite Oven.

Rango de calentamiento : 40 °C a 200 °C.

Balanzas:

* **Mettler.**

Capacidad máxima : 3000 g.

Tara : 0 - 2000 g

1 Div. : 1 g

Voltaje : 220 V.

* **Mettler - Tipo H16.** (Balanza Analítica)

Capacidad máxima : 80 g.

1 Div : 1 mg

Voltaje : 220 V.

Espectrofotómetro:

*** Spectronic 20D.**

Espectrofotómetro de radiación simple.

Rango de longitud de onda : 340 a 600 nm

Ancho espectral de slit : 20 nm.

Pantalla de lectura digital, con selección de cuatro modos de operación (Tramitancia, Absorbancia, Concentración y Factor).

Soxhlet Material de vidrio :

Balón de 500 cc.

Percolador.

Condensador.

5.3.2 EFECTO DE PARAMETROS

Se realizaron las pruebas a nivel laboratorio con la finalidad de **determinar** las condiciones óptimas de extracción de oleorresina. Los parámetros que influyen en esta operación son: método de extracción, temperatura, tamaño de partícula, nivel de agitación, relación solvente a materia prima, número de etapas, tiempo de extracción, calidad del solvente. Los resultados obtenidos de las pruebas experimentales se encuentran en el Apéndice N° 6 y en el Cuadro N° 8.

1. Método de Extracción

La extracción puede realizarse por los dos métodos descritos anteriormente:

- Extracción por etapas con agitación mecánica.
- Extracción continua con uso de soxhlet.

Se realizaron pruebas con cada uno de estos métodos, eligiéndose **la extracción por etapas** debido a las ventajas que presenta para este producto en comparación con la extracción continua, como: menor consumo de energía, menor evaporación del solvente, menor probabilidad de degradación del producto por exposición del material en proceso a altas temperaturas durante largos periodos de tiempo.

2. Temperatura

El incremento de la temperatura da lugar a una mayor solubilidad del soluto en el solvente favoreciéndose la extracción. El coeficiente de difusión aumenta con el aumento de temperatura, lo cual incrementa la velocidad de extracción. Por otro lado, una excesiva exposición a altas temperaturas puede causar la degradación de productos naturales. Es por ello que se eligió realizar

la extracción a **temperatura ambiente**, con lo cual se evitan pérdidas por evaporación de solvente (alcohol etílico 96° de alta volatilidad).

3. Tamaño de partículas

Para lograr una buena difusión del soluto en el solvente es necesario un determinado grado de molienda de la materia prima. La velocidad de transferencia del material en el solvente es mayor cuanto mayor es el área interfacial entre el sólido y el líquido, lo cual se logra cuanto más pequeñas sean las partículas. Una molienda demasiado fina puede causar la rotura de las células dejando en libertad componentes indeseables, a la vez que ofrece dificultades en la operación ya que impide la libre circulación del líquido, la separación de las partículas del líquido y el drenaje del sólido residual.

Las pruebas se realizaron utilizando cribas en seco y el tamaño de corte es la malla 30 US (Malla 28 Tyler equivalente a 0.595 mm), elegida para verificar los resultados obtenidos en estudios anteriores (45)

El tamaño denominado "Gruesos" corresponde a + 30 M (no pasantes).

El tamaño denominado "Finos" corresponde a - 30 M (pasantes).

Se comprobó que con el **tamaño fino (- 30 M US equivalente a 0.595 mm.)** permite una mejor extracción.

4. Nivel de Agitación

La agitación incrementa de manera directa la difusión y por lo tanto aumenta la velocidad de transferencia del soluto al solvente, desde la superficie de las partículas a la solución. Además, la agitación de suspensiones de partículas finas previene la sedimentación.

Para determinar la influencia de la velocidad de agitación sobre la extracción se realizaron ensayos con tres velocidades. Como se demuestra más adelante, en los resultados, se observa que no existe una marcada influencia de este parámetro en la extracción.

5. Relación entre solvente y materia prima

Es muy importante tener en cuenta la cantidad de solvente utilizado para la extracción, ya que si es muy baja no se logra extraer todo el soluto y si es muy alta se obtendrá una solución muy diluída, por lo tanto es necesario lograr un equilibrio.

Se probaron seis relaciones en peso de solvente a materia prima, eligiendo la **relación 5 a 1**, que permite una extracción eficiente y a la vez una solución no muy diluída.

6. Número de extracciones

Para determinar el número de etapas óptimas se ensayó con una extracción por etapas, en donde se alimenta solvente nuevo (96°) a cada nueva etapa de extracción, en la relación solvente a materia prima 5 a 1 (en cada una). Así se determinó el número de etapas o extracciones a las que debe ser sometida la materia prima con el fin de obtener un extracto u oleorresina con una alta concentración de curcumina, agotando de esta manera la materia colorante contenida en la cúrcuma.

Se realizaron pruebas desde una etapa hasta seis etapas, siempre en extracción cruzada, obteniéndose un incremento significativo en la eficiencia de extracción hasta la tercera etapa.

7. Tiempo de extracción

El tiempo de extracción, está en función inversa a los factores: temperatura y agitación, pero sólo hasta ciertos límites; ya que a mayores temperaturas y mayor nivel de agitación (mayor número de rpm), se logran extracciones más rápidas, esto permitiría un menor tiempo de extracción.

Manteniendo constante la temperatura (ambiente) y el nivel de agitación (velocidad 436 rpm) se realizaron las pruebas con el fin de obtener el tiempo más apropiado para la extracción en cada una de las tres etapas.

Se determinó que cinco minutos de extracción para cada etapa es el tiempo mas conveniente para las cantidades tratadas, ya que si bien no permiten la *máxima* eficiencia de extracción, si se reduce el tiempo de operación total con una adecuada eficiencia de extracción. Además utilizar mayores tiempos de extracción no produce un incremento significativo justificable y ocasiona mayores costos de operación.

8. *Calidad del olvente: Grado de alcohol*

El solvente adecuado debe solubilizar en alto grado al colorante a extraer, su viscosidad tiene que ser suficientemente baja para que pueda circular libremente en el sistema. Se eligió como solvente el alcohol etílico debido a que la oleoresina será utilizada para consumo humano, además que así lo exigen algunos requisitos de exportación.

Se probaron seis calidades o grados de alcohol (96°, 90°, 85°, 80°, 70°,60,°54) determinando el grado de alcohol para la precipitación de

"acuorresinas" , igual a (80°). Después de cada extracción se concentra el extracto recuperando alcohol con un grado menos que el inicial.

5.3.3. DISCUSION DE RESULTADOS

Para seleccionar las condiciones óptimas de extracción en primer lugar fue necesario determinar el método de análisis que permitiera comparar los resultados experimentales. La calidad de oleorresina se mide en base al contenido de curcumina presente, por lo que basándose en el método espectrofotométrico de la Norma Técnica ITINTEC 209.199 (Apéndice N° 12) se establecieron tres posibles métodos de análisis.

Análisis referencial : Del líquido o extracto obtenido se toma un volumen determinado de extracto el cual se pesa y se registra como m, se efectúan las diluciones a fiola de 100 ml y 50 ml. Una muestra de esta última fiola se llevó al espectrofotómetro para leer el porcentaje de Transmittancia (%T). Así el contenido de curcumina expresado como porcentaje en peso (de la muestra líquida pesada al inicio, m) se obtiene mediante la expresión siguiente:

$$\% C = \frac{A \times D \times 100}{1607 \times m}$$

CUADRO N° 8

EFFECTO DE PARAMETROS SOBRE LA EXTRACCION DE OLEORRESINA EN CURCUMA

PARAMETRO ENSAYADO	EFICIENCIA DE EXTRACCION DE COLORANTE	PARAMETRO SELECCIONADO
1. Método Extracción		
Continua	53.5 %	Extracción por Etapas.
Por etapas	82.2 %	
2. Tamaño partícula		
Gruesos	58.1 %	Tamaño partícula Finos
Finos	82.2 %	
3. Nivel agitación		
200 rpm	82.2 %	Nivel agitación 436 rpm.
436 rpm	83.1 %	
936 rpm	84.1 %	
4. Relación solvente a materia prima		
3 a 1	73.4 %	Relación solvente a materia prima 5 a 1.
4 a 1	74.3 %	
5 a 1	78.1 %	
6 a 1	78.1 %	
7 a 1	78.2 %	
8 a 1	78.3 %	

PARÁMETRO ENSAYADO	EFICIENCIA DE EXTRACCIÓN DE COLORANTE	PARÁMETRO SELECCIONADO
5. Número de extracciones		
1	78.1 %	Número de etapas 3.
2	87.2 %	
3	89.9 %	
4	91.0 %	
5	92.0 %	
6	92.7 %	
6. Tiempo Extracción		
. Primera Etapa:		
5 min	78.1 %	Tiempo Extracción . Primera Etapa: 5 min.
10 min	79.3 %	
15 min	80.3 %	
20 min	81.3 %	
30 min	82.2 %	
. Segunda Etapa:		
5 min	87.2 %	Tiempo Extracción . Segunda Etapa: 5 min.
10 min	87.6 %	
15 min	87.7 %	
20 min	87.9 %	
30 min	87.9 %	
. Tercera Etapa:		
5 min	89.9 %	Tiempo Extracción . Tercera Etapa: 5 min.
10 min	90.2 %	
15 min	90.3 %	
20 min	90.3 %	
30 min	90.4 %	
7. Calidad Solvente		
96 °	89.9 %	Alcohol de 96°
90 °	89.8 %	
85 °	89.5 %	* Precipitación de acuorresinas.
80 °	89.1 %	
70 °	85.1 %	
60 °	76.9 %	
45 °	27.2 %	

Análisis en Oleorresina : Del extracto concentrado se pesa una muestra de la oleorresina (m), se diluye en fiola de 100 ml y luego en fiola de 50 ml, leyendo en el espectrofotómetro el porcentaje de Transmittancia (%T); finalmente con la fórmula anterior se determina el contenido de curcumina expresado como porcentaje en peso en base a la muestra de oleorresina pesada inicialmente (m).

Análisis en Remanente : Después de la extracción queda la materia prima agotada o remanente, de la cual se pesa una muestra (m) y se sigue la metodología descrita en el Apéndice N° 12 para la determinación del principio colorante curcumina, tratando al material remanente como materia prima fresca (palillo o cúrcuma sin procesar), obteniéndose así la cantidad de curcumina presente en la muestra remanente.

