

DISEÑO DE UNA PLANTA A ESCALA SEMIINDUSTRIAL PARA
PRODUCCIÓN DE HECOGENINA A PARTIR DE LOS JUGOS DE LA
HOJA DE FURCRAEA MACROPHYLLA (FIQUE).

MAGDA ESTHER AGUILAR RODRIGUEZ
OMAR EDUARDO VILLAMIZAR JAIMES

UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISCOQUÍMICAS
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA
BUCARAMANGA
2006

TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN	1
2.1 EL FIQUE.....	4
2.1.1 Descripción de la planta del fique.....	4
2.1.2 Composición de las hojas del fique	5
2.1.3 Composición química del jugo de fique.....	6
2.2. SAPOGENINAS.....	8
2.2.1. Hecogenina	9
2.3. PRODUCCIÓN DE FIQUE EN SANTANDER.....	11
2.4. GENERALIDADES TÉCNICAS DEL HUNCHE DE FIQUE.....	12
2.5. ESTADO DEL ARTE DE LAS TÉCNICAS ACTUALES	15
3. DESARROLLO EXPERIMENTAL.....	17
3.1. EXTRACCIÓN DE HECOGENINA EN EL LABORATORIO	17
3.1.1. Pruebas preliminares de laboratorio.....	17
3.1.2. Obtención de hecogenina en el laboratorio.....	18
3.1.2.1. Autólisis.....	18
3.1.2.2. Hidrólisis y Neutralización de la lama.....	19
3.1.2.3. Extracción	20
3.1.2.4. Cuantificación de Hecogenina.....	22
3.2. DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	22
4. RESULTADOS Y DISCUSION	24
4.1. RESULTADOS DE LA EXPERIMENTACIÓN EN LABORATORIO	24
4.2. ANÁLISIS DE LA TORTA AGOTADA DE FIQUE	26
4.3. ANÁLISIS DE RESULTADOS	27
4.4 PRUEBAS DE CROMATOGRAFÍA.....	27

4.5. IDENTIFICACIÓN DE LA HECOGENINA CON ANÁLISIS ESPECTROSCÓPICO INFRARROJO	29
4.6. INGENIERÍA BASICA DEL PROCESO	31
4.6.1. <i>Capacidad de la planta</i>	31
4.6.2 <i>Tipo de Proceso</i>	32
4.6.3 <i>Descripción del Diagrama de Bloques</i>	32
4.6.3.1 Recolección y transporte de materia prima:	33
4.6.3.2 Unidad de Almacenamiento y Autólisis:	33
4.6.3.3 Unidad de Hidrólisis y Neutralización:	34
4.6.3.4 Unidad de Filtrado y Lavado:	34
4.6.3.5 Unidad de Secado N°1:	35
4.6.3.6 Unidad de Extracción:	35
4.6.3.7 Unidad de Concentración y Filtración:	35
4.6.3.8 Unidad de Secado N°2:	36
4.6.3.9 Unidad de Empacado:	36
4.6.4 <i>DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES</i>	36
4.6.5 <i>Diagrama de Proceso de la Planta</i>	37
4.7.1. <i>CAPACIDAD DE LA PLANTA Y LOCALIZACIÓN</i>	38
4.7.1.1. Tamaño de la planta.	38
4.7.1.2 Demanda.....	38
4.7.1.3. Disponibilidad de la materia prima.	39
4.7.1.4 Estudio de localización.....	40
4.7.1.5. Consumo de servicios industriales.....	41
4.7.2. <i>ANALISIS DE EFLUENTES DEL PROCESO</i>	41
4.7.3. <i>ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA</i>	42
4.7.4. <i>DISTRIBUCION DE LA PLANTA</i>	45
4.7.5. <i>JUSTIFICACIÓN DE ENTRADA AL MERCADO</i>	46
4.7.6. <i>COSTO DE LOS EQUIPOS</i>	47

4.7.7. COSTOS DE MANUFACTURA DE UNA PLANTA DE PRODUCCION DE HECOGENINA.....	48
4.8. CONSIDERACIONES AMBIENTALES	55
5. CONCLUSIONES.....	56
6. RECOMENDACIONES.....	58
7. BIBLIOGRAFIA.....	61
RECURSOS INTERACTIVOS.....	62
8. ANEXOS	64
ANEXO 1. TABLA DE FLUJOS PARA LAS DIFERENTES UNIDADES DE LA PLANTA.....	64
ANEXO 2 OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO DE GRADO.....	65
OBJETIVOS GENERALES:.....	65
OBJETIVOS ESPECIFICOS:.....	65
ANEXO 3. DATASHEET DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO.....	66
ANEXO 4. CURVA ESPECTRAL DE LA HECOGENINA OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO.....	84
ANEXO 5. PRODUCCION NACIONAL DE FIQUE EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS.....	85
ANEXO 6. NORMA ASTM D 3286-73 E ISO 1928-76 PARA DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO DE COMBUSTIBLES SOLIDOS CON EL MÉTODO DE LA BOMBA CALORIMETRICA.....	86
ANEXO 7. FILOSOFIA BASICA DEL CONTROL	88
ANEXO 8. EVALUACIÓN ECONÓMICA DEL PROYECTO	90

LISTA DE TABLAS

TABLA 1 SAPOGENINAS ESTEROIDES Y SUS FUENTES	14
TABLA 2 PROPIEDADES DEL HUNCHE DE FIQUE.....	17
TABLA 3 SOLVENTES USADOS PARA EXTRACCIÓN.....	24
TABLA 4. RESULTADOS DE LABORATORIO CON DIFERENTES AGENTES EXTRACTORES.....	25
TABLA 5 DATOS DE IDENTIFICACIÓN DE LA HECOGENINA CON CROMATOGRAFÍA DE CAPA DELGADA	28
TABLA 6 LONGITUD DE ONDA PARA LA HECOGENINA OBTENIDA EN LABORATORIO.....	29
TABLA 7 REQUISITOS DE CALIDAD DE LA MATERIA PRIMA.....	39
TABLA 8 ANÁLISIS DE LOCALIZACIÓN EN PLANTA	40
TABLA 9 CÁLCULO DEL PERSONAL PARA EL FUNCIONAMIENTO DE LA PLANTA	44
TABLA 10 COSTOS DE EQUIPOS	48
TABLA 11 INVERSIÓN Y LOCALIZACIÓN DE LA PLANTA.....	49
TABLA 12. SALARIOS DEL PERSONAL AL AÑO.....	50
TABLA 13 COSTO DE LA MATERIA PRIMA (HUNCHE DE FIQUE) AL AÑO	51
TABLA 14 COSTOS DE SERVICIOS INDUSTRIALES E INSUMOS AL AÑO	51
TABLA 15 COSTOS FIJOS DIRECTOS	52
TABLA 16 COSTOS FIJOS INDIRECTOS.....	53
TABLA 17 COSTO DE HECOGENINA.....	53

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 PLANTACIONES DE FIQUE EN ARATOCA.....	5
FIGURA 2 FIQUE UÑA DE ÁGUILA.....	5
FIGURA 3 COMPOSICIÓN DE LAS HOJAS DEL FIQUE	6
FIGURA 4 COMPOSICIÓN DEL JUGO DEL FIQUE.....	7
FIGURA 5 COMPOSICIÓN PARTE ORGÁNICA DEL ZUMO DE FIQUE	8
FIGURA 6 FÓRMULA ESTRUCTURAL DE LA HECOGENINA	9
FIGURA 7 DERIVADOS DE LA HECOGENINA USADOS EN LA INDUSTRIA FARMACÉUTICA	11
FIGURA 8 PRODUCCIÓN DE FIQUE EN SANTANDER EN LOS ÚLTIMOS DIEZ AÑOS	12
FIGURA 9 DESFIBRADO DEL FIQUE	13
FIGURA 10 JUGO DE FIQUE ARROJADO AL SUELO	13
FIGURA 11 AUTÓLISIS DEL HUNCHE DEL FIQUE.....	19
FIGURA 12 VISTA SUPERIOR DEL RECIPIENTE DE AUTO LISIS AL FINALIZAR EL PROCESO	19
FIGURA 13 REFLUJO DE LA LAMA ACIDIFICADA	20
FIGURA 14 FILTRACIÓN AL VACÍO.....	20
FIGURA 15 TORTA SECA PARA EXTRACCIÓN	21
FIGURA 16 EXTRACCIÓN SOXHLET	21
FIGURA 17 DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROCESO	23
FIGURA 18 RENDIMIENTO DE LOS SOLVENTES USADOS EN LA EXTRACCIÓN	26
FIGURA 19 PREPARACIÓN DE PASTILLA PARA IR	30
FIGURA 20 EQUIPO INFRARROJO	30

FIGURA 21 ESPECTRO IR DE LA HECOGENINA OBTENIDA EN EL LABORATORIO.....	31
FIGURA 22 DIAGRAMA DE BLOQUES	32

DEDICATORIA

Este trabajo de grado esta dedicado a Dios como ente original de todas las cosas e impulsor de este mundo maravilloso. Para la “*luz de mis ojos*”, mi hijo Omar Andrés, quien a pesar de su corta edad, me ha enseñado a valorar la vida y a vivirla como si el mañana no existiera; TE AMO MUCHO, MI MEJOR AMIGO.

A mis padres, Luís Ernesto y Elcida, quienes a pesar de las situaciones me han enseñado el valor del **trabajo, la honestidad y la humildad**, espero que estén siempre conmigo para que me aconsejen en mis momentos de dudas y conflictos; GRACIAS POR ESTAR SIEMPRE.

A mi esposa, Luz Milda, para ella solo tengo palabras de agradecimiento, por apoyarme incondicionalmente en estos años tan complejos, por empujarme en mis momentos de dudas, por ser ese bastón en mis momentos de tristeza, esa salsa en mis momentos de alegría y por saber manejar mi necesidad; LA INCONDICIONAL.

A mis tres suegros Roque, Rosa Maria y Ana quienes han creído en mí, han querido demasiado a los míos y sobretodo han tenido confianza en este servidor; GRACIAS POR LA CONFIANZA.

A mis hermanos, Luís Ernesto, Edgar Enrique, Sandra Milena y Arley René por su fé ciega en mí y su compañía; COMPAÑEROS.

A mis amigos Sergio el pájaro y Oscar por su amistad; AMIGOS FOR EVER.

Gracias a los que leen este trabajo de grado, pues fue realizado con mucha pasión y empeño; BUENA MAR Y BUEN RUMBO.

Omar V.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos al Doctor Ramiro Salazar por su valiosa guía en el transcurso de este trabajo, por haber creído en nuestras capacidades y habernos apoyado en este trabajo de grado, al Doctor Álvaro Ramírez por habernos apoyado siempre en las dificultades y por ser como un padre para los estudiantes de Ingeniería Química, y a todos los profesores de Ingeniería química por todas sus enseñanzas.

Agradecemos muy especialmente a la Ingeniera Luz Milda Rueda Velásquez por su colaboración y apoyo técnico para la realización de este trabajo de grado.

Agradecemos al señor Eudogio Cabrera por su atención y colaboración.

Gracias a Eduardo Carreño, Wilson Carreño y Ambrosio por cumplir siempre con mucha amabilidad su trabajo y por su colaboración.

Y a todos los que hicieron posible este sueño.

RESUMEN

TÍTULO: DISEÑO DE UNA PLANTA A ESCALA SEMIINDUSTRIAL PARA PRODUCCIÓN DE HECOGENINA A PARTIR DE LOS JUGOS DE LA HOJA DE FURCRAEA MACROPHYLLA (FIQUE).*

AUTORES: Magda Esther Aguilar Rodríguez y Omar Eduardo Villamizar Jaimes**

PALABRAS CLAVES: hecogenina, fique, industria farmacéutica, hormonas, corticoides, extracción con solventes.

DESCRIPCIÓN O CONTENIDO:

Los campesinos desfibran el fique para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas utilizadas en sus labores domésticas y agrarias; los subproductos desechados pueden ser utilizados con fines medicinales. En Colombia, se calcula que entre 50000 y 70000 familias dependen económicamente del fique; entre ellas 10000 dependen de la artesanía y el 95% de estos artesanos son de Santander.

Las sapogeninas que se pueden obtener del “hunche” de fique, son de gran interés e importancia por su utilización como material de partida para la síntesis de hormonas sexuales, cortisona, esteroides diuréticos, vitamina D y heterópsidos cardíacos. La sapogenina denominada hecogenina, suministra un producto de partida práctico para la síntesis de corticosteroides.

Colombia, por sus climas tropicales, presenta condiciones agro-ecológicas apropiadas para su cultivo, además existe un conocimiento tradicional de gran valor sobre la planta. Debido a la creciente demanda de hormonas de origen natural en el mercado internacional, el cultivo del fique tiene la posibilidad de ser económicamente rentable, porque al venderse como hecogenina adquiere un mayor valor en el mercado.

El proyecto se realizó en 4 fases: inicialmente se muestra el estado del arte donde se consideraron los siguientes aspectos básicos; datos actuales sobre las hormonas, el fique y sus compuestos. En la segunda fase se analizaron los procesos actuales a escala laboratorio de obtención del producto. En tercera instancia se realizó el estudio de adaptación tecnológica que se efectuó de la siguiente manera: se realizaron pruebas a nivel laboratorio, la metodología seguida en esta investigación se basó en experimentar con las diferentes posibilidades de extracción para identificar el proceso más económico, limpio y de fácil purificación. Luego se realizó un análisis preliminar de factibilidad económica del proyecto, para observar qué resultados se pueden obtener al instalar una planta de este tipo en Santander.

* Trabajo de grado

**Facultad de Ingenierías Físico-químicas. Escuela de Ingeniería Química
Director Prof. Ramiro Salazar La Rotta

ABSTRACT

TITLE: DESIGN FROM A PLANT TO SEMI INDUSTRIAL SCALE FOR PRODUCTION OF HECOGENINE TO LEAVE OF THE JUICES OF THE FURCRAEA MACROPHYLLA (FIQUE) LEAVES.*

AUTHORS: Magda Esther Aguilar Rodríguez and Omar Eduardo Villamizar Jaimes**

KEY WORDS: hecogenine, fique tree, pharmaceutical industry, hormones, corticoids, extraction with solvents.

DESCRIPTION OR CONTENT:

The rural shred the fique tree for the production of canvas shoes, nets and strings used in their domestic and agrarian works; the waste by-products can be used with medicinal ends. In Colombia, it is calculated that approximately 50000 or 70000 families depend economically on the fique; among them 10000 depend on the craft and 95% of these artisans they are from Santander. The sapogenines that can be obtained of the "hunche" of fique, they are of great interest and importance for their use like departure material for the synthesis of sexual hormones, cortisone, diuretic steroids, vitamin D and heart heteropsids. The sapogenine denominated hecogenine, gives a practical departure product for the corticosteroids synthesis.

Colombia, for its tropical climates, presents appropriate agriculture-ecological conditions for its cultivation, a traditional knowledge of great value also exists on the fique tree. Due to the growing demand of hormones of natural origin in the international market, the cultivation of the fique has the possibility to be economically profitable, because when being sold as hecogenine, it acquires a bigger value in the market.

The project was carried out in 4 phases: initially the state of the art is shown where they were considered the following basic aspects; current data on the hormones, the fique and their compounds. In the second phase the current processes were analyzed to scale laboratory of obtaining of the product. In third instance it was carried out the study of technological adaptation that was made in the following way: we were carried out tests at level laboratory, the methodology continued in this investigation was based on experiencing with the different extraction possibilities to identify the most economic, clean process and easily purificable. Then we was carried out a preliminary analysis of economic feasibility of the project, to observe how results can be obtained when installing a plant of this type in Santander.

* Graduate Work.

**Faculty of Physiochemical Engineerings. School of Chemical Engineering.

Director: Ramiro Salazar La Rotta

1. INTRODUCCIÓN

En sus orígenes, el fique crecía de manera espontánea en valles, laderas y en cercanías de poblaciones donde los montes se veían cubiertos de Fique entre una vegetación de gramíneas y cactus en un suelo seco. Los habitantes de las regiones lo desfibaban para la fabricación de alpargatas, redes y cuerdas utilizadas en sus labores domésticas y agrarias; igualmente sus subproductos eran utilizados con fines medicinales.

