

Universidad Nacional de Ingeniería

*Facultad de Ingeniería Química
y Manufacturera*



Estudio Experimental y Diseño de Planta Piloto para la obtención de Harina de Algodón de Consumo Humano a partir de la Pasta No Desolventizada de las Industrias Oleaginosas

*Tesis para obtener el Título Profesional de
INGENIERO QUIMICO*

Miguel A. Gonzáles Ramírez

Hugo A. Vilca Meléndez

Lima . Perú

1 9 9 1

A mis padres, por su constante apoyo
y comprensión.

A mis hermanos

MIGUEL ANGEL

A mi madre, a mi padre y a mis
hermanos José Luis y Héctor.

HUGO

AGRADECIMIENTOS

Quedamos muy agradecidos a todas aquellas personas que mediante su ayuda hicieron posible la realización de este trabajo:

Al Ing. Erick Juscamaita, por su valiosa colaboración y asesoría.

A la Ing. Eugenia Médico, por brindarnos su constante apoyo y amistad.

A la Dra. Zoila Scarpati, por ofrecernos desinteresadamente sus conocimientos y recomendaciones.

INDICE

INTRODUCCION

CAPITULO I: RESUMEN

CAPITULO II: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.1 Conclusiones

2.2 Recomendaciones

CAPITULO III: MATERIA PRIMA

3.1 La semilla de algodón

3.2 El Gosipol

3.3 Materia Prima: La pasta de algodón.

3.3.1. Usos en el Perú

3.3.2. Composición Química

3.4 Producción Nacional

3.5 Demanda nacional

3.6 Precios

3.7 Almacenamiento y Transporte

CAPITULO IV: ESTUDIO DEL PRODUCTO

4.1 Especificaciones

4.2 Control de Calidad

4.3 Aplicaciones

4.4 Niveles de Sustitución

4.5 Demanda Estimada del producto

CAPITULO V: ESTUDIO EXPERIMENTAL:

5.1 Métodos de obtención

5.2 Selección y descripción del método a emplear

5.3 Estudio experimental a nivel laboratorio

5.3.1. Molienda de la pasta

5.3.2. Evaporación de Hexano

5.3.3. Tamizado

5.3.4. Extracción del Gosipol

5.3.5. Filtración

5.3.6. Secado

5.3.7. Molienda

5.3.8. Regeneración del solvente

5.3.9. Discusión de resultados

5.3.10. Características del producto obtenido

CAPITULO VI: DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

6.1 Capacidad de la planta piloto

6.2 Balance de materia

6.3 Descripción del proceso

6.4 Diseño y selección de equipos

6.5 Localización de la planta piloto

CAPITULO VII: ESTIMACION DEL COSTO DEL PRODUCTO

7.1 Costo de la planta piloto

7.2 Costo del producto

CAPITULO VIII: APENDICE

CAPITULO IX: BIBLIOGRAFIA

INTRODUCCION

Tenemos en el país ciertos alimentos de origen vegetal que podrían ser aprovechados de manera más eficiente por el hombre antes de destinar su consumo a los animales. Con la inclusión del animal en la cadena alimenticia planta-hombre, se disminuye considerablemente la eficiencia de la producción proteica y se estima que el hombre, al consumir al animal recibe sólo un 20% de la proteína brindada por el vegetal ya que el animal utiliza el 80% en su crecimiento y actividades biológicas.

En el Perú, actualmente las fábricas de aceite vegetal destinan cada año para consumo animal 19,000 TM de proteína en la pasta de la semilla de algodón que es un subproducto de dicha industria. Esa pasta no puede ser consumida directamente por el hombre ni animales monogástricos pues contienen al pigmento tóxico "gosipol" que origina efectos fisiológicamente adversos.

El objetivo fundamental del presente trabajo es proporcionar, en base a pruebas de laboratorio, un proceso de

refinación de la pasta, optimizando la etapa de extracción del pigmento tóxico, para la obtención de harina de semilla de algodón apta para el consumo humano.

Producir harina de semilla de algodón, sería importante en la actualidad pues constituye una alta fuente proteica (51%), contribuyendo a combatir la deficiencia proteico-calórica, sustituyendo parcialmente (20%) a la harina de trigo, importada en grandes cantidades y que contienen sólo un 10% de proteínas.

CAPITULO I

RESUMEN

1.1 OBJETIVO:

En este trabajo se obtiene un proceso para la producción de harina de semilla de algodón a partir de la pasta no apta para consumo humano, en base a un estudio experimental con la determinación de parámetros de operación, y el diseño de una planta piloto con fines de asistencia social, apoyando a programas alimentarios como el programa de alimentación escolar (PAE) a fin de sustituir parcialmente con este producto a la harina de trigo.

1.2 MATERIA PRIMA:

La materia prima empleada es pasta de algodón no - desolventizada, subproducto de las industrias oleaginosas. Específicamente, la materia prima para los ensayos fue brindada por la compañía Perú Pacífico. La semilla de algodón contiene en su estructura interna glándulas pigmentadas donde se ubica el "gossipol" que en su forma metabólicamente activa crea efectos fisiológicamente

adversos al ser ingerido por seres humanos. Este pigmento tóxico se mantiene aún luego del proceso oleaginoso y está presente en la parte cuya composición, en el caso estudiado, contiene 3% de hexano, 30% de proteína y 0.112% de gossipol libre, entre otras características.

1.3. ESTUDIO DEL PRODUCTO:

La harina de semilla de algodón se utiliza básicamente como aditivo en productos de panadería, extensor en productos cárnicos y como suplemento proteico de dietas. Este trabajo dirige el uso del producto como sustituto parcial (20%) de harina de trigo. Se pretende satisfacer al 25% de la demanda del PAE en un período de 10 años para lo cual se debe producir 1.3 TM de harina de semilla de algodón por día.

1.4 ESTUDIO EXPERIMENTAL:

Las etapas de acondicionamiento de la pasta de algodón para la extracción del gossipol son la evaporación de hexano donde se eliminó totalmente este solvente tóxico, la molienda de la pasta en la cual se redujo el tamaño promedio de las partículas hasta 480 micras de diámetro, y el tamizado correspondiente con 17% de rendimiento.

La etapa estudiada con mayor detalle fue la extracción del gossipol en un sistema de tanque agitado por lotes de una etapa. El solvente utilizado, alcohol etílico acuoso al 80% en volumen permitió obtener un producto que cumple con las especificaciones internacionales al emplear 10 minutos de agitación, 25°C de temperatura y relación líquido/sólido de 5/1.

Las etapas destinadas a darle las características físicas finales del producto son la filtración que brindó una torta de 56% de contenido líquido (alcohol y agua), el secado a 85°C para la eliminación total del alcohol etílico y la molienda final para pulverizar los aglomerados formados en la etapa anterior y obtener la harina.

Se estudió adicionalmente la posibilidad de regenerar el solvente agotado en la extracción obteniéndose por destilación un solvente recuperado de 0.849 gr/ml frente a la densidad del solvente fresco 0.858 gr/ml.

1.5 DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO:

La planta piloto está diseñada para procesar 3,360 Kg/día de pasta de algodón y producir 1,300 Kg/día de harina de semilla de algodón apta para consumo humano. Esta planta permite recuperar y reciclar el 80% del solvente de extracción.

1.6 COSTO DEL PRODUCTO:

El costo de la planta piloto estimado es de 243,600 dólares y el costo de producción de la harina de semilla de algodón es de 1.17 dólares/Kg (Octubre 1,990).

CAPITULO

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

2.1 CONCLUSIONES:

En este estudio se ha establecido un proceso tecnológicamente viable para la producción de harina de semilla de algodón de elevado valor nutritivo apta para el consumo humano a partir de la pasta de algodón que es un sub-producto del proceso de obtención de aceite vegetal.

El producto obtenido en el laboratorio en base al proceso diseñado cumple las especificaciones químicas de calidad establecidas por organismos internacionales. Este proceso ha sido seleccionado de entre otros por ajustarse ventajosamente a las condiciones económicas, disponibilidad de materia prima e insumos de nuestro país.

La ventaja nutricional de la harina de semilla de algodón ya ha sido verificada en la alimentación de personas por trabajos de investigación anteriores. En el Perú también se han realizado este tipo de evaluaciones utilizando harina obtenida a partir directamente de la semilla de

algodón.

Las especificaciones internacionales de calidad han sido establecidas fundamentalmente para la comercialización de harina de semilla de algodón entre países. Ciertas especificaciones, para el consumo interno social podrían variar y ser normadas por algún organismo nacional autorizado como el Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición (INAN).

En el Perú, la semilla de algodón es la principal oleaginosa de alto contenido proteico cultivada en grandes cantidades y su cosecha coincide con el período escolar por lo cual la aplicación de producto se ve favorecido a formar parte del Programa de Alimentación Escolar que funciona desde hace varios años en el país.

El producto obtenido está orientado hacia el consumo social masivo de los sectores de menores recursos económicos y definitivamente, por experiencias anteriores, no es un producto comercial producido con el fin de alcanzar utilidades económicas.

La planta piloto ha sido diseñada para emplearla en un estudio de evaluación nutricional que alcanza al 15% de los alumnos matriculados en Lima y al 4.2% de los matriculados a nivel nacional.

La extracción del gosispol es la etapa principal del

proceso de obtención de harina de semilla de algodón y la resistencia limitante es la transferencia de masa en el interior de las partículas fibrosas.

La cantidad y el costo de los análisis de Gosipol Libre, necesarios para realizar este trabajo han sido los principales inconvenientes a ser superados. Para minimizarlos se empleó un método alternativo basado en balances de materia y análisis espectrofotométrico del solvente agotado (Ver Apéndice 5) con el que se obtuvieron resultados muy parecidos los análisis de laboratorio.

El Costo de producción estimado de la harina de semilla de algodón duplica al precio de la harina de trigo comercial. La planta piloto ha sido diseñada cuidando estrictamente que los materiales en contacto con el producto sean de características sanitarias, lo cual lo encarece. Esta diferencia puede ser recortada proyectando el estudio a nivel de planta industrial, ya que a mayor producción se disminuye el costo unitario del producto.

2.2 RECOMENDACIONES:

Se han realizado en anteriores trabajos evaluaciones nutricionales con harina de semilla de algodón obtenida a partir directamente de la semilla. Se recomienda efectuar nuevas evaluaciones utilizando el alimento obtenido mediante el proceso establecido en el presente trabajo.

La composición de la semilla de algodón puede variar de una cosecha a otra dependiendo de su edad, clima, etc. por lo tanto es conveniente utilizar pasta de algodón producidas en otras fábricas y lugares del Perú.

En el proceso recomendado, el concentrado de gossypol es un efluente que se desecha, se recomienda entonces estudiar los posibles usos que puede tener éste pigmento.

Estudiar las bondades o desventajas que brinda la fracción gruesa del tamizado que serviría como alimento para ganado o relleno de alimento.

En la mayoría de trabajos de nutrición se orienta el consumo de harina de semilla de algodón como sustituto de la harina de trigo. Es recomendable estudiar la posibilidad de emplear el producto como sustituyente de otros alimentos no cultivables en el Perú.

Establecer contactos con distintas fábricas aceiteras para estudiar la factibilidad de obtener la pasta de algodón en condiciones sanitarias convenientes y así

mismo la desolventización en planta del hexano a condiciones térmicas menos severas para proteger la proteína.

Establecer contactos con diversos organismos nacionales para estudiar la posibilidad de un financiamiento con miras a implementar en un futuro una planta industrial para satisfacer toda la demanda proteica de la niñez en edad escolar.

En este estudio se han evaluado variables limitantes durante el proceso, seleccionando tales de acuerdo a especificaciones de calidad y factores técnico - económicos. No se consideraron las características microbiológicas y nutricionales; por depender mayormente del tratamiento previo de la materia prima y altos costos, respectivamente. Sin embargo es recomendable realizar estos análisis para una mejor caracterización de la materia prima y el producto.

CAPITULO III

MATERIA PRIMA

3.1 LA SEMILLA DEL ALGODON:

El algodón es una planta malvácea, llamada científicamente *GOSSYPIUM HERBACEUM*, de flores amarillas con manchas encarnadas y cuyo fruto contiene de 15 a 20 semillas envueltas en una borra o fibra muy larga y blanca que es la materia prima principal en la industria textil. (1)

La semilla, aún luego que se separa de la fibra principal queda densamente cubierta de fibras cortas o linter que poseen un aspecto grasoso y están adheridas a la cáscara de color oscuro. La semilla o pepa, tiene forma ovoide y una longitud de 8 a 12 mm., y se puede decir que consta de dos partes principales: la cáscara y la almendra. (2)

La cáscara protege a la almendra y no aporta prácticamente elementos nutritivos. Está formada principalmente por celulosa, pentosas y lignina. Su color, que puede variar entre café rojizo y negro está determinado por la presencia de silano estable. (3)

La almendra, de donde se obtiene el aceite y la torta, cake o pasta proteica, es de color blanco y está envuelta por una membrana externa de color amarillento. A través de la almendra de la semilla se distribuyen unas pequeñas glándulas pigmentadas de forma oval visibles como pequeñas manchas oscuras y los colores varían entre el amarillo, rojo, naranja o púrpura. Estas glándulas poseen como pigmento predominante al GOSIPOL, responsable de cierta propiedad tóxica y antinutricional de los productos derivados de la semilla del algodón. (2) (3)

Como es natural, la composición cuantitativa de la semilla de algodón puede variar de acuerdo a varios factores como son: la especie, variedad, lugar y año de cosecha, madurez, tiempo y condiciones de almacenamiento de la semilla. (3)

Prácticamente todos los productos derivados del algodón rama son utilizados y el Cuadro Nro. 1 muestra los usos y la secuencia que siguen estos derivados convencionalmente.

El Cuadro No. 2 compara la semilla de algodón con otras oleaginosas importantes que son industrializables.

El Cuadro No. 3 proporciona un estimado promedio en base datos de diversas fuentes respecto a la composición promedio en peso de algodón peruano y su semilla.

El Cuadro Nro. 4 compara la composición de las diversos variedades de semilla de algodones peruanos. Aquí se observa que las composiciones cuantitativas no presentan diferencias considerables de una variedad a otra, siendo necesario señalar que la diferencia más notoria se encuentra en la calidad de la fibra, lo cual se torna muy importante para la industria textil. En general la producción de la variedad Tangüis es el 65% de toda la producción nacional, la variedad Pima y Supima el 31%, Cerro 3% y Aspero 1% (6).