En el Apéndice N° 7 se muestran estos tres análisis realizados para una misma prueba de extracción. Se definió una relación entre la cantidad de colorante extraído y la cantidad total de colorante presente denominándose a esta relación "eficiencia de extracción". Entre los tres métodos de análisis se eligió el **análisis en remanente** por reportar un valor más confiable que los otros métodos.

Las pruebas a nivel banco se realizaron con cúrcuma procedente del Valle de la Convención (Cusco) con un contenido de curcumina del 4.7 %.

Experimentalmente se comprobó que los dos métodos utilizados para la extracción de oleorresina de cúrcuma presentan una eficiencia de extracción similar en todos los casos ensayados. Por lo tanto es más recomendable utilizar la agitación mecánica, pues además de ser el más económico no presenta el riesgo de provocar la degradación de la oleorresina debido a la exposición de esta a altas temperaturas durante largos periodos de tiempo.

Como el solvente usado es volátil, es preferible trabajar a temperatura ambiente, para evitar las pérdidas por evaporación de este.

Se comprobó que el tamaño de partícula -30 M US permite un mayor agotamiento del colorante (curcumina) en la materia prima, este resultado se verifica utilizando cualquiera de los dos métodos de extracción.

Como se puede observar en el Cuadro N° 8, el nivel de agitación no presentó una marcada influencia sobre la eficiencia de extracción.

Del Gráfico N° 3 (Apéndice N°6) se observó que entre las relaciones solvente a materia prima, se obtiene el mayor incremento en la eficiencia de extracción con la relación 5 a 1, mientras que para relaciones

superiores (6 a 1, 7 a 1, 8 a 1) la eficiencia se eleva en pequeños rangos, a la vez que el extracto se va diluyendo, lo cual no es conveniente ya que incrementa el costo de la concentración.

Durante la extracción, el solvente se satura. Al incrementarse el número de etapas o extracciones (extracción cruzada) se carga de solvente nuevo a la materia prima cada vez más agotada, por lo que mejora la eficiencia de extracción, obteniéndose la materia prima con menor cantidad de colorante remanente a la salida de cada etapa, pero como se observa en el Gráfico N° 4 (Apéndice N° 6), los incrementos son pequeños a partir del tercer lavado en adelante. Durante el primer lavado se extrae la mayor cantidad de la materia colorante y el solvente se agota rápidamente.

El tiempo de extracción para cada etapa también fue evaluado y los resultados se muestran también en el Cuadro N° 8. Se eligió un tiempo de 5 min. para cada etapa por obtenerse una eficiencia de extracción final de 89.9%, mientras que para mayores tiempos de extracción se mejora la eficiencia máximo hasta un valor de 90.4% (solamente 0.5% más).

Para complementar las pruebas anteriores de extracción de oleoresina se realizaron nuevos ensayos utilizando alcohol acuoso para obtener la calidad de alcohol a la cual se obtienen las "*acuorresinas*",

después de concentrarlas y permanecer en reposo se observaron dos fases debido a la presencia de grasa y formación de precipitado en forma de pequeños cristales en la fase acuosa; esta precipitación se observa al utilizar alcohol de 80° mientras la eficiencia de extracción (medida en función a la cantidad de colorante extraído) es del orden del 89.1 % muy cercana a la que se obtuvo durante la extracción con alcohol de 96° (89.9 %). Al emplear alcohol de 45°, esta eficiencia decrece enormemente (27.2 %) y para menores grados de alcohol la extracción prácticamente no se realiza. Estas pruebas son útiles también para determinar hasta que grado alcohólico puede ser utilizado el solvente recuperado para el proceso en planta sin que se presente la formación de precipitado. Las condiciones de extracción de oleorresina, se presentan en el Cuadro N° 9.

Los extractos de oleorresinas fueron sometidas a secado por atomización, ya que estudios anteriores indican que pueden obtenerse concentrados en polvo de curcumina, pero se comprobó que esto no se logra debido a la presencia de grasas, ceras y gomas, que al ser expuestas al calor en el equipo, sufren un proceso de degradación. Además, por la naturaleza del producto, este queda adherido a las paredes internas del equipo por lo que es pequeña la cantidad que puede ser recolectada en el envase final y presenta apariencia grumosa.

CUADRO N° 9

CONDICIONES SELECCIONADAS PARA LA EXTRACCION DE OLEORRESINA DE CURCUMA

PARAMETRO	VALOR DETERMINADO
SOLVENTE	Alcohol 96°.
TAMAÑO DE PARTICULA	- Malla 30 US.
AGITACION MECANICA	436 rpm.
RELACION:	
SOLVENTE/MATERIA PRIMA	5/1.
N° DE EXTRACCIONES	3.
TIEMPO DE EXTRACCION	5 min cada lavado.

5.4. OBTENCION DE OLEORRESINA DE CURCUMA A NIVEL PILOTO.

5.4.1. EQUIPO EXPERIMENTAL.

Estos ensayos se efectuaron en los Laboratorios: Lab. N° 21 de Investigación y Química Aplicada, Lab. N° 23 de Operaciones Unitarias, Lab. N° 23A de Procesos Químicos de la Facultad de Ingeniería Química y Manufacturera de la Universidad Nacional de Ingeniería, utilizando los siguientes equipos e instrumentos:

Secador a Vacío **Fisher Vacuum Over.**

Molino de granos **Molino de granos Landers.**

Tamiz **Malla 30. Escala US.**

Agitador mecánico **Yamato Con:**

Motor con regulador de velocidad.

Impulsor de paletas planas inclinadas.

Equipo de Filtración al vacío

. **Bomba de vacío.**

. **Embudo Buchner.**

. **Medio filtrante:** papel de filtro rápido.

Equipo de concentración Conformado por:

1. Calderín de resistencias eléctricas:

Capacidad 10 lt.

Tres (3) Resistencias eléctricas de 1000 Watts cada una.

Perillas regulables para regular el calentamiento. Conexión al tanque o cámara de concentración.

2. Cámara de concentración:

Capacidad aproximada 5 lt, provisto de un serpentín de calentamiento con vapor y está ubicado en la parte inferior de la cámara, lleva un termómetro en la parte superior. Esta cámara se conecta con el condensador por medio de un tubo en U invertido de 5 cm de diámetro.

3. Condensador vertical:

De coraza y tubos, de 1 mt de altura, contiene 12 tubos de 3/4 pulg de diámetro. El sistema de refrigeración es con agua de la línea.

4. Cámara o recipiente colector del solvente:

De aproximadamente 5 lt de capacidad, completamente cerrado, donde se recepciona el solvente recuperado.

5. Bomba de vacío.

6. Tanque pulmón.

Ver Figura N° 10.

5.4.2. PROCEDIMIENTO EXPERIMENTAL.

Para la prueba a éste segundo nivel se obtuvieron los rizomas de cúrcuma frescos procedentes del Valle de la Convención (Cusco) con un contenido de 5.43% de curcumina; se realizó la limpieza de estos dejándolos secar sobre una mesa plana por dos días. Después de transcurridos estos, se colocaron en el secador a vacío del Laboratorio N°21, con humedad inicial de 82 %, se dejaron secar por 24 h, hasta humedad final de 13 %. Cuando los rizomas estuvieron secos, se molieron en el molino de granos y se pasaron por el tamiz 30 M US para separar el tamaño de partículas deseado.

Los rendimientos, así como las mermas o pérdidas, se tomaron de esta prueba para el balance de masa de la planta y diseño posterior de los equipos.

Una vez obtenida la cúrcuma molida y seca, se continuó con las siguientes etapas del proceso: extracción con agitación, filtración y concentración las que se llevaron a cabo en el Laboratorio de Operaciones Unitarias y el Laboratorio de Procesos Químicos.

Para realizar esta prueba se fijaron los parámetros obtenidos en el nivel banco, pero sólo se trabajó con un sólo lavado y el tiempo de extracción se sometió a evaluación. No se emplearon tres etapas ya que esto incrementa el volumen de solvente diluyendo así el extracto, lo que posteriormente incrementará el costo en la operación de concentración.

La extracción de la oleoresina se realizó en el tanque de agitación Yamato, se pesaron 500 gr de cúrcuma en contacto con 2007 ml de alcohol etílico de 96° y se sometieron a agitación a una velocidad de 340 rpm. a temperatura ambiente (aproximadamente de 21°C) por un tiempo de 30 minutos, luego se procedió a filtrar la suspensión en el filtro a vacío utilizando como medio filtrante papel de filtro rápido. Luego de finalizar la filtración se mantuvo el vacío por unos minutos más para extraer la mayor parte del líquido residual contenido en la torta. Se procedió a obtener una muestra de esta torta para el análisis de curcumina remanente, las cuales fueron analizadas posteriormente. De la misma manera se continuó la agitación entre la torta y el extracto obtenido procediendo a filtrar y tomar las muestras en cada uno de los siguientes tiempos: 60, 90, 120, 150, 180 minutos.

Al finalizar los 180 minutos de agitación, la solución obtenida tiene un bajo contenido de sólidos (4.4 %), además es necesario recuperar el

solvente para utilizarlo nuevamente, por lo que se realiza la concentración de este extracto. Con este fin se utiliza el equipo de concentración al vacío del Laboratorio de Procesos Químicos. El medio de calefacción es el vapor procedente del calderín con las resistencias en la graduación mínima. El vacío se controla desde 400 hasta 640 mmHg, mientras en la cámara de concentración la temperatura de ebullición se va incrementando desde 20° hasta 38° C. Finalmente se obtiene la oleorresina, sustancia muy viscosa, que se descarga de la cámara de concentración del equipo.

Los datos obtenidos experimentalmente a nivel piloto se presentan en el Apéndice N° 8.

5.5. RESULTADO DE ANALISIS FISICOQUIMICOS

Algunos de los análisis de materia prima se verificaron en el Instituto Nacional de Desarrollo Agrario (INDDA). Todos los análisis efectuados tanto a la materia prima como al producto final se presentan en el Apéndice N°11.

La metodología utilizada para la realización de estos aparece en el Apéndice N° 12.

6. DISEÑO DE PLANTA

6.1. CAPACIDAD INSTALADA PROPUESTA

De acuerdo a lo estimado en la proyección de la demanda, el mercado externo podrá consumir en el futuro un promedio de 14 TM/año (entre 13.5 TM/año y 14.8 TM/año). El proyecto contempla cubrir aproximadamente el 50% de la demanda total, la cual representa la mayor parte de la demanda de EEUU, que es uno de los mayores consumidores en el mercado de oleorresinas aunque mantiene niveles de consumo un tanto variables a través de los años estudiados.