En Colombia, se calcula que entre 50000 y 70000 familias dependen económicamente del fique; entre ellas 10000 dependen de la artesanía y el 95% de estos artesanos son de Santander.

El futuro es promisorio, en las últimas décadas el fique había sido remplazado por fibras sintéticas de menor precio, tales como las del polipropileno, pero por necesidades ambientales las fibras naturales están recobrando su espacio cedido; sin embargo para que el oficio agroindustrial y artesanal del fique logre su desarrollo y sea competitivo, estará condicionado entre otros a los siguientes factores:

- Hasta el momento solo se aprovecha la fibra que corresponde al 4% y se desperdicia el 96% que corresponde a jugos y bagazo que pueden ser utilizados para abonos orgánicos, producción de champiñones, orellanas y concentrados.
- Del proceso de obtención de hormonas como hecogenina y tigogenina, se obtienen importantes subproductos como grasa,

azúcares y alcoholes de gran demanda y valor. En el mercado mundial se tiene un déficit de estas hormonas de **5.000 toneladas al año**.

- Total descontaminación de las fuentes hídricas por labores de lavado de fibra utilizando tanques para este fin.

Las sapogeninas que se pueden obtener del “hunche” de fique, son de gran interés e importancia por su utilización como material de partida para la síntesis de hormonas sexuales, cortisona, esteroides diuréticos, vitamina D y heterósidos cardiacos. La sapogenina denominada hecogenina, suministra un producto de partida práctico para la síntesis de corticosteroides.

Aunque la hecogenina tiene mayor comercialización, la tigogenina, que también está contenida en el jugo del fique, tiene mayor valor en los mercados internacionales. Así, un gramo de la primera puede costar, según la pureza, entre 6 y 142 dólares y uno de la segunda, hasta cien veces más, pues los fármacos para deficiencias renales y trastornos cerebrales elaborados a partir de ella suponen una particularidad que es la cotización como un insumo de alta especificidad. Colombia, por sus climas tropicales, presenta condiciones agro-ecológicas apropiadas para su cultivo, además existe un conocimiento tradicional de gran valor sobre la planta. Debido a la creciente demanda de hormonas de origen natural en el mercado internacional, el cultivo del fique tiene la posibilidad de ser económicamente rentable, porque al venderse como hecogenina adquiere un mayor valor en el mercado.

El proyecto se realizó en 4 fases: inicialmente se muestra el estado del arte donde se consideraron los siguientes aspectos básicos; datos actuales sobre las hormonas, el fique y sus compuestos. En la segunda fase se analizaron los procesos actuales a escala laboratorio de obtención del producto. En tercera instancia se realizó el estudio de adaptación tecnológica que se efectuó de la siguiente manera: se realizaron pruebas a nivel laboratorio, la metodología seguida en esta investigación se basó en experimentar con las diferentes posibilidades de extracción para identificar el proceso más económico, limpio y de fácil purificación.

Luego se realizó un análisis preliminar de factibilidad económica del proyecto, para observar qué resultados se pueden obtener al instalar en Santander una planta de este tipo. ¹

¹ Tomado del libro Hablemos del Fique en Santander

2. CONCEPTOS TEÓRICOS

2.1 EL FIQUE

2.1.1 Descripción de la planta del fique

El fique es una planta perteneciente al orden *liliiflorae*, familia *agaveceae* y género *furcraea*. En Colombia, las especies más explotadas son *F. Cabuya* y *F. macrophylla*. Esta última es cultivada en los departamentos de Cundinamarca, Boyacá, Santander, Antioquia, Cauca y Nariño. Las variedades más cultivadas en Santander son Uña de Águila y Negra Común.

De las hojas del fique con una máquina desfibradora, se obtiene la fibra que corresponde a un 4% de la hoja, el 41% lo constituye la pulpa y el bagazo y el 55% restante lo conforma el jugo que es arrojado como desecho a las aguas superficiales o a los suelos de los cultivos como abono.



FIGURA 1 Plantaciones de Fique en Aratoca



FIGURA 2 Fique Uña de Águila

2.1.2 Composición de las hojas del fique

El siguiente cuadro muestra los porcentajes en peso de los componentes de la hoja del fique presente y aprovechable:

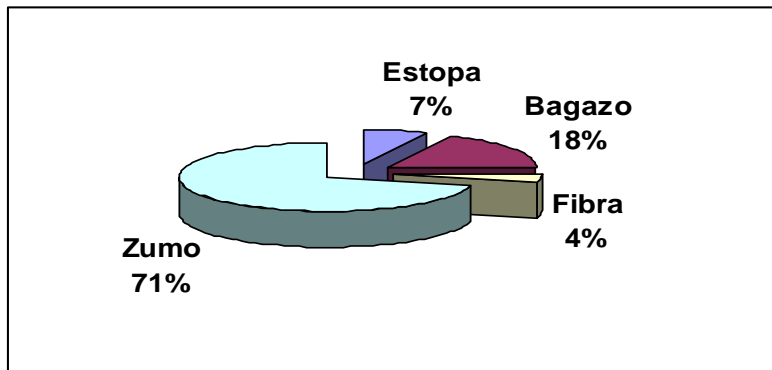


FIGURA 3 Composición de las hojas del fique

Hasta el momento en Colombia se emplea especialmente la fibra, los usos del resto de la planta aunque múltiples, tienen una importancia marginal, puesto que solo un 4% de la hoja está siendo aprovechada. Si estimamos una producción de cerca de 30000 toneladas de fibra al año en Colombia, tenemos que el resto del peso de la hoja que actualmente es considerado como desecho, constituye una cantidad 20 veces mayor, es decir, más de medio millón de toneladas anuales. El monto de esta cifra justifica la búsqueda de nuevas alternativas para el uso del zumo del fique.

2.1.3 Composición química del jugo de fique

La celulosa es el componente principal en la fibra de las plantas, es insoluble en agua e insípida, su desdoblamiento produce la D-Glucosa. Entre los compuestos orgánicos cabe destacar el alto contenido de azúcares (51.6%), principalmente sacarosa, glucosa y fructosa. Contiene además proteínas (2.1%) entre ellas varias enzimas que aceleran o retardan cambios químicos y favorecen procesos fermentativos como la hidrolasa, posee también esteroides (0.8%) que

se encuentran generalmente en la grasa animal (colesterol), aceite vegetal y levaduras, siendo la base para la producción de drogas y finalmente contienen saponinas que son glucósidos formados por la combinación de cadenas de azúcares y grasas, las cuales se caracterizan por formar espumas en soluciones acuosas.

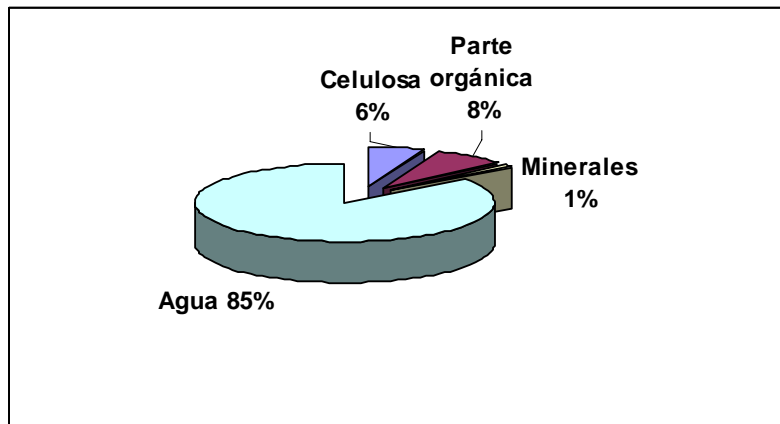


FIGURA 4 Composición del jugo del fique

Las saponinas contenidas en el zumo del fique, al ser hidrolizadas se convierten en sapogeninas, entre las cuales se encuentran mayoritariamente la hecogenina y la tigogenina, que son producto de partida para la producción de hormonas en la industria farmacéutica. ²

² Tomado del libro El Fique Su taxonomía, cultivo y tecnología 2ª edición

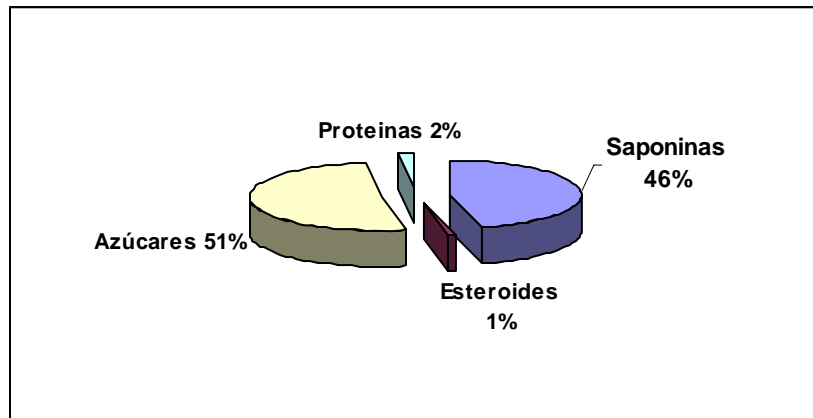


FIGURA 5 Composición parte orgánica del zumo de fique

En los minerales se destacan las sales de calcio (19%), Potasio (20%), Magnesio (10%), Sodio (1.8%) y Fósforo (0.87%). En menor proporción encontramos otros minerales como Zinc, Hierro, Urea y Nitrógeno.

2.2. Sapogeninas

Las sapogeninas son un grupo de glicósidos, derivados del perhidrociclopentanofenantreno que se encuentran distribuidos ampliamente en el reino vegetal, estas sustancias tienen un alto peso molecular, una alta polaridad y la propiedad de formar soluciones acuosas espumosas. Su presencia se ha estudiado en varias familias de monocotiledóneas particularmente en Dioscoreácea (e. g. Dioscoreácea spp), Amarillidaceae (e.g. Agave spp), y Liliácea (e.g. Yucca y trillium spp). Al ser hidrolizadas dan como producto una aglicona denominada sapogenina, cuya concentración depende no solo de la especie y variedad en estudio, sino entre otros factores del clima y la calidad del suelo en los cuales se haya formado la planta

En 1978 se reportó la presencia de sapogeninas en 35 diferentes especies del género agave y en 17 de ellas se encontraron hecogenina.³

2.2.1. Hecogenina

Extraída del jugo de Agave sisalana, agave macrophylla, agave rígida, agave texensis, agave bromilacea.

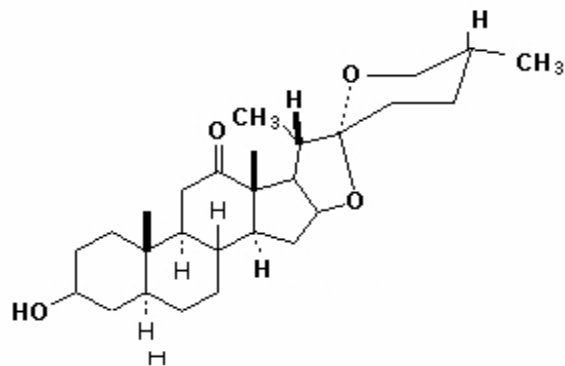


FIGURA 6 Fórmula estructural de la Hecogenina

Nombre Químico: 3 β -Hydroxy-5 α -spirostan-12-one
Fórmula molecular: C₂₇H₄₂O₄
Composición porcentual: C 75.30%, H 9.83%, O 14.86%.
Peso molecular: 430.61gr.
Punto de fusión: 245-250°C
Estado físico: Cristales de color verde pálido⁴

La extracción de las hecogenina se ha dirigido a la utilización de solventes orgánicos entre los cuales se destacan xileno, tolueno,

³ Tomado de la tesis de grado Evaluación de la calidad de Jugo de Fique en la Obtención de Hecogenina

⁴ Tomado del Index Merck

benceno (fuertes contaminantes) octano, heptano, hexano, ciclohexano, etanol y metanol. Por otra parte para la cuantificación de la hecogenina se han utilizado técnicas como la cromatografía en capa delgada, cromatografía de gases y cromatografía de alta eficiencia.

Durante el transcurso del tiempo las plantas de fique han tenido diferentes usos. Por ejemplo los aborígenes del Ecuador maceraban las raíces de las plantas jóvenes aprovechando la propiedad de estas para formar soluciones espumosas, con el fin de utilizarlas como detergentes. Por otro lado la savia se recoge durante varios días en la concavidad labrada por la planta madura, tiene sabor dulce y ha sido utilizada para agregar a varias comidas de postre, incluso fermentada es una bebida alcohólica que puede ser consumida sola o en mezcla con otros licores.

No obstante uno de los usos mas importantes a nivel industrial ha sido la utilización de las sapogeninas (formadas por hidrólisis química o enzimática del jugo), en síntesis de hormonas. La hecogenina y la tigogenina son las sapogeninas por excelencia que utiliza la industria farmacéutica en la semisíntesis de corticosteroides.

A continuación se presentan las estructuras de los diferentes derivados de la hecogenina:

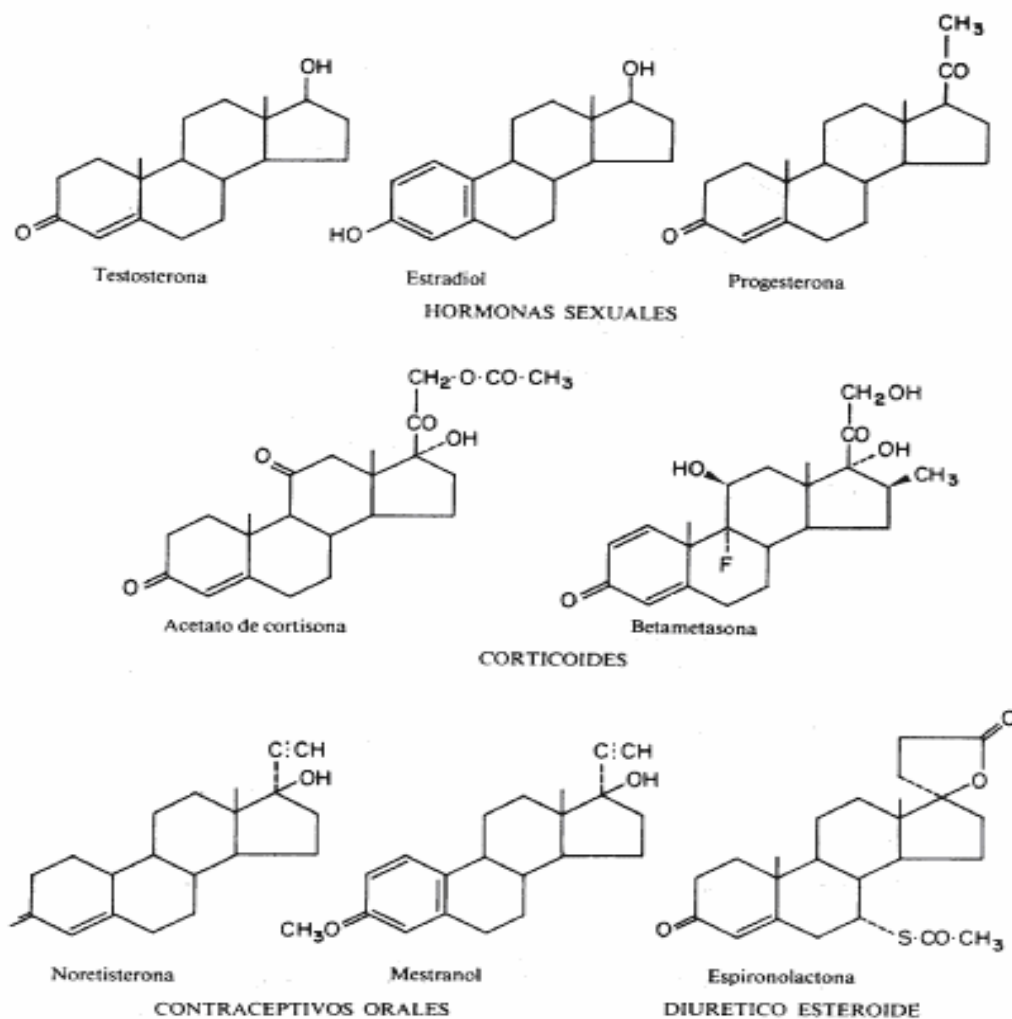


FIGURA 7 Derivados de la hecogenina usados en la industria farmacéutica

2.3. Producción de Fique en Santander

En Santander se cultiva fique básicamente en los municipios de Onzaga, San Joaquín, Mogotes, Curití y Aratoca, sin embargo existen algunas fincas productoras en los municipios de San Gil, Valle de San José, Páramo, Cepitá y Molagavita, como puede observarse, la

producción de fique se encuentra concentrada en la Provincia Guantán y sus alrededores.