USOS DE LOS PRODUCTOS DERIVADOS DEL ALGODON RAMA

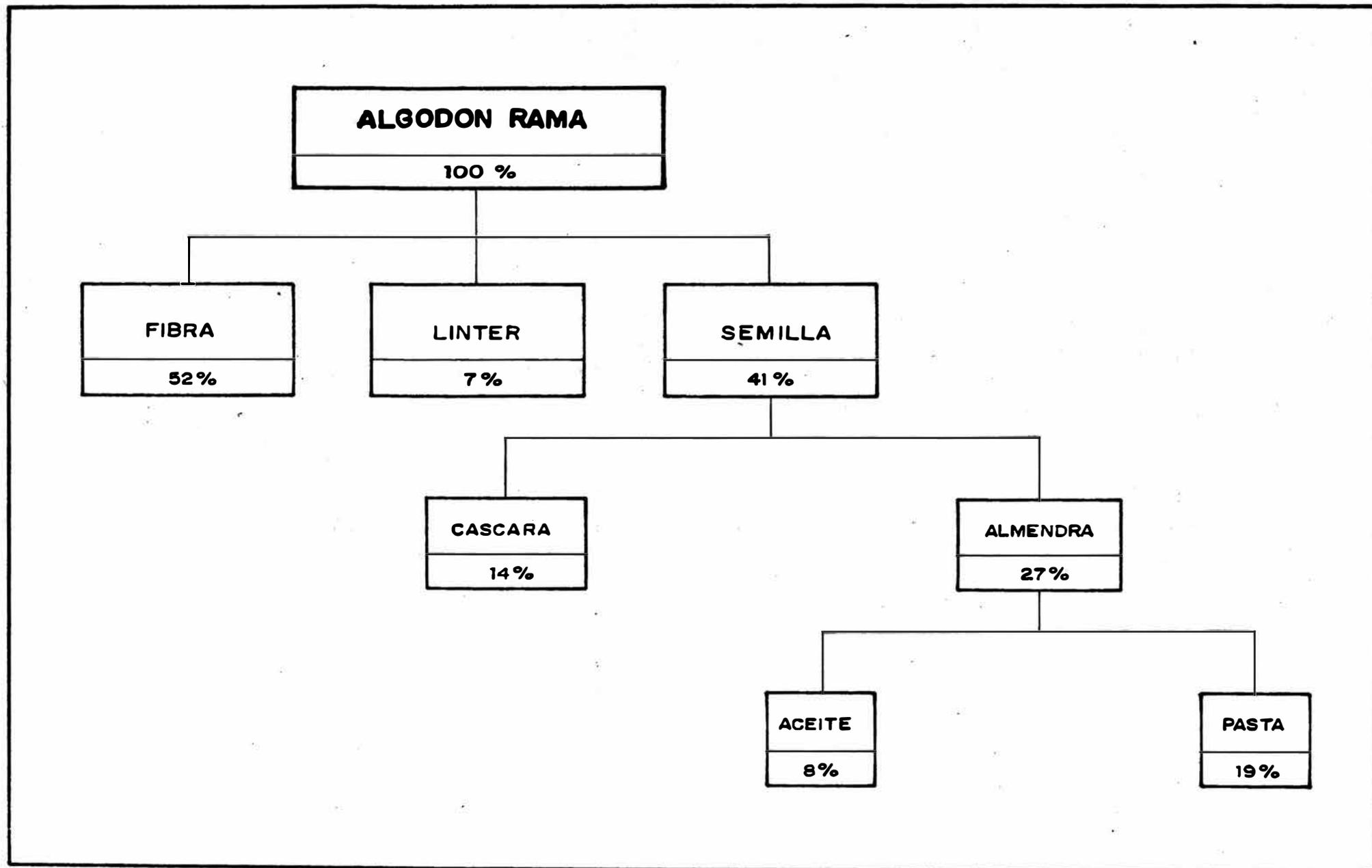
ALGODON RAMA	ALGODON FIBRA				TEXTILES		
					CELULOSA Y DERIVADOS		
	ALGODON SEMILLA	LINTER			HILANDERIA		
					CELULOSA Y DERIVADOS		
					RELLENO TAPICERIA		
		PEPA	CASCARA			ELABORACION DE FURFURAL	
						FORRAJE	
						FERTILIZANTE	
						CELULOSA Y DERIVADOS	
			ALMENDRA	ACEITE CRUDO			ACEITE REFINADO
							SEDIMENTOS
				PASTA			HARINA
	FORRAJE						
				FERTILIZANTE			

C U A D R O Nro. 2

COMPARACION DE ALGUNAS OLEAGINOSAS IMPORTANTES (1), (5)
(% Promedio Peso)

NOMBRE COMUN	NOMBRE CIENTIFICO DE LA PLANTA	PROTEINA %	ACEITE %
SOYA	Glycine Soja	42	20
SEMILLA ALGODON	Gossypium Herbaceum	21	19
SEMILLA COLZA	Brassica Campestris	20	51
MANI (Sin cáscara)	Arachis Hipogea	19	48
SEMILLA GIRASOL	Helianthus Annus	13.6	19.6
COCO	Coccus Nucifera	7.4	69

COMPOSICION DEL ALGODON EN RAMA PERUANO
(% PROMEDIO PESO)



C U A D R O Nro. 4

A L G O D O N E S P E R U A N O S
 COMPOSICION QUIMICA PROXIMAL DE VARIEDADES DE SEMILLA DISPONIBLES (6)
 (% Base Seca)

	TANGUIS	PIMA	SUPIMA	CERRO	ASPERO
PROTEINA	24	20	25	22	26
GRASA	25	29	25	25	21
FIBRA	19	16	15	15	17
CENIZA	6	5	5	5	5
HIDRATOS DE CARBONO	26	30	30	35	31
GOSIPOL LIBRE	0.187	0.191	0.155	0.137	0.127
GOSIPOL TOTAL	2.31	2.27	1.80	1.50	1.62

3.2 EL GOSIPOL:

Un corte transversal de la almendra de la semilla del algodón, nos muestra en el endospermo, las glándulas pigmentadas como puntos oscuros de forma ovoide de 100 a 400 micrones de largo. Estas glándulas están rodeadas por una pared de células aplanadas tangencialmente, resistente a la acción de la mayoría de los líquidos excepto del agua y de unos pocos líquidos orgánicos de bajo peso molecular miscibles con el agua, y resistente a la ruptura por presión, como la aplicada durante el proceso de obtención del aceite comestible. (2) (3)

El contenido de glándulas y de pigmentos dentro de ellas, es variable y se ha reportado por lo menos la presencia de 15 tipos de pigmentos en extractos, aceites o harina purificada. Estos incluyen, entre otros, el gosipol, 6-metoxigosipol, gosipurpurina, gosifulvina, gosicaerulina y gosiverdurina. (6)

El gosipol constituye el pigmento predominante en las glándulas de la semilla de algodón, entre 39 y 50% del total de pigmentos y del 0.096 al 0.219% del peso total de la semilla (2) (3). Materia cristalina amarilla con punto de fusión entre 184°C a 214°C (7), el gosipol es un compuesto polifenólico altamente reactivo con propiedades fuertemente ácidas y de fórmula molecular $C_{30}H_{30}O_8$, correspondiéndole un peso molecular de 518.5 (Ver Figura 1). Es insoluble en eter de petróleo de bajo punto de ebullición y en agua.

Witners y Carruth (6) manifiestan que el gósipol tiene la propiedad de combinarse químicamente con dos moléculas de anilina resultando un compuesto cristalino de alta insolubilidad. Roatner descubrió una de las reacciones que hoy se utiliza como base de los métodos analíticos para la determinación del gósipol, combinándolo con solución de tricloruro de antimonio para formar un complejo rojo (6).

Se le ha conocido sólo en el género *Gossypium* (Subtribu Hibisceae, orden malváceas) y su nombre GOSSYPOL fue inventado por Marchlewski (3) en 1889 derivándolo de "GOSSYP (Ium Phen)OL" para indicar su origen y naturaleza química.

El contenido total de gósipol se encuentra bajo las formas de gósipol libre y gósipol ligado. La forma metabólicamente activa del gósipol es el GOSIPOL LIBRE que tiene efectos fisiológicamente adversos cuando es ingerido por los animales monogástricos y seres humanos. La toxicidad del pigmento se ha atribuido a la inhibición de la conversión de la oxihemoglobina a hemoglobina en la sangre, y también a la hemólisis de eritrocitos. (8)

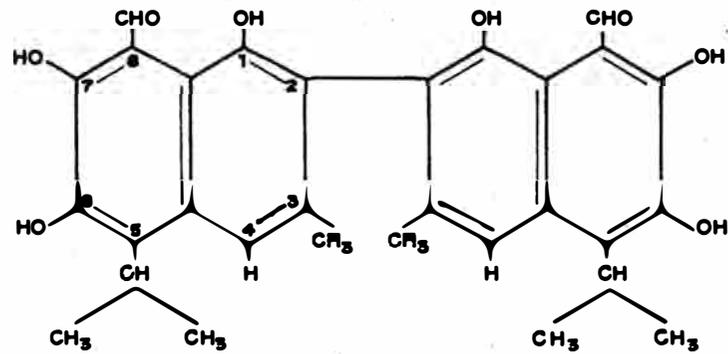
Durante el proceso para la obtención de aceite comestible de semilla de algodón, las glándulas se rompen fundamentalmente bajo la acción del calor, tanto en la etapa de cocinado como en la etapa de desolventizado y el gósipol libre reacciona con los grupos amino libres de la

FIGURA 1

EL GOSSYPOL

(C₃₀H₃₀O₈)

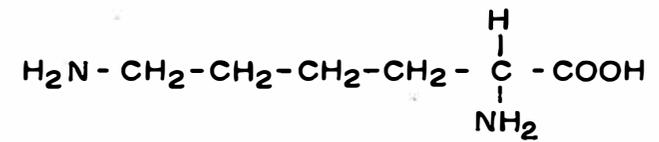
1,1',6,6',7,7' - HEXAHYDROXY - 5,5' - DIISOPROPYL - 3,3',
DIMETHYL - [2,2' - BINAPHTALENO] - 8,8' - DICARBOXALDEHIDO.



FUENTE (2)

FIGURA 2

LA LISINA



FUENTE (10)

LISINA (Ver figura 2) que es un aminoácido esencial, formando el "gosipol ligado". No todo el gosipol libre presente reacciona con la lisina puesto que alguna parte de él es removido con el aceite para ser luego inactivado en la etapa de refinación. Por otro lado, la lisina, además de reaccionar con el gosipol, lo hace también con carbohidratos adquiriendo en ambos casos la condición de "lisina no disponible", todo lo cual constituye un factor importante en la disminución de la calidad nutricional de la pasta de algodón (2).

"El Gosipol es el único compuesto que no hace comestible la pasta de algodón". (9)

A través de los años se han inventado diversos métodos químicos, fisicoquímicos y microbiológicos entre otros para la eliminación del gosipol. Entre los métodos químicos se encuentran la extracción por solventes y la adición de compuestos químicos. Los solventes más usados son soluciones acuosas de acetona, butanol, metanol, etanol, amoniaco, cloroformo, etc. Mediante la adición de sustancias químicas, el gosipol se puede inactivar con sales solubles de hierro, sales de calcio y sodio fundamentalmente para inestabilizar el gosipol. Entre las técnicas fisicoquímicas resalta la técnica del ciclón húmedo, y las técnicas microbiológicas consisten en inocular microorganismos para la remoción del gosipol. (1)

3.3 MATERIA PRIMA: PASTA DE ALGODON:

La Pasta de Algodón es un subproducto del proceso

industrial de obtención del aceite comestible a partir de la semilla de algodón. Esta pasta contiene niveles de calidad fuera de las especificaciones internacionales para la harina de algodón apta para el consumo humano citadas por el comité conjunto de los organismos internacionales FAO-UNICEF-WHO. (Ver Cuadro 5 y 12).

El contenido proteico en la pasta No-desolventizada es mayor que en la pasta desolventizada, y en esta última, si el proceso de tratamiento térmico no se controla adecuadamente, se incrementa la velocidad de reacción entre el gossipol libre y la lisina, decayendo la cantidad de lisina disponible (aminoácido esencial limitante en la semilla de algodón).

En el presente trabajo se utiliza pasta de algodón No - Desolventizada como materia prima pero actualmente no se comercializa como tal pues el proceso de desolventizado sirve para recuperar el solvente hexano y permitir el consumo animal. En todo caso, consideramos a la pasta de algodón Desolventizada como la base para el análisis estadístico de materia prima de este proyecto.

Específicamente, para los ensayos en laboratorio, se tomó como materia prima pasta no desolventizada de algodón de la fábrica de aceites Lima de la Compañía Industrial Perú Pacífico.

En el Perú, la pasta de algodón obtenida por el método

prensado solvente, se rige bajo la norma 209.143 ITINTEC NOV 82, según la cual la humedad contenida debe ser máximo 14% y la proteína más grasa no debe ser de menos de 36%.

3.3.1. USOS EN EL PERU:

Generalmente la industria de aceites y grasas abastece de pasta de semilla de algodón a las fábricas de concentrados proteicos, que a su vez suministran sus productos a la industria avícola, porcícola y ganadera.

En algunos países las pasta se venden por un lado directamente a granjas ganaderas y por otro a los productores de concentrados quienes finalmente transforman el producto con destino a la industria avícola y ganadera. (2)

El mayor porcentaje de la producción de pastas en el Perú, es destinado al ganado y en segunda prioridad a la alimentación de aves y hasta hace unos pocos años no se distribuía a las fábricas de alimentos balanceados por ser un insumo que se puede sustituir en la formulación de este tipo de alimentos y no participa en gran porcentaje (2). En la actualidad, el Ministerio de Agricultura supervisa la distribución de pasta de semilla de algodón hacia la industria de alimentos balanceados empleando el sistema de cuotas periódicas.

3.3.2. COMPOSICION QUIMICA:

La composición química de las pastas de algodón procesadas según los métodos corrientes en varias fábricas sudamericanas y destinadas a consumo animal se registran en el Cuadro 5. En general estas tortas tienen como promedio contenidos de proteína del orden de 40%, relacionados casi siempre en forma inversa con los contenidos de fibra cruda que puede regularse por tamizado. El contenido de gossipol libre es en general alto; la pasta o torta obtenida en el proceso por extracción directa del aceite con solvente, contienen alto nivel de gossipol libre lo cual coincide con un tratamiento hidrotérmico suave que no favorece la reacción de inactivación del gossipol. En las pastas procedentes del proceso prensado - solvente, el contenido de gossipol libre es más bajo, pero por lo común, esta disminución se hace a expensas de reducir drásticamente la solubilidad de la proteína y el contenido de lisina disponible debido al mayor nivel térmico que provee el proceso. (2)

En el cuadro 6 se muestran las características de la pasta de algodón que se obtiene en la fábrica de Aceites Lima y en el Cuadro 7 se observa la composición de la pasta tomada en la misma fábrica antes del proceso de desolventizado y que ha sido utilizada como materia prima en la presente investigación. Es importante notar la diferencia que existe en el contenido de proteína total y en el contenido de gossipol libre.

C U A D R O Nro. 5

COMPOSICION QUIMICA DE PASTAS DE ALGODON TIPICAS OBTENIDAS
 POR LOS PROCESOS CORRIENTES (2)
 (% Promedio Peso)

FABRICA	CALIXTO ROMERO	OLEICA	PHIDAYGESA	FALEGRA	COPOSA
PAIS	PERU	ECUADOR	ECUADOR	VENEZUELA	VENEZUELA
PROCESO	PRENSA-SOLV	SOLVENTE	PRENSA-SOL	PRENSA-SOLV	PRENSA-SOLV
GRASA	2.00	4.10	1.90	1.40	0.50
FIBRA	10.00	10.90	9.40	5.20	7.40
PROTEINA N*6.25	30.00	41.80	46.30	47.80	31.20
PROTEINA Solub. NaOH	47.00	-----	65.10	69.50	50.60
LISINA Disponible	-----	-----	3.43	3.00	1.70
GOSIPOL LIBRE	0.160	0.600	-----	0.211	0.061
GOSIPOL TOTAL	-----	-----	-----	1.263	1.452

C U A D R O Nro. 6

COMPOSICION QUIMICA DE LA PASTA DE ALGODON CONVENCIONAL OBTENIDA
 EN LA FABRICA DE ACEITES LIMA DE LA CIA PERU-PACIFICO
 (% Peso)

I T E M	%
HUMEDAD	8.820
GRASA	2.260
FIBRA CRUDA	15.260
PROTEINA TOTAL	27.450
GOSIFOL LIBRE	0.116
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO	46.094

C U A D R O Nro. 7

COMPOSICION QUIMICA DE LA PASTA DE ALGODON NO DESOLVENTIZADA UTILIZADA
 COMO MATERIA PRIMA EN ESTE TRABAJO, OBTENIDA EN LA FABRICA DE ACEITES
 LIMA DE LA CIA. PERU - PACIFICO
 (% en Peso)

I T E M	%
HEXANO	3.000
HUMEDAD	7.500
GRASA	2.330
FIBRA CRUDA	15.730
PROTEINA TOTAL	30.260
GOSIPOL LIBRE	0.112
EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO	38.068

3.4 PRODUCCION NACIONAL:

Toda la producción de semilla de algodón es procesada en el Perú por la industria aceitera de tal manera que toda la pasta de algodón también es nacional. En algunos casos, para aumentar el volúmen de producción de aceites comestibles se importa aceite crudo de semilla de algodón o de soya, pero en ningún caso se importa semilla de algodón.