La demanda del proyecto, por lo anteriormente expuesto, fluctúa entre los 6.8 y 7.4 TM de oleorresina por año. Considerando una producción anual de 7.1 TM y si el programa de producción considera un turno diario de 8 horas durante 300 días al año, se tiene una producción de oleorresina diaria de 24 Kg y una producción horaria de 3 Kg. Este plan de producción se encuentra comprendido entre los límites ya mencionados que estima el estudio de mercado.

Por tratarse de un proyecto agroindustrial, es necesario asegurar el

abastecimiento de la materia prima. De acuerdo a las consideraciones realizadas se utilizarán aproximadamente 70 TM/año para lograr el nivel de producción deseado. En el estudio realizado para determinar la disponibilidad de materia prima en el Capítulo 4, se muestra que existe un nivel de abastecimiento de palillo de 263 TM/año, lo cual asegura la producción de oleorresina.

6.2. LOCALIZACION PROPUESTA

La localización geográfica de la planta se determinó en función de diferentes factores, orientados a lograr un costo de producción y distribución mínimos (34).

La elección de la zona geográfica se realizó calificando los siguientes factores:

1. Disponibilidad de Materias Primas : Uno de los factores de mayor importancia para seleccionar el lugar donde se ubicará la planta lo constituye la disponibilidad de materias primas, ya que si los volúmenes consumidos son grandes y se ubica la planta cerca a las fuentes de abastecimiento, es posible reducir los gastos de transporte y almacenaje. También se debe tomar en cuenta el precio de adquisición, la distancia a las fuentes, gastos de transporte, seguridad de entregas, requerimientos de almacenaje, etc.

2. Proximidad al Mercado : Son también consideraciones muy importantes la proximidad a los principales mercados de consumo, los mecanismos de distribución del producto, el tiempo requerido para los embarques.

3. Energía y combustibles : Es necesario considerar la energía requerida por la planta industrial para su funcionamiento. El costo, existencia y/o abastecimiento de energía y/o combustibles para producirla debe ser considerada para la elección de la localidad.

4. Clima : Debe dete · e el grado en que afecta este factor al proceso productivo así como al equipo, materias primas y producto final (almacenaje).

5. Medios de Transporte : Los más utilizados son los fluviales o marítimos, el ferrocarril y los transportes por carretera. El medio de · orte depende de la clase y cantidad de productos y materias primas a trasladar. La localidad elegida debe contar en las cercanías con estaciones de ferrocarril y posibilidades de transporte por ríos, lagos u océanos. También es útil el transporte por camiones. Así como es importante el asegurar el transporte de materias primas y producto, también deben existir medios de transporte locales para los trabajadores de la planta.

6. Disponibilidad de agua : Es necesario disponer de una fuente confiable de agua como un río, lago o pozos profundos, que suministre en a la planta este recurso para enfriar, lavar, etc. Se debe tener en cuenta también la composición en cuanto a sales, contaminantes, temperatura, etc., de la fuente y el costo de suministro y tratamiento para su uso.

7. Disponibilidad de Mano de obra : Se debe examinar la disponibilidad de mano de obra y la calificación de la misma, a ser obtenida en las cercanías del lugar propuesto; las horas semanales de trabajo, los salarios, el nivel intelectual y social de los trabajadores.

8. Características de la ubicación : Deben tomarse en cuenta las características del terreno en la zona propuesta para ubicar la planta. El valor del terreno, el costo local de construcción, condiciones de vida y las posibilidades de una futura expansión.

Para evaluar las posibles opciones de localización de acuerdo a las consideraciones anteriores se presentan tres posibles zonas:

- * Zona A: Chanchamayo (Junín).
- * Zona B: Quillabamba (Cusco).
- * Zona C: Tingo María (Huánuco).

utilizando para la calificación la siguiente escala:

- . 1 : Deficiente.
- . 2 : Regular.
- . 3 : Buena.
- . 4 : Muy buena.

En el Cuadro N° 10 se presenta la calificación de las tres zonas propuestas según la escala anterior.

De la comparación de factores realizada se ha determinado que la zona que presenta las mejores posibilidades para la instalación de la planta es la localización A, que corresponde a Chanchamayo en el departamento de Junín. Además es factible distribuir el subproducto (bagazo residual) como alimento balanceado para aves, animales menores, etc., en la zona.

6.3. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO

El diagrama de flujo del proceso de producción de oleorresina de cúrcuma se muestra en la Figura N° 11.

El proceso de producción de oleorresina de cúrcuma es discontinuo. La cúrcuma limpia y seca (H = 10 - 14 %) es alimentada manualmente al molino de martillos M-1 con tamiz incorporado malla 30 US (0.595 mm), el molino descarga sobre la tolva de almacenamiento TO-1.

CUADRO N° 10

DETERMINACION DE LA LOCALIZACION DE PLANTA

FACTORES	ZONA	ZONA	ZONA
	A	B	C
. MATER S P IMAS	4	4	4
. MERCADO	2	2	1
. ENERGIA Y COMBUSTIBLE.	3	3	2
. CLIMA	3	3	3
. T SPORTE	3	2	2
. AGUA	3	3	3
. O DE OBRA	3	2	2
. UBICACION (TERRENO)	3	3	2
TOTAL	24	22	19

Se tienen dos unidades de agitación T-1 y T-2 que trabajan alternadamente. Cuando la balanza registra el peso de 73 Kg de cúrcuma correspondiente a un lote se alimenta al primer tanque de agitación T-1 mientras que con la bomba B-3 se adiciona 365 Kg (455 lt) de solvente procedente del tanque TA-1 (la cantidad de solvente está de acuerdo a la relación solvente a materia prima establecida de las pruebas experimentales, $R = 5 / 1$). Después de un tiempo de agitación de 2 h 40 min, la suspensión pasa al filtro rotatorio a vacío FR-1, el tiempo de filtración es de 1 h 40 min, así se logra separar los sólidos en torta y el líquido en extracto. Después de haberse rociado a través de R-1 la torta para ser lavada con el mismo solvente y una vez que esté seca, se insufla aire separándola de la tela filtrante para que caiga a la poza de almacenaje P-1. El líquido de lavado y el extracto se reciben en el recipiente de vacío RV-1. Mediante la bomba B-1 se transfiere el extracto al tanque concentrador TC-1. La operación de concentración se realiza durante 2 h (recuperación de solvente 95 %), los vapores del solvente pasan a través del condensador C-1, se colectan en un tanque de recepción TR-1 (en donde se conecta el sistema de vacío). El solvente recuperado se deposita en el tanque de almacenamiento TA-2 por medio de la bomba B-2, para ser reciclado. En el tanque TA-1 se almacena alcohol nuevo (96°) que se utiliza para reponer las pérdidas por evaporación o en el caso de cambio, cuando el grado alcohólico del alcohol almacenado en TA-2 sea 88°. La oleorresina concentrada es almacenada en un tanque de almacenamiento y finalmente es envasada asépticamente.

6.4. BALANCE DE MASA

Las consideraciones para el balance de masa son las siguientes:

- 1.- Eficiencia de operación de molienda : 95%.
- 2.- El porcentaje de solvente evaporado en cada operación en función del peso inicial, se detalla en el Cuadro N° 11.
- 3.- Se utilizaron los datos experimentales encontrados en las pruebas a nivel laboratorio como densidad de filtrado, porcentaje de sólidos en la suspensión, etc.

El balance de masa para la planta detallado en un diagrama de bloques se presenta en la Figura N° 12.

6.5. DISEÑO DE EQUIPOS

El Proceso de Producción de Oleorresina de Cúrcuma aquí establecido es discontinuo y consta de diferentes operaciones. Se inicia con la cúrcuma seca; las operaciones de curado y preparado de los rizomas que comprende la cocción y el secado de estos, no se lleva a cabo en el lugar de producción, sino en el lugar de cultivo y/o recolección: Valle de la Convención y Huánuco

El curado y preparación de los rizomas, consiste en recolectar los rizomas frescos, los cuales se limpian de la tierra adherida a ellos y luego se

CUADRO N° 11

EVAPORACION DE SOLVENTE

	FRACCION DEL VOLUMEN INICIAL	PESO	VOLUMEN
AGITACION	1 %	11 Kg	13.7 lt.
FILTRACION	2 %	22 Kg	27.4 lt.
COCENTRACION	2 %	22 Kg	27.4 lt.
	5 %	55 Kg	68.5 lt.

separan los bulbos para facilitar una cocción uniforme y acelerar el tratamiento térmico. Antes del hervido se seleccionan los rizomas que se usarán para el próximo cultivo. Los rizomas verdes se colocan en un recipiente con una determinada cantidad de agua, luego se hierven hasta que estén debidamente cocinados aproximadamente de 45 a 60 minutos; enseguida se sacan los rizomas cocinados y se extienden en una superficie adecuada (de unos 5 cm de espesor) para ser secados al sol; el tiempo de secado varía de 10 a 15 días, hasta que el producto se note duro y quebradizo, alcanzando de esta manera una humedad entre 10 y 14 por ciento, así se evita la germinación y descomposición de la cúrcuma.

Una vez que la materia prima seca llega a la planta de procesamiento, se inicia el proceso con la operación de limpieza en mallas, que pueden ser accionadas manualmente, esta limpieza se realiza con el fin de retirar el polvo, palos, y demás materiales extraños a la cúrcuma. De esta manera se encuentra ya lista para la operación de molienda, la cual se realiza en un molino de martillos con una malla 30 US (0.595 mm).

Se tienen dos tanques de agitación que trabajan alternadamente. La cúrcuma seca y molida, se alimenta al tanque de agitación desde la tolva de almacenamiento, mientras el solvente (alcohol etílico 96°) se adiciona en la relación en peso establecida (1 de materia prima por 5 de solvente). Después de

permanecer en contacto por acción de la agitación durante un tiempo de : 2 h 40min, se procede a la filtración de la suspensión en un filtro rotatorio al vacío durante 1 h 40min con el fin de separar el extracto (oleorresina sin concentrar) de la torta o bagazo. Esta última, se dispone sobre una superficie plana con el fin de evaporar el solvente residual y luego se emplea en mezclas de alimentos balanceados para **animales**.

El extracto se envía hacia el tanque de concentración para separar la oleorresina del solvente; se utiliza el sistema con vacío, para bajar la temperatura de ebullición del solvente y evitar la degradación del producto durante este proceso. El medio de calefacción del tanque concentrador está dado por vapor procedente de una caldera eléctrica; los vapores del solvente se hacen pasar por un condensador vertical, son colectados en el tanque de recepción y de esta manera se recupera alcohol de un grado menor al que se adicionó al inicio, es decir si al inicio se alimenta alcohol de 96°, se recupera alcohol de 95°. Este solvente, se utiliza nuevamente, reponiendo la pérdida por evaporación (5% de cantidad inicial de solvente). Cuando la carga inicial de solvente tiene 88°, se hace necesario reemplazar por solvente nuevo, lo cual se realiza después de nueve lotes.