En el siguiente gráfico puede observarse la producción de fique de los últimos diez años en el departamento de Santander. Se debe tener en cuenta que la producción mostrada corresponde a la fibra, la cual representa el 4% de la hoja del fique, el 96% restante corresponde al jugo de fique o hunche como lo denominan los campesinos, materia prima del diseño del presente trabajo.

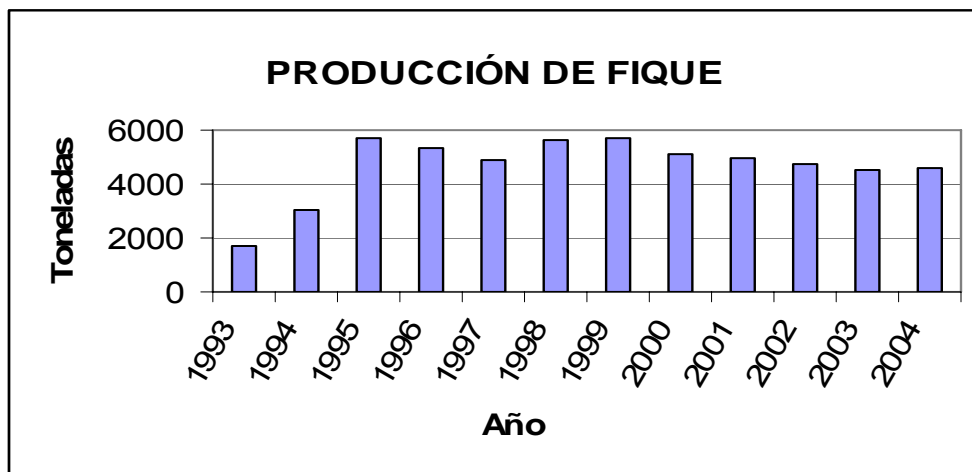


FIGURA 8 Producción de Fique en Santander en los últimos diez años ⁵

2.4. Generalidades técnicas del hunche de fique

El contenido de hecogenina total del hunche de fique puede variar dependiendo de factores como: la variedad de la planta, el origen, tiempo de autólisis y método que se use para la extracción.

⁵ Tomado del Departamento Nacional de Planeación www.dnp.gov.co



FIGURA 9 Desfibrado del fique



FIGURA 10 Jugo de fique arrojado al suelo

En cuanto al origen, el contenido de sapogeninas depende de la calidad del suelo donde se desarrolle la planta de fique.

En cuanto a la variedad, el contenido y tipo de sapogeninas contenidas en el fique dependen de la variedad de esta planta. En la siguiente tabla se muestran algunas sapogeninas y sus fuentes.

Sapogenina	Especies	Localización
Diosgenina	<i>Dioscorea sylvatica</i>	Transvaal y Natal
	<i>D. mexicana</i> y	México y América Central
	<i>D. composita</i>	
	<i>D. collettii</i> , <i>D. pathaica</i>	China
	y <i>D. nipponica</i>	
	<i>D. foribunda</i>	Guatemala y cultivada en India
	<i>D. deltoidea</i> y <i>D. prazeri</i>	India
	<i>D. tokoro</i>	Japón
	<i>Costus speciosus</i>	India
	<i>Kallstroemia pubescens</i>	
	<i>Trillium</i> spp.	América del Norte
	<i>Trigonella foenum-graecum</i>	India, Egipto, Marruecos
Hecogenina	<i>Agave sisalana</i>	América subtropical y cultivada en Kenia para obtención de sisal y saponina
	<i>A. rigida</i>	México
	<i>Fiquero texensis</i>	América Central
	<i>Agave macrophylla</i>	América Tropical
Sarsapogenina	<i>Yucca</i> spp.	América Central
	<i>Smilax</i> spp.	
Sarmentogenina	<i>Strophanthus</i> spp.	Africa

TABLA 1 Sapogeninas esteroides y sus fuentes

En cuanto al tiempo de autólisis, se reporta y se pudo evidenciar en este trabajo que es mayor la cantidad de saponinas obtenida a medida que se incrementa el tiempo de autólisis, sin embargo la diferencia no es tan significativa como para establecer un tiempo muy grande para este proceso.

En cuanto al método de extracción, de acuerdo a lo reportado en la bibliografía y a lo visto durante la etapa de experimentación de este trabajo, se pudo ver que la cantidad de sapogeninas crudas obtenidas depende del agente extractor que sea usado.

2.5. Estado del arte de las técnicas actuales

La extracción de hecogenina se ha dirigido a la utilización de solventes orgánicos entre los cuales están Xileno, Tolueno, Benceno, Heptano, Octano, Hexano, Ciclohexano, Etanol y Metanol. Por otra parte para la cuantificación de las sapogeninas se han utilizado técnicas como cromatografía en capa delgada, cromatografía de gases y cromatografía líquida de alta eficiencia. Su identificación se ha realizado por RMN, Espectrometría de masa e incluso por espectro de absorción con Acido Sulfúrico e infrarrojo.

En 1978 Blunden reportó la presencia de sapogeninas en 35 especies diferentes del género *Agave* y en 17 de ellas se encontró hecogenina. También se estudiaron tres especies de *Furcraea*: en las cuales se evidenció la presencia de Hecogenina y además de Tigogenina.

En ocho especies del género *Cordyline* se ha estudiado la presencia de sapogeninas encontrándose que en siete especies, las 1.3-dihidroxisapogeninas eran predominantes y además contenían 5- α -

Sapogeninas pero en ninguna de ellas se informó la presencia de hecogenina.

3. DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1. Extracción de hecogenina en el laboratorio

A continuación se reportan los datos obtenidos durante la etapa experimental del trabajo en la cual se llevaron a cabo análisis preliminares y posteriormente se realizaron extracciones con diferentes solventes que permitieron definir los datos necesarios para el diseño de la planta.

3.1.1. Pruebas preliminares de laboratorio

Se midieron algunas propiedades al hunché del fique como densidad relativa, humedad y pH para cada uno de los días de autólisis obteniendo los siguientes resultados:

DIAS DE AUTÓLISIS	% DE HUMEDAD	PH	Densidad Relativa (g/ml)	Cenizas %
0	85.02	5	1.0225	25.36
4	79.05	4.5	1.0173	26.32
6	75.83	4	1.0280	32.57
8	72.34	3.5	1.0275	40.35
10	66.55	3.5	1.0283	41.36

TABLA 2 Propiedades del hunché de fique

3.1.2. Obtención de hecogenina en el laboratorio

Se establecieron las principales variables del proceso de extracción como son: calidad del disolvente, tipos de solventes a usar, tiempo de extracción, días de autólisis.

Se usó hunché de fique de la variedad Uña de Águila procedente de la Finca El Barbatal, de propiedad del Señor Eudogio Cabrera en la vereda Chiflas del municipio de Aratoca (Santander). El análisis experimental se llevó a cabo en cuatro etapas principales, las cuales se describen a continuación:

3.1.2.1. Autólisis

A partir del momento en el que se desfibra la hoja, comienza el proceso de autólisis o autofermentación en el jugo, el cual es espontáneo y procede por acción de las enzimas (hidrolasas) y/o microorganismos presentes. El jugo de esta variedad se dividió en cuatro recipientes plásticos hasta completar para cada uno un tiempo de autólisis de cuatro, seis, ocho y diez días, al cabo de los cuales se obtuvo la ***lama*** objeto de los siguientes pasos de experimentación.

El montaje correspondiente para este proceso consistió en instalar al recipiente plástico sellado una manguera para el escape de CO₂ a la atmósfera, pasando a través de otro recipiente que contenía agua. El burbujeo de CO₂ pudo observarse en todas las muestras a partir del segundo día de autólisis.

Durante la etapa de autólisis se observó el cambio de color de la lama de verde oscuro a verde pálido, igualmente el olor de la lama se hizo característico de un producto fermentado.



FIGURA 11 Autólisis del hunché del fique



FIGURA 12 Vista superior del recipiente de Auto lisis al finalizar el proceso

3.1.2.2. Hidrólisis y Neutralización de la lama

La lama para cada ensayo se hidrolizó a temperatura ambiente, añadiendo Ácido Sulfúrico concentrado. La lama acidificada se sometió a reflujo, después se enfrió a temperatura ambiente, se neutralizó con Hidróxido de Sodio y se filtró con embudo Buchner a presión reducida, el líquido resultante de la filtración se desechó. La lama resultante de la filtración se lavó con agua y se volvió a filtrar obteniéndose un residuo húmedo que se secó en estufa a 90 °C por un día. De esta manera se obtuvo la torta seca para los diferentes días de autólisis, esta lama fue pesada al salir de la estufa.



FIGURA 13 Reflujo de la lama acidificada



FIGURA 14 Filtración al vacío

3.1.2.3. Extracción

Se tomó una muestra representativa de la torta seca obtenida para cada día de autólisis y se llevó a cabo extracción Soxhlet usando como

solventes etanol, heptano, ciclohexano y éter etílico. El extracto hirviendo de cada una de las muestras de torta se filtró inmediatamente a presión reducida, se dejó en reposo para permitir la cristalización y luego se filtró nuevamente a presión reducida obteniéndose un sólido de color verde pálido. El filtrado de color verde oscuro se concentró en el rotaevaporador, se enfrió en nevera y se volvió a filtrar en vacío.

Los cristales obtenidos correspondían a la hecogenina permanecieron de color verde pálido.



FIGURA 15 Torta seca para extracción



FIGURA 16 Extracción Soxhlet

3.1.2.4. Cuantificación de Hecogenina

La hecogenina obtenida fue pesada para cada extracción obteniéndose los resultados descritos en la tabla 4.

3.2. Diagrama de flujo del proceso

En la figura 17 se muestra en un diagrama de bloques el procedimiento de experimentación realizado para las muestras de hunché de fique a diferentes días de autólisis con varios solventes para extracción de la hecogenina, en el cual se refleja en color gris los procesos químicos y físicos a los cuales fue sometida la lama en la experimentación y en color azul los cambios sufridos por ésta durante los procesos:

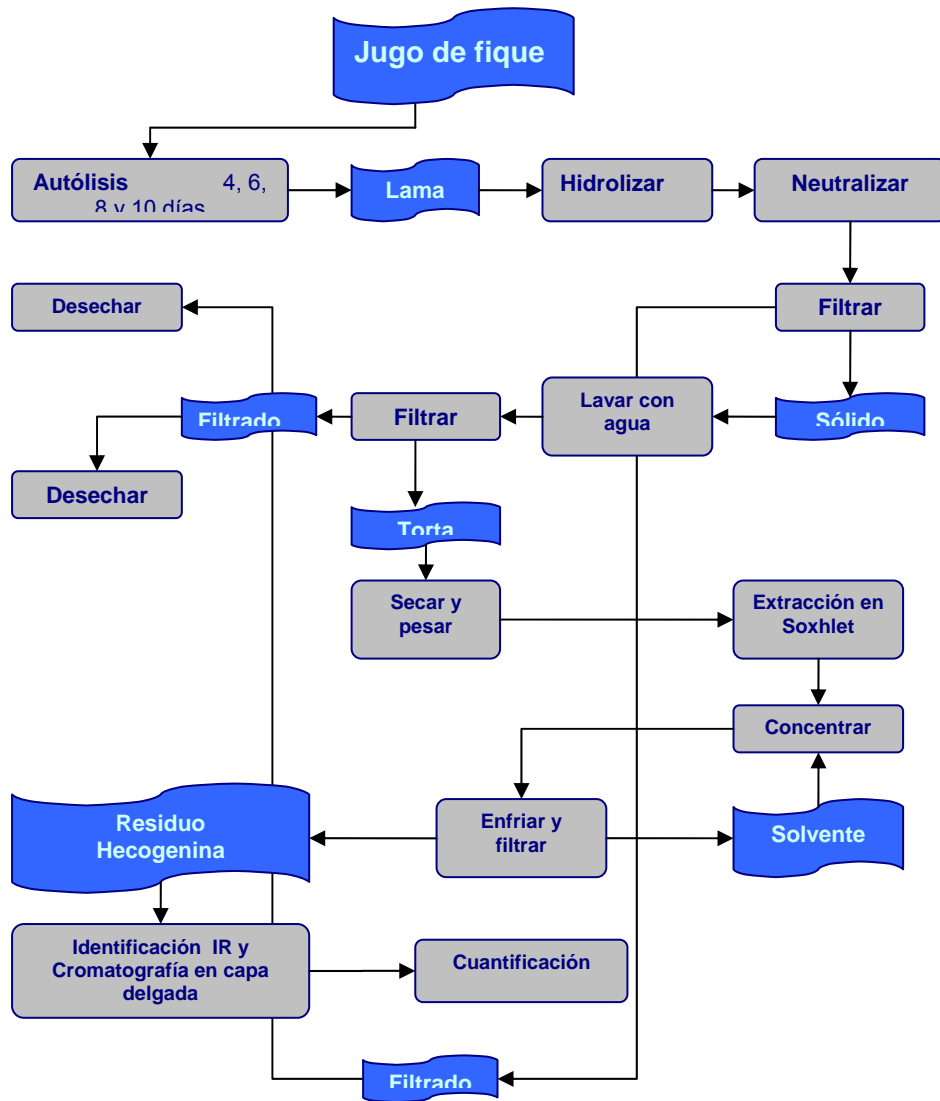


FIGURA 17 Diagrama de flujo del proceso

4. RESULTADOS Y DISCUSION

4.1. Resultados de la experimentación en laboratorio

En la tabla 3 y 4 se presentan los diferentes extractores y los resultados obtenidos durante las diferentes etapas de experimentación con los diferentes agentes extractores:

Número	Solvente
1	Etanol
2	Ciclohexano
3	Heptano
4	Eter Etílico

TABLA 3 Solventes usados para extracción

Datos Experimentales	Días de Autólisis			
	4	6	8	10
Volumen de hunche de fique (ml)	1000	1000	1000	1000
Volumen de Acido Sulfúrico para Hidrólisis (ml)	4	4	3	3
Normalidad de la lama luego de acidificar	2.07	2.08	1.95	2.1
Volumen de Hidróxido de Sodio 2N (ml)	1035	1084	997	1102
Peso Sólido (Primera filtración) (gr)	231.54	275.15	308.22	374.36
Volumen de agua de lavado (ml)	1050	1050	1050	1050
Peso Sólido (Segunda filtración) (gr)	235.24	284.36	321.35	398.71
Peso Torta Seca (gr)	207.98	247.51	277.2	336.6
Peso Hecogenina obtenida Solvente 1 (mg)	1563	1689	1862	2103
Peso Hecogenina obtenida Solvente 2 (mg)	526	754	825	985
Peso Hecogenina obtenida Solvente 3 (mg)	1239	1426	1654	1726
Peso Hecogenina obtenida Solvente 4 (mg)	1524	1623	1820	2087

TABLA 4. Resultados de laboratorio con diferentes agentes extractores

En el siguiente gráfico se puede observar el rendimiento de cada uno de los agentes extractores en la obtención de hecogenina para cada uno de los diferentes días de Autólisis propuestos:

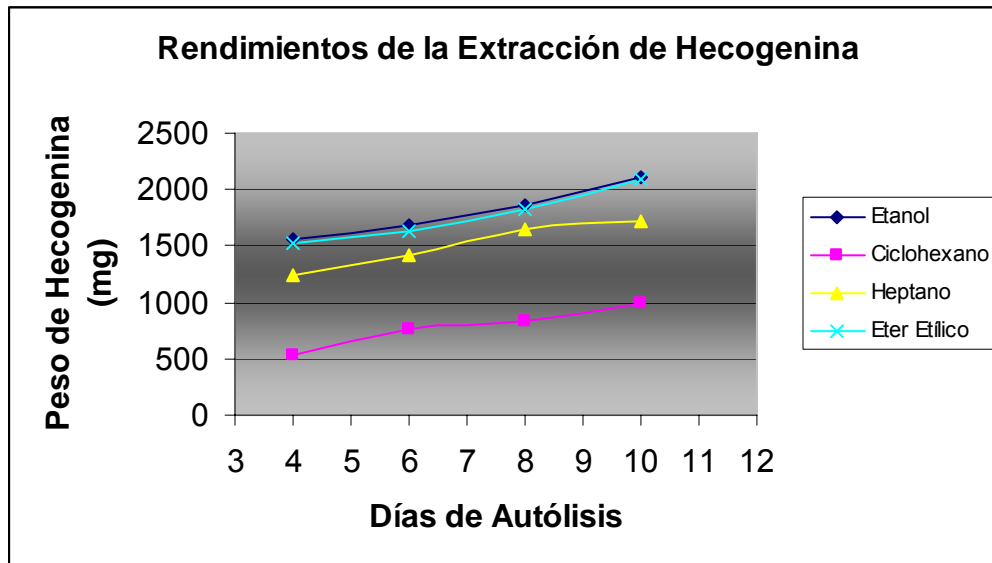


FIGURA 18 Rendimiento de los solventes usados en la extracción

4.2. Análisis de la torta agotada de fique

Este material es el residuo sobrante de la extracción soxhlet de hecogenina hecha a la torta seca. Para este trabajo se consideró la utilización de esta biomasa como posible combustible en el posterior diseño.