Con el propósito de ilustrar la disponibilidad de la pasta de algodón en el país así como la secuencia que sigue el algodón rama hasta llegar a su condición de pasta, se han elaborado los cuadros 8, 9, 10 y 11.

En el cuadro 8 se observa que en los últimos 15 años la producción ha oscilado alrededor de las 230,000 TM/año sin una tendencia definida de crecimiento o decaimiento. Es importante observar que el año 1,983 la producción cayó al 50% de los años anteriores debido a los fenómenos climáticos catastróficos ese año para la agricultura.

La producción nacional de semilla de algodón, esto es, sin considerar la fibra destinada a la industria textil, se muestra en el cuadro 9 y corresponde al 48% de la producción de algodón rama.

El cuadro 10 verifica que el porcentaje de aceite en la semilla de algodón es el conocido 20%.

De la producción de semilla de algodón le corresponde aproximadamente el 53% a la obtención de pasta de algodón, como se puede observar en el cuadro 11.

C U A D R O Nro. 8

PRODUCCION NACIONAL DE ALGODON RAMA (46)
(TM/AÑO)

A Ñ O	PRODUCCION
1974	256,479
1975	226,472
1976	164,511
1977	173,328
1978	198,542
1979	243,885
1980	264,554
1981	284,079
1982	254,944
1983	106,395
1984	201,864
1985	290,562
1986	303,732
1987	202,347
1988	263,461

C U A D R O Nro. 9

PRODUCCION NACIONAL DE SEMILLA DE ALGODON (45)
(TM/AÑO)

AÑO	PRODUCCION
1974	155,011
1975	116,782
1976	102,802
1977	91,739
1978	119,333
1979	135,000
1980	130,000
1981	130,000
1982	131,545
1983	42,285
1984	96,800
1985	135,000
1986	101,100
1987	82,500
1988	125,000

C U A D R O Nro. 10

PRODUCCION DE ACEITE REFINADO DE ALGODON NACIONAL (45)
(TM/ARO)

A Ñ O	PRODUCCION
1974	31,002
1975	23,326
1976	20,572
1977	18,348
1978	23,867
1979	27,000
1980	26,000
1981	26,000
1982	26,309
1983	8,457
1984	19,360
1985	27,001
1986	20,220
1987	16,500
1988	25,000

C U A D R O Nro. 11

PRODUCCION NACIONAL DE PASTA DE ALGODON (2)
(TM/AÑO)

A Ñ O	PRODUCCION
1974	81,584
1975	61,384
1976	54,137
1977	48,284
1978	62,808
1979	71,052
1980	68,421
1981	68,421
1982	69,234*
1983	22,255
1984	50,947
1985	71,055
1986	53,211
1987	43,421
1988	65,789

* A partir de 1982, estimado (Ver Apéndice 1)

3.5 DEMANDA NACIONAL:

En la actualidad, gran parte de la producción de pasta de semilla de algodón, es destinado a la ganadería para su uso como forraje y desde hace unos pocos años se empezó a distribuir a las fábricas de alimentos balanceados para su empleo como ingrediente en alimentos especiales. (2)

3.6 PRECIOS:

El precio por kilogramo de pasta de semilla de algodón está regulado por el Ministerio de Agricultura, el promedio en el año 1989 fue de 0.07 dólares/Kg. y en la actualidad (octubre 1,990) se vende a 0.13 dólares/Kg.

3.7 ALMACENAMIENTO Y TRANSPORTE:

De acuerdo a información extraída de la bibliografía (11), se han efectuado pruebas en laboratorio cuyos resultados indican que la harina de algodón no puede soportar más de 18 meses en almacenamiento sin originar cambios en la calidad de la proteína. Esto, indirectamente, indica el tiempo permitido de almacenamiento de la pasta de algodón, ya que la estructura química y los componentes de la harina y de la pasta son básicamente iguales.

De acuerdo a experiencias previas se recomienda almacenar la pasta de algodón en ambientes ventilados, extendiéndola y removiéndola de vez en cuando para evitar la formación de hongos, evitando en lo posible ambientes húmedos y/o calientes.

Los costos de transporte de pasta de algodón producida en las fábricas oleaginosas, son alrededor de \$0.04/TN-KM (octubre 1,990), para proveer dicha, a diferentes establecimientos en el Dpto. de Lima.

CAPITULO IV

ESTUDIO DEL PRODUCTO

4.1 ESPECIFICACIONES:

En 1,964 un comité conjunto de las organizaciones FAO, UNICEF y WHO emite por primera vez un grupo de especificaciones para la harina de semilla de algodón apta para consumo humano, entre las que se resalta que el contenido máximo de gosisol libre no debe sobrepasar el 0.055% en peso. (2)

En 1,974 la FAO publica un estudio técnico en el cual informa que el conjunto FAO-UNICEF-WHO-INCAP exigen un contenido máximo de gosisol libre de 0.060%.

Además en esta oportunidad señalan que el tamaño máximo de partícula es de 0.175 mm. (12).

El cuadro 12 presenta las especificaciones químicas aceptadas internacionalmente que debe cumplir la harina de semilla de algodón para consumo humano y son estas normas las que rigen el propósito de este trabajo.

Aunque no es el objetivo del presente estudio ingresar en

el campo de la biología, en el cuadro 13 se muestran las especificaciones microbiológicas citadas por el comité conjunto FAO-UNICEF-WHO-INCAP.

C U A D R O Nro. 12

ESPECIFICACIONES QUIMICAS PARA LA HARINA DE ALGODON
 APTA PARA CONSUMO HUMANO (2), (12)

HUMEDAD	12% máx.
GRASA	6% máx.
PROTEINA	50% min.
FIBRA	5% máx.
NITROGENO S.S.	65% min.
LISINA DISPON.	3.6/100 gr. Prot min.
GOSIPOL TOTAL	1.000% max.
GOSIPOL LIBRE	0.060% max.

C U A D R O Nro. 13

ESPECIFICACIONES MICROBIOLÓGICAS PARA LA HARINA DE ALGODÓN
 APTA PARA CONSUMO HUMANO (2)

RECuento TOTAL	2 X 10E4 col/g max.
HONGOS	10 col/g max.
COLIFORMES	1 X 10E2 col/g max.
ESTREPTOCOCOS	Neg.
CLOSTRIDIUM	Neg.
SALMONELLA	Neg.
FRAGMENTOS	Neg.

4.2 CONTROL DE CALIDAD:

Los siguientes métodos componen el sistema de control de calidad recomendado por la Junta del Acuerdo de Cartagena para la harina comestible de semilla de algodón. (2)

4.2.1. COMPOSICION:

Se usan los métodos analíticos estándar, tales como:
Métodos oficiales de análisis de la AOAC (Association of Official Analytical Chemists).
Métodos oficiales y tentativos de la AOCS (American Oil Chemist's Society).

4.2.2. CONTROL DE PROCESO:

- a. Lisina Disponible
 - Método de Conkerton y Frampton (2)
 - Método de Udy (2)
- b. Gosipol libre
 - Método de la AOCS (BA-7-58)
- c. Nitrógeno soluble en soda 0.02 N
 - Método de Lyman y Col. (2)

4.2.3. ANALISIS SANITARIO:

En cuanto a los análisis microbiológicos, deben ser hechos según métodos oficiales reconocidos que se detallan en el Merck Manual (7).

El comité conjunto FAO-WHO-UNICEF señala que es conveniente hacer además las determinaciones de cenizas insolubles en ácido y de contaminación por insectos o roedores. (2)

4.3 APLICACIONES:

La harina de semilla de algodón ha sido utilizada en alimentación humana en tres formas fundamentales: aditivo en productos de panadería, extensor en productos cárnicos y como suplemento proteico de dietas. (8)

En 1,876, la harina de algodón fue sugerida por primera vez como un importante recurso para la alimentación humana, se la obtuvo por prensado, pero no hay evidencias de una buena aceptación.

Durante más de 30 años una compañía de Estados Unidos puso en el mercado dos productos de harina de algodón llamados PROFLO y CINACOA los cuales eran usados en productos de panadería para darle características funcionales. (2)

A principios de 1,960, el Instituto de Nutrición de America Central y Panamá (INCAP), desarrolló la INCAPARINA un producto de bajo costo y alto contenido de proteínas.

En Colombia, la harina de algodón ha sido ensayada en la preparación de alimentos populares (2) y se ha estudiado la calidad proteica en formulaciones tales como galletas, pan integral económico, coladas o papilla. (2)

También se puede aplicar la harina de semilla de algodón en cremas para untar, bebidas proteicas, panqués, expandidos, salchichas, caramelos toffee, queques, entre

otros. En muchos casos sustituye a la harina de trigo en niveles de 10-20% en peso y en tortillas puede sustituir al maiz en 25%. (2)

En el Perú, la Universidad Nacional Agraria de Lima, que es la pionera en los estudios de la semilla de algodón y harina de algodón como alimento para seres humanos, con el apoyo de la clínica Anglo Americana llevaron a cabo dos ensayos de alimentación utilizando harina de algodón obtenida desde la semilla en planta piloto. El primer ensayo fue con un niño marasmático (déficit calórico) de 14 meses y el segundo con un niño de 6 meses con kwashiorkor (Deficiencia proteica severa) obteniendo resultados satisfactorios (14). De esa misma planta piloto se llegó a una fugaz comercialización del producto PROTAL con el que se han elaborado alimentos de panadería y se formularon recetarios conteniendo dicho producto como ingrediente principal.

La compañía Ferulac S.A. también intentó la comercialización del producto Peruvita cuyo componente principal era harina de semilla de algodón sin resultados satisfactorios.

4.4 NIVEL DE SUSTITUCION:

La mayoría de los estudios de nutrición referentes a la harina de semilla de algodón destinada al consumo humano, dirigen su aplicación hacia la sustitución parcial de la harina de trigo en un porcentaje promedio de 20% como se

puede apreciar en el cuadro 14.

La harina de trigo posee un contenido de proteínas de alrededor del 10% (13), esto nos conduce a pensar que sustituyendo 20 gr. de harina de trigo por harina de algodón en 100 gr. totales, se eleva el nivel proteico de 10% a 18%.

Este producto está orientado a la alimentación de infantes en programas con carácter de asistencia social, por lo que es relevante la mejora del nivel proteico de las dietas especialmente preparadas.

C U A D R O Nro. 14

NIVELES RECOMENDADOS DE SUSTITUCION DE ALIMENTOS POR
LA HARINA DE SEMILLA DE ALGODON

INVESTIGADOR	AÑO	ALIMENTO A SUSTITUIR	NIVEL DE SUSTITUCION	USOS
MATTHEWS (33)	1970	HARINA DE TRIGO	25%	PANADERIA
SPADARO (24)	1971	SEMOLA DE ARROZ	20%	HOJUELAS
ANDON (35)	1973	HARINA DE TRIGO	20%	PANADERIA
GARDNER (36)	1973	HARINA DE TRIGO	20%	PANADERIA
HARDEN (27)	1975	HARINA DE TRIGO	18.8%	PANADERIA
EL-SAYED (38)	1978	LENTEJAS	25%	SOPAS
MONCADA (39)	1979	HARINA DE TRIGO	25%	GALLETAS
BRESSANI (10)	1980	HARINA DE TRIGO	38%	HOJUELAS
BHAT (41)	1980	HARINA DE TRIGO	20%	GALLETAS
BLOVIN (42)	1981	HARINA DE TRIGO	20%	GALLETAS

4.5 DEMANDA ESTIMADA DEL PRODUCTO:

Consideramos que la aplicación inmediata de la harina de semilla de algodón obtenida en la planta piloto debe ser orientada a un estudio de evaluación nutricional abarcando un sector de alguno de los programas de alimentación popular ya existentes en nuestro medio.

Los tres principales programas vigentes de alimentación popular son el Programa de Asistencia Escolar (PAE) que está dirigido a niños en edad pre-escolar y escolar; el Programa de Alimentación Materno-Infantil (PAMI), orientado hacia madres gestantes y niños lactantes, y el Programa de Nutrición Aplicada y de Comedores Populares (FNACP) dirigido especialmente a las clases populares obreras.

Con la idea de facilitar la evaluación nutricional del producto, en este trabajo se orientará su introducción a la alimentación popular, específicamente en el Programa de Alimentación escolar abarcando un 25% de su alcance. Este programa resulta de una coordinación entre el Ministerio de Educación, Municipalidad de Lima Metropolitana, y el Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición (INAN).

La cantidad de niños que han sido atendidos en los últimos nueve años en Lima se registra en el cuadro 15, de ahí se desprende que el alcance del PAE en Lima corresponde a un 17% del total de alumnos matriculados,

nivel Inicial y Primaria a nivel nacional; y a un 60% de todos los alumnos de esos niveles en Lima.

El número de alumnos programados por el PAE-Lima a través del tiempo sigue la tendencia de una línea recta con un coeficiente de regresión lineal de 0,9918 según la ecuación:

$$\text{Nro. Alumnos PAE-Lima} = 16836 \times \text{Año} - 3.283 \times 10^7$$

Según esto, dentro de 10 años se necesitará cubrir alrededor de 844,000 raciones.

Las raciones proporcionadas a los alumnos de lunes a sábado de cada semana por el INAN en su centro escolar son preparadas por profesores y madres de familia voluntarias, éstas raciones pueden ser de dos tipos torreja o mazamorra con las siguientes composiciones:

TORREJA

Harina de trigo : 30 gr.
Aceite : 12 cm.³

MAZAMORRA

Harina de trigo : 30 gr.
Azúcar : 15 gr.
Trigor (Trigo seco): 20 gr.
Aceite : 12 gr.

Para una primera evaluación nutricional, de acuerdo a estudios anteriores (ver cuadro 14) se recomienda

reemplazar un 20% de los 30 Gr. de harina de trigo que se utiliza como ingrediente en las raciones por harina de semilla de algodón.

El cuadro 16 muestra las consideraciones para determinar la demanda del producto. Para el año 2,000, en un programa piloto de evaluación nutricional alcanzando el 25% de la población del PAE-Lima. La demanda será alrededor de 347__TM/año. Es importante señalar que de enero a marzo no hay producción de algodón y justamente durante esos meses no se dictan clases escolares por lo cual para estimar la demanda se consideran 9 de los 12 meses del año.

C U A D R O Nro. 15

P R O G R A M A D E A L I M E N T A C I O N
E S C O L A R - L I M A

AÑO	ALUMNOS MATRICULADOS (43) NIVEL INICIAL Y PRIMARIA		ALCANCE (44)
	NACIONAL	LIMA	PAE LIMA
1981	3,065,168	869,437	521,662
1982	3,230,811	906,940	544,164
1983	3,295,204	927,196	556,318
1984	3,383,328	945,143	567,086
1985	3,433,627	952,021	571,213
1986	3,534,726	976,530	585,918
1987	3,651,040	1,022,291	613,375
1988	3,779,850	1,058,358	635,015
1989	3,923,150	1,098,482	672,954

C U A D R O Nro. 16

DEMANDA ESTIMADA DEL PRODUCTO
CONSIDERACIONES PARA SU DETERMINACION

CONSIDERACIONES	AÑO		
	1990	1995	2000
RACIONES PAE/día(*)	676,000	760,000	844,000
Alcance 25%	169,000	190,000	211,000
día/año (Abr-Dic)	274	274	274
gr. H.trigo/ración	30	30	30
gr. H.algodón/gr. H.Trigo	20/100	20/100	20/100
TM/gr.	1/10E6	1/10E6	1/10E6
DEMANDA ESTIMADA			
TM Harina Algodón/año	278	312	347
TM Harina Algodón/día	1.014	1.140	1.266

* Ver sección 4.5

CAPITULO V

ESTUDIO EXPERIMENTAL

5.1 METODOS DE OBTENCION:

Es posible producir harina de semilla de algodón apta para el consumo humano utilizando alguno de los métodos siguientes:

Modificación de los procesos convencionales en las fábricas aceiteras existentes.