A continuación la oleorresina debe envasarse en conformidad con lo requerido o concertado previamente con el comprador. Se vende generalmente

en envases cuyo contenido varía de 1 Kg, a 10 ó 15 Kg. Los envases más pequeños, de 1 ó 2 Kg, son habitualmente de vidrio o de metal con revestimiento interior; los más grandes son por lo general de material plástico y a veces de metal.

También es preciso asegurarse y cerciorarse que los envases estén herméticamente cerrados y lleven las etiquetas adecuadas para la identificación del producto, su origen, peso bruto y neto.

Al ser la oleorresina un producto intermedio destinado a la exportación y que será refinada en los países consumidores, la exigencia de los compradores es en cuanto a la cantidad de colorante (porcentaje de curcumina) contenido en la oleorresina y al aroma y sabor que presente. En el mercado se comercializan extractos de diferentes grados de concentración de curcumina. El precio de la oleorresina de cúrcuma se establece precisamente en función al contenido de curcumina presente. En el proceso descrito se espera obtener una oleorresina con 38 % de curcumina, medida en base al estandar que se presenta en el Apéndice N° 13. En el Apéndice N° 14 se muestra un ejemplo de los requisitos exigidos por un determinado cliente.

El almacenaje se realiza en un ambiente adecuado frío, seco y donde no esté expuesto el producto a los rayos solares para evitar la degradación.

El proceso de producción de oleorresina de cúrcuma requiere de la utilización de los siguientes equipos:

- . Molino.
- . Tanque de extracción con agitación..
- . Filtro.
- . Tanque de concentración.
- . Condensador.
- . Tanques de almacenamiento.
- . Tanque de recepción de solvente recuperado.

6.5.1 MOLINO

La selección de un equipo de molienda depende de algunos factores: tamaño de la alimentación, naturaleza del material, dureza, contenido de humedad, contenido de aceite, etc.

De acuerdo a las características que presenta la cúrcuma o palillo materia prima a procesar, se selecciona el molino de martillos que nos permite obtener el tamaño de partícula requerido para la siguiente etapa del proceso, además de una buena eficiencia de molienda y flexibilidad de operación.

También es posible emplear molinos de rodillos y de frotamiento con discos (con uno o dos impulsores), pero generalmente estos realizan una reducción más fina de la que se requiere.

A continuación se citan algunas ventajas del molino de martillos frente al molino de rodillos que es también una buena alternativa en el procesamiento de este tipo de material:

. El molino de martillo es un molino más flexible o versátil, con la habilidad de poder aceptar una variedad de materiales tales como granos de avena, cebada y otros de alto contenido de fibra. Es también adaptable a granos húmedos, tallos de maíz y materiales extraños, etc.

. El molino de martillo no se daña fácilmente, lo único que puede suceder es un agujero en la zaranda que haga necesario parar el proceso para el cambio, pero sólo por corto tiempo y a bajo costo en comparación con otros tipos de molinos.

. Aunque el tamaño de partícula puede controlarse mejor con el molino de rodillo, el producto que se obtiene del molino de martillo es aceptable.

. Un molino de martillo simplifica el control de las operaciones, porque además de ser de fácil manejo (por lo que no se necesita a un operador bien entrenado), una sola unidad puede reemplazar a varias unidades de otro tipo.

CAPACIDAD HORARIA DE MOLIENDA: Al proceso ingresan 230.6 Kg (Fig N° 12) de cúrcuma seca por día a molerse hasta malla - 30 MUS (0.595 mm).

$$230,6 \frac{\text{Kg}}{\text{D.O.}} \times \frac{1 \text{ D.O.}}{8 \text{ hr}} = 28,88 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

CAPACIDAD HORARIA OPERATIVA DE MOLIENDA : Se considera un factor de seguridad de 20 % y se calcula la capacidad horaria operativa:

$$28,83 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}} \times 1,2 = 35 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

De acuerdo a los resultados, se requiere un molino de martillo de 35 Kg/hr de capacidad. El material de construcción del molino y del tamiz interno debe ser acero 304. El tamaño de la malla es 30 MUS (0.595 mm) de uso comercial ya que mallas más finas son delgadas, se desgastan con más rapidez y se tapan con suma facilidad. Este tipo de molino puede trabajar con materia prima (cúrcuma) que contiene entre 10 - 14 % humedad. La potencia requerida para el funcionamiento del molino de martillo, de acuerdo a la capacidad horaria operativa determinada y al tamaño de molienda está entre los valores de 3/4 a 1 HP (Tabla 8-23, ref.(34)).

CUADRO N° 12

MOLINO CON CLASIFICACION INTERNA

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
TIPO DE MOLINO	MARTILLO
CAPACIDAD	35 Kg/h
CLASIFICADOR INTERNO	30 MUS
POTENCIA	3/4 - 1 HP
TIPO DE MATERIAL	ACERO 304
TAMAÑO DE MALLA	30 M US (28 TYLER = 0.595 mm)
TAMAÑO DE ALIMENTACION	3 - 3.5 cm
HUMEDAD DE MATERIA PRIMA	10 - 14 %
TIPO DE CRIBA	ORIFICIOS REDONDOS

6.5.2 TANQUE DE EXTRACCION CON AGITACION

El objeto de la agitación en este caso es poner en suspensión partículas sólidas dentro del solvente, lo que se hace para mantener el contacto entre las dos fases y así ayudar a reducir el tiempo de extracción.

La facilidad con que los sólidos se suspenden en el líquido y se mantienen en suspensión, depende principalmente de la velocidad de sedimentación de las partículas sólidas y del volumen equivalente en líquidos de baja viscosidad. Esta depende a su vez del tamaño, forma y densidad de las partículas, de la viscosidad y densidad del líquido y de que la sedimentación sea libre o impedida.

Se han diseñado dos unidades de agitación que funcionan alternadamente.

La alimentación a cada uno de estos tanques de extracción es:

MASA DE MATERIA PRIMA (CURCUMA) = 73 Kg.

MASA DE SOLVENTE (ALCOHOL ETILICO 96°) = 365 Kg.

MASA DE SUSPENSION = 438 Kg.

DENSIDAD DE LA SUSPENSION = 0.892 Kg/lt

VOLUMEN DE LA SUSPENSION = 491.03 lt.

TIEMPO DE RETENCION O CONTACTO = 2hr 40 min.

VOLUMEN DEL TANQUE DE EXTRACCION (V) :

Se considera un factor de seguridad de 50 % :

$$491.03 \times 1.5 = 737.55 \text{ lt.}$$

Considerando :

$$\frac{H}{D_t} = 1 ; \quad \frac{D_a}{D_t} = \frac{1}{3}$$

$$V = \frac{\Pi}{4} D_t^2 H = \frac{\Pi}{4} D_t^3$$

Calculando:

$$D_t = 1 \text{ m}$$

$$H = 1 \text{ m}$$

$$D_a = 0.3 \text{ m}$$

Para lograr los mismos rendimientos obtenidos a nivel piloto, el diseño se basa en alcanzar el mismo nivel de suspensión de sólidos, lo cual permite tener el contacto necesario entre el solvente y la materia prima, asegurándonos una buena transferencia de masa.

Según lo publicado en la ref. (13) los elementos principales para el diseño en un proceso de agitación son la potencia y la velocidad de giro del agitador. El método propuesto por este artículo señala que la velocidad de sedimentación es fundamental en la determinación de la respuesta dinámica

en suspensiones de sólidos en líquidos de baja viscosidad. La velocidad de suspensión depende:

. Del tamaño de las partículas: Las partículas pequeñas y ligeras con velocidad de sedimentación libre inferior a 30 cm/min son fáciles de suspender en un tanque agitado, ya que tienden a seguir el tipo de flujo del líquido. Las partículas mayores tienden a sedimentar, a pesar del movimiento del líquido, pero si la velocidad de sedimentación libre es superior a 3 m/min, un agitador es incapaz ordinariamente de producir una suspensión uniforme.

. De la fracción en volumen de sólidos en suspensión: Cuando los sólidos ocupan menos del 30 % del volumen de la suspensión, puede considerarse que la sedimentación de partículas es prácticamente libre. Cuando la fracción en volumen es mayor del 50 %, tiene lugar la **sedimentación impedida**, y el lodo formado se comporta más bien como un líquido no newtoniano que como dos fases separadas de líquido y sólidos; las partículas sedimentan lentamente. La velocidad terminal de sedimentación estimada, u_t , de partículas esféricas se muestra en la Figura N° 15 (Apéndice N° 10) como una función de tamaño de partícula y la diferencia en la gravedad específica entre el sólido $(Sg)_s$ y el líquido $(Sg)_l$,

$[(Sg)_s - (Sg)_l]$, en agua (l), y puede ser usada para estimar la velocidad de sedimentación de partículas en cualquier líquido de baja viscosidad.

Para calcular la velocidad de sedimentación, u_d , se debe combinar la velocidad terminal, u_t , con un factor de corrección, f_w , de la Tabla I Apéndice N° 10:

$$u_d = u_t \times f_w \quad (1)$$

La respuesta dinámica para sólidos en suspensión se expresa en una escala del 1 al 10 (Tabla II ref. (13), ver Apéndice N° 10). Los niveles de escala indican la diferencia de nivel de sólidos en suspensión y los criterios de funcionamiento. El impulsor básico para sólidos en suspensión es el de paleta de turbina inclinada.

La potencia necesaria para el movimiento y la velocidad del agitador son los principales elementos para el diseño del agitador, por lo que se ha realizado el cálculo explicado a continuación.

Con el porcentaje de sólidos en suspensión, el tamaño de partícula y la gravedad específica del sólido y del líquido se determina la velocidad terminal de sedimentación con la Figura N° 15 (Apéndice N° 10). De acuerdo al nivel de agitación deseado se determina la velocidad de agitación con la Figura N° 16 del tanque del filtro.

CUADRO N°13

TANQUE DE EXTRACCION CON AGITACION

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
MASA DE SUSPENSION	438 Kg
DENSIDAD SUSPENSION	0.892 Kg/lt
NÚMERO DE UNIDADES	2
<u>TANQUE :</u>	
DIAMETRO	1 m
ALTURA	1 m
ESPESOR	3/32 pulg
<u>IMPULSOR :</u>	
TIPO	TURBINA PLANA INCLINADA
DIAMETRO	30 cm
DISTANCIA DEL FONDO	
AL IMPULSOR	30 cm
VELOCIDAD DE GIRO	280 rpm
POTENCIA	0.3 HP

(Apéndice N° 10) y la potencia requerida se determina con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{D_a}{394} \times N^3 \times (Sg)_{sl} \quad (2)$$

Donde:

N = velocidad de agitación en rpm

$(Sg)_{sl}$ = gravedad específica del lodo.