Se determinó el poder calorífico de la biomasa con el método de la bomba calorimétrica basada en la norma ASTM D 3286-73 e ISO 1928-76, esta norma se referencia brevemente en el anexo 6, obteniéndose el poder calorífico de esta torta el cual fue de **6811.21 Btu/lb**, que es apreciable y se puede utilizar como combustible.

4.3. Análisis de resultados

Con los datos obtenidos se realizó un análisis para establecer los parámetros del proceso. Se observó que el tiempo óptimo de autólisis es 4 días debido a que tiempos mayores no representan una ganancia sustancial para la obtención de las sapogeninas y sí representan mayores costos en la inversión final para la construcción de la planta y su operación. Los mejores agentes extractores fueron el etanol y el éter etílico, pero por razones de HSE, costos y aprovechando la creciente producción de este solvente en el país, se escogió el etanol.

4.4 Pruebas de Cromatografía

Se realizó cromatografía, a las sapogeninas obtenidas, con el objeto de observar el comportamiento de los compuestos y su solubilidad.

Medio adsorbente: Sílica gel GF 254.

Eluyentes utilizados: Tolueno / Acetato de Etilo

En este tipo de cromatografía se utiliza un parámetro relacionado con el coeficiente de reparto, que se denomina **Rf**. Se define como la relación entre la distancia recorrida por la sustancia y la distancia recorrida por la fase móvil. Es característico para cada uno de los compuestos, sus valores oscilan entre 0, para las sustancias insolubles, y 1 para las sustancias muy solubles en la fase móvil y que no interacciona con la fase estacionaria. Se aplicó en banda una sección de tres cm. de

ancho. El frente del solvente eluido fue de 14 cm. y la determinación se llevó a cabo a temperatura ambiente. Como agentes cromogénicos para el revelado se usaron: Observación con la luz ultravioleta de onda corta y larga y no se encontraron líneas de contraste. En las placas cromatográficas se observaron las mismas manchas después de revelar como se muestra en la siguiente tabla:

Banda No.	Color a la luz visible	Identidad	Rf
1	Amarillo que cambia a Naranja	Hecogenina	0.51
2	Marrón Claro	Desconocido	0.42
3	Amarillo Verdoso	Desconocido	0.35
4	Café	Desconocido	0.25
5	Café	Desconocido	0.07
6	Café	Desconocido	0.05
7	Café	Desconocido	0.03
8	Café	Desconocido	0

TABLA 5 Datos de identificación de la hecogenina con cromatografía de capa delgada

La banda correspondiente a la Hecogenina fue la más ancha indicando mayor concentración, las demás bandas se mostraron muy tenues en cuanto al color y fueron de 1 mm de ancho. La identidad de los demás compuestos no fue objeto de este estudio.

4.5. Identificación de la hecogenina con análisis espectroscópico Infrarrojo

Generalmente se utilizan técnicas espectroscópicas de U.V. RM, en este trabajo se utilizó un análisis espectroscópico en el rango Infrarrojo, haciendo un barrido para la extracción más importante y se encontró lo siguiente:

Pico	Longitud de onda (cm ⁻¹)	Grupo Funcional
A	3330±150	Tensión OH
B	1125±25	Tensión OH Secundaria
C	1710	Tensión C=O
D	3520	Sobretono
E	2962 2853	Tensión C-H Asimétrica Tensión Simétrica
F	1375-1450	Flexión C-H
G	1800-2100	Aromaticidad

TABLA 6 Longitud de onda para la hecogenina obtenida en laboratorio



FIGURA 19 Preparación de pastilla para IR



FIGURA 20 Equipo Infrarrojo

En la figura 21 se encuentran identificados los diferentes grupos funcionales que conforman las moléculas de la hecogenina los cuales están reportados en la tabla 6.

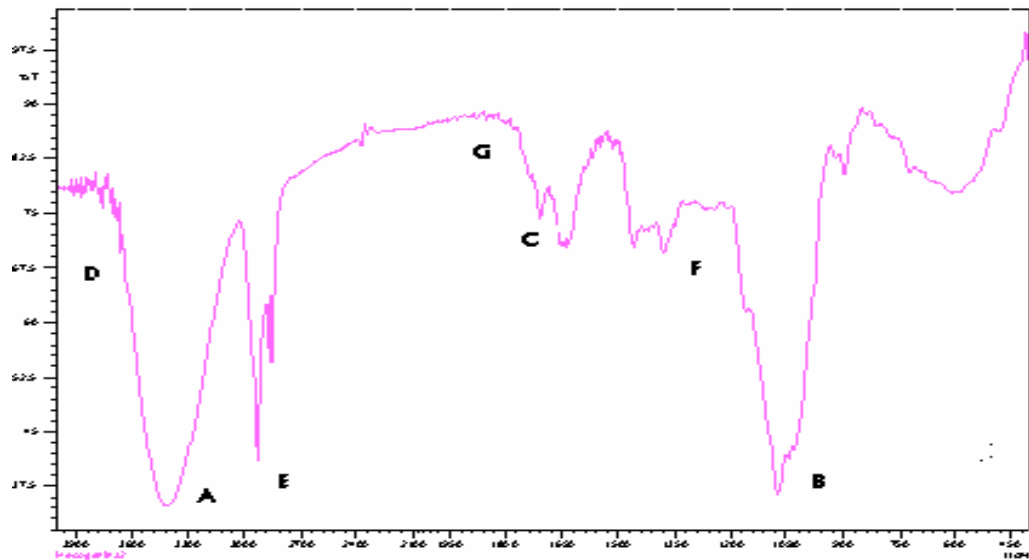


FIGURA 21 Espectro IR de la hecogenina obtenida en el laboratorio

Se midió experimentalmente el punto de fusión de estos cristales obteniéndose una Temperatura de Fusión ente 245-250°C obteniéndose una media de 248°C identificándose por este método su presencia.

4.6. INGENIERÍA BASICA DEL PROCESO

4.6.1. Capacidad de la planta

Se realizó un análisis de la producción de fique en el departamento de Santander para cuantificar el tamaño de la planta. Observando el promedio de los últimos diez años, la producción de fibra es de **5111**

Toneladas al año, que corresponden al 4% de la producción total de plantas de fique, es decir que habría una disponibilidad de materia prima (hunche de fique) de **122664** Toneladas al año. Teniendo en cuenta esta cantidad, se escogió una capacidad de planta de **130000** Toneladas al año.

4.6.2 Tipo de Proceso

El tipo de proceso escogido es en modo continuo, alineando el tanque que complete el tiempo requerido para autólisis cada vez que se termine de procesar el inmediatamente anterior. De acuerdo a esto se requiere un sistema de control para la planta y personal operador 24 horas al día.

4.6.3 Descripción del Diagrama de Bloques

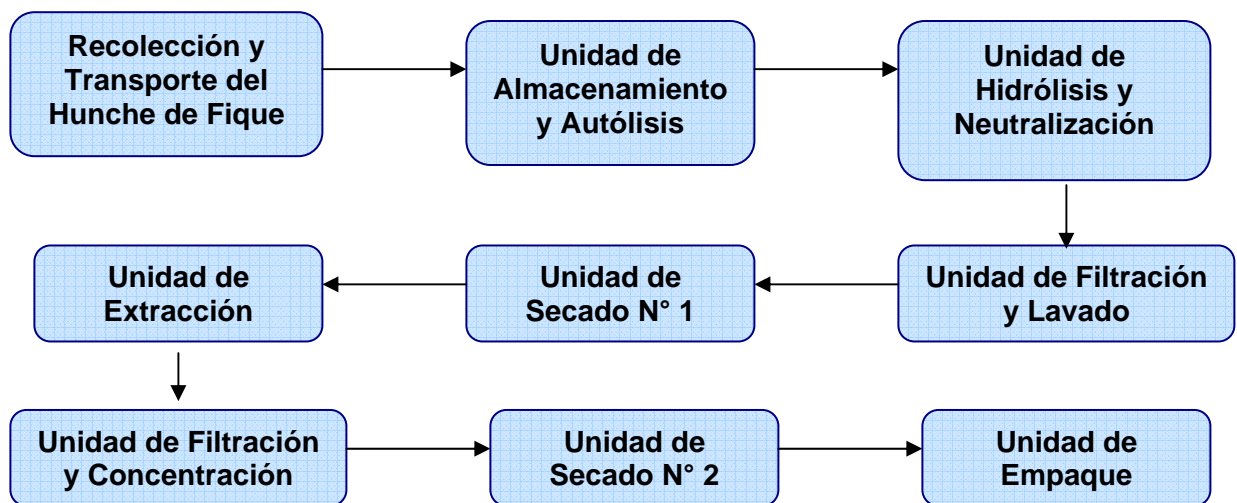


FIGURA 22 Diagrama de bloques

A continuación se describe la función y equipos que forman cada una de las unidades del proceso:

4.6.3.1 Recolección y transporte de materia prima:

Los campesinos que cultivan el fique actualmente arrojan el hunche a los terrenos de cultivo, por lo que no están recibiendo ninguna utilidad por éste. Se plantea trabajar en colaboración con la Cadena Regional del Fique para organizar las épocas de desfibrado en cada finca con el fin de tener materia prima todo el año y también proporcionar valor agregado a este desecho. El hunche se recogería en cada finca, en carro tanques acondicionados para ejecutar este trabajo y transportar la materia prima necesaria para la planta.

4.6.3.2 Unidad de Almacenamiento y Autólisis:

Esta unidad comprende cinco tanques herméticos (0, 1, 2, 3, 4 días de autólisis) conectados en su boquilla de recibo por una bomba que se alinea de acuerdo al tanque que esté en condiciones de recibir la materia prima traída de los diferentes sitios de cultivo. Estos tanques, están así mismo, conectados en su succión por otra bomba encargada del transporte del hunche fermentado hacia la unidad de hidrólisis. El modo de operación de estos tanques se basa en su rotación de acuerdo al número de días de autólisis, de manera que el tanque que reciba la materia prima, llevará a cabo la autólisis durante cuatro días y el quinto día este mismo tanque volverá a recibir materia prima sin fermentar. La capacidad de cada tanque es 385 m³.

4.6.3.3 Unidad de Hidrólisis y Neutralización:

Esta unidad cuenta con tres tanques uno para Ácido Sulfúrico y dos para la Solución de Hidróxido de Sodio, dos reactores continuos por etapas, con agitación, donde se lleva a cabo la hidrólisis y la neutralización del hunche. También cuenta con una caldera de producción de vapor (para el calentamiento del reactor de hidrólisis, intercambiadores de calor y secadores), un intercambiador de calor, el cual calienta el etanol con el hunche hidrolizado, este etanol caliente es alimentado a la unidad de extracción. En el reactor de hidrólisis, luego de recibir el hunche de la unidad de Autólisis, conviene realizar un monitoreo de pH para adicionar el Ácido necesario que lleve la mezcla a un pH de 0.5-1.0, a su vez la temperatura debe llegar a 90 °C, esto garantiza el rompimiento de enlaces de las saponinas y la obtención de las sapogeninas crudas. En el reactor de neutralización también se requiere control de pH que garantice la separación de la tigogenina presente y poder desechar el residuo sin dañar el ambiente.

4.6.3.4 Unidad de Filtrado y Lavado:

Aquí se lleva a cabo la filtración de torta en continuo con un filtro de banda horizontal que a su vez realiza el lavado de la torta. La torta lavada es enviada por medio de una banda hacia la unidad de secado.

4.6.3.5 Unidad de Secado N°1:

En esta unidad se realiza el secado en continuo de la torta por medio de un secador continuo con circulación directa. Estos secadores operan basándose en el principio de soplado de aire caliente a través de un lecho permeable del material mojado, que pasa en forma continua por el secador. La temperatura del aire debe encontrarse entre 100 y 130 °C.

4.6.3.6 Unidad de Extracción:

Esta unidad realiza la extracción sólido – líquido entre la torta seca y el solvente, que según nuestro estudio es etanol. Para la primera parte se necesita un elevador de canjilones que tomará la torta seca proveniente de la unidad de Secado y la depositará en la parte superior del extractor Hildebrant de transportador en espiral. La temperatura de operación del solvente de extracción el cual está depositado en un tanque subterráneo, es su temperatura de ebullición para permitir una extracción óptima del producto.

4.6.3.7 Unidad de Concentración y Filtración:

En esta unidad se toma el lixiviado que viene de la unidad de extracción y por medio de un cristalizador cónico – esférico de magma se separa el solvente de la hecogenina. El licor calentado, que regresa al cuerpo mediante la línea de recirculación se mezcla y eleva su temperatura, lo que provoca ebullición en la superficie del líquido. La sobresaturación

que se crea, provoca sedimentaciones en el cuerpo de remolino de los cristales suspendidos, luego los cristales sedimentados son recuperados y el líquido sobrante es recirculado hacia el sedimentador.

4.6.3.8 Unidad de Secado N°2:

Esta Unidad es la encargada de eliminar la humedad remanente que queda del proceso de cristalización por medio de un secador continuo rotatorio a contracorriente, que emplean vapor. Las pequeñas cantidades de etanol son condensadas y devueltas al tanque de almacenamiento de éste.