Tratamiento con productos químicos.

Clasificación neumática

Proceso de Ciclón Líquido (LCP)

5.1.1. MODIFICACION DE LOS PROCESOS CONVENCIONALES EN LAS FABRICAS ACEITERAS EXISTENTES:

Haciendo ciertas variaciones en los procesos de fabricación del aceite crudo de algodón en plantas ya existentes, se puede obtener harina con buen nivel protéico, bajo contenido de gossipol libre y otras características de buena calidad. Para este propósito se deben cumplir algunas condiciones que se citan a continuación:

En los procesos de deslintado y descascarillado se

deben remover eficientemente la fibra y cascarilla controlando cuidadosamente la molienda y el tamizado. Se aconseja reducir el contenido de fibra bruta hasta por lo menos 5%. (15). El tamaño de partícula obtenida debe ser tal que no presente problemas de textura para sus aplicaciones.

En las etapas iniciales de laminado y cocinado, la adición suficiente de agua promueve la ruptura de las glándulas pigmentarias y facilita la extracción del gosipol libre en etapas posteriores. Se han obtenido resultados satisfactorios utilizando de 3 a 6% de agua en estas etapas. (15)

Durante el cocinado se debe evitar la reacción del gosipol libre con la lisina que afecta el nivel proteico del producto. En este tratamiento térmico se deben controlar la temperatura (90°C máx.), la presión de vapor (40 psia max.) y el tiempo de residencia (25 min. max.). (2)

Al igual que en el cocinado, en la etapa de desolventización de hexano se debe controlar la intensidad del tratamiento térmico, recomendándose que la temperatura máxima sea 5 a 10°C mayor que la temperatura de ebullición del hexano normal (69°C). (2)

Obviamente, debe ponerse más énfasis en las condiciones sanitarias de la planta para cumplir con

las normas microbiológicas que regulan al producto. Se debe contemplar la instalación de fajas transportadoras y tornillos sin-fin que permitan el movimiento del producto evitando cualquier contacto con el suelo. (2)

La modificación de las variables antes mencionadas en el métodos convencional de prensado-solvente, conduce a una máxima extracción del aceite, permitiendo una mayor extracción de gosisol libre con él. Entonces es posible producir harina de semilla de algodón apta para consumo humano utilizando básicamente los mismos equipos empleados en las fábricas existentes. (2) (15)

5.1.2. TRATAMIENTO CON PRODUCTOS QUIMICOS:

Diversos estudios existentes utilizando diferentes productos químicos han determinado la posibilidad de producir harina de semilla de algodón apta para el consumo humano. Esta técnica se puede agrupar en dos conceptos, el primero abarca el tratamiento con solventes que está basado en la transferencia de masa, y el segundo se refiere al tratamiento con otras sustancias químicas que promueven reacciones químicas.

5.1.2.1. TRATAMIENTO CON SOLVENTES:

Las paredes de las glándulas pigmentarias son resistentes a la mayoría de los solventes, sin embargo el agua y algunos solventes polares orgánicos

de bajo peso molecular miscibles con ella, son capaces de romper esas paredes. Las soluciones acuosas de estos solventes actúan básicamente en dos etapas, el agua propicia la ruptura de las paredes de las glándulas que contienen los pigmentos (entre ellos el gosipol) y el solvente adecuado hace que el gosipol se transfiera hacia su seno. Luego de la separación sólido-líquido se habrá disminuido la cantidad de pigmentos tóxicos en la harina de semilla de algodón. (15)

A principios de la década del 60 la Southern Utilization Research and Development Division (12) en New Orleans se dedicó a estudiar la extracción simultánea del aceite y el gosipol libre de la semilla de algodón utilizando una mezcla de acetona, hexano y agua. Se obtuvo una harina de alto valor nutritivo y bajo contenido de gosipol pero debido a la reacción entre el óxido de mesitilo, que es producto de la condensación de la acetona, y los compuestos sulfídricos, producidos por la descomposición de algunos aminoácidos, la harina tenía un sabor no grato al gusto de las personas. Esto fue mejorado utilizando acetona recién destilada (libre de óxido de mesitilo), bajo temperaturas de extracción y tiempos de contacto cortos. Como el aceite y el gosipol se extraían juntos se requería una refinación inmediata, los industriales aceiteros consideraron que ese proceso los perjudicaba.

En 1,969, Neshchadim y Ovchinnikova (16) elaboran un informe determinando que la mezcla hexano-isopropanol extrae casi completamente el gosipol libre y el gosipol ligado de la pasta de algodón.

En 1,972, El-Nochrashy y Khalil (17) extrajeron diferentes relaciones de pasta con etanolamina, obteniendo niveles de Gosipol libre finales entre 0.05 y 0.09%.

En 1,975, Damaty y Hudson (2) experimentaron extracciones sucesivas con hexano y acetona acuosa y acetona anhidra sobre pasta del algodón parcialmente desgrasada, se redujo el contenido de gosipol libre y total pero nuevamente se presentaron problemas de sabor y color en el producto.

También en 1,975, Scarpati (3) realizó la primera investigación en el Perú para la obtención de harina de semilla de algodón apta para consumo humano. Este trabajo fue desarrollado desde el punto de vista básicamente nutricional y se partió de la semilla de algodón Tangüis. Se estudió y descartó el uso de alcohol etílico, de cloroformo y de acetona. Se obtuvo buenos resultados utilizando soluciones de hexano-aceite crudo, hexano-alcohol etílico-aceite crudo y aceite refinado para la extracción del aceite, luego se extrajo el gosipol libre con extracciones sucesivas de hexano y alcohol etílico acuoso

al 95% en volumen. Se obtuvieron excelentes resultados de calidad del producto, proteínas total 56.6% y gosipol libre 0.050%, entre otros.

En 1,981, Cherry y Gray (2) desarrollaron un método que utiliza cloruro de metileno para la extracción de Gosipol a partir de la pasta de algodón procesada por el sistema directo de extracción con hexano. Fue incluido un pre-tratamiento de adición de agua, solución de ácido acético y propilenglicol.

También en 1,981. Liu y Jung (18) realizaron pruebas de extracción con pasta de algodón luego de la etapa de prensado. Para ello emplearon la mezcla alcohol etílico al 95% en volumen y hexano comercial en un pequeño reactor batch a fin de extraer simultáneamente aceite remanente y gosipol libre.

5.1.2.2 TRATAMIENTO CON OTRAS SUSTANCIAS QUIMICAS:

A fin de reducir el contenido de gosipol libre en la pasta de algodón se sugiere la adición de sales solubles de fierro, calcio y sodio pues estas promueven un medio alcalino en el cual se inestabiliza el Gosipol. (15)

En 1,972, El-Nochrashy y Kalil (17) trataron pasta de algodón desgrasada utilizando amoniaco, gas y solución de sulfato ferroso durante períodos de uno a cinco días. Se redujo el contenido de gosipol libre

pero también disminuyó el nivel de lisina disponible.

En 1,975, Mayorga y otros investigadores (2) obtuvieron harina de semilla de algodón con bajo contenido de gossipol libre ensayando con una solución al 1% de hidróxido de sodio y 0.1% de sulfato ferroso deshidratado.

En 1,983, El-Nahry y Bassily (19) emplearon un método físico-químico para obtener niveles de gossipol libre de 0.060% a partir de pasta de algodón tratada con hexano. Primero la sometieron a un calentamiento regulado con vapor durante un tiempo determinado y luego se agregó una solución de sulfato ferroso.

5.1.3 CLASIFICACION NEUMATICA:

Esta técnica se empezó a desarrollar en 1,960 y se orienta a la obtención de concentrados y aislados protéicos a partir de semillas de algodón con muy poco contenido de glándulas pigmentadas. Primero se extrae el aceite con una trituración adecuada. Luego con la clasificación con aire se obtiene, por un lado, una fracción fina con rendimiento de hasta 55% y con más del 70% de nivel de proteínas; la fracción gruesa casi sin proteínas se destina a consumo animal.

Este método de producción se ha estimado que no es viable a nivel industrial debido a su alto costo de

producción, pero fue el primer paso para idear el proceso de ciclón líquido (LCP) que es una técnica más estudiada. (12)

5.1.4 PROCESO DE CICLON LIQUIDO:

Este proceso, más conocido como LCP, fue desarrollado a partir de 1,966 y a través de los años se ha ido evaluando con mayor dedicación a nivel de laboratorio y planta piloto. Como su nombre lo indica, el equipo se trata de un ciclón que separa partículas finas y gruesas, ambas suspendidas en un líquido, usualmente se utiliza hexano de tal manera que se permite simultáneamente la extracción del aceite y la eliminación del Gosipol.

Se debe tratar de que la alimentación al ciclón líquido no contenga prácticamente partículas de cáscara y la fibra cruda no sobrepase del 5%. Por los topes del ciclón, se obtiene una harina fina con alto contenido de proteína soluble (de 65 a 70%) y el rendimiento es de 50 a 60%. Por los fondos del equipo se obtiene una fracción gruesa que contiene Gosipol, algo de proteína, fibra y cáscara. Esta fracción puede ser procesada por otros ciclones líquidos más pequeños para concentrar la pasta formada, separando luego el hexano residual mediante filtración y disolventizado. (12)

Mayorga y Gonzales (13) han sugerido la adición de

sustancias químicas como el hidróxido de calcio y solución de sulfato ferroso para una máxima reducción de Gosipol libre en la fracción fina.

Con el método LCP se obtiene la harina de semilla de algodón con el máximo contenido de proteína y las investigaciones parecen estar orientadas a la obtención de concentrados y aislados protéicos. Un análisis típico del producto obtenido con este proceso provee un contenido de proteína total de 69% y Gosipol libre de 0.040% (12).

Hasta la actualidad, se considera, sin embargo, que el método LCP si bien produce una harina de muy buen nivel protéico, esto se logra a expensas de una considerable pérdida de rendimiento total de proteína, alta inversión de capital y alto requerimiento de energía. (20)

5.2 SELECCION Y DESCRIPCION DEL METODO A EMPLEAR:

5.2.1. SELECCION DEL METODO:

En 1,983, la Junta del Acuerdo de Cartagena (2) publicó un estudio donde se demuestra la factibilidad técnica y económica para la producción de harina de semilla de algodón haciendo modificaciones en los procesos convencionales de las fábricas aceiteras. En el Perú, por el momento, las industrias oleaginosas no están dispuestas a utilizar éste método pues

entre otros aspectos se obtiene un producto no comercial sino un alimento para consumo exclusivamente popular y además no les parece conveniente "distraer" su proceso tradicional que a través de muchos años les ha proporcionado muy buenas utilidades.

El proceso de clasificación neumática se ha estimado que es no viable a nivel industrial ya que sólo es aplicable a especies de algodón cuyas semillas contienen muy pocos pigmentos y el costo de producción es elevado. (12)

El método LCP produce harina con excelente nivel protéico pero esto se logra a expensas de una considerable pérdida de rendimiento total de proteína, alta inversión de capital y alto consumo de energía. (20)

Promover reacciones químicas utilizando sales solubles fierro, calcio o sodio, si bien disminuyen el contenido de Gosipol libre, no lo hacen lo suficiente como para asegurar que el producto cumple con las especificaciones internacionales además esta reducción del Gosipol va generalmente acompañado de una disminución del contenido de lisina disponible. (15). La presencia de productos inorgánicos no es bien vista por los especialistas en nutrición y por otro lado el costo de dichos aditivos no lo hace

económicamente rentable.

Desde el punto de vista de la nutrición y la ingeniería química, aprovechar el fenómeno de transferencia de masa del soluto Gosipol desde la almendra hacia un solvente adecuado, es ampliamente ventajoso siempre que no se producen reducciones químicas colaterales que modifiquen negativamente el valor nutritivo del producto, además, si el solvente gastado puede ser luego regenerado, el costo de producción no es elevado y los equipos de proceso son muy sencillos.

5.2.2. DESCRIPCION DEL METODO SELECCIONADO:

Teniendo como materia prima pasta de semilla de algodón no desolventizada, sub-producto del proceso para la obtención de aceite, se le somete al proceso de extracción para disminuir su contenido de gosipol utilizando su solvente adecuado, el cual, una vez agotado, debe ser regenerado para su recirculación al sistema.

El presente trabajo está orientado fundamentalmente a optimizar las variables del proceso de lixiviación y al diseño del equipo más adecuado para promover la transferencia de masa del soluto gosipol desde la almendra hacia el solvente seleccionado. El proceso total para la obtención de harina de semilla de algodón para consumo humano se describe a continuación y su diagrama se puede apreciar en la figura 3.

MOLIENDA:

En todo proceso se acondiciona la materia prima para facilitar su tratamiento. En la molienda se reduce el tamaño promedio de las partículas de pasta de algodón obteniéndose granos finos y se controla una mínima pulverización de cáscara.

EVAPORACION DE HEXANO:

Las fábricas de aceite utilizan hexano para extraerlo.

Como en este trabajo se utiliza la pasta no - desolventizada, posee cierta cantidad de ese solvente que debe ser eliminado por evaporación pues no es apto para el consumo humano y además contamina el solvente utilizado para la extracción del gosispol y no sería fácilmente regenerable.

TAMIZADO:

En esta etapa se eliminan aquellos componentes de la pasta de algodón que no proveen ventajas nutritivas a la harina. La fracción gruesa está compuesta casi en su totalidad por cáscara y fibra cruda que no aportan elementos nutritivos y la fracción fina contiene las proteínas y el gosispol.

EXTRACCION:

Es la etapa a la cual se le estudia con mayor dedicación en el presente trabajo para optimizarla técnica

mente. Utilizando un solvente adecuado se reduce el contenido de gosipol libre en la harina pues se promueve su transferencia hacia el líquido.

FILTRACION:

Se separa una gran cantidad de solvente agotado y la harina refinada apta para consumo humano queda todavía en contacto con alguna porción de líquido.

SECADO:

Utilizando un suave tratamiento térmico se elimina completamente el solvente remanente de la filtración y se obtiene aglomerados de harina de algodón apta para consumo humano.