Los cálculos efectuados se muestran en el Apéndice N° 9.

6.5.3. FILTRO

Se ha seleccionado un filtro continuo de tambor giratorio al vacío. El filtro consiste en un tambor cilíndrico sostenido en un tanque de extremo superior abierto o una tolva, de tal suerte que se permita la rotación del tambor en el torno a su propio eje, que se encuentra en un plano horizontal. La posición del tambor en el tanque es de tal índole que su porción inferior queda confinada dentro de las paredes del tanque, mientras que la porción superior queda abierta hacia arriba.

Por lo común, la torta de filtro se descarga de la superficie del tambor mediante una hoja raspadora. Al extremo del raspador va una punta de caucho desmontable. El raspador mismo se monta sobre el borde del tanque del filtro.

El área de estos filtro varía de 4 a 1000 pies². El material de construcción es acero inoxidable utilizando como medio filtrante lona.

Durante su operación, el tambor gira lentamente en tanto que el tanque recibe el material que se va a filtrar y se mantiene el nivel para asegurar una profundidad constante de inmersión de la porción más baja del filtro. Una vez que se escoje la profundidad, se ajusta la válvula para las condiciones dadas.

Mediante la acción de la válvula automática, se aplica vacío a los compartimientos del tambor que pasan por la lechada. El vacío creado dentro de los compartimientos provoca un flujo de filtrado a través del medio de filtración, los ductos y la válvula automática, y se deposita una capa de torta de sólidos sobre el medio de filtración que cubre la porción sumergida del tambor.

Conforme gira el tambor se mantiene el vacío en los compartimientos y la capa de la torta de sólidos asciende y pasa por el arco incluido en la porción superior o expuesta del tambor. Se somete al lavado con alcohol mediante el uso de toberas de aspersión, el líquido de enjuague se infiltra en la torta y desplaza el líquido contenido en ella. Después del periodo de lavado se separa el líquido de lavado de la torta y se descarga. A continuación, la superficie limpia del filtro gira en el tanque y se repite el ciclo.

Para la operación de filtración se considera lo siguiente:

TORTA INCOMPRESIBLE.

PRESION DE OPERACION = 460 mmHg.

VISCOSIDAD DEL EXTRACTO⁽¹⁾ = 1.19×10^{-3} Kg/(mxseg)

DENSIDAD DE LA TORTA SECA⁽¹⁾ = 1.11 g/cc

DENSIDAD DEL SOLIDO⁽¹⁾ = 1.25 g/cc

DIAMETRO DEL FILTRO NIVEL PILOTO = 20.5 cm.

MASA DE LA SUSPENSION A FILTRAR⁽²⁾ = 434.33 Kg

DENSIDAD DE LA SUSPENSION⁽¹⁾ = 0.892 Kg/l

VOLUMEN DE LA SUSPENSION = 486.92 lt

CALCULO DEL AREA DE FILTRACION

La alimentación al filtro se realiza directamente del tanque de agitación, se estima un tiempo de filtración de 1 hr 40 min.

Flujo de suspensión a filtrar: (extracto y sólido):

$$\frac{434.33 \text{ Kg}}{1.667 \text{ hr}} = 292.15 \frac{\text{lt}}{\text{hr}} \times 0.892 \frac{\text{Kg}}{\text{lt}} = 260.6 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

Porcentaje de sólidos en la suspensión:

Masa de sólido por lote = 73 Kg.

Masa de alcohol por lote = 361.33 Kg.

$$\frac{W_s}{W_t} = \frac{73}{434.33} = 16.8 \%$$

⁽¹⁾ Medido experimentalmente

⁽²⁾ Evaporación de solvente = 3.67 Kg = 4.6 lt

Para el nivel piloto:

. Area filtración :

$$A = \frac{\Pi}{4} D^2 = \frac{\Pi}{4} (20.5/100)^2 = 3.3006 \times 10^{-2} \text{ m}^2$$

. Tiempo de filtración : 15 min (0.25 h)

. Velocidad de filtrado :

$$\frac{2.95 \text{ Kg}}{0.25 \text{ h}} \times \frac{1 \text{ Kg}}{3.3006 \times 10^{-2} \text{ m}^2 \text{ h m}^2} = 357.5$$

Para el cálculo del área del filtro, se utiliza la misma velocidad de filtrado del nivel piloto igual a 357.5 Kg/h m².

Entonces:
$$S = \frac{F}{f \times v}$$

Donde : S = Area de filtración.

F = Flujo de suspensión.

f = porcentaje de sólidos.

v = velocidad de filtración

Calculando :

$$S = \frac{260.6 \text{ Kg/h}}{\frac{16.8}{100} \times 357.5 \text{ Kg/h m}^2} = 4.3 \text{ m}^2$$

Considerando factor de seguridad de 50% se tiene el área:

$$S = 4.3 \times 1.5 = 6.5 \text{ m}^2.$$

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL TAMBOR

Sabemos que : $A = \pi D L$

$$\text{Considerando: } \frac{D}{L} = \frac{2}{3}$$

$$\text{Entonces resulta : } L = 1.8 \text{ m}$$

$$D = 1.2 \text{ m}$$

CALCULO DE LAS DIMENSIONES DEL RECIPIENTE DE VACIO

MASA DE FILTRADO = 362 Kg.

DENSIDAD DEL FILTRADO = 0.81 Kg/lt.

VOLUMEN DEL FILTRADO = 446.91 lt.

Con un 50 % de factor de seguridad, el volumen del recipiente de vacío es:

$$V = 446.9 \times 1.5 = 0.670 \text{ m}^3$$

Para evitar arrastres por vacío se considera :

$$\frac{H}{D} = \frac{5}{3}$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = 0.670$$

Resolviendo : $D = 0.8 \text{ m}$

$$H = 1.33 \text{ m.}$$

CUADRO N° 14

FILTRO

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
TIPO DE FILTRO	ROTATORIO AL VACIO
PRESION DE TRABAJO	460 mmHg
<u>TAMBOR ROTATORIO:</u>	
AREA DE FILTRACION	6.5 m ²
DIAMETRO DEL TANQUE	1.2 m.
LONGITUD DEL TANQUE	1.8 m.
<u>RECIPIENTE DE VACIO</u>	
VOLUMEN	0.67 m ³
DIAMETRO	0.8 m.
AL TUBO	1.3 m.

6.5.4 TANQUE DE CONCENTRACION

Si se quiere concentrar una solución es necesario someterla a una evaporación, la solución consta de un soluto no volátil y un disolvente volátil y el producto final en nuestro caso es el extracto concentrado: la oleorresina de cúrcuma, mientras que el solvente se recupera por condensación para utilizarlo en el proceso nuevamente.

Es necesario mencionar que el líquido que entra como carga al evaporador está bastante diluido con un bajo contenido de sólidos totales y por lo tanto posee muchas de las propiedades físicas del solvente puro, a medida que aumenta la concentración, este adquiere un carácter particular. La densidad y viscosidad aumentan con el contenido de sólidos hasta que la solución se satura haciéndose más difícil la adecuada transmisión de calor. A medida que aumenta la proporción de sólidos, aumenta también la temperatura de ebullición de la solución, la cual puede ser mucho mayor que la del disolvente puro a la misma presión.

Las sustancias orgánicas (como el extracto de oleorresina) forman espuma durante la concentración. Con el vapor sale del evaporador una espuma estable que origina un gran arrastre. En los casos extremos toda la masa del líquido puede ser arrastrada por el vapor. A los valores indicados de presión y

temperatura, la solución presenta una formación de espuma controlable que permite la evaporación del solvente y la concentración de la oleoresina sin que esta última sea arrastrada al tanque de solvente recuperado. El material del tanque de concentración es también acero 304, debe estar provisto de un rompe-espumas interno ubicado a las tres cuartas partes de la altura del tanque, teniendo como referencia la base del mismo. Según lo que se verificó experimentalmente, el solvente recuperado difiere del solvente nuevo en 1 grado alcohólico, es decir que se logra recuperar alcohol de 95°, el cual se utiliza nuevamente.

CALCULO DEL DIAMETRO DEL TANQUE DE CONCENTRACION

El volumen del extracto ocupa el 75 % del volumen total del tanque de concentración, debido a que se deja el 25 % del espacio libre por la formación de espuma.

MASA DEL EXTRACTO = 362 Kg

DENSIDAD DEL EXTRACTO = 0.81 Kg/lit

TIEMPO DE OPERACION = 2 h

VOLUMEN DEL TANQUE DE CONCENTRACION = 446.91 lit

Como este volumen representa el 75 % del volumen real del tanque ya que el nivel del líquido a concentrar debe estar por debajo del rompe-espumas:

$$446.91 / 0.75 = 595.88 \text{ lit}$$

Con un 50% de factor de seguridad: $595.88 \times 1.5 = 893.83 \text{ lit}$

Considerando: $\frac{D}{H} = 1$

$$V = \frac{\Pi}{4} D^2 H = 0.893$$

Se obtiene: $D = 1 \text{ m.}$ y $H = 1 \text{ m.}$

ROMPE-ESPUMA : a 0.25 m de la parte superior del tanque (detalles en la Figura N° 13).

6.5.5 CONDENSADOR

Este equipo es importante en la concentración porque tiene como cometido fundamental el cambiar el estado de agregación de una sustancia de la fase vapor a la fase líquida mediante enfriamiento; para lo cual se requiere remover una cantidad de calor equivalente al calor de vaporización de los vapores del solvente más una pequeña cantidad de calor adicional para enfriar el líquido condensado a una temperatura conveniente por debajo de su punto de ebullición.

La velocidad de remoción de calor de los vapores se expresa por la siguiente ecuación:

$$Q = U A D t$$

CUADRO N°15

TANQUE DE CONCENTRACION

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
MATERIAL	ACERO INOXIDABLE 304
ESPESOR	3/32 pulg
DIAMETRO DEL TANQUE	1 m
ALTURA DEL TANQUE	1 m
CARGA DEL CONCENTRADOR	362 Kg
DENSIDAD INICIAL DE CARGA	0.81 Kg/lt
PRESION DE TRABAJO	460 mmHg

Donde:

Q = Calor removido por unidad de tiempo.

U = Coeficiente de transferencia de calor.

A = Area disponible para remover el calor.

DT = Diferencia de temperatura.