4.6.3.9 Unidad de Empacado:

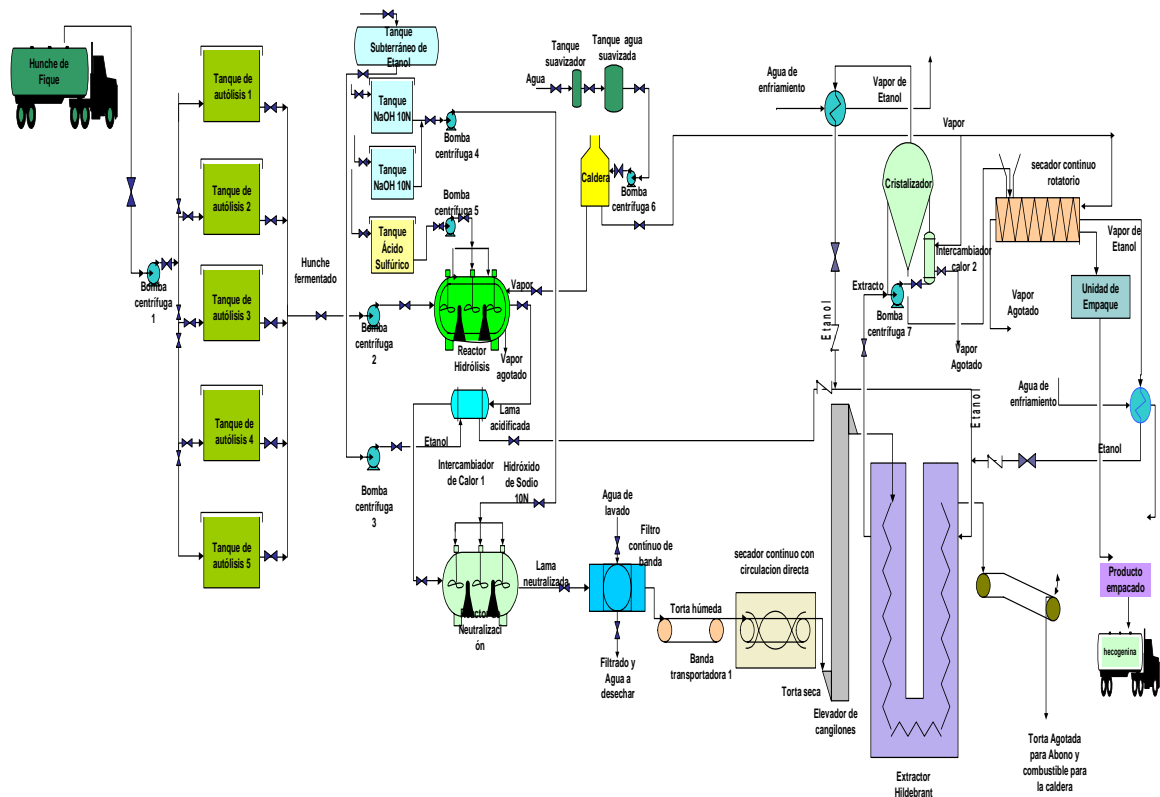
Esta unidad es la encargada de llevar el producto final Hecogenina a una presentación de empacado al vacío en bolsas pequeñas y oscuras para evitar que este producto pueda reaccionar con otro por medio de la radiación emitida por el sol.

4.6.4 DIMENSIONAMIENTO DE LAS UNIDADES

El dimensionamiento, características técnicas y costo de los equipos que se requieren para el montaje de la planta se encuentran especificados en el ANEXO 2.

4.6.5 Diagrama de Proceso de la Planta

A continuación se muestra el diagrama de proceso diseñado, donde se puede observar la distribución de los equipos y la secuencia de operación de la planta. Puede notarse el aprovechamiento máximo de solvente para disminuir su volumen de reposición, asimismo, el aprovechamiento de energía en corrientes calientes para calentamiento de otras y de la torta agotada para la producción del vapor de la caldera. Los resultados de los diferentes balances de masa se encuentran consignados en el Anexo 1. Las condiciones de operación de los equipos utilizados en el diagrama de proceso de la planta están consignadas en el Anexo 2 de este trabajo de grado.



4.7. ANALISIS ECONOMICO

4.7.1. CAPACIDAD DE LA PLANTA Y LOCALIZACIÓN

El tamaño y la localización de la planta son importantes, debido a su influencia en la inversión y los costos del mismo.

Para determinar el tamaño y la localización de la planta se tuvo en cuenta los resultados arrojados por el análisis de producción de fique en Santander, pues se definió que el tamaño de la planta debe ser suficiente para satisfacer la producción de materia prima en la región. En cuanto a la localización, se realiza el análisis de algunos parámetros, definiendo la ubicación de la planta que ofrece las mejores condiciones con respecto a mano de obra, disponibilidad de materia prima, costos e insumos.

4.7.1.1. Tamaño de la planta.

En la definición del tamaño de la planta se tuvieron en cuenta factores como la disponibilidad de las materias primas, la tecnología y los equipos disponibles en el mercado.

4.7.1.2 Demanda.

Se realizó un análisis del mercado de la hecogenina a nivel mundial. Este arrojó como resultado que la demanda directa de hecogenina es el mercado objetivo, debido a la gran participación en sus

formulaciones. La planta que se propone pretende cubrir el 4% del déficit Mundial de Hecogenina, el cual se encontraba en 5000 Ton/año en el 2004.

4.7.1.3. Disponibilidad de la materia prima.

Como se ha mencionado anteriormente, la materia prima para la elaboración de la hecogenina es el hunché del fique, del cual se tiene una disponibilidad promedio en Santander en los últimos 10 años de 122664 toneladas/año aproximadamente.

El jugo de fique que entra al proceso deberá cumplir con los requerimientos mínimos de calidad, a fin de garantizar que los procesos operen según los estándares definidos y que el producto cumpla los requerimientos internacionales. El jugo de fique de Santander cumple con los siguientes requisitos de calidad los cuales son idóneos para el proceso:

PROPIEDAD	VALOR MAXIMO REQUERIDO
Densidad gr/ml	1.03 -1.01
% Humedad	85 -80
Ph	4.5 -4.0

TABLA 7 Requisitos de calidad de la materia prima

Por otra parte, la elaboración de hecogenina tiene como requisito el abastecimiento de insumos como ácido sulfúrico y algunos solventes

orgánicos principalmente. En el caso del etanol, éste muestra una tendencia creciente de producción en el país. En Colombia el mercado del etanol tiene un comportamiento satisfactorio, ya que en la región se presenta uno de los precios más bajos y tiene posibilidades de expansión en caso de aumentar la demanda.

4.7.1.4 Estudio de localización.

Se realizó una selección preliminar de las poblaciones con potencial para ubicar la planta de producción de hecogenina en Santander, considerando las de mayor cercanía a las zonas de producción de fique en la región, la disponibilidad de vías de acceso para el abastecimiento de insumos, el desarrollo industrial y el estado del orden público (los insumos químicos pueden ser usados para la extracción de sustancias ilícitas).

MUNICIPIO	ORDEN POR PRODUCCION	DISPONIBILIDAD DE VIAS	DESARROLLO INDUSTRIAL	ORDEN PUBLICO
Aratoca	3	Buena	Poco	Aceptable
Mogotes	1	Buena	Poco	Aceptable
Curití	2	Regular	Poco	Aceptable
San Gil	6	Excelente	Bueno	Aceptable
Valle S. José	7	Regular	Muy Poco	Aceptable
San Joaquín	4	Regular	Muy Poco	Aceptable
Cepita	5	Mala	Muy Poco	Aceptable

TABLA 8 Análisis de localización en planta

De acuerdo al análisis realizado, la planta se ubicaría en el municipio de **Mogotes**, pues presenta la mayor producción de fique, conserva facilidades de acceso y se encuentra en una ubicación estratégica pues esta cerca de los demás centros de producción así como de San Gil quien presenta el mayor desarrollo industrial de la región Guanentina.

4.7.1.5. Consumo de servicios industriales.

Con base en los cálculos del diseño de la planta se realizó un estimativo de las necesidades básicas de servicios industriales como energía eléctrica, vapor, y agua potable. En la tabla 14 se aprecian los consumos de estos por año con sus respectivos costos.

4.7.2. ANALISIS DE EFLUENTES DEL PROCESO

Este análisis tiene como fin determinar los efluentes que pueden causar Impacto ambiental durante el proceso de producción de hecogenina, se debe realizar un estudio detallado proponiendo una alternativa de solución para su tratamiento y así cumplir con las normas ambientales nacionales.

Según el esquema de planta propuesto para el proceso de producción de hecogenina, se puede apreciar que existen emisiones atmosféricas de CO₂ durante la Autólisis, sin embargo no se pueden considerar contaminante ya que es producto de un proceso de fermentación, los tanques se ubicarían en un sitio abierto y no hay producción de CO. En el área de proceso pueden encontrarse vapores de etanol, por eso, hay que tener en cuenta que pueden ocurrir emisiones ocasionales, debido a fugas o escapes daños en tuberías y equipos. Para evitar estos

escapes, la planta puede implementar programas de detección y corrección de fugas.

En el proceso de filtración se debe realizar un estudio para la eliminación de los residuos que vienen con el lavado de la torta, los cuales contienen sales producto de la neutralización. Los residuos sólidos generados en el proceso, que se obtienen en la unidad de extracción, deberán ser utilizados como combustible de la caldera y el restante se almacenarán en sacos para posteriormente ser tratados y vendidos como abono orgánico. También se puede realizar un estudio para encontrar otros posibles usos de este desecho.

4.7.3. ORGANIZACIÓN DE LA PLANTA

La organización de la empresa debe corresponder a una estructura que garantice el logro de los objetivos y metas propuestas por ésta. La empresa está dividida en departamentos o secciones especializadas en una actividad específica con lo cual se garantiza el buen desempeño y operación de la planta. Los principales departamentos que conformaran la planta son:

Dirección General: Este departamento esta integrado por el gerente general, el cual se encargara de hacer cumplir la misión, políticas, reglamentos y procedimientos establecidos, así como de elaborar la planeación estratégica de la empresa.

Departamento de Producción: Aquí se busca optimizar la utilización de recursos puestos a disposición de la empresa, lo cual se logra con la

aplicación de métodos y procedimientos apropiados. En esta área se encuentran todos los equipos y maquinaria que se necesitan para elaborar y almacenar el producto terminado, realizar el control de calidad, así como el desarrollo de ingeniería del producto y la determinación de los procesos técnicos.

Departamento de Mantenimiento: Aquí se realiza el proceso de prevención de fallas y conservación de máquinas, así como la elaboración y coordinación de programas de mantenimiento de equipos y herramientas para garantizar los programas de producción.

Departamento Administrativo: Este departamento incluye el personal administrativo que se encarga de llevar la contabilidad, realizar y manejar los presupuestos para la compra de materias primas e insumos y de los demás gastos en que incurra la planta; así como el personal de oficina como recepcionista, mensajero y personal de seguridad. De acuerdo a este esquema organizacional, se puede hacer un cálculo global de las necesidades de personal, esta evaluación de personal se realiza asignando los cargos que cubran las operacionales en cada departamento. Es necesario garantizar una buena distribución de personal que garantice el adecuado funcionamiento de la planta, por ello es de especial cuidado la determinación del número correcto de operadores a trabajar. Hay que tener en cuenta que la planta opera continuamente, durante las 24 horas del día, por lo tanto se manejan 3 jornadas diarias de 8 horas, que trabajaran durante 7 días. Adicionalmente se tiene en cuenta que es necesario añadir una jornada adicional para cubrir los días de descanso del personal operativo.

El personal necesario para el funcionamiento continuo de la planta según los departamentos propuestos se estima en una cantidad de 36 personas divididas así:

Departamento	Cargo	Cantidad de Personas
Dirección General	Gerente	1
	Secretaria de Gerencia	1
	Ingeniero de Proceso	1
	Secretaria de Planta	1
	Ingeniero Control de Calidad	1
Producción y Mantenimiento	Operadores	12
	Jefe de Mantenimiento	1
	Técnicos de Mantenimiento	2
	Personal de recolección y transporte de Hunche	4
Administrativo	Jefe de Contabilidad	1
	Auxiliar Contable	1
	Jefe de Compras	1
	Personal de Seguridad	6
	Mensajero	1
	Recepcionista	1
	Personal de Aseo	1

TABLA 9 Cálculo del personal para el funcionamiento de la planta

4.7.4. DISTRIBUCION DE LA PLANTA

Planificar la distribución de las instalaciones se hace con el fin de tener zonas bien definidas de operación, garantizar un eficiente desempeño y comunicación en las diferentes actividades realizadas en la planta. La estructura planteada para la planta comprende las siguientes zonas:

Zona de recepción y almacenamiento de materia prima: Esta zona tiene espacio disponible para la recepción de materia prima y su posterior almacenamiento en condiciones adecuadas.

Zona de Proceso: En esta zona se encuentran los equipos de proceso, la planta de agua de enfriamiento, tuberías y espacio para la circulación de operadores y maquinaria pequeña.

Zona de carga y almacenamiento de Producto Terminado: Esta zona tiene espacio disponible para el almacenamiento de la hecogenina y su posterior transporte.

Zona de Ingeniería: Aquí se ubica el cuarto de operaciones, oficinas para el ingeniero de proceso, laboratorio de control de calidad, salón de reuniones, cafetería y baños.

Zona de Mantenimiento y Almacén: En esta zona se encuentra el personal y herramientas necesarias para realizar el mantenimiento correctivo y preventivo de los equipos de la planta.

Zona Administrativa: Aquí se ubican el personal de gerencia general, del departamento Financiero y departamento administrativo, además se encuentra lugares como recepción, sala de espera, cafetería y baños.

Parqueaderos

Para calcular el área total necesario para la instalación de la planta, es necesario calcular el espacio requerido para la zona de producción, para la cual hay que tener en cuenta las dimensiones de los equipos principales y otros factores como el de seguridad y circulación de materiales. Además de estimar el espacio necesario para la instalación de cada equipo, en la zona de producción se le adiciona un área correspondiente a un cuadrado con lado de 1,5 m que corresponde a la separación que debe haber entre los diferentes equipos, también hay que tener en cuenta el área correspondiente al espacio de circulación y tuberías, por lo cual se multiplica por un factor de 3. De esta forma se obtiene que el área total calculada para la zona de producción de hecogenina de **6300 m²** aproximadamente.

Al valor anteriormente calculado, se le asigna un factor de 1,85 que corresponde al espacio ocupado por oficinas, zonas verdes, parqueaderos y espacio circulante, para así obtener el área total requerida de **12000 m²**.

4.7.5. JUSTIFICACIÓN DE ENTRADA AL MERCADO

El cultivo de fique representa una opción para el desarrollo económico de Colombia. La creación de una planta extractora de hecogenina permitiría a los productores tener un mercado para el hunché; además de la generación de empleos, por lo que los productores podrían incrementar la superficie sembrada como alternativa a otros productos de escaso valor comercial.

4.7.6. COSTO DE LOS EQUIPOS

El costo básico de los equipos de acuerdo al material, condiciones de operación y tamaño, se determinaron por medio de la página de Internet www.matche.com.

EQUIPO	COSTO UNITARIO (U\$)	COSTO TOTAL (U\$)
TANQUES DE AUTÓLISIS	56000	280000
BOMBA DE LLENADO DE LOS TANQUES DE AUTÓLISIS	4300	4300
BOMBA DE SUCCIÓN DE LOS TANQUES DE AUTÓLISIS	4300	4300
REACTOR CONTÍNUO POR ETAPAS PARA HIDRÓLISIS	245100	245100
REACTOR CONTÍNUO POR ETAPAS PARA NEUTRALIZACIÓN	40800	40800
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO	12200	12200
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIDROXIDO DE SODIO	81100	162200
TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL	92700	92700
INTERCAMBIADOR DE CALOR DE TUBO Y CARCAZA	42300	42300
CALDERA	177900	177900
FILTRO DE BANDA HORIZONTAL	22300	22300
BANDA TRANSPORTADORA	1700	3400
CRISTALIZADOR CONICO DE MAGMA	228700	228700
SECADOR CONTINUO ROTATORIO A CONTRA CORRIENTE	93100	93100
ELEVADOR DE CANJILONES	8300	8300

EXTRACTOR HILDEBRANT	8500	8500
EQUIPOS SECUNDARIOS	118220	118220
CONDENSADOR	42300	84600
Carro tanque	77000	154000
TOTAL		U\$1.782.920

TABLA 10 Costos de Equipos

4.7.7. COSTOS DE MANUFACTURA DE UNA PLANTA DE PRODUCCION DE HECOGENINA

Para estimar los costos de mano de obra para la planta, tenemos que saber el costo de la materia prima (Hunche de Fique), este valor no se conoce actualmente porque es desechada por los fiqueros, se estimó un valor de \$200 por galón de Hunche. Este valor puede ser puesto a consideración de la entidad CADEFIQUE (Cadena Regional de Fique).