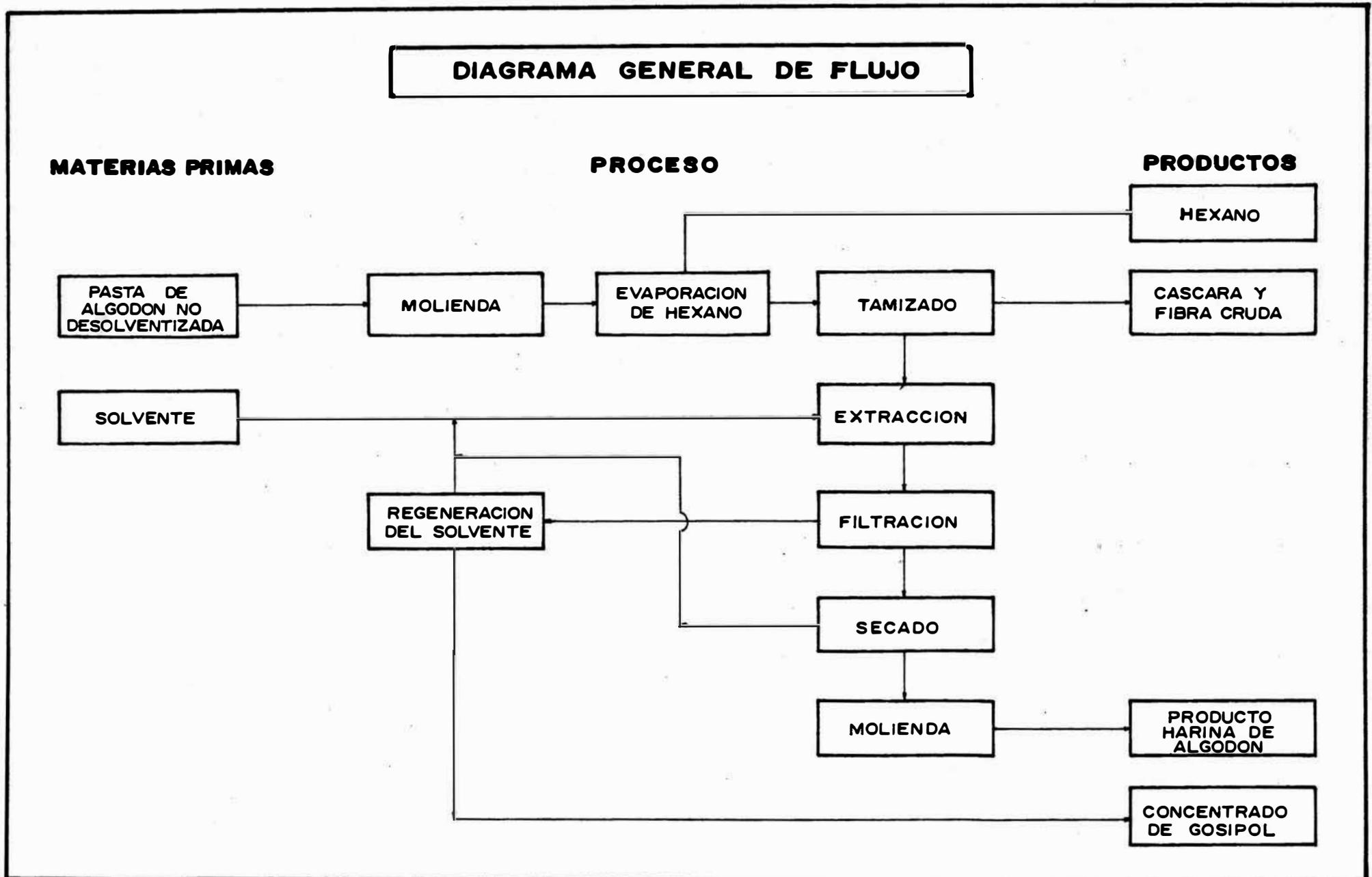
MOLIENDA:

A fin de obtener partículas del tamaño característico para una harina, se pulverizan los aglomerados provenientes de la etapa de secado.

REGENERACION DEL SOLVENTE:

Esta etapa es muy importante cuando se piensa en producción a nivel de "Planta Piloto" o a nivel industrial. El solvente agotado luego de la extracción, debe separarse del soluto de tal manera que esté en condiciones de ser nuevamente utilizado en el proceso como solvente fresco.

FIGURA 3



5.3 ESTUDIO EXPERIMENTAL A NIVEL DE LABORATORIO:

La parte experimental del presente trabajo está orientada principalmente a optimizar las variables de proceso y a la selección del equipo más adecuado para la transferencia del gósipol desde las partículas de almendra hacia el solvente seleccionado. Sin embargo, para definir el proceso total se han realizado experimentos tanto en las etapas de acondicionamiento de materias primas, antes de la extracción, como en las etapas de separación, después del proceso de extracción.

Se ha pretendido obtener en el laboratorio, mediante un sistema de extracción óptimo, un producto cuya calidad cumpla con las especificaciones internacionales citadas en el Cuadro 12. El análisis de la harina de semilla de algodón apta para el consumo humano obtenida como resultado de este trabajo se puede observar en el cuadro 30.

5.3.1. MOLIENDA DE LA PASTA DE ALGODON:

La molienda es un proceso mediante el cual se reduce el tamaño de partículas sólidas. En esta etapa se acondiciona la materia prima reduciendo el tamaño promedio de las partículas de pasta de algodón del orden de los centímetros a los milímetros y aún menos. Esto permite acortar el tiempo necesario para la evaporación de hexano y facilita la transferencia de masa durante la extracción. En esta etapa de molienda se evita en lo posible la pulverización de partículas de cáscara, pues no aporta elementos nutritivos y reduce la cantidad porcentual de

proteína en el producto final.

Se utilizó como equipo de molienda un molidor casero marca CORONA. El grado de molturación es regulable, actúa manualmente como un sistema de tornillo sin fin, y su capacidad aproximada es de 50 gramos de pasta de algodón por batch.

La pasta fue dosificada manualmente al molino y el tamaño de partícula descargado se fue regulando de tal manera de no pulverizar en lo posible la cáscara. La pasta de algodón es bastante frágil y cuando fue necesario se utilizó un mortero para facilitar su función. Una vez molida la pasta de algodón se realizó un análisis granulométrico en un equipo ROTAP TESTING SIEVE SHAKER de 160 golpes por minuto y 7 mallas.

En el Cuadro 17 se reporta el análisis granulométrico del cual se puede deducir que el diámetro promedio de partícula obtenida con el equipo empleado es aproximadamente 480 micras, el cual puede ser ampliamente reducido utilizando un molino adecuado de laboratorio.

CUADRO Nro. 17

GRANULOMETRIA DE LA PASTA DE ALGODON
MOLIDA EN EL LABORATORIO

M	A(micras)	F(peso)
10	2,000	0.00
30	585	0.42
60	250	0.68
100	149	0.79
140	105	0.87
170	88	0.90
200	74	0.94
C	----	1.00

M: NUMERO DE MALLA U.S. STANDARD

A: ABERTURA DE TAMIZ

F: FRACCION DE MASA RETENIDA

C: COLECTOR

5.3.2. EVAPORACION DE HEXANO:

La evaporación es una operación unitaria que consiste en la separación de un disolvente volátil de un soluto no volátil por vaporización del disolvente (21). Antes de ingresar a la etapa de desolventizado en las fábricas de aceite, la pasta de algodón contiene como promedio 3% en peso de hexano. Este solvente es muy volátil aún a temperatura ambiente pero en esta etapa se asegurará su eliminación total pues es un compuesto tóxico para los seres humanos y además contamina el solvente utilizado para la extracción del gossipol y esto complica su regeneración.

Para esta prueba se utilizó una estufa eléctrica de laboratorio marca BLUEM ELECTRIC modelo SW-17TC.

La temperatura de ebullición normal del hexano es 69°C y se recomienda utilizar una temperatura máxima de desolventización de 80°C para evitar daños en la proteína de la harina. (2)

La pasta de algodón molida utilizada en esta prueba ya tenía dos horas de haber sido tomada de la fábrica, esto significa que ya se había evaporado algo de hexano.

Se separó en seis muestras representativas por triplicado, todas utilizando la misma cantidad de pasta y acondicionadas de tal manera que todas conserven un mismo espesor e igual área de secado.

Se fijó en 80°C la temperatura en la estufa, se introdujeron las muestras y cada 5 minutos se evaluó la pérdida de masa por evaporación como se puede apreciar en el cuadro 18 y en la figura 4.

Es muy posible que se haya eliminado algo de agua por convección al evaporar el hexano. De cualquier manera se aprecia en la figura 4 que el contenido crítico de volátiles es 8.7% y luego de 20 minutos se puede considerar que se ha eliminado con seguridad todo el hexano teniendo en cuenta que si inicialmente la pasta contiene 3% de solvente, en ese periodo de tiempo se ha eliminado 2.67% de masa.

Es posible disminuir el tiempo de evaporación del hexano si se almacena convenientemente la pasta de algodón a temperatura ambiente por unos días pues este solvente es muy volátil.

CUADRO Nro. 18

TIEMPO DE EVAPORACION Y VELOCIDAD DE EVAPORACION DEL
HEXANO EN LA PASTA DE ALGODON

Tevap = 80oC

TIEMPO (Min)	% VOLATILES (Base Húmeda)
0	9.97
5	9.12
10	8.20
15	7.80
20	7.50
25	7.50

Peso Evaporado(%): 2.7%

Relación A/e: 35 cm.

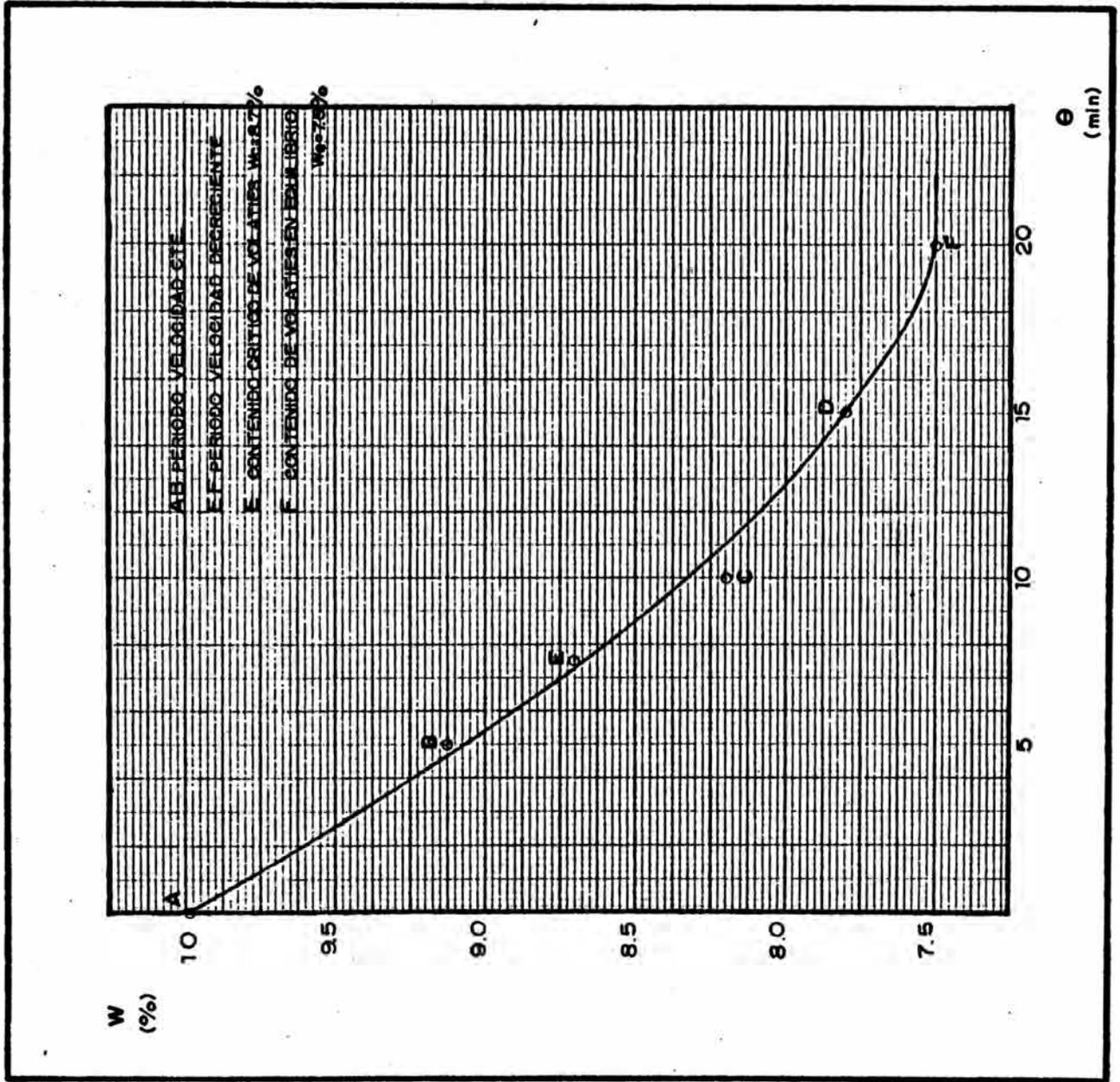
Donde:

A: Area del recipiente de muestra

e: Espesor de la muestra

FIGURA 4

REMOCION DE HEXANO (CONTENIDO DE VOLATILES BASE HUMEDA vs. TIEMPO)



5.3.3. TAMIZADO:

Se utiliza esta operación para separar partículas heterogéneas basándose solamente en la diferencia de tamaños empleando medios mecánicos. En este trabajo se utiliza el tamizado con la finalidad de separar en dos fracciones la pasta de algodón molida y desolventizada, la fracción gruesa contiene básicamente cáscara y fibra las cuales no aportan elementos nutritivos al alimento. La fracción fina o harina contiene un buen nivel proteico pero también contiene al gosispol. Se empleó un tamiz vibratorio mecánico de laboratorio con movimiento de vaivén marca PRESICION SCIENTIFIC modelo 10-X-3. Para los análisis granulométricos y la determinación del diámetro de corte se uso el equipo ROTAP TESTING SIEVE SHAKER. Se utilizaron tamices estándares con aberturas normalizadas U.S. ASTM.

Las especificaciones internacionales de calidad para la harina de semilla de algodón para consumo humano, determinan que el tamaño de la mayor partícula de harina no debe exceder las 175 micras. Sin embargo mediante el tamizado también se controla el contenido de proteína (50% mínimo) y la fibra cruda (5% máx). en el producto.

Tomando en cuenta el diámetro de partículas máximo especificado, se utilizaron cinco tamices con menor

abertura de malla, a cada uno de ellos y en forma individual se le colocó masas iguales de pasta molida; el tiempo de vibración dependió de la variación de peso en el colector, cuando se comprobaba que un tiempo adicional prácticamente no variaba la masa recolectada se procedió de determinar la relación pasantes/alimentación, la cantidad de proteína total y de fibra cruda.

El Cuadro 19, y la figura 5 registran los resultados obtenidos. Se observa que al utilizar una malla más tupida disminuye el rendimiento pasante/alimentación, pero mejora el contenido de proteína y se reduce el de fibra cruda.

La fracción fina obtenida en el tamizado con la malla número 170 satisface los requerimientos de tamaño de partículas, proteína y fibra.

A manera de complemento y para caracterizar la pasta de algodón molida utilizada en el laboratorio se efectuó un análisis granulométrico por tamizado acumulativo y se seleccionó el diámetro de corte. Los resultados obtenidos se resumen en el Cuadro 20 y la Figura 6.

El diámetro de corte seleccionado fue de 88 micras, definido por una separación ideal que implica que la partícula menor de la fracción gruesa es justamente mayor que la partícula más grande de la fracción fina (22).