El condensador vertical con haz de tubos es el más satisfactorio para este proceso porque tiene la ventaja que un rápido flujo de agua fría en contracorriente produce un enfriamiento más eficiente. Los tubos son ensamblados en un haz vertical simple, el número y la longitud depende del nivel de condensación a ser alcanzado, de tal forma que los vapores a ser condensados entren a los tubos y el agua fría circule alrededor de ellos. El coeficiente global de transferencia de calor U para condensadores (21) está entre 200 y 400 Btu/(h pie² °F). Los condensadores tubulares deben ser usados en posición vertical, con vapores entrantes en el tope y el condensado saliendo por los fondos. Los condensadores tubulares requieren mucho menor espacio que los otros tipos de condensadores además permite una limpieza más completa.

Para asegurar el buen funcionamiento del equipo, es necesario incluir en el cálculo un factor de seguridad. Los tubos más largos requieren menos agua de enfriamiento, puesto que el contacto del vapor y el condensado dura

más y permite la absorción de más calor y la temperatura del condensado final es más cercana y aproximada al agua fría que entra al condensador.

La construcción del condensador se hará en tubos estándar de acero inoxidable 304 de 5/8 pulg de diámetro y la carcasa puede ser de hierro galvanizado de 6 pulg de diámetro.

CALCULO DEL FLUJO MASICO Y VOLUMETRICO DEL REFRIGERANTE

. MASA DE ALCOHOL RECUPERADO = 346.67 Kg

. TIEMPO DE OPERACION = 2 hr.

. FLUJO MASICO DE ALCOHOL = 173.335 Kg/hr

De la Tabla 3-172 pág. 3-15 ref.(40), el calor latente de vaporización del etanol

X_{EtOH} :

$$X_{EtOH} = 204.26 \text{ cal/g a } T = 78.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

De la pág. 122 fig. A-2 a $T = 38 \text{ }^{\circ}\text{C}$, ref.(40):

$$C_{p_{EtOH}} = 0.69 \text{ cal/(g }^{\circ}\text{C)}$$

$$C_{p_{agua}} = 1 \text{ cal/(g }^{\circ}\text{C)}$$

Temperatura de ingreso del agua = 20 °C

Temperatura de salida del agua = 22 °C

Temperatura de ingreso del EtOH = 38 °C

Temperatura de salida del EtOH = 23 °C

$$Q_g = m C_p \Delta T$$

Donde:

Q_g = Calor ganado por el agua.

m = Flujo másico del agua.

C_p = Capacidad calorífica del agua.

ΔT = Diferencia entre temperatura de salida y temperatura de ingreso.

Reemplazando valores en la ecuación anterior:

$$Q_g = m \times 1 \times (22 - 20)$$

y:

$$Q_c = m_c (X + C_p \Delta T)$$

Donde:

Q_c = Calor cedido por el EtOH.

m_c = flujo másico del EtOH.

X = Calor latente de vaporización del EtOH.

C_p = Capacidad calorífica del EtOH.

Reemplazando datos:

$$Q_c = \frac{173335 \text{ gr}}{\text{hr}} \times \left(\frac{204.26 \text{ cal}}{\text{gr}} + \frac{0.69 \text{ cal}}{\text{gr}^\circ\text{C}} (38 - 23)^\circ\text{C} \right)$$

$$Q_c = 37199424.35 \frac{\text{cal}}{\text{h}} = 37199.4 \frac{\text{Kcal}}{\text{h}}$$

Como: $Q_g = Q_c$

Entonces, el flujo másico de agua:

$$m \times 1 \times (22 - 20) = 37199424.35$$

$$m = 18599712.18 \frac{\text{gr}}{\text{hr}} = 18599.71 \frac{\text{Kg}}{\text{hr}}$$

el flujo volumétrico:

$$v = 18.6 \frac{\text{m}^3}{\text{hr}}$$

CALCULO DEL AREA DE TRANSFERENCIA DEL CONDENSADOR

$$Q = U A dT_{log}$$

Para condensadores tubulares verticales (21) recomienda coeficientes globales de transferencia de calor U entre 200 a 400 Btu/h pie² °F.

Se elige:

$$U = 300 \frac{\text{Btu}}{\text{h pie}^2 \text{ °F}} = 1465.68 \frac{\text{Kcal}}{\text{h m}^2 \text{ °C}}$$

Cálculo de dT_{log}: Tri = 20 °C

$$\text{Trs} = 22 \text{ °C}$$

$$\text{Tvi} = 38 \text{ °C}$$

$$\text{Tvs} = 23 \text{ °C}$$

$$dT1 = \text{Tvi} - \text{Trs} = 16 \text{ °C}$$

$$dT2 = \text{Tvs} - \text{Tri} = 3 \text{ °C}$$

$$dT_{\log} = \frac{dT_1 - dT_2}{\ln(dT_1/dT_2)} = 7.77 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Despejando la ecuación anterior, obtenemos el área de transferencia:

$$A = \frac{Q}{U dT_{\log}}$$

$$A = \frac{37199.42 \text{ Kcal/h}}{1465.68 \text{ Kcal/h m}^2 \text{ } ^\circ\text{C} \times 7.77 \text{ } ^\circ\text{C}}$$

$$A = 3.3 \text{ m}^2$$

CALCULO DE NUMERO DE TUBOS

El número de tubos se determina de

$$A = N^\circ \text{ de tubos} \times \text{diámetro} \times \text{altura}$$

Para tubos estándar de acero inoxidable 304:

$$D = 5/8 \text{ pulg} = 0.0159 \text{ m}$$

$$L = 6 \text{ pies} = 1.8 \text{ m}$$

$$A_{\text{tubo}} = 0.09 \text{ m}^2$$

$$\text{Area de transferencia} = 3.3 \text{ m}^2$$

Despejando y reemplazando datos:

$$N^\circ \text{ de tubos} = 37$$

CUADRO N°16

CONDENSADOR

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
MATERIAL	ACERO INOXIDABLE 304
TIPO	TUBO Y CARCASA
DISPOSICION	VERTICAL
DISPOSICION DE FLUJO	CONTRACORRIENTE
PRESION DE TRABAJO	460 mmHg
<u>FLUIDO PRINCIPAL:</u>	VAPOR DE ALCOHOL
TEMPERATURA DE INGRESO	38 °C
TEMPERATURA DE SALIDA	23 °C
FLUJO MASICO	73.340 Kg/h
<u>FLUIDO SECUNDARIO:</u> (refrigerante)	AGUA
TEMPERATURA DE INGRESO	20 °C
TEMPERATURA DE SALIDA	22 °C
FLUJO VOLUMETRICO	18.6 m ³ /h
COEFICIENTE GLOBAL (U)	1465.68 Kcal/h m ² °C
AREA DE TRANSFERENCIA	3.3 m ²
NUMERO DE TUBOS	37
DIAMETRO DE TUBOS	5/8 pulg
LONGITUD DEL TUBO	6 pies
NUMERO DE PASOS	1
CALOR TRANSFERIDO	37199.42 Kcal/h.

6.5.6 TANQUES DE ALMACENAMIENTO

SOLVENTE:

MASA DE ALCOHOL = 346.67 Kg.

DENSIDAD = 0.8028 Kg/lit.

VOLUMEN = 431.83 lit.

Serán necesarios dos tanques de almacenamiento TA-1 y TA-2. Considerando la capacidad del tanque de almacenamiento igual a 4 lotes:

$$431.83 \frac{\text{lit}}{\text{batch}} \times 4 \text{ lotes} = 1727.32 \text{ lit}$$

Considerando un factor de seguridad de 30 %:

$$1727.32 \text{ lit} \times 1.3 = 2245.52 \text{ lit.}$$

Con una relación:

$$\frac{D}{H} = 1$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = 2.25$$

Resolviendo : $D = H = 1.4 \text{ m.}$

PRODUCTO

El tanque de almacenamiento de oleorresina de cúrcuma producida se estima como la capacidad para almacenar 9 lotes, así se tiene un volumen:

$$3 \frac{\text{Kg}}{\text{lit}} \times 0.985 \frac{\text{lit}}{\text{lote}} \times 9 \text{ lotes} = 27 \text{ lit}$$

Con una relación:

$$\frac{D}{H} = 1$$

Considerando un factor de seguridad de 30 %:

$$27 \text{ lt} \times 1.3 = 35.10 \text{ lt.}$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = 0.035$$

Resolviendo : $D = H = 0.33 \text{ m.}$

6.5.7 TANQUE DE RECEPCION DE SOLVENTE RECUPERADO

MASA DE ALCOHOL = 346.67 Kg.

DENSIDAD = 0.8028 Kg/lt.

VOLUMEN = 431.83 lt.

Considerando un 20 % como factor de seguridad:

$$V = 431.83 \times 1.2 = 518.2 \text{ lt.}$$

Este tanque también trabaja con vacío por lo que se considera :

$$\frac{H}{D} = \frac{5}{3}$$

$$V = \frac{\pi}{4} D^2 H = 0.518$$

Se obtiene : $D = 0.7 \text{ m.}$ y $H = 1.2 \text{ m.}$

CUADRO N°18

TANQUES DE RECEPCION DE SOLVENTE RECUPERADO

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
VOLUMEN	0.518 m ³
DIAMETRO	0.7 m.
ALCANTARILLA	1.2 m.
N° DE UNIDADES	1

CUADRO N°17

TANQUES DE ALMACENAMIENTO

CARACTERISTICAS	CONDICIONES
<u>SOLVENTE</u>	
VOLUMEN	2.25 m ³
DIAMETRO	1.4 m.
ALTURA	1.4 m.
N° DE UNIDADES	2.
<u>PRODUCTO</u>	
VOLUMEN	0.035 m ³
DIAMETRO	0.4 m.
ALTURA	0.4 m.
N° DE UNIDADES	1.

6.5.8 SERVICIOS

Los servicios que utiliza esta planta son esencialmente:

- * Electricidad. Se requiere esta energía para el funcionamiento de motores: agitación, bombas, etc.
- * Vapor. Para la operación de concentración se utiliza el vapor procedente de una caldera eléctrica.
- * Vacío. La bomba de vacío proporcionara este servicio para la operación del filtro rotatorio y del tanque de concentración.
- * Bombas. Para el transporte de fluido será necesario contar con 3 microbombas centrífugas para el transporte de la suspensión (0.01 HP) y el solvente (0.02 y 0.07 H.P).

6.5.9 TUBERIAS Y ACCESORIOS

Uno de los mayores problemas que debe evitar la industria alimentaria es la contaminación del producto por corrosión, por este motivo el material usado en la construcción de los equipos, tuberías, accesorios y válvulas es el acero inoxidable.