Tamaño y localización de la planta	
Capacidad de la planta	130000 Ton/ año
Días Laborados	365
Horas /año	8760
Localización de la planta	Mogotes Santander
Inversión de la planta	
Maquinaria y Equipos	1.782.920
Edificios	320000
Total	U\$ 2.102.920

TABLA 11 Inversión y localización de la planta

En la siguiente tabla se detalla el costo de nómina necesaria para el funcionamiento de la planta.

Departamento	Cargo	Cantidad Personas	Sueldo mensual US\$ persona	Sueldo anual U\$
Dirección General	Gerente	1	2400	28800
	Secretaria de Gerencia	1	308	3696
	Ingeniero de Proceso	1	962	11544

	Secretaria de Planta	1	308	3696
	Jefe de Control Calidad	1	693	8316
Producción y Mantenimiento	Operadores	16	385	73920
	Jefe de Mantenimiento	4	461	22128
	Técnicos de Mantenimiento	2	250	6000
	Personal de recolección y transporte de Hunche	4	250	12000
Administrativo	Jefe de Contabilidad	1	308	3696
	Auxiliar Contable	1	193	2316
	Jefe de Compras	1	385	4620
	Personal Seguridad	6	231	16632
	Mensajero	1	193	2316
	Recepcionista	1	193	2316
	Personal Aseo	1	193	2316
	TOTAL	44	US\$ 204.312	

TABLA 12. Salarios del personal al año

En las tablas 13 y 14 están consignados los costos de materia prima, servicios industriales e insumos para el funcionamiento continuo de la planta.

Costo Directo de Manufactura				
Materia Prima	Unidad	U\$/Unidad	Unidad/Año	U\$/Año
Hunche de Fique	Ton	17.89	130000	2.326.726,7
Subtotal			US\$ 2'326.726,75	

TABLA 13 Costo de la materia prima (Hunche de Fique) al año

INSUMOS				
Componente	Unidad	U\$/Unidad	Unidad/Año	U\$/Año
NaOH	Ton	2755.77	9637.226	26'557.976,98
H₂SO₄	m³	210.03	463.404	97.328,74
Etanol	gal	1,74	2'329.997,5	4'504.195,65
Subtotal insumos			U\$ 30'709.501,37	
Servicios Industriales				
Agua Lavado	m³	0.2929	122.640	35.921,25
Electricidad	Kw/h	0.1039	1'041.301,2	108.191,19
Agua para Caldera	m³/h	0.3	569.400	170.820
Agua enfriamiento	Kg/h	0.008	433800158.16	3'470.401,26
Subtotal Servicios Industriales			U\$ 3'785.333,70	
Total Insumos y Servicios Industriales			U\$ 34'494.835,09	

TABLA 14 Costos de servicios industriales e Insumos al año

No se tuvo en cuenta para los costos, el combustible de la caldera ya que por los análisis realizados a la torta agotada se llegó a la conclusión que era viable utilizarla como combustible por su considerable poder calorífico. Para obtener la demanda calorífica necesaria para el funcionamiento de la planta se utilizó 532.8 kg/h de torta agotada de fique de las 2752 kg/h producidas por esta planta, la torta agotada restante se propone utilizarla como abono después de realizarle una operación unitaria para eliminar el etanol remanente del proceso.

	Personas	Sueldo U\$/Anual	Total Anual U\$
Mano de Obra			
Supervisión(hombre/turno 8 horas)	1	5.532	5.532
Operadores de Planta (hombre/turno 8 horas)	4	4.620	18.480
TotalCOL			U\$ 24.012
Supervisión Directa del tren administrativo (0.18*COL)			4.322,16
Mantenimiento y Reparaciones (0.06*I)			126.175,2
Suministros de operación (0.09*I)			189.262,8
Cargos de laboratorio (0.15 COL)			3.601,8
TOTAL			U\$ 323.361,96

TABLA 15 Costos fijos directos

Costos Fijos (indirectos)	
Depreciación de equipos y edificaciones (0.1*I)	210.292
Impuestos y Seguros 0.032*I	67.293,44
Costo por Infraestructura (0.7COL+0.036I)	92.513,52
Total costos fijos	U\$370.098,96
Gastos de Oficina	500
Subtotal Administración	66.708
Subtotal Administración y ventas	U\$66.708

TABLA 16 Costos fijos indirectos

Por consulta bibliográfica se obtuvo información del costo unitario del producto que se está extrayendo, este tiene un valor estimado de \$3.000.000 por cada kilogramo obtenido⁶. Realizando un análisis detallado de las variables que pueden afectar a éste, fijando un valor comercial atractivo para los posibles compradores, poder competir en el mercado mundial cada vez más globalizado y dar un amplio margen de utilidad a la empresa este producto se ha valorado en \$1'350.000 (556,7 U\$/kg.)

Costo de Producto				
Producto	Unidad	U\$/Unidad	Unidad/Año	U\$/Año
Hecogenina	Kg	556,7	181196.22	100'872.122,47
Subtotal				U\$ 100'872.122,47

TABLA 17 Costo de Hecogenina

⁶ Tomado del sitio web <http://www.conservation.org/>

Analizando los datos obtenidos en la tabla del Anexo 8, los cuales fueron un VPN de **U\$ 178.255.516**, con una TIR del **86%** y un costo estimado del producto final de **U\$ 100'872.122,47**, se observó que aunque los costos de producción son altos, el producto final se vende con un costo considerable; la TIR es elevada y el proyecto es muy atractivo. No se pudo comparar con otras plantas de este tipo, ya que no se obtuvo información económica cuando se realizó la consulta.

4.8. CONSIDERACIONES AMBIENTALES

- ◆ Debe llevarse a cabo un estudio con el fin de implementar un proceso de tratamiento a la solución acuosa desechada del proceso de filtración, la cual ha sido neutralizada. o plantear posibles usos para ésta.

- ◆ Se recomienda tener en cuenta la realización de un estudio estricto para el manejo de los residuos de la planta, en caso de llevar a cabo el montaje de la misma, ya que en el momento de hacerlo, se deben revisar los decretos existentes para el control de los residuos.

- ◆ Se debe considerar la recirculación del agua de enfriamiento utilizada en las diferentes unidades del proceso, con el fin de disminuir el impacto ambiental y reducir los costos de operación de la planta.

- ◆ Para disminuir el impacto ambiental de los combustibles fósiles y por razones de disminución de costos de operación de la planta, se utilizó en este diseño, la torta agotada como combustible para la caldera, aprovechando el alto poder calorífico de ésta.

- ◆ Se debe tener un control de escapes adecuado en las tuberías y equipos que operan con etanol, con el fin de evitar fugas que podrían producir explosiones y afectar a los trabajadores al estar expuestos a los efectos de este solvente durante periodos prolongados.

5. CONCLUSIONES

1. Mediante una búsqueda bibliográfica se concluyó que en Colombia no se produce hecogenina de manera industrial, pero existe una demanda a nivel mundial de ésta principalmente para la industria farmacéutica.
2. Se diseñó una planta para producir 181.196 toneladas de hecogenina al año con un precio estimado de U\$ 100'872.122,474 anuales teniendo en cuenta que la producción de hecogenina ha mostrado un déficit mundial de 5.000 toneladas año, del cual se busca cubrir el 3.62% con el diseño propuesto para esta planta.
3. Se encontró una alternativa para la utilización de la torta agotada de fique como biomasa con un poder calorífico de 6811.21 Btu./lb. (15842.38 kJ./kg.) que se puede aprovechar en la combustión de la caldera.
4. El capital de inversión para el montaje de la planta de hecogenina en Colombia es de U\$ 2'102.920 y el costo de producción anual es de U\$ 37'719.834,76.
5. La evaluación financiera del proyecto arroja resultados favorables para esta planta con valor de TIR de 86% con un valor presente neto de la planta de U\$ 178.255.516

6. Se encontró que la producción y ventas de productos hormonales del cual la hecogenina es materia prima, presenta una tendencia bastante creciente en el mercado mundial. Con el proceso desarrollado en esta tesis de grado nos brinda la posibilidad de obtener grandes cantidades de hecogenina y desarrollar la industria farmacéutica en nuestro país.

6. RECOMENDACIONES

- ◆ Debido a las limitaciones de la información técnica que se encuentra disponible, se recomienda que para mejorar la precisión de este estudio se realicen investigaciones a nivel piloto a fin de determinar condiciones de operación y detalles del proceso, que no son publicados o se encuentran protegidos por patentes.
- ◆ En el diseño detallado se debe tener en cuenta una alternativa que permita un flujo continuo y sin taponamiento, que se pueda presentar en las tuberías por las características del fluido que estos transportan.
- ◆ Todos los equipos deben tener facilidades para el mantenimiento y deben estar diseñados teniendo en cuenta que algunos de ellos manejarán líquidos pastosos.
- ◆ Debido a que en la neutralización lo que se pretende es la separación de las dos sapogeninas presentes en esta variedad de Fique (Hecogenina y Tigogenina) se debe evaluar la posibilidad de eliminar esta etapa del proceso separando la tigogenina por un proceso alternativo luego de la cristalización tratando de recuperarla para su posible venta teniendo en cuenta que este producto es 10 veces más costoso que la hecogenina.
- ◆ Debido a que en este proyecto se pudo detectar que los estudios sobre el Fique y el total aprovechamiento han sido muy pocos, se

propone la conformación de un grupo de investigación en el tema del Fique.

- ◆ Se recomienda realizar un estudio biotecnológico sobre las hidrolasas, que son las proteínas que realizan el proceso de Autólisis para encontrar una forma de disminución del tiempo de autólisis del hunche de fique.

- ◆ Se debe realizar un estudio detallado del reactor de hidrólisis, con el fin de optimizar esta reacción que es la base fundamental de todo el proceso de obtención de hecogenina.

- ◆ Se recomienda hacer un análisis de RMN para verificar la estructura de la hecogenina producida por esta tecnología.

- ◆ Los parámetros de densidad relativa, humedad y pH deben tenerse en cuenta para determinar la calidad del jugo en el lugar de recepción de la planta, considerando que el jugo que se acepte para la transformación debe mostrar unos parámetros dados en la tabla 7.

- ◆ Se debe realizar un estudio detallado del proceso de extracción, para optimizar el agente extractor y así disminuir costos operacionales de éste en la planta.

- ◆ Según revisión bibliográfica y la experimentación realizada, se debe tener cuidado con el uso del ácido sulfúrico, pues el uso de cantidades grandes de este hace que el jugo de la planta se quemé. En este caso, las sapogeninas crudas que resultan son generalmente negras e incluso demuestran la presencia de los cristales de sulfato de calcio.

◆ Todas las tuberías que transportan soluciones alcalinas y acidas deben ser especificadas teniendo en cuenta el alto poder corrosivo de estos líquidos

7. BLIBLIOGRAFIA

1. PERRY, Robert. Manual del Ingeniero Químico. Sexta Edición. Editorial Mc Graw Hill Santa Fe de Bogota 1998.
2. BARBOSA, A. Edwin S. Evaluación de la calidad de Jugo de Fique en la Obtención de Hecogenina y Análisis Fitoquímico del extracto Heptánico del Jugo Hidrolizado de *Furcraea Macrophylla*, Variedad negra común. Tesis Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias. Bogota. 2002.
3. PEREZ, Jorge. El Fique Su taxonomía, cultivo y tecnología 2ª edición. Editorial Colima Medellín 1976.
4. GAVIRIA, Juan y CORTEZ, Mauricio. Situación y perspectiva de la rama productiva del fique. Pontificia Universidad Javeriana. Santa Fe de Bogota. s. n. 1991
5. MEJIA DE GUTIERREZ, Rubby. El zumo de Fique como material prima en materiales de construcción. Universidad del Valle. Cali s. n. 1991.
6. GOMEZ, M. Francisco, J. Hablemos del Fique en Santander y Colombia. Graficad Litografía. 2005.
7. TREYBAL, Robert, E. Operaciones de Transferencia de Masa. Segunda Edición. Editorial Mc Graw Hill México 2000.

8. CORRIPIO, Armando, B. Control Automático de Procesos. Editorial Limusa S. A. Mexico 1997.

9. SKOOG, Douglas, A., Principios de Análisis Instrumental. Quinta edición. Editorial Mc Graw Hill. México 2001.

Recursos interactivos

1. Departamento Nacional de Planeación www.dnp.gov.co

2. Comisión de Regulación de Energía y Gas www.creg.gov.co

3. Comisión de Regulación de Agua Potable www.cra.gov.co

4. mathematics and chemistry www.matche.com

5. Universidad Nacional de Colombia www.unal.edu.co

6. Pionero de la píldora en México <http://www.paho.org/>

7. Instituto Superior de Medicina Militar <http://www.bvs.sld.cu/>

8. Estudo da cadeia produtiva como subsídio para pesquisa e desenvolvimento do agronegócio do sisal na paraíba <http://www.eps.ufsc.br/>

9. Proyecto de prospectiva de la cadena del fique en Santander
<http://www.incubadoravirtual.com.co>

10. Análisis de la variabilidad molecular de una colección de Dioscórea poligonoides del Gran caldas (Colombia). Cuantificación del contenido de sapogeninas esteroidales <http://www.upv.es>

11. Exprimiendo fique <http://www.conservation.org/>

8. ANEXOS

Anexo 1. TABLA DE FLUJOS PARA LAS DIFERENTES UNIDADES DE LA PLANTA

	Flujo de entrada	Flujo de salida
UNIDAD DE HIDRÓLISIS Y NEUTRALIZACION		
Tanque de Hidrólisis	Hunche de Fique 13,2338 m ³ /h Ácido Sulfúrico 0,0529 m ³ /h	Lama Acidificada 13,2868 m ³ /h
Tanque de neutralización	Lama Acidificada 13,2868 m ³ /h Hidróxido de Sodio (10N) 2,7504 m ³ /h	Lama Neutralizada 16,1371 m ³ /h
UNIDAD DE FILTRADO Y LAVADO		
Filtro continuo de banda	Lama Neutralizada 16,1371 m ³ /h Agua de lavado 13,8955 m ³ /h	Torta Húmeda 3113,1289 Kg/h
UNIDAD DE SECADO	Torta Húmeda 3113,1289 Kg/h	Torta seca 2752,3744 Kg/h
UNIDAD DE EXTRACCIÓN	Torta seca 2752,3744 Kg/h Etanol 60,5522 m ³ /h	Extracto 54,5142 m ³ /h
UNIDAD DE CONCENTRACION Y FILTRACION	Extracto 54,5142 m ³ /H	Etanol para recirculación 49,0473 m ³ /h Hecogenina Cristalizada 5,4669 m ³ /h
UNIDAD DE SECADO	Hecogenina Cristalizada 5,4669 m ³ /h	Hecogenina 20,6845 Kg/h Etanol 5,4497 m ³ /h
UNIDAD DE EMPACADO	Hecogenina 20,6845 Kg/h	Hecogenina 20,6845 Kg/h

ANEXO 2 OBJETIVOS DE ESTE TRABAJO DE GRADO

OBJETIVOS

Este trabajo dirigido al diseño de una planta para la obtención de hecogenina obtenida a partir del jugo de *Furcraea Macrophylla* persigue los siguientes objetivos generales y específicos.

OBJETIVOS GENERALES:

Diseñar una alternativa de procesamiento a nivel de planta semi-industrial para la obtención de la hecogenina contenida en el jugo de las hojas de la planta *Furcraea Macrophylla* (Fique), que sirva como base para su producción y posible comercialización.