CUADRO Nro. 19

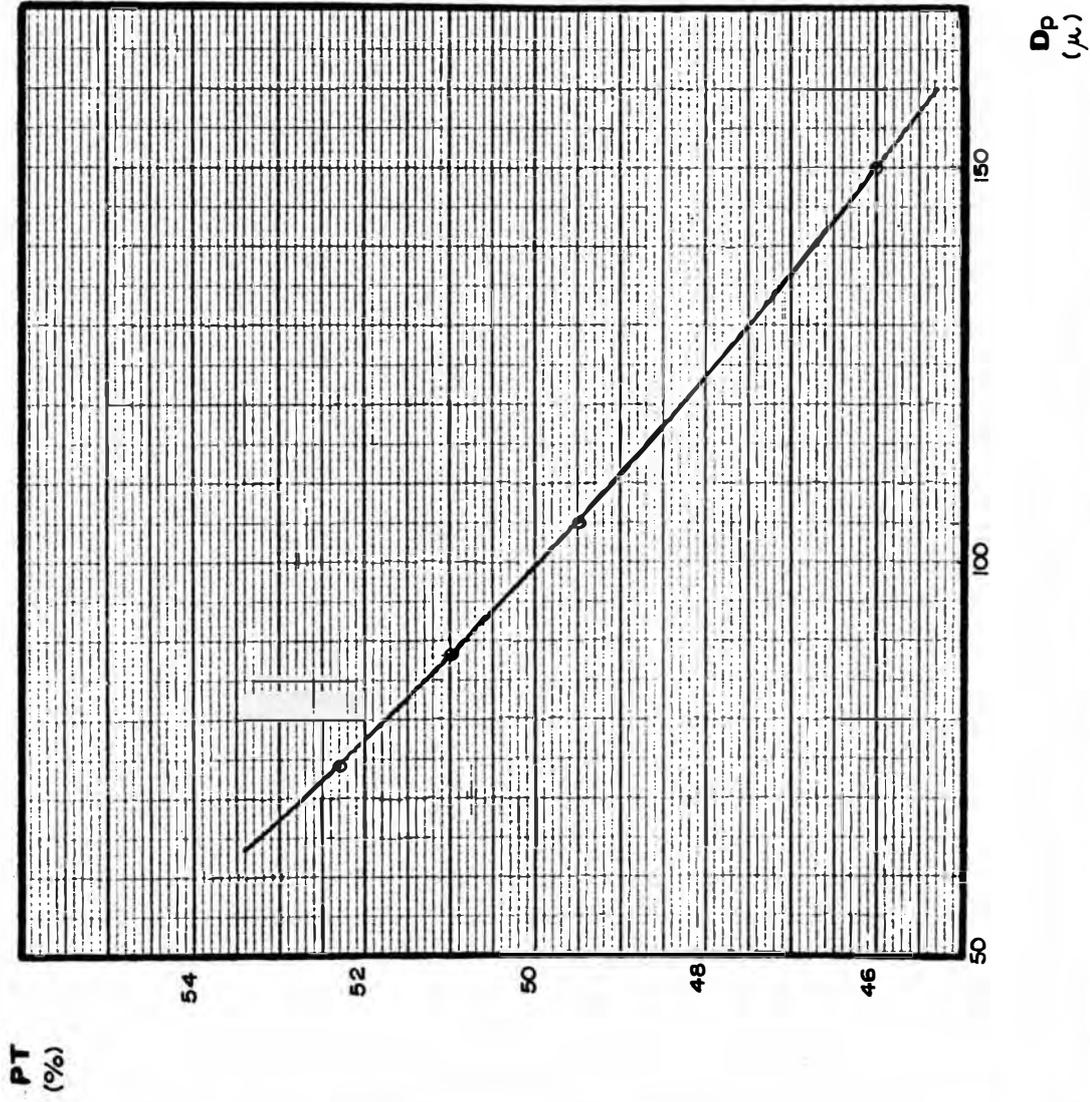
RENDIMIENTO, CONTENIDO DE PROTEINA Y FIBRA
LUEGO DEL TAMIZADO

TIEMPO DE OPERACION = 20 min.

ABERTURA DE MALLA (Micras)	# MALLA.	RENDIMIENTO (%pasant/alim)	PROTEINA TOTAL (% Peso) (min 50%)	FIBRA CRUDA (% Peso) (Max.5%)
177	80	32	-----	-----
149	100	30	46.00	7.85
105	140	22	49.50	5.10
88	170	17	51.00	4.30
74	200	13	52.27	3.83

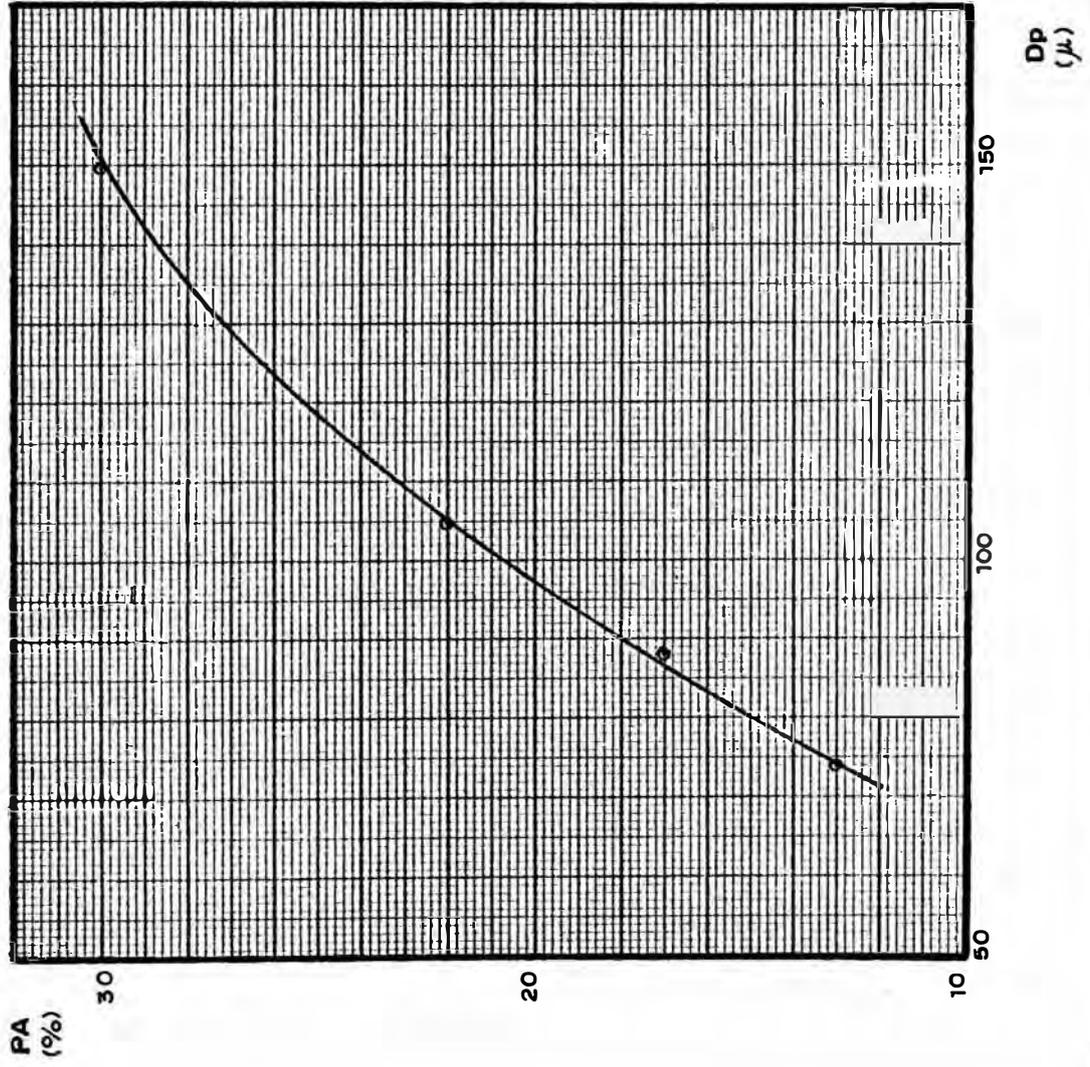
TAMIZADO

(PROTEINA TOTAL vs. ABERTURA DE MALLA)

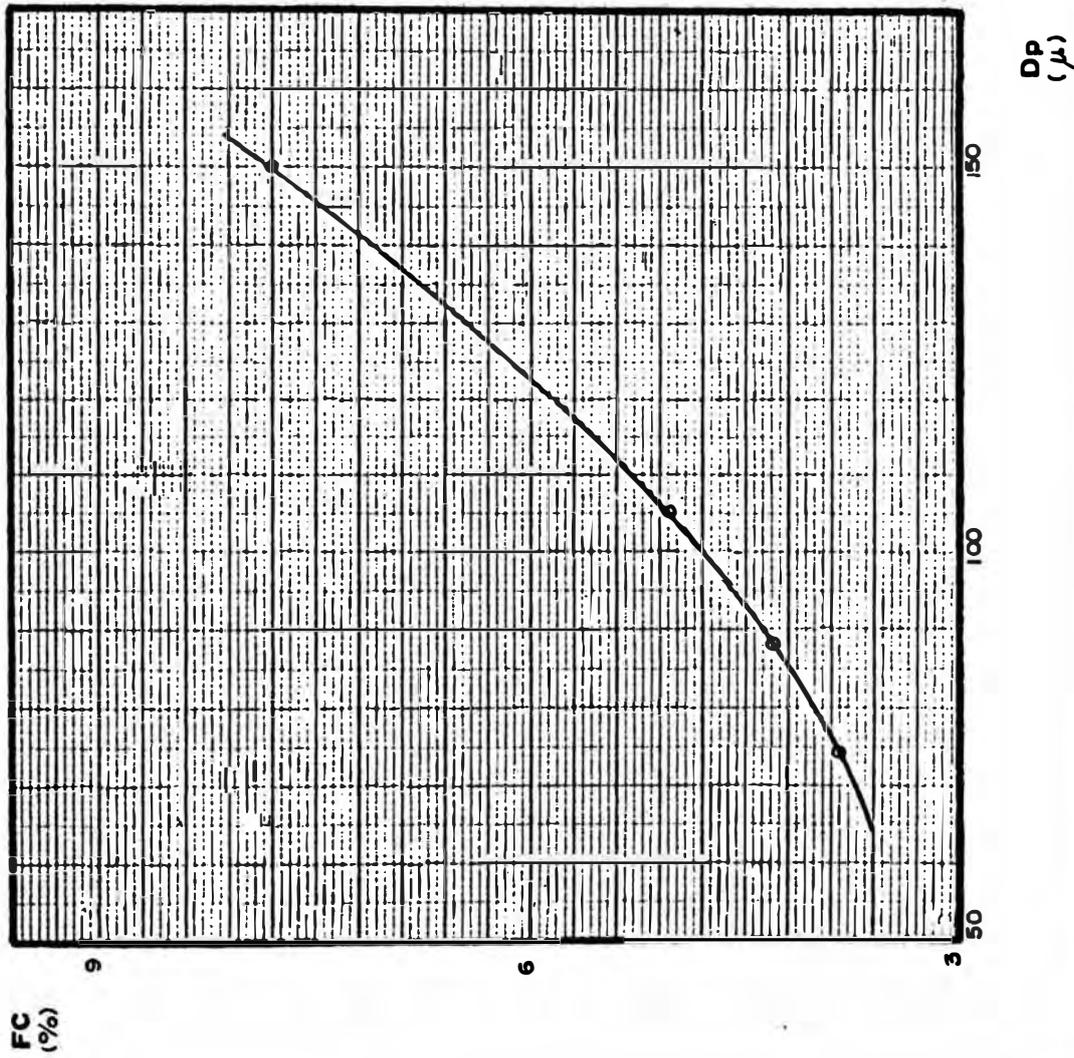


TAMIZADO

(PASANTES - ALIMENTACION vs. ABERTURA DE MALLA)



TAMIZADO
(FIBRA CRUDA vs. ABERTURA DE MALLA)



CUADRO Nro. 20

ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA PASTA DE ALGODON MOLIDA

ALIMENTACION: Pasta de Algodón molida y sin Hexano

# MALLA.	ABERTURA (micras)	FRACCION RETENIDA
10	2,000	0.00
30	595	0.42
60	250	0.68
100	149	0.79
140	105	0.87
170	88	0.90
200	74	0.94
C	-----	1.00

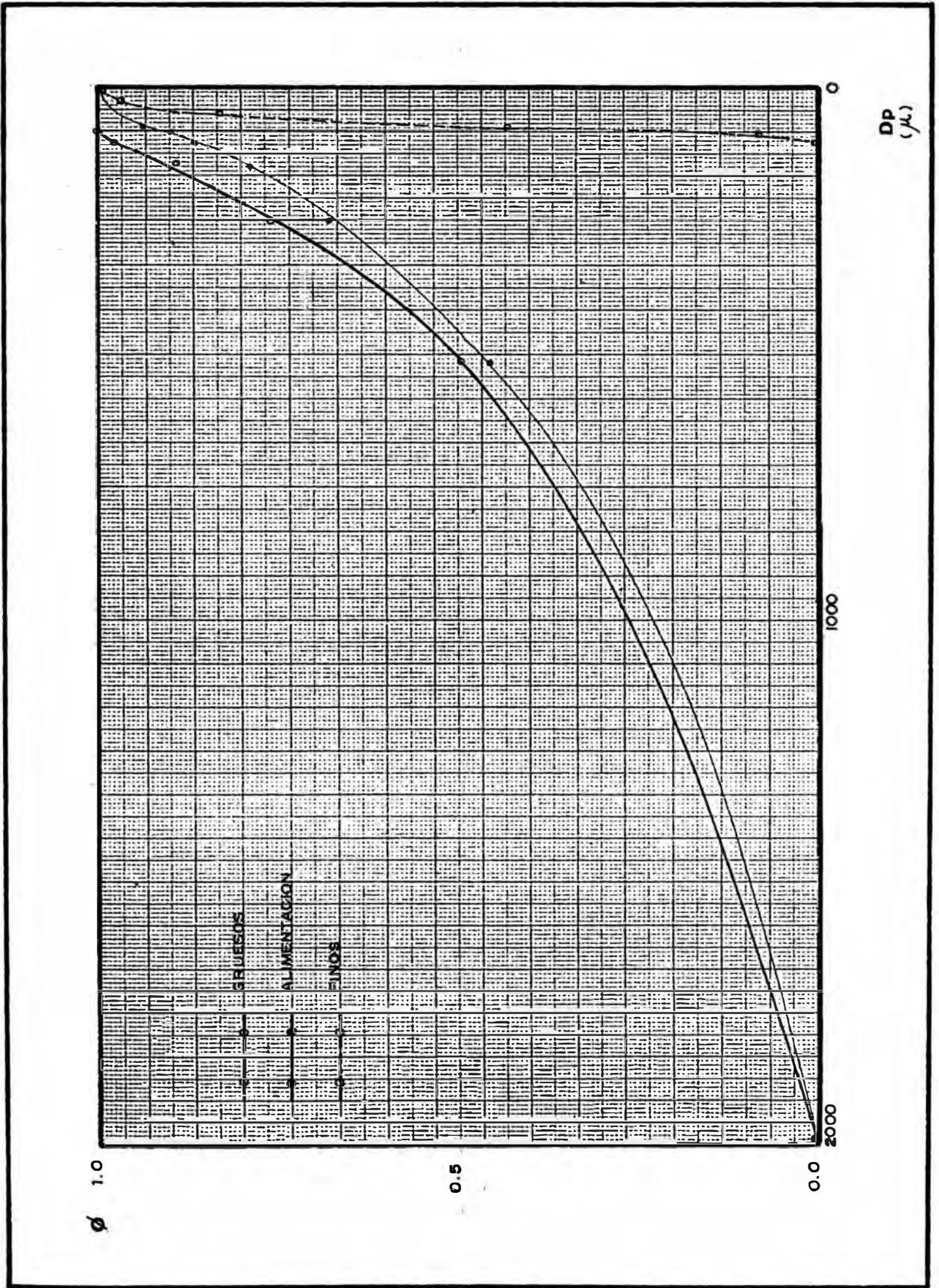
ALIMENTACION: Fracción Gruesa
(Mallas menores o iguales a #170)

# MALLA.	ABERTURA (micras)	FRACCION RETENIDA
10	2,000	0.00
30	595	0.46
60	250	0.76
100	149	0.89
140	105	0.98
170	88	1.00

ALIMENTACION: Fracción Fina
(Mallas mayores o iguales a #170)

# MALLA.	ABERTURA (micras)	FRACCION RETENIDA
140	105	0.00
170	88	0.08
200	74	0.43
270	53	0.83
400	37	0.97
C	-----	1.00

ANALISIS GRANULOMETRICO



5.3.4. EXTRACCION DEL GOSIPOL:

La extracción sólido-líquido consiste en la disolución de un componente (o grupo de componentes) que forman parte de un sólido, empleando un disolvente adecuado en el que es insoluble el resto del sólido que se denomina inerte (21).