Todas las tuberías son de 1/4 pulg. nominal para las líneas de solvente y suspensión, a excepción de la línea de solvente hacia el rociador que será de 1/8

pulg. nominal. Serán necesario conexiones como: ampliaciones, reducciones, tees, etc. Para controlar los flujos se usarán las válvulas siendo la más recomendable la de compuerta.

6.5.10 INSTRUMENTACION

El tamaño de la planta, la simplicidad de operaciones y la producción de tipo discontinuo, no amerita el uso de instrumentos y controles sofisticados y automatizados.

Los instrumentos de control necesarios para la planta de extracción son: un termómetro eléctrico y dos manómetros.

El termómetro y uno de los manómetros sirven para la medición de la temperatura y la presión de vacío del tanque concentrador. El rango de la temperatura debe mantenerse entre 30° y 40° C, para evitar de esta manera la degradación del producto, el control de esta variable se realiza manipulando la válvula en la línea de la bomba de vacío.

El otro manómetro permitirá medir el vacío aplicado al filtro rotatorio.

Las demás válvulas son controladas manualmente.

6.5.11 CONTROL DE CALIDAD

Por tratarse de un producto destinado a la exportación es necesario realizar un estricto control de calidad de la oleorresina. Este consta de las siguientes partes:

Control de calidad de la materia prima (cúrcuma molida).

- * Humedad : 10 a 14 por ciento .
- * Contenido de colorante (curcumina) : mas de 4 %

Control de calidad en el producto (oleorresina de cúrcuma).

- * Contenido de colorante (curcumina) en la oleorresina : 30 al 40 %
- * Contenido de sólidos totales : 50 %
- * Análisis microbiológico :
 - Salmonella : Ausencia por test en 25 g.
 - Levadura y moho : Menos de 100/gr.
 - Conteo total en placa : Menos de 1000/g.

6.6. INVERSION EN ACTIVO FIJO.

Para la estimación de la inversión en capital fijo se utilizan los factores de costo, esta estimación de estudio se basa en el conocimiento del costo de los

equipos más importantes. La variación típica de los costos correspondientes a cada rubro se expresa como un porcentaje de las inversiones de capital fijo en plantas de procesamiento. El Cuadro N° 19 muestra los factores de participación utilizados (Tabla 24 ref. (34)).

Para conocer el costo del equipo adquirido requerido por la planta fue necesario buscar en fábricas pequeñas de metal-mecánica las cotizaciones correspondientes debido a que las capacidades de estos equipos están por debajo de los ofrecidos comercialmente a nivel industrial. En el Apéndice N° 15 se presentan las firmas consultadas para esta estimación. En el Cuadro N° 20 se muestra un resumen de estos costos. El Cuadro N° 21 contiene la estimación de inversión en capital fijo para la planta propuesta.

6.7 ESTIMACION DEL COSTO TOTAL DEL PRODUCTO

Para estimar el costo total o de fabricación del producto se consideran los porcentajes indicados sobre una base anual en la Tabla 25 ref. (34) aplicables a plantas de procesamiento. En el Cuadro N° 22 se muestran los factores de participación en el Costo Total de Fabricación del producto.

El cálculo de los costos de materia prima y solvente se detalla a continuación:

CUADRO N° 19

FACTORES DE PARTICIPACION PARA ESTIMACION DE

INVERSION EN ACTIVO FIJO

COMPONENTE	%PARTICIPACION
<u>COSTOS DIRECTOS</u>	
Equipo adquirido	23 %
Instalación del equipo adquirido	10 %
Instrumentación y controles	3 %
Tuberías	9 %
Instalaciones eléctricas (colocadas)	2 %
Obras civiles (incluyendo servicios)	6 %
Instalaciones de servicios y mejoras del terreno	16 %
Terreno	1 %
<u>COSTOS INDIRECTOS</u>	
Supervisión e ingeniería	9 %
Gastos de construcción y utilidad del contratista	13 %
Contingencias	8 %

CUADRO N°20

ESTIMACION DEL COSTO DEL EQUIPO ADQUIRIDO

EQUIPOS PRINCIPALES	US\$ 1995
Molino con clasificación interna (M-1)	1000
Tolva de Almacenamiento TO-1	500
Tanques de extracción con agitación (T-1)	3000
Filtro rotatorio a vacío (FR-1)	2500
Recipiente de vacío de extracto (RV-1)	1200
Tanque de concentración (TC-1)	3500
Tanque recepción solvente recuperado (TR-1)	1000
Tanque almacenamiento solvente (TA-1 y TA-2)	6000
Tanque almacenamiento producto(TP-1)	300
COSTO DE EQUIPO ADQUIRIDO	19000

I) MATERIA PRIMA : CURCUMA**CONSUMO ANUAL DE CURCUMA**

$$230.6 \frac{\text{Kg}}{\text{DO}} * 300 \frac{\text{DO}}{\text{año}} = 69180 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} = 69.18 \frac{\text{Tn}}{\text{año}}$$

El precio de la cúrcuma en moneda constante del año 1995 es (considerando 3 % inflación anual):

$$0.6 \frac{\text{US\$ 1994}}{\text{Kg}} * 1.03 = 0.618 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{Kg}}$$

COSTO ANUAL DE CURCUMA

$$69180 \frac{\text{Kg}}{\text{año}} * 0.618 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{Kg}} = 42753.24 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{año}}$$

II) SOLVENTE ALCOHOL ETILICO 96°**CONSUMO ANUAL DE SOLVENTE**

Durante 300 días operativos se realizan 897 lotes; el solvente (alcohol etílico) será recuperado y utilizado nuevamente hasta que tenga un grado alcohólico igual a 88°; por lo que el consumo anual de solvente está compuesto de dos rubros:

- . Cambio de solvente
- . Reposición de solvente

CAMBIO DE SOLVENTE

Es necesario realizar el cambio total después de 9 batch (cuatro días de operación) ya que en este momento se obtiene 88°. Así en los 300 días de operación se realizarán 75 cambios totales de solvente:

$$454.66 \frac{\text{lt}}{\text{DO}} * 3 \frac{\text{lotes}}{\text{cambio}} x 75 \frac{\text{cambios}}{\text{año}} = 102298.5 \frac{\text{lt}}{\text{año}}$$

El precio del solvente en moneda constante del año 1995 es :

$$0.8 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{lt}}$$

REPOSICION DE SOLVENTE

Durante la operación, se evapora un 5% del volumen de solvente utilizado, esta reposición se realiza durante 225 días de operación (debido a que en los restantes 75 días se realiza el cambio total de solvente).

$$0.05 * 454.66 \frac{\text{lt}}{\text{lote}} x 3 \frac{\text{lotes}}{\text{día}} x 225 \frac{\text{días}}{\text{año}} = 15344.78 \frac{\text{lt}}{\text{año}}$$

CONSUMO ANUAL DE SOLVENTE :

$$117643.28 \frac{\text{lt}}{\text{año.}}$$

COSTO ANUAL DE SOLVENTE :

$$117643.28 \frac{\text{lt}}{\text{año}} * 0.8 \frac{\text{US\$1995}}{\text{lt}} = 94114.62 \frac{\text{US\$1995}}{\text{año}}$$

$$\text{COSTO TOTAL MATERIA PRIMA Y SOLVENTE} = 136867.86 \frac{\text{US\$1995}}{\text{AÑO}}$$

Con este costo y los factores de participación en el Costo Total del Producto se obtiene la siguiente ecuación:

$$\text{CT} = 136867.86 + 0.1 \text{CT} + 0.01 \text{CT} + 0.1 \text{CT} + 0.02 \text{CF} + 0.015 \text{CT} + 0.1 \text{CF} + 0.01 \text{CF} + 0.05 \text{CT}$$

$$\text{CT} = 136867.86 + 0.13 \text{CF} + 0.275 \text{CT}$$

$$\text{Como CF} = 82609$$

$$\text{Resolviendo: CT} = 203596 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{AÑO}}$$

Con este valor se puede completar el Cuadro N° 23 a partir de los factores de participación que se muestran en el Cuadro N° 22.

La producción anual de oleorresina de cúrcuma es:

$$8 \frac{\text{Kg}}{\text{lote}} \times 897 \frac{\text{lotes}}{\text{año}} = 7176 \frac{\text{Kg}}{\text{año}}$$

De esto se obtiene un costo total del producto de:

$$28.4 \frac{\text{US\$ 1995}}{\text{Kg}}$$

CUADRO N° 22

FACTORES DE PARTICIPACION PARA LA ESTIMACION DEL COSTO DEL PRODUCTO

COMPONENTES	FACTOR
COSTOS DE FABRICACION	
1. <u>COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION</u>	
Materia prima y solvente	136867.86
Mano de Obra	0.1 CT
Supervisión	0.1 (0.1 CT)
Servicios auxiliares	0.1 CT
Mantenimiento y reparaciones	0.02 CF
Gastos de laboratorio	0.15 (0.1 CT)
2. <u>GASTOS FIJOS</u>	
Depreciación	0.1 CF
Impuestos locales y Seguros	0.01 CF
3. <u>GASTOS GENERALES</u>	0.05 CT

CUADRO N° 23

COSTO TOTAL DEL PRODUCTO

COMPONENTES	US\$ 1995
COSTOS DE FABRICACION	
1. COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION	
Materia prima y solvente	136867.86
Mano de Obra	13686.79
Supervisión	1368.68
Servicios auxiliares	13686.79
Mantenimiento y reparaciones	2737.36
Gastos de laboratorio	2053.02
2. <u>GASTOS FIJOS</u>	
Depreciación	8130.3
Impuestos locales y Seguros	813.03
3. <u>GASTOS GENERALES DE PLANTA</u>	6843.39

7. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1. CONCLUSIONES

Este estudio nos permite establecer un proceso tecnológico viable para la producción de la oleorresina de especias en nuestro caso cúrcuma con una concentración de curcumina aceptable a nivel comercial.

La oleorresina de cúrcuma concentrada que está orientada a cubrir el mercado externo debe ser refinada posteriormente para su uso final en la industria alimentaria (como oleorresinas despersadas y encapsuladas).

A pesar de no ser un cultivo de dicado, nuestro país aporta un importante porcentaje de la cantidad total de Curcuma longa L. producida a nivel mundial. Comunmente se comercializa al mercado externo la especia en forma como cúrcuma molida; nuestro proyecto plantea una alternativa que es la industrialización de la cúrcuma con la finalidad de reducir los costos de transporte, seguros, etc., incrementando al mismo tiempo el valor agregado de la misma.