OBJETIVOS ESPECIFICOS:


- Definir la forma de obtención a nivel de laboratorio, realizando prácticas de extracción con diferentes solventes utilizados en estudios anteriores.
- Seleccionar un proceso de extracción con el disolvente más apropiado, es decir con el que se consiga un buen porcentaje de recuperación, evaluando los resultados obtenidos en la

experimentación en laboratorio y llevarlos posteriormente a un diseño de planta semi-industrial para la obtención de hecogenina.

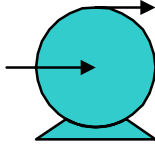
- Realizar un análisis preliminar de factibilidad económica para el producto obtenido a partir de este proceso, que permita obtener la viabilidad del proyecto.
- Analizar el impacto ambiental que tiene el aprovechamiento de los desechos de la hoja del fique y el funcionamiento de la planta objeto de este estudio.

Anexo 3. DATASHEET DE LOS EQUIPOS UTILIZADOS EN EL PROCESO

1. UNIDAD DE AUTÓLISIS

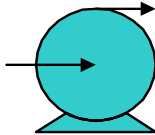
DATA SHEET TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y AUTÓLISIS			
EQUIPO:	Tanque		
NOMBRE:	TANQUE DE AUTÓLISIS		
SERVICIO:	Almacenamiento del hunche de fique para el proceso de autólisis.		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		PVC	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hunche de FIQUE
salida:	26°C	Salida:	Hunche fermentado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	90%	Tiempo de Autólisis	4 Días

Relación H/D	1.3	Numero de tanques	5
Densidad del hunche	1.03 g/ml	Volumen Tanque	385 m³
Diámetro del tanque:	7 m	Altura:	10 m
Diámetro de Succión:	0.4 m	Diámetro de descarga:	0.2 m
Flujo de llenado:	120 m³/h	Flujo de descarga:	16 m³/h
Observaciones: Se debe instalar tubo en la parte superior tipo un cuello de ganso en el techo de los tanques para la salida de los gases producidos con la fermentación. El techo de los tanques debe ser completamente cerrado para evitar la contaminación de la materia prima con aguas lluvias.			
COSTO POR EQUIPO: 56000US\$⁷			

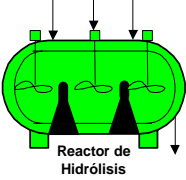
DATA SHEET BOMBA DE LLENADO DE LOS TANQUES DE AUTÓLISIS			
EQUIPO:	Bomba Centrífuga		
NOMBRE:	BOMBA DE LLENADO		
SERVICIO:	Transporte de la materia prima de los carrotanques a los tanques de autólisis		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hunche de Fique
salida:	26°C	Salida:	Hunche de Fique
Presión	2069 KPa	Flujo de descarga	120 m³/h
Factor del material	1.5	Factor de Presión de Succión	1.6
NPSH	6 ft	Velocidad	1750 rpm

⁷ Los costos de todos los equipos, fueron obtenidos del sitio www.matche.com

<p>Observaciones: Debido a que la bomba maneja sólidos en suspensión, deben evitarse las bolsas y puntos muertos donde puedan acumularse los sólidos, por lo que deberá contarse con conexiones para la limpieza del equipo en uso continuo. Se sugiere tener redundancia colocando otra bomba en paralelo</p>
COSTO DEL EQUIPO: 4300 US\$

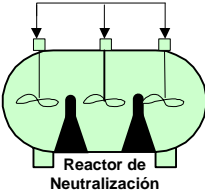
DATA SHEET BOMBA DE SUCCIÓN DE LOS TANQUES DE AUTÓLISIS			
EQUIPO:	Bomba Centrífuga		
NOMBRE:	BOMBA DE LLENADO		
SERVICIO:	Transporte del hunche fermentado de los tanques de autólisis al reactor de hidrólisis		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hunche fermentado de Fique
salida:	26°C	Salida:	Hunche fermentado de Fique
Presión	2069 KPa	Flujo de descarga	16 m ³ /h
Factor del material	1.5	Factor de Presión de Succión	1
NPSH	5 ft	Velocidad	1750 rpm
<p>Observaciones: Debido a que la bomba maneja sólidos en suspensión, deben evitarse las bolsas y puntos muertos donde puedan acumularse los sólidos, por lo que deberá contarse con conexiones para la limpieza del equipo en uso continuo. Se sugiere tener redundancia colocando otra bomba en paralelo.</p>			
COSTO POR EQUIPO: 4300 US\$			

2. UNIDAD DE HIDRÓLISIS Y NEUTRALIZACIÓN

DATA SHEET REACTOR CONTÍNUO POR ETAPAS PARA HIDRÓLISIS			
EQUIPO:	Reactor continuo por etapas		
NOMBRE:	REACTOR DE HIDROLISIS		
SERVICIO:	Reacción de Hidrólisis entre el hunche fermentado y el H ₂ SO ₄		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316 SCHEDULE 40	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hunche fermentado
salida:	90°C	Salida:	Hunche hidrolizado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	80%	Tiempo de Residencia	1 hora
Relación H/D	1.5	Volumen Tanque	16 m ³
Densidad del hunche	1.03 g/ml	Presión máxima	15 blf/in ²
Diámetro del tanque:	2.6 m	Largo:	3.9 m
Diámetro de Recibo:	0.2 m	Diámetro de salida:	0.2 m
Flujo de llenado:	16 m ³ /h	Flujo de salida:	16 m ³ /h
Tipo de Agitadores	Tipo Hélice de Entrada superior	Cantidad de Agitadores	3
Velocidad de Agitación	350 rpm	Potencia del Agitador	2.2 KW
Calor a transferir	3.54*10 ⁶ Btu/h	Área de transferencia de calor	31.85m ²
Flujo de vapor a través de la chaqueta	47.4 m ³ /h	Flujo de entrada de H ₂ SO ₄	0.053 m ³ /h


Observaciones: El tanque debe tener control de PH y de Temperatura para garantizar la hidrólisis.

COSTO POR EQUIPO 245100US\$

DATA SHEET REACTOR CONTÍNUO POR ETAPAS PARA NEUTRALIZACIÓN			
EQUIPO:	Reactor continuo por etapas		 <p>Reactor de Neutralización</p>
NOMBRE:	REACTOR DE NEUTRALIZACIÓN		
SERVICIO:	Reacción de Neutralización entre el hunche ácido y el NaOH		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hunche hidrolizado
salida:	26°C	Salida:	Hunche Neutralizado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	80%	Tiempo de Residencia	1 hora
Relación H/D	1.5	Volumen Tanque	16 m ³
Densidad del hunche	1.03 g/ml	Presión maxima	15 blf/in ²
Diámetro del tanque:	2.6 m	Largo:	3.9 m
Diámetro de Recibo:	0.2 m	Diámetro de salida:	0.2 m
Flujo de llenado:	16 m ³ /h	Flujo de salida:	16 m ³ /h
Tipo de Agitadores	Tipo Hélice de Entrada superior	Cantidad de Agitadores	3
Velocidad de Agitación	350 rpm	Potencia del Agitador	2.2 KW
Concentración Solución NaOH	10 N	Flujo de NaOH	0.053 m ³ /h

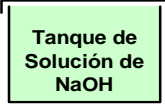
Observaciones: El tanque debe tener control de PH para garantizar la neutralización.

COSTO POR EQUIPO: 40800 US\$⁸

DATA SHEET TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ACIDO SULFURICO			
EQUIPO:	Tanque		
NOMBRE:	TANQUE DE ACIDO SULFURICO		
SERVICIO:	Almacenamiento y suministro de acido sulfúrico para el proceso de hidrólisis.		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		PVC	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Acido sulfúrico concentrado
salida:	26°C	Salida:	Acido Sulfúrico concentrado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	80%	Volumen Tanque	10 m ³
Relación H/D	1.5	Diámetro del tanque:	1.1 m
Altura:	3.3 m		
Diámetro de Succión:	0.076m	Diámetro de salida:	0.0064 m
Flujo de llenado:	5 m ³ /h	Flujo de salida:	0.0529 m ³ /h


⁸ Los costos de todos los equipos, fueron obtenidos del sitio www.matche.com

Observaciones: El tanque de almacenamiento fue diseñado para el volumen requerido de alimentación en una semana con el fin evitar posibles desabastecimientos por incumplimiento del proveedor. El techo de los tanques debe ser completamente cerrado para evitar la contaminación del ácido con aguas lluvias. Este tanque requiere una bomba centrífuga que maneje el flujo de salida del tanque.
COSTO POR EQUIPO: 12200 US\$⁹

DATA SHEET TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE HIDROXIDO DE SODIO			
EQUIPO:	Tanque		
NOMBRE:	TANQUE DE HIDROXIDO DE SODIO		
SERVICIO:	Almacenamiento y suministro de solución de hidróxido de sodio para el proceso de neutralización del hunche.		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:	PVC		
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Hidróxido de Sodio
salida:	26°C	Salida:	Hidróxido de Sodio
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	80%	Numero de tanques	2
Relación H/D	1.5	Concentración de NaOH	10 N
Tipo de agitador	Turbina de aspas planas	Volumen Tanque	90 m ³
Velocidad de agitación	150 rpm	Potencia	56KW

⁹ Los costos de todos los equipos, fueron obtenidos del sitio www.matche.com

Diámetro del tanque:	4.5 m	Altura:	6.5 m
Diámetro de Succión:	0.36m	Diámetro de salida:	0.0635 m
Flujo de llenado:	90 m³/h	Flujo de salida:	2.7504 m³/h
Observaciones: El tanque de almacenamiento fue diseñado para el volumen requerido de alimentación en un día para tal fin se deben construir dos tanques para que uno sirva de repuesto mientras se prepara la otra solución de Hidróxido de sodio. El techo de los tanques debe ser completamente cerrado para evitar la contaminación del acido con aguas lluvias. Este tanque requiere una bomba centrífuga que maneje el flujo de salida del tanque			
COSTO POR EQUIPO 81100US\$¹⁰			

DATA SHEET DE LA CALDERA PIROTUBULAR			
EQUIPO:	Caldera Piro tubular		
NOMBRE:	Caldera		
SERVICIO:	Generación de vapor para calentamiento del tanque de hidrólisis y funcionamiento del cristalizador		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada Agua:	26°C	Entrada	Agua
Salida Vapor:	158°C	Salida:	Vapor sobrecalentado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Combustible	Torta agotada de fique	Calor requerido por La planta	7460000 Btu/h
Espaciamiento entre los tubos	0.0025 m	Presión de la Caldera	600 KPa

¹⁰ Los costos de todos los equipos, fueron obtenidos del sitio www.matche.com

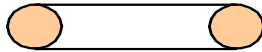
Altura de chimenea	15 m	Poder calorífico Torta agotada	
Temperatura de los gases de salida de la Chimenea	150 °C	Diámetro de la chimenea	0.6 m
Observaciones: Se recomienda emplear una caldera de 8000000 Btu/h. Para obtener esta demanda calorífica se utilizó 532.8 kg/h de torta agotada de fique			
COSTO POR EQUIPO: 177900US\$			

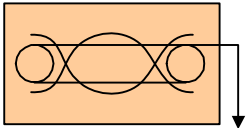
3. UNIDAD DE LAVADO Y FILTRADO

DATA SHEET DEL FILTRO DE BANDA HORIZONTAL			
EQUIPO:	Filtro		
NOMBRE:	FILTRO DE BANDA HORIZONTAL		
SERVICIO:	Filtración y lavado de el hunche neutralizado		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:	ACERO INOXIDABLE 316		
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	75°C	Entrada	Hunche neutralizado
Salida:	25°C	Salida:	Torta filtrado
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Material del filtro	Nylon	Resistencia a la ruptura del material del filtro	3.8 – 9.2
Velocidad de la banda	0.5m/s	Flujo de filtrado a la entrada	16 m ³ /h
Peso específico del medio filtrante	1.14	Area de filtración	20 m ²
Largo de la banda:	10 m	Ancho de la banda:	2 m

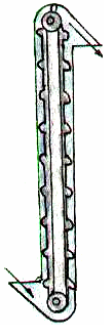
Espesor de la torta:	100 mm	Contenido inicial de humedad	80 %
Contenido final de humedad:	10 %	Flujo másico a la salida	3113.68 kg/h
Tipo y tamaño de material alimentado:	Líquido pastoso	Temperatura Máxima de operación	107°C
Observaciones: Se debe garantizar que el alimento de este equipo sea homogéneamente distribuido en la banda, para tener un buen filtrado.			
COSTO POR EQUIPO: 22300 US\$			


4. UNIDAD DE SECADO

DATA SHEET DE BANDA TRANSPORTADORA			
EQUIPO	Banda transportadora		
NOMBRE	Banda		
SERVICIO	Transporte de la torta seca húmeda hacia el secador		
MATERIAL		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACION			
TEMPERATURA		CORRIENTES DEL EQUIPO	
Entrada	25 °C	Material a transportar	Torta seca
Salida	25 °C		
DIMENSIONES DE LA BANDA			
Ancho	1 m	Largo	5 m
Capacidad	3113.68 kg/h	Velocidad de la banda	400 m/min
COSTO DEL EQUIPO: 1700 US\$			

DATA SHEET DE SECADOR CONTINUO CON CIRCULACION DIRECTA			
EQUIPO:	Secador		
NOMBRE:	SECADOR CONTINUO CON CIRCULACION DIRECTA		
SERVICIO:	Secado de la torta que viene de la Unidad de lavado y filtrado		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	25°C	Entrada	Torta Filtrada
Salida:	25°C	Salida:	Torta seca
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Superficie eficaz de transferencia de calor	15 m²	Carga del Secador Kg de Producto / m ²	3.3
Temperatura del aire °C	150 - 180	Tipo de transportador	Placa perforada con un diámetro de agujeros de 2.57mm
Espesor de la torta:	2.5 cm	Area de secado	1.32 m²
Contenido inicial de humedad %	10%	Contenido final de humedad %	0%
Tiempo de secado minutos	11	Velocidad del aire m/s	0.66
Fuente de calor:	Vapor	Potencia instalada kW	194
Flujo masico de torta a la entrada kg/h	3113.68	Flujo masico de torta a la salida kg/h	2752.37
Calor a transferir	338000 BTU/h	Diferencia de temperatura del proceso	75°C
Observaciones Se debe garantizar que el alimento de este equipo sea homogéneamente distribuido en la banda, para tener un buen secado.			
COSTO POR EQUIPO: 61400US\$			

5. UNIDAD DE EXTRACCIÓN

DATA SHEET DE ELEVADOR DE CANJILONES			
EQUIPO	Elevador de Cangilones espaciados de descarga en el extractor		
NOMBRE	Elevador de canjilones		
SERVICIO	Elevación de la torta seca, hacia la unidad de extracción		
MATERIAL		ACERO	
CONDICIONES DE OPERACION			
TEMPERATURA		CORRIENTES DEL EQUIPO	
Entrada	100 °C	Material a transportar	Torta seca
Salida	50 °C		
DIMENSIONES DEL CANGILON			
Ancho	0.1023 m	Largo	0.081 m
Profundidad	0.082 m	Espaciamiento de cangilones	0.26 m
Capacidad	3.9 kg/h	Velocidad de los cangilones	4.9 m/min
Giro del eje principal	43.84 rpm	Altura del elevador	9 m
DIAMETRO DEL EJE			
Cabeza	0.0485	Cola	0.0426 m
DIAMETRO DE LAS POLEAS			
Cabeza	0.0485	Cola	0.0426
Observaciones: La altura del elevador debe ser acorde a la altura del extractor Hildebrant			
COSTO DEL EQUIPO: 8300 US\$			