Esta operación unitaria ha recibido muchos nombres específicos según el sistema de extracción empleado tales como lixiviación, percolación, decocción, elución, etc. Treybal (23) define la lixiviación como la disolución preferente de uno o más componentes de una mezcla sólida por contacto con un disolvente líquido. La percolación es la extracción en un sistema de lecho fijo del sólido; la decocción utiliza al disolvente a su temperatura de ebullición y la elución sucede cuando se lava el material soluble que está sobretodo en las superficie de un sólido insoluble. Las industrias metalúrgicas con las que más utilizan las operaciones de extracción sólida-líquida, pero muchos productos orgánicos naturales se separan de sus estructuras originales por este tipo de operación. (21)

La extracción del pigmento tóxico gosipol es la parte central de este trabajo de investigación, es aquí donde se han tomado en cuenta y analizado cada uno de los parámetros involucrados justificando la optimización del proceso tanto de manera experimental, haciendo pruebas en el laboratorio, como teórica con respal

do bibliográfico.

La pasta de algodón mólida, sin hexano y tamizado tiene un contenido de gosipol libre de 0.132% en peso y según las especificaciones internacionales la harina no debe tener más de 0.060% para que sea apta al consumo humano (ver cuadro 12) como todo proceso de optimización de parámetros y variables requiere de no pocas corridas experimentales, en esta parte del estudio se buscó un método práctico para cuantificar indirectamente la cantidad de gosipol remanente en la harina purificada luego de cada ensayo, ya que de lo contrario, hacer un análisis químico cuantitativo exacto del gosipol remanente tendría un costo muy elevado.

Primero, entonces, se introduce el concepto de coeficiente de Extinción Específico aplicado a la técnica analítica cuantitativa de espectrofotometría de absorción para evaluar el porcentaje de gosipol libre remanente en la harina luego de cada prueba de extracción. El resultado obtenido no es exacto pero muestra sin lugar a dudas la tendencia en el proceso de optimización, y se utiliza básicamente como referencia, muy aproximada pues el producto final debe ser analizado empleando la metodología estandar de la American Oil Chemist's Society (AOCS) para evaluar el % en peso exacto del gosipol en la harina. (2).

Una vez determinado el coeficiente de extinción

específico adecuado al sistema se evaluó cada uno de los parámetros tanto variables de proceso como variables de diseño que lleven a la optimización técnica del proceso. Algunos de ellos se determinaron por respaldo bibliográfico y otros son conclusiones a partir de experimentos en el laboratorio. Los parámetros y consideraciones técnicas considerados para optimizar la extracción son el método de operación, el equipo de extracción, la potencia del equipo, el solvente a utilizar, la relación sólido líquido, el tiempo de contacto, la composición del solvente, el número de etapas y la temperatura de operación.

Por último, se hizo analizar el producto final, obtenido en el laboratorio, por el laboratorio de nutrición de la Universidad Nacional Agraria de La Molina donde utilizan métodos oficiales y los resultados se registran en el Cuadro 30.

5.3.4.1 SELECCION DEL COEFICIENTE DE EXTINCION ESPECIFICO:

La Química Analítica Cuantitativa ha dado origen a algunas técnicas sumamente complejas y precisas para obtener datos. La espectrofotometría de absorción mide la intensidad de absorción de radiación electromagnética por una sustancia, a diversas longitudes de onda. (24).

La longitud de onda a la que la absorción tiene lugar permite la identificación cualitativa de las especies, y la cantidad de luz absorbida permite el análisis cuantitativo. (25). La absorción de luz por los grupos específicos de una molécula ocurre a una frecuencia y por lo tanto a una longitud de onda en particular y es una práctica normal medir la absorbancia de la solución a varias longitudes de onda, como se puede apreciar en la figura 7, que muestra los espectros de absorción de soluciones de gossipol en alcohol etílico reportados por Marchlewski, Adams - Kirkpatrick y por Boatner. (15)

Las fórmulas que relacionan la cantidad de luz absorbida con la concentración de la especie absorbente y con otros parámetros, se sintetizan en la ley de Lambert Beer, cuya fórmula final más usada es:

$$\log T = -a.E.C \quad \text{ó} \quad A = a.E.C$$

Donde:

T = Transmitancia

A = Extinción o absorbancia

a = Espesor de Celda

E = Coeficiente de Extinción

C = Concentración de soluto.

Si se emplea una celda de 1 cm. de espesor y la concentración se expresa en gr. soluto/100 ml. solución, se define $A = (E_{1\%,1cm})C$ donde $E_{1\%,1cm}$ es el coeficiente de extinción específico, que es una constante física de la especie absorbente en condiciones establecidas. (25).

Es normal efectuar las pruebas de espectrofotometría a la longitud de onda a la que ocurre el máximo de absorción porque pueden alcanzarse la mayor selectividad y sensibilidad. Pero a una determinada longitud de onda le corresponde un coeficiente de extinción específico, y como $A=E.C$ es la ecuación de una recta de pendiente E (el coeficiente de extinción específico), que es constante en condiciones especificadas, la concentración desconocida de una solución puede determinarse midiendo su absorbancia.

Muchas veces el coeficiente de extinción específico puede encontrarse directamente de la bibliografía en curvas como las de la Figura 7. considerando la posibilidad de que en el sistema estudiado, durante la extracción se aislen otros compuestos además del Gosipol se determinó un coeficiente de extinción específico adecuado para el sistema y cuyo empleo

sirvió para determinar porcentajes de gosipol libre remanente en la harina, similares a los obtenidos mediante análisis estandarizados efectuados en el laboratorio de nutrición de la Universidad Nacional Agraria (U.N.A.).

Cuando una misma muestra sólida se va sometiendo a extracciones sucesivas con solvente fresco, el contenido de soluto en el sólido va disminuyendo y los extractos contienen cada vez menos soluto.

Se seleccionó un lote de pasta tamizada o harina sin purificar y se le sometió a varias extracciones con solvente fresco con la finalidad de extraer, si fuera posible, todo el gosipol libre inicial. Los extractos iniciales eran bastante coloreados y los correspondientes a las últimas extracciones eran pálidos y casi incoloros. Se efectuaron ocho extracciones sucesivas manteniendo la relación sólido/líquido (harina/solvente) prácticamente constante entre una extracción y otra.

A cada extracto se le determinó su transmitancia empleando el espectrofotómetro SPEKOL 10 JENA DDR que pase un rango de longitud de onda que abarca el rango visible (380 a 750 nm).

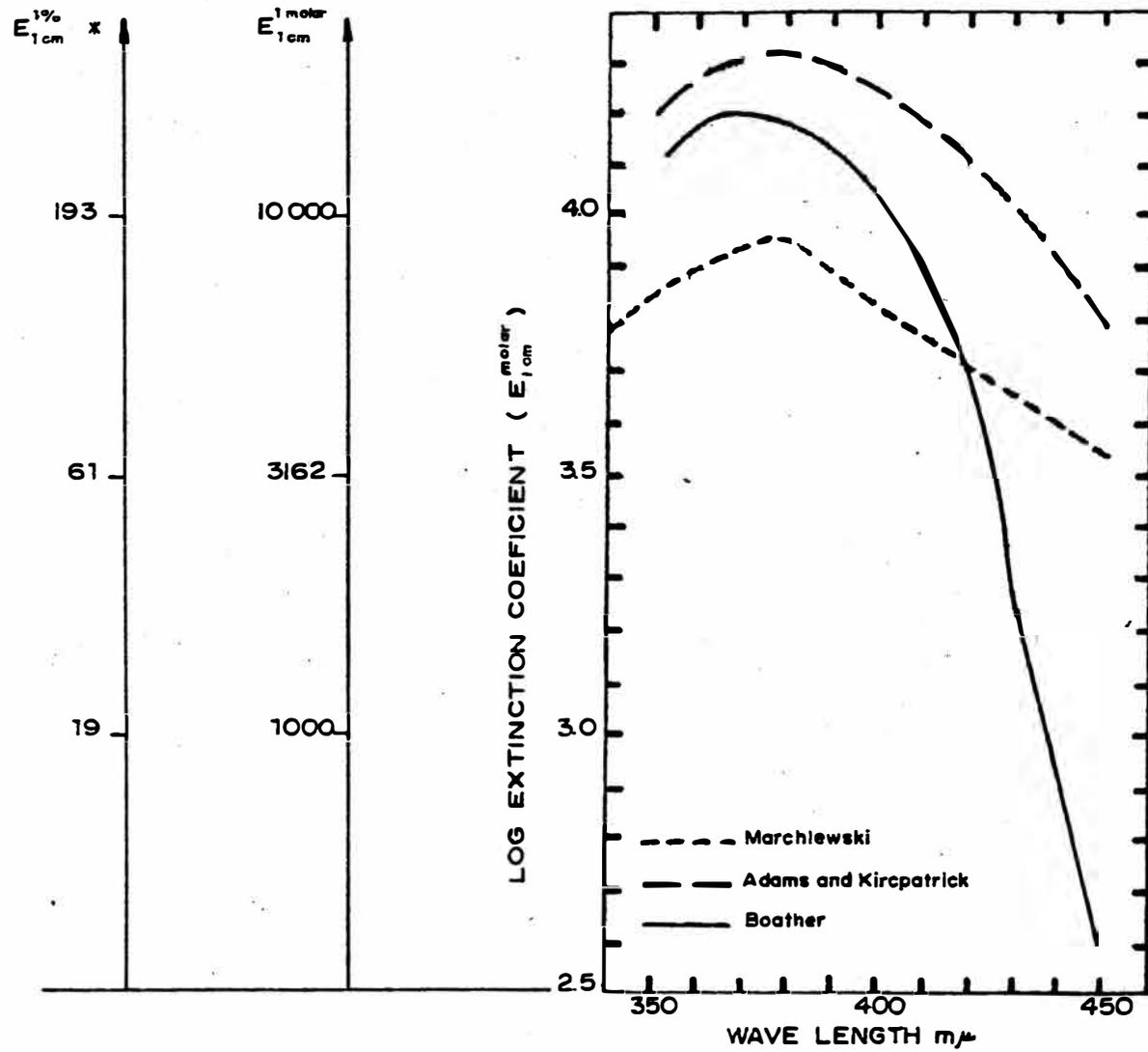
Si bien es normal efectuar las pruebas de espectrofotometría a la longitud de onda a la que ocurre la máxima absorbancia, que en este caso corresponde,

según la Figura 7, a 380 nm.; se trabajó a 420 nm. pues operando a esta longitud de onda se podían leer las absorbancias de todas las pruebas sin ocasionar dificultades como el cambio constante de escala en el equipo o utilizar diferentes razones de disolución de los extractos.

Con el método descrito en el Apéndice 4, utilizando las transmitancias, se calculó el gósipol libre remanente estimado para varios coeficientes de extinción como se puede apreciar en el Cuadro 23.

FIGURA 7

ESPECTRO DE ABSORCION DE SOLUCIONES DE GOSIPOL EN ETANOL ...(6)



x Para cálculo de $E_{1cm}^{1\%}$ Ver Apéndice 3

CUADRO Nro. 21

EVALUACION DE COEFICIENTES DE EXTINCION

EXTRACCION: NUMERO	TRAMITANCIA %	% GR (1) ANALIZADO	% GR. ESTIMADO PARA		
			E = 330	E = 335	E = 340
1	40	-----	0.102	0.103	0.103
2	62	0.090	0.087	0.088	0.088
3	80	-----	0.080	0.081	0.088
4	86	0.076	0.075	0.076	0.077
5	88	-----	0.071	0.072	0.073
6	91	-----	0.068	0.069	0.070
7	92	-----	0.065	0.066	0.067
8	93	0.063	0.063	0.064	0.065

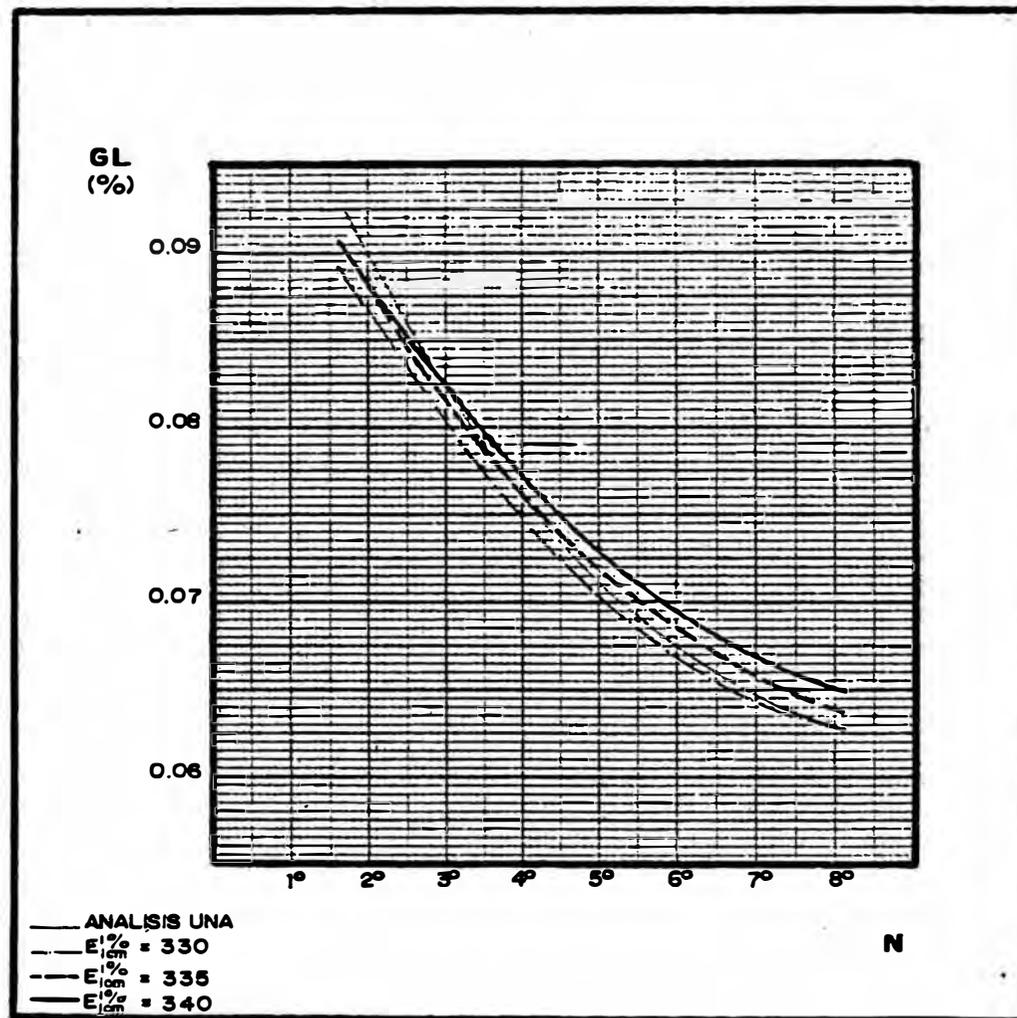
(1) Ver en el apendice 3 análisis U.N.A memorandum DN-068-90

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS

Solvente : etanol acuoso al 94% vol.
 Relac. liq/sol. (peso) : 5/1
 Temperatura : 25°C
 Tiempo : 10 min.
 Num. Etapas : Una

FIGURA 8

EVALUACION DE COEFICIENTES DE EXTINCION
(GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA vs. ORDEN DEL LAVADO)



Entre cada extracción se separó una pequeña cantidad de sólido y se analizaron tres muestras para su análisis en la UNA (ver Cuadro 23). A partir de estos datos reales de porcentaje de gosipol remanente se determinó, utilizando la Figura 6, el coeficiente de extinción específico con el cual se obtienen los resultados más cercanos a la realidad.