Para la obtención de la oleorresina a nivel industrial es conveniente utilizar el método de agitación mecánica porque nos permite una operación más

económica y rápida, de menos riesgo en la degradación del producto por exposición a altas temperaturas durante largos tiempos y menor pérdida por evaporación del solvente. Todas estas ventajas se pueden lograr llevando a cabo una operación debidamente controlada en equipos especialmente diseñados que eviten fugas o pérdidas.

Una operación debidamente controlada implica un manipuleo cuidadoso en todo el proceso, control de temperatura y presión de vacío, para mantener las propiedades organolépticas propias del producto y un control constante de la concentración del colorante (curcumina) en la oleoresina.

La planta ha sido diseñada considerando un sólo turno de trabajo de 8 h., el cual puede ser ampliado según las exigencias del mercado ya que el nivel de abastecimiento de materia prima se encuentra asegurado.

Para una mejor conservación y presentación del producto se deben tomar todas las precauciones necesarias en el envasado y almacenamiento del mismo. Es indispensable utilizar envases de vidrio, fibra, plástico o metal que cierren herméticamente para evitar la oxidación por contacto con el aire o la humedad y almacenar en frío a temperaturas por debajo de 15 °C, protegiendo de la luz (de esta manera se evita la degradación del color por exposición a la luz).

El rendimiento obtenido en el proceso de extracción de oleorresina es alrededor del 10 % en base a la carga inicial de materia prima (cúrcuma).

La oleorresina además de presentar mejores propiedades organolépticas que la especia pura logra un beneficio en cuanto a la aplicación final a la cual será destinada; la oleorresina dispersada al menos duplica las propiedades organolépticas (aroma, sabor, color, etc.) de la especia pura.

7.2. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar un estudio de investigación de un método de análisis que permita medir directamente la concentración de curcumina en las soluciones diluídas y en la oleorresina.

realizar otros estudios de industrialización de la cúrcuma con el fin de obtener extractos alcalinos líquidos, curcumina y aceite esencial.

Como las oleorresinas de especias tiene un proceso de extracción similar, la planta diseñada puede procesar otras especias como: pimienta negra, páprika, jengibre (kión), etc., convirtiéndose de esta manera en una planta multipropósito, que a pesar del tamaño y nivel de producción, permita incrementar la utilidad de esta.

8. RESUMEN

Este estudio nos permite establecer que la industrialización de la cúrcuma con la finalidad de obtener oleorresina, es viable tecnológica y económicamente, utilizando el método de extracción con solvente (alcohol etílico de 96°) por medio de agitación mecánica, seguido de una filtración y posterior concentración a vacío del extracto, permitiendo la recuperación del solvente.

El producto obtenido es una oleorresina concentrada destinada al mercado externo que cumple con los requisitos exigidos. Esta oleorresina será posteriormente tratada por el país comprador con la finalidad de dispersarla en la base adecuada según su uso final, ya que no es conveniente, desde el punto de vista económico y tecnológico, que el país productor de la materia prima la refine hasta obtener el producto final, pero sobre todo debido a las características que presenta el mercado en este sentido, siendo más conveniente que se establezcan acuerdos de cooperación entre ambas partes.

Finalmente, esta planta también puede ser utilizada para la extracción de oleorresinas de otras especias convirtiéndola en una planta multipropósitos.

9. BIBLIOGRAFIA

1. Aguirre Medrano Rosa Virginia. Características físicas y químicas de los rizomas de Curcuma longa. Tesis de Grado. Facultad de Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
2. Actander S. Perfume and Flavour Materials of Natural Origen. Editorial Elizabeth. New Jersey. USA. 1960.
3. Cabezudo S.G. Extracción de colorantes a partir del achiote (Bixa Orellana). Tesis de Grado. Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina.
4. Casares L.R. Tratado de Bromatología. Tercera Edición. Editorial Casares. Madrid 1959.
5. CCI(Centro de Comercio Internacional) UNCTAD/GATT. "El Mercado de Especies en Norteamérica, Europa Occidental y Japón", CCI, Ginebra 1970.
6. CCI(Centro de Comercio Internacional) UNCTAD/GATT. "Los Mercados de algunos Aceites Esenciales y Oleorresinas", CCI, Ginebra 1974.
7. CCI(Centro de Comercio Internacional) UNCTAD/GATT. "Estudio de Mercado de Aceites Esenciales y Oleorresinas" Estudio de distintos productores y mercados importantes, CCI, Ginebra 1984.
8. CEADEx. Anuario Estadístico de Exportaciones Importaciones. 1990 - 1991 - 1992 - 1993 - 1994.

9. Centre for the Promotion of Imports for Developing Countries. Essential Oils and Oleoresins : A Survey of the Netherlands and other major markets in the European Community, editors S.G.A.J. Kealers and C.L. Spoorenberg 1991.
10. Elías Sansoni José Antonio - Gamero Collado Dery. Obtención de colorante a partir de maíz morado. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería. 1988.
11. Fiene F. Blumenthal B. Handbook of food Manufacture Chemical Publishing Co. of New York. Inc. Abridged Edition. 1938.
12. Gamarra Flora - Zúñiga Sánchez Luis G. Noviembre 1991. Especies colorantes del Perú: La Cúrcuma Palillo. Asociación Nacional de Colorantes Naturales. Perú, Boletín ANCN N° 8. Año 2.
13. Gates Lewis E. - Morton Jerry R. - Fondy Philip L. May 1976. Selecting agitator systems to suspend solids in liquids. Chemical Engineering.
14. Gates Lewis E. - Hicks Richard W. - Dickey David S. December 1976. Application guidelines for turbine agitator. Chemical Engineering.
15. Gran Enciclopedia de Química Industrial. Tomo VI. Francisco Seix. Editorial Barcelona. 1948.
16. Herrera García Huana Nelly. Control de calidad de cuatro colorantes naturales (prácticas realizadas en Sabores Globe del Perú). Tesis de Grado. Facultad de Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
17. Instituto Nacional de Desarrollo Agrario INDDA. Proyecto para una planta de industrialización del palillo. INDDA. La Molina. 1985.

18. Leaver Richard H. Diseño, molienda y mezclado de pastas de alimentos concentrados para animales, Consejo Norteamericano de Cereales Forrajeros "CONCEFO". Caracas, Venezuela. Agosto 1985.
19. Lozano Noriega José - Rosales Huamaní Jimmy. Estudio de la industrialización de la beterraga para la obtención de colorante rojo en polvo. Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería. 1991.
20. Maistre J. Las Plantas de Especies. Editorial Blume. Barcelona España. Primera Edición. 1969.
21. Maus L. - Foust A.S. - Clump C.W. - Wenzel L.A. - Andersen L.B. Principios de Operaciones Unitarias. Compañía Editorial Continental S.A, México. Noviembre 1964.
22. Mayer, F. The chemistry of Natural Coloring Matters Reinhold Publishing Corp. 1965.
23. Mc Cabe - Smith. Operaciones Básicas de Ingeniería Química Tomos I y II, editorial Reverté Argentina. S.C.A. Buenos Aires Argentina, 1977.
24. Melnick Julio, Programa CEPAL/AAT Naciones Unidas, Manual de Proyectos de Desarrollo Económico, Naciones Unidas, México D.F., Diciembre 1958.
25. Merory J. Food Flavorings Composition, Manufacture and Use. Avi. Publihing Co. Inc. Westport. Connecticut. USA, 1966.
26. Moeller J. - Thoms H. Enciclopedia Completa de Farmacia. Tomo V. Casa Editora Calleja. Madrid, 1917.

27. Molina Ubeda Rafael. Técnicas de filtración en la industria enológica, A. Madrid Vicente, Ediciones Madrid España.
28. Morante M.A. Componentes Químicos de la Curcuma longa L. Tesis. Facultad de Química de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Lima Perú. 1974.
29. Ocon García J. - Tojo Barreiro G. Problemas de Ingeniería Química Operaciones Básicas Tomos I y II, Editora Aguilar S.A., Madrid, 1968.
30. Oficina de Información Estadística. Ministerio de Agricultura. Noviembre 1994. Boletín Estadístico mensual del sector agrario.
31. Oficina de Información Estadística. Ministerio de Agricultura. Compendio Estadístico del sector agrario. 1984.
32. Parodi R.L. Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Editorial ACME S.A.C.J. Buenos Aires, 1959.
33. Parry J. Spices their Morphology, Histology and Chemistry. Chemical Publishing Co. Inc. New York, 1962.
34. Petters M. Klaus D. Timmerhaus. Diseño de plantas y su evaluación económica para Ingenieros Químicos. Editorial Genimis S.R.L. Buenos Aires, 1978.
35. Perry Robert H. - Chilton Cecil H., Biblioteca del Ingeniero Químico Quinta Edición. Tomos 2, 4, 5, 6, Editorial Mc Graw Hill, México, 1986.
23. Rautzen Robert R. - Corpster Robert R. - Dickey David S. October 1976. How to use scale-up methods for turbine agitators. Chemical Engineering.

37. Rushton J. Henry, September 1951. The Use Of Pilot Plant Mixing Data. Chemical Engineering Progress.
38. Rushton J. Henry, February 1952 Applications of fluid mechanics and similitude to scale - up problems. Part II. Chemical Engineering Progress.
39. Schmidt Hebbel Hermann. Las Especies (condimentos vegetales). Su importancia en química y tecnología de alimentos y en el arte culinario, editado por Fundación Chile. Chile, 1965.
40. Smith. Van Ness. Introducción a la Termodinámica en Ingeniería Química. Editorial Mc Graw Hill. México, 1980.
41. Soler - Batle. Medicamenta, Guía Teórica - Práctica para Farmacéuticos y Médicos. Tomo II. Quinta Edición. Edición Labor S.A. Barcelona, España. 1954.
42. Superintendencia Nacional de Aduanas (SUNAD). Arancel de Aduanas. Importaciones - Exportaciones. 1994.
43. Vernal Monar César Andrés. Carta Económica del Perú. Empresa Editora Vernal (Perú) Consultores S.A. 1994.
44. Wettstein R. Tratado de Botánica Sistemática. Cuarta Edición. Editorial Labor S.A. 1965.
45. Zapata Rodríguez Reynaldo Raúl. Extracción de colorantes a partir del palillo. Tesis de Grado. Facultad de Industrias Alimentarias de la Universidad Nacional Agraria La Molina. 1978.

46. Zuñiga Díaz Gricelda Teresa. Estudio de parámetros y rendimiento óptimo a nivel laboratorio y escalamiento a nivel piloto para obtención de ácido carm' 'co a partir de coc ' ' Tesis de Grado. Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Nacional de Ingeniería. 1988.