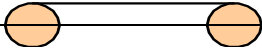
DATA SHEET TANQUE DE ALMACENAMIENTO DE ETANOL			
EQUIPO:	Tanque		
NOMBRE:	TANQUE DE ETANOL		
SERVICIO:	Almacenamiento y suministro de etanol para el proceso de extracción.		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:	PVC		
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	26°C	Entrada	Etanol
salida:	26°C	Salida:	Etanol
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Nivel de Llenado	80%	Volumen Tanque	1017 m ³
Relación H/D	0.75	Altura:	9 m
Diámetro del tanque:	12 m	Diámetro de descarga:	0.0762m
Diámetro de Succión:	0.0762m	Flujo de llenado:	6 m ³ /h
Flujo de salida en arranque de planta:	6 m ³ /h	Flujo de salida en operación normal	1.0552 m ³ /h
<p>Observaciones: En el proceso experimental se observaron pérdidas del solvente en la etapa de extracción por absorción de la torta agotada, por consiguiente se propone un estudio de las pérdidas cuando la planta este en operación. El tanque por normas de seguridad debe ser subterráneo. Este tanque requiere una bomba centrífuga que maneje el flujo de salida del tanque</p>			
COSTO POR EQUIPO: 92700S\$¹¹			

DATA SHEET DE EXTRACTOR HILDEBRANT	
EQUIPO	Extractor Hildebrant

¹¹ Los costos de todos los equipos, fueron obtenidos del sitio www.matche.com

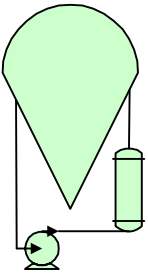
NOMBRE	Extractor		
SERVICIO	Extracción de la Hecogenina contenida en la torta seca por medio de etanol como solvente		
MATERIAL		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACION			
TEMPERATURA		CORRIENTES DEL EQUIPO	
Entrada etanol	70 °C	Material a extraer Hecogenina	
Salida Etanol	50 °C		
Entrada Torta seca	25 °C		
Salida Torta Agotada	35 °C		
DIMENSIONES DEL EXTRACTOR			
Diámetro de la sección transversal	0.61 m	Altura del Extractor	8 m
Diámetro del tornillo	0.55 m	Área aproximada del material en el tornillo	45%
Velocidad del tornillo	50 rpm	Capacidad del extractor	50000 Kg/h
Flujo másico de torta a través del extractal	2752.37 kg/h	Flujo de etanol a través del extractor	60.5522 m³/h
Observaciones:			
COSTO DEL EQUIPO: 8500 US\$			

DATA SHEET DE BANDA TRANSPORTADORA		
EQUIPO	Banda transportadora	
NOMBRE	Banda	




SERVICIO	Transporte de la torta agotada húmeda para ser usada en otros fines		
MATERIAL		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACION			
TEMPERATURA		CORRIENTES DEL EQUIPO	
Entrada	35 °C	Material a transportar	Torta agotada
Salida	35 °C		
DIMENSIONES DE LA BANDA			
Ancho	1 m	Largo	3 m
Capacidad	7500 kg/h	Velocidad de la banda	100 m/min
COSTO DEL EQUIPO: 1700 US\$			

6. UNIDAD DE CRISTALIZACIÓN

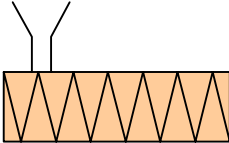
DATA SHEET DEL CRISTALIZADOR CONICO DE MAGMA			
EQUIPO	Cristalizador cónico esférico de Magma		
NOMBRE	Cristalizador		
SERVICIO	Cristalización de la Hecogenina contenida en el extracto de Etanol		
MATERIAL		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACION			
TEMPERATURA		CORRIENTES DEL EQUIPO	
Entrada Extracto	55 °C	Entrada	Extracto de Hecogenina en etanol

Salida Etanol	80 ° C	Salida	Etanol recuperado
		Salida	Cristales de Hecogenina
DIMENSIONES DEL CRISTALIZADOR			
Diámetro parte Esférica	3 m	Volumen del Contenedor cónico-esférico	60 m³
Altura	5 m	Flujo de entrada de Extracto	54.5142 m³/h
INTERCAMBIADOR DE CALOR			
Tipo de Intercambiador	Carcaza y Tubos (El vapor va por la carcaza)	Temperatura de entrada del Vapor	158 °C
Calor a transferir	4160000 Btu	Temperatura de Salida del Extracto	85°C
BOMBA CENTRIFUGA			
Flujo de succión	6010 m³/h		
Observaciones: La corriente de etanol saliente del cristalizador es recirculada al extractor Hildebrant.			
COSTO DEL EQUIPO: 228700 US\$			


DATA SHEET DEL CONDENSADOR DEL CRISTALIZADOR			
EQUIPO:	Intercambiador de calor de Tubo y Carcaza		
NOMBRE:	CONDENSADOR		
SERVICIO:	Enfriamiento de etanol con agua de enfriamiento		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada Etanol Tubos:	80°C	Entrada:	Etanol caliente

Salida de Etanol Tubos:	70°C	Salida:	Etanol frío
Entrada Agua Carcaza:	25°C	Entrada	Agua de enfriamiento
Salida Agua Carcaza:	50°C	Salida:	Agua de enfriamiento
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Diámetro de la carcaza	0.4 m	Diámetro de los tubos	0.02 m
Número de tubos	30	Número de pasos	1
Distribución de los tubos	Cuadrado	Calor transferido	3800000 Btu/h
Área efectiva de transferencia de calor	11.31 m²	Largo:	6.7 m
Observaciones:			
COSTO POR EQUIPO: 42300 US\$			

7. UNIDAD DE SECADO

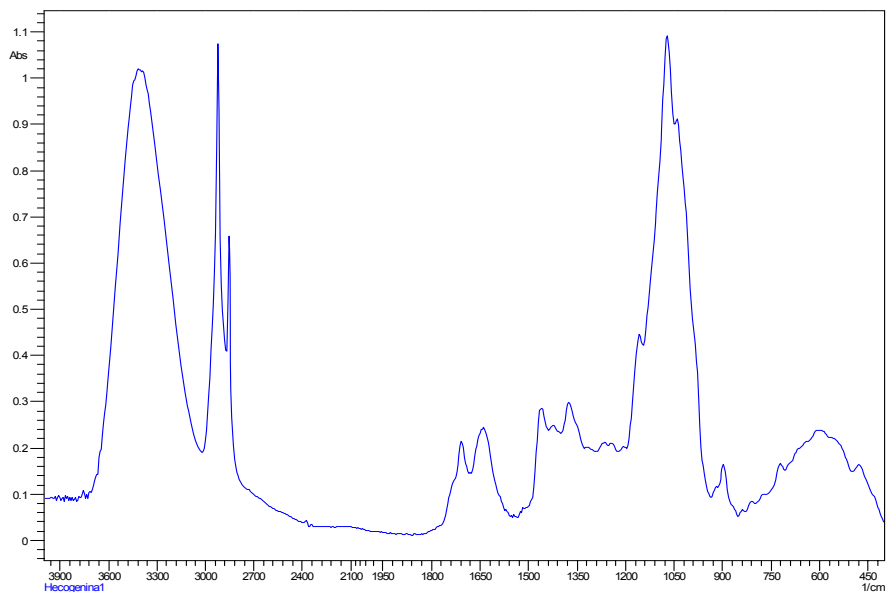
DATA SHEET DE SECADOR CONTINUO			
EQUIPO:	Secador		
NOMBRE:	SECADOR CONTINUO ROTATORIO A CONTRA CORRIENTE		
SERVICIO:	Eliminación de la humedad remanente que viene de la Unidad de Cristalización		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada:	78°C	Entrada	Hecogenina y etanol

Salida:	100°C	Salida:	hecogenina
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Contenido humedad de alimentación en base seca	10%	Contenido humedad de producto en base seca	0.15
Temperatura normal de alimentación mojada K	350.15	Evaporación por Kg de producto	1
Carga calorífica por lb de producto em kJ	2250	Presion de vapor utilizada normalmente kPa manometrico	860
Superficie de calentamiento requerida por kg de producto en m ²	0.4	Consumo de vapor por kg de producto, kg	3.33
Observaciones Se debe garantizar que el alimento de este equipo sea homogéneamente distribuido en la banda, para tener un buen secado.			
COSTO POR EQUIPO: 93100US\$			

DATA SHEET DEL CONDENSADOR			
EQUIPO:	Intercambiador de calor de Tubo y Carcaza		
NOMBRE:	CONDENSADOR		
SERVICIO:	Enfriamiento de etanol con agua de enfriamiento		
DESCRIPCIÓN			
MATERIAL:		ACERO INOXIDABLE 316	
CONDICIONES DE OPERACIÓN			
TEMPERATURA		Corrientes Del Equipo	
Entrada Etanol Tubos:	100°C	Entrada:	Etanol caliente
Salida de Etanol Tubos:	70°C	Salida:	Etanol frío

Entrada Agua Carcaza:	26°C	Entrada	Agua de enfriamiento
Salida Agua Carcaza:	36°C	Salida:	Agua de enfriamiento
DIMENSIONES DEL EQUIPO			
Diámetro de la carcaza	0.387 m	Diámetro de los tubos	0.05 m
Número de tubos	28	Número de pasos	1
Distribución de los tubos	Cuadrado	Calor transferido	356000 Btu/h
Área efectiva de transferencia de calor	32.1 m ²	Largo:	6.7 m
Observaciones:			
COSTO POR EQUIPO: 42300 US\$			

Anexo 4. CURVA ESPECTRAL DE LA HECOGENINA OBTENIDA A NIVEL LABORATORIO



Anexo 5. PRODUCCION NACIONAL DE FIQUE EN LOS ULTIMOS 10 AÑOS

Fique: Superficie cosechada, producción y rendimiento obtenido por departamento.													
Años agrícolas 1993 - 2004													
Departamento	Variable	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Antioquia	Superficie	1.334	1.198	1.233	1.100	1.050	961	1.167	1.043	917	851	807	810
	Producción	2.394	2.550	2.550	2.347	2.320	2.049	2.286	1.964	1.631	1.550	1.358	1.502
	Rendimiento	1.795	2.128	2.068	2.134	2.210	2.132	1.960	1.883	1.777	1.821	1.682	1.854
Boyacá	Superficie	773	472	423	619	627	174	115	91	110	99	81	84
	Producción	1.203	775	722	905	698	266	220	108	117	102	82	84
	Rendimiento	1.556	1.641	1.707	1.463	1.114	1.529	1.915	1.187	1.066	1.027	1.012	1.000
Caldas	Superficie	47	24	60	26	25	0	0				20	15
	Producción	83	55	191	60	63	0	0				20	80
	Rendimiento	1.761	2.292	3.183	2.308	2.520	0	0				1.000	5.300
Cauca	Superficie	8.233	7.710	8.200	9.485	8.229	7.605	6.942	7.563	7.066	7.210	6.953	6.266
	Producción	10.172	9.067	9.824	11.478	9.485	8.811	7.649	7.594	7.201	7.942	8.991	6.201
	Rendimiento	1.236	1.176	1.198	1.210	1.153	1.159	1.102	1.004	1.019	1.101	1.293	990
Nariño	Superficie	4.171	4.269	4.944	7.035	7.159	5.626	4.895	4.378	4.007	4.690	4.664	4.749
	Producción	7.451	5.885	10.126	13.268	18.156	6.385	5.399	4.534	4.545	5.490	5.496	5.694
	Rendimiento	1.786	1.379	2.048	1.886	2.536	1.135	1.103	1.036	1.134	1.171	1.178	1.199
Norte Santander	Superficie												42
	Producción												68
	Rendimiento												1.625
Risaralda	Superficie	10	12	44	7	28	22	57	57	57	57	57	57
	Producción	20	14	45	7	22	18	47	47	47	47	47	63
	Rendimiento	2.000	1.167	1.023	1.000	786	818	825	825	825	825	825	1.105
Santander	Superficie	1.438	1.703	3.249	3.904	3.904	3.922	3.922	4.855	4.645	4.484	4.513	4.310
	Producción	1.731	3.008	5.691	5.352	4.880	5.596	5.701	5.107	4.932	4.753	4.499	4.603
	Rendimiento	1.204	1.766	1.752	1.371	1.250	1.427	1.454	1.052	1.062	1.060	997	1.068
Total	Superficie	16.006	15.388	18.153	22.176	21.022	18.311	17.098	17.987	16.802	17.391	17.094	16.333
	Producción	23.054	21.353	29.149	33.416	35.624	23.125	21.303	19.355	18.473	19.884	20.508	18.304
	Rendimiento	1.440	1.388	1.606	1.507	1.695	1.263	1.246	1.076	1.099	1.143	1.200	1.121

Fuente: Evaluaciones Agropecuarias URPA's, UMATA's. Minagricultura y Desarrollo Rural - Dirección de Política - Grupo Sistemas de Información.

Anexo 6. NORMA ASTM D 3286-73 e ISO 1928-76 PARA DETERMINACIÓN DE PODER CALORÍFICO DE COMBUSTIBLES SÓLIDOS CON EL MÉTODO DE LA BOMBA CALORIMÉTRICA.

El parámetro que se va a determinar es EL PODER CALORÍFICO BRUTO A VOLUMEN CONSTANTE, a volumen constante porque los gases no pueden expandirse dentro de la bomba calorimétrica.

La determinación se puede llevar a cabo de tres maneras: ISOTERMICA, ADIABÁTICA Y ESTÁTICA.

UNIDADES DE MEDIDA

Las unidades más usadas son: Btu/l(ASTM), Joule/g (ISO) y Cal/g.

EQUIPOS UTILIZADOS EN ESTA DETERMINACIÓN

1. Bomba calorimétrica
2. Recipiente calorimétrico
3. Camisa de agua
4. Agitador del agua del recipiente calorimétrico
5. Termómetro de mercurio de alta precisión
6. Circuito de ignición
7. Crisol abierto de cuarzo

PROCEDIMIENTO PARA LAS MUESTRAS DE COMBUSTIBLE SÓLIDO

1. Pesar aproximadamente un gramo de combustible
2. Ensamblar la bomba y quemar la muestra
3. Después de la ignición leer la temperatura final
4. Analizar el contenido de la bomba

5. Cálculos

$$Q = (\Delta T \cdot C - e_1 - e_2 - e_3 - e_4) / m$$

Donde:

Q = Poder calorífico, Btu/lb

ΔT = Aumento de Temperatura, °C

C = Capacidad técnica del calorímetro, (Btu/lb)(g/°C)

M = Peso de la muestra, g

e1 = Calor de combustión del algodón secado a 100 °C

e2 = Calor de combustión del alambre fusible níquel-cromo

e3 = Calor de formación de ácido sulfúrico

e4 = Calor de formación del ácido nítrico

Anexo 7. FILOSOFIA BASICA DEL CONTROL

Unidad de Autólisis

Los tanques de esta unidad deberán contar con un sistema de Telemetría para la medición de nivel, controlando el nivel de llenado de los tanques, esta medición nos indica en que momento se debe alinear el siguiente tanque a la unidad de hidrólisis y el flujo de la planta para garantizar la operación de esta las 24 horas.

Unidad de Hidrólisis y Neutralización

Los reactores de Hidrólisis y Neutralización deberán contar con un sistema de control de pH con el propósito de dosificar las cantidades de Acido Sulfúrico y Hidróxido de Sodio en la cantidad requerida.

El tanque de Hidrólisis de tener un sistema de control de temperatura para garantizar que la reacción de Hidrólisis se lleve a cabo controlando el flujo de vapor en la chaqueta.

Unidad de Filtrado y Lavado

Se debe controlar el flujo de agua de lavado de acuerdo al flujo de operación de la planta, para minimizar costos por servicios industriales.

Unidad de Secado N°1

Esta unidad debe tener un sistema de control de temperatura con el propósito de secar la torta a una temperatura adecuada.

Unidad de Extracción

Esta unidad debe tener un sistema de control de flujo de etanol con el fin de maximizar extracción de hecogenina por volumen de etanol utilizado.

Unidad de Cristalización

En esta unidad se debe tener un sistema de control de temperatura para garantizar la mayor concentración de hecogenina para su posterior tratamiento en la unidad de secado N° 2.

Unidad de Secado N°2

Esta unidad debe tener un sistema de control de temperatura con el propósito de no dañar el producto y que evapore el etanol por la acción del calor de esta unidad