En la Figura 8 se seleccionó el coeficiente de extinción específico ($E_{1\%,1}^{1\%}$ cm.) correspondiente a 335 (o $\log E$ molar, 1 cm. = 4.24).

Este valor se utiliza en el transcurso de toda la investigación y las tendencias o resultados cuantitativos no conducen a duda alguna del comportamiento del sistema a lo largo del proceso de optimización.

5.3.4.2. METODOS Y EQUIPO DE EXTRACCION:

Siempre que los sólidos puedan mantenerse fácilmente en suspensión, es conveniente utilizar un sistema de tanque agitado, pues al dispersar las partículas, evitando que estén juntas unas de otras, se aumenta el área interfacial sólido-líquido. (23)(24).

Rein y Woodburn (26) demostraron que en el caso de sólidos fibrosos la extracción sólido-líquido es por lo general más eficiente en un tanque bien agitado que por percolación.

La decisión de emplear tanques operados simultáneamente en paralelo o a contracorriente depende fundamentalmente del volumen de producción y del comporta

miento termodinámico y de transferencia de masa del sistema.

La pasta de algodón tamizada o harina no purificada tiene un tamaño de partícula promedio de 0.070 mm, su densidad es 1.5 gr/cm³ y es de naturaleza fibrosa. Experimentalmente se comprobó que es sumamente fácil de mantenerla en suspensión aún mediante agitación manual de tal manera que se decidió utilizar el sistema de tanque agitado y preliminarmente se desarrolló la optimización en un proceso de lote en un sólo tanque.

Optimizar experimentalmente la geometría del tanque, resulta impráctico pues se deben considerar por lo menos 5 variables. Ya muchos autores han desarrollado trabajos referente a este problema por lo cual se decidió apoyarse en literatura existente para fijar algunas variables.

Los típicos tanques de agitación son cilindros verticales, su tamaño depende del volumen de producción y la altura del líquido para sistemas de contacto sólido/líquido es generalmente de 3/4 a 3/2 el diámetro del tanque. (23).

El impulsor usualmente está montado sobre un eje accionado por un motor y arreglado en forma axial.

Para operaciones de transferencias de masa se utiliza a menudo el impulsor de turbina con disco y cuatro hojas planas, desde el cual el flujo de la suspensión es radial. Es común que la relación entre el diámetro del impulsor y el diámetro del tanque sea 1/3 y

frecuentemente operan con velocidades periféricas que van desde 2.5 m/seg. hasta 4.6 m/seg. (23)

Para evitar la formación de vórtices, el método más utilizado es la instalación de mamparas o deflectores verticales arregladas en forma radial a intervalos de 90° alrededor de la pared del tanque cada mampara tiene un espesor correspondiente a 1/12 del diámetro del tanque y con frecuencia se colocan dejando un claro hacia la pared del tanque, que puede ser la mitad del espesor de las mamparas, para prevenir la acumulación de sólidos detrás de ellas. (23).

Las características geométricas del equipo construido para llevar a cabo las pruebas de extracción se detallan en la Figura 9. El agitador utilizado fue uno eléctrico de velocidad variable marca PRECISION CIENTIFICO y de 20 watts de potencia máxima con este equipo se trabajó a 2000 RPM correspondiendo a una velocidad periférica del impulsor de 3.2 m/seg. y la distancia entre el impulsor y el fondo del tanque fue regulada para tener durante la agitación un patrón de flujo radial característico de los fluidos newtonianos y circulación total de las partículas, ello se consiguió empleando un claro de altura igual al diámetro del impulsor.

5.3.4.3. POTENCIA DE AGITACION:

El agitador cumple su función eficientemente si se limita a hacer circular suavemente todos los sólidos a través del fondo del tanque a los suspende por encima del fondo. (24).

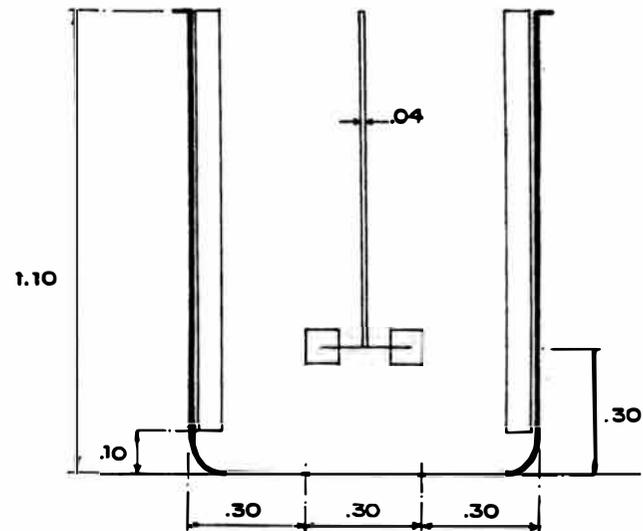
Una vez alcanzado el punto de suspensión mínima la contribución ya no es tan efectiva y un gasto adicional de potencia del agitador no produce ninguna mejora cuantificable en la transferencia de masa.(23).

En el caso de la harina de algodón, es razonable suponer, por la naturaleza fibrosa del sólido, que la resistencia a la transferencia de masa dentro del sólido sea la resistencia controlante y al aumentar la rapidez del movimiento del líquido a través de la superficie del sólido prácticamente no modifica la rapidez de extracción del soluto. La velocidad utilizada, 3.2 mt/seg., fue suficiente para la circulación total de las partículas y para obtener un patrón de flujo radial característica de los fluidos newtonianos cuando se utiliza un impulsor de paletas planas verticales.

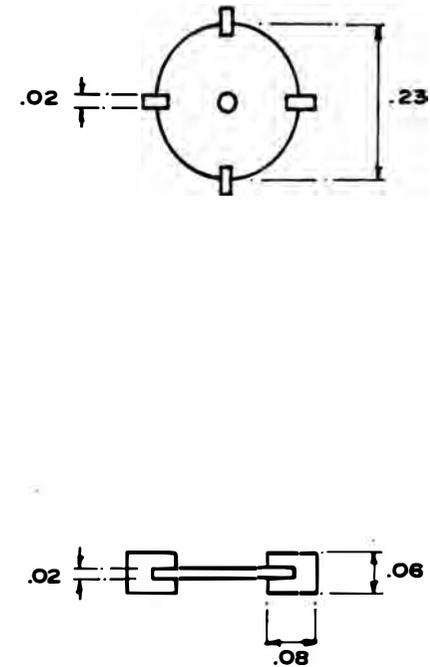
Para determinar la potencia utilizada por el impulsor durante la extracción, Treybal (23) recomienda utilizar las curvas de Número de Potencia versus Número de Reynolds del líquido claro, pero la densidad y la viscosidad se deben referir a las de la suspensión. El Apendice 6 muestra los cálculos y consideraciones utilizados para determinar que la potencia utilizada en las pruebas de extracción fue de 6.6 watts (0.01 HP) correspondiéndole un número de Reynolds de 1.3×10^4 .

CARACTERISTICAS GEOMETRICAS DEL EQUIPO DE EXTRACCION UTILIZADO (dm.)

TANQUE DE EXTRACCION CON MAMPARAS



IMPULSOR DE TURBINA DE 4 HOJAS PLANAS



5.3.4.4. SOLVENTE DE EXTRACCION:

Utilizando un solvente adecuado la extracción sólido líquido permite la disolución de un componente que forma parte de un sólido considerado inerte. Para determinar que solvente es el adecuado primero analizamos la naturaleza del soluto a extraer: el gosispol. Un corte transversal de la almendra de la semilla del algodón muestra las glándulas pigmentadas que están rodeadas por una pared de células aplanadas tangencialmente insoluble frente a la acción de la mayoría de los líquidos excepto del agua y de unos pocos líquidos orgánicos miscibles con el agua. (3). El gosispol es un compuesto polifenólico altamente reactivo, es el pigmento predominante en las glándulas de la semilla de algodón y es insoluble en agua. (2).

Antes de extraer el gosispol, primero se deben romper las paredes de las glándulas que contienen a los pigmentos, estas paredes están formadas por compuestos de naturaleza altamente polar y pueden ser disueltas por un solvente que también corresponda a esa naturaleza para así liberar a los pigmentos, uno de los cuales es el gosispol. Este pigmento al ser un polifenol, es un compuesto medianamente polar y el solvente de extracción también debe ser de estas características.

Por su naturaleza orgánica, su polaridad moderada, su

capacidad de formar puentes de hidrógeno con el gosipol, su buen rendimiento en trabajos de investigación anteriores (3) (18) y su privilegiada disponibilidad en el Perú, se decidió que el alcohol etílico es el solvente adecuado para extraer el gosipol libre. Como las paredes de las glándulas son solubles en agua se seleccionó como solvente de extracción al alcohol etílico acuoso, primero el agua rompe las paredes glandulares y luego el etanol extrae el gosipol.

Para analizar el efecto de extracción por otros solventes también se realizaron pruebas con acetona, con alcohol isopropílico (IPA) y con agua pura. Los resultados se pueden observar en el Cuadro 22 y Figura 10 en los que se comprueban que el etanol acuoso es un buen solvente de extracción.

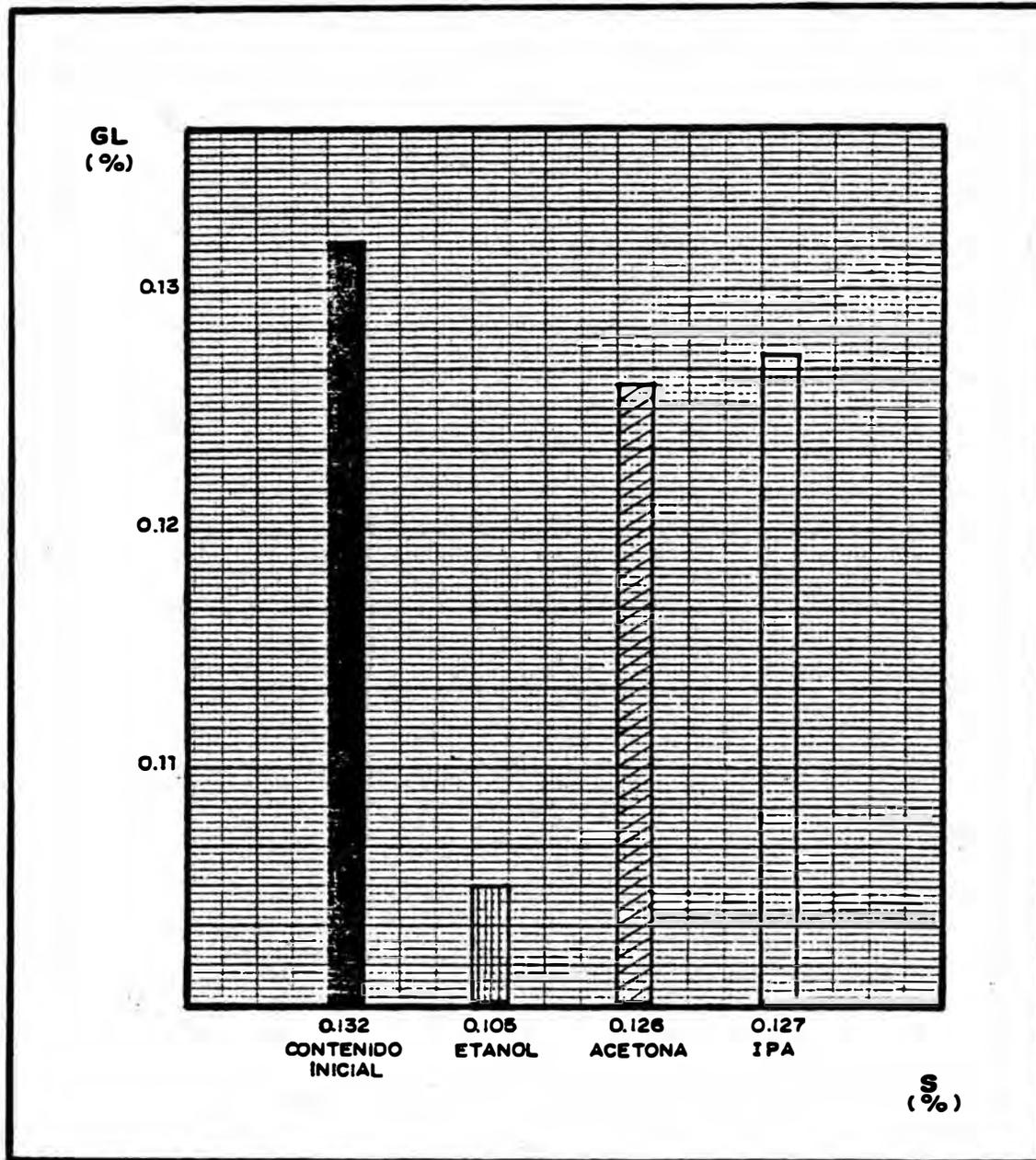
CUADRO Nro. 22

EFFECTO DE DIFERENTES SOLVENTES EN LA EXTRACCION

SOLVENTE	TRAMITANCIA %	% GR ESTIMADO
AGUA	*	-----
ETANOL COMERCIAL	43	0.105
ACETONA	82	0.126
IPA	86	0.127

* Se obtuvo un extracto muy turbio y una masa pastosa dificil de separar para su analisis espectro fotometrico.

COMPARACION DE DIFERENTES SOLVENTES EN LA EXTRACCION (GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA vs. SOLVENTE)



5.4.5. COMPOSICION DEL SOLVENTE:

En la etapa de extracción, el agua contenida en el etanol acuoso disuelve las paredes de las glándulas pigmentarias y el alcohol etílico extrae el gósipol.

En el Perú, por lo general se produce y se comercializa el alcohol etílico mezclado con agua y la composición del solvente resultante es de 94% en volumen de etanol ó 92.5% en peso y su densidad es de 0.816 gr/ml. a 25°C.

Se determinó la composición óptima del solvente acuoso para la extracción del gósipol ensayando con diferentes composiciones y los resultados se pueden apreciar en el Cuadro 23 y en la Figura 11.

Trabajando con una composición que esté en rango desde 75% hasta 85% en volúmen de alcohol se obtienen los mejores resultados y definitivamente se demuestra que diluyendo el alcohol etílico acuoso comercial es posible alcanzar los niveles de gósipol libre aceptados por las especificaciones internacionales.

3.4.6. TIEMPO DE EXTRACCION:

En una extracción sólida-liquido por lo general no se alcanza el equilibrio real entre la solución y el soluto debido a que se emplean periodos muy largos para que esto suceda, pero de cualquier manera, nunca es conveniente una separación perfecta. (21).

Como el sólido es de naturaleza fibrosa y la resistencia controlante es la transferencia de masa dentro del sólido, fue indispensable ensayar a varios tiempos para determinar el tiempo de contacto óptimo de extracción. Esto se puede observar en el Cuadro 24 y en la Figura 12.

Luego de haber transcurrido 10 minutos de operación, la extracción del gosipol ya ha progresado de tal manera que tiempos adicionales no proveen mejoras considerables.

5.3.4.7. RELACION LIQUIDO/SOLIDO:

En un sistema de extracción sólido-líquido la relación óptima de solvente a sólido está íntimamente relacionada con la tendencia de su curva de equilibrio cuya construcción es muy tediosa cuando se tienen sistemas que utilizan sólidos fibrosos puesto que se deben emplear tiempos de contacto bastante prolongados para alcanzar el equilibrio. Cuando la resistencia controlante es la transferencia de masa en la parte interna del sólido, normalmente la relación líquido/sólido de extracción no es una variable decisiva.

CUADRO Nro. 23

EFEECTO DE LA COMPOSICION DEL
SOLVENTE EN LA EXTRACCION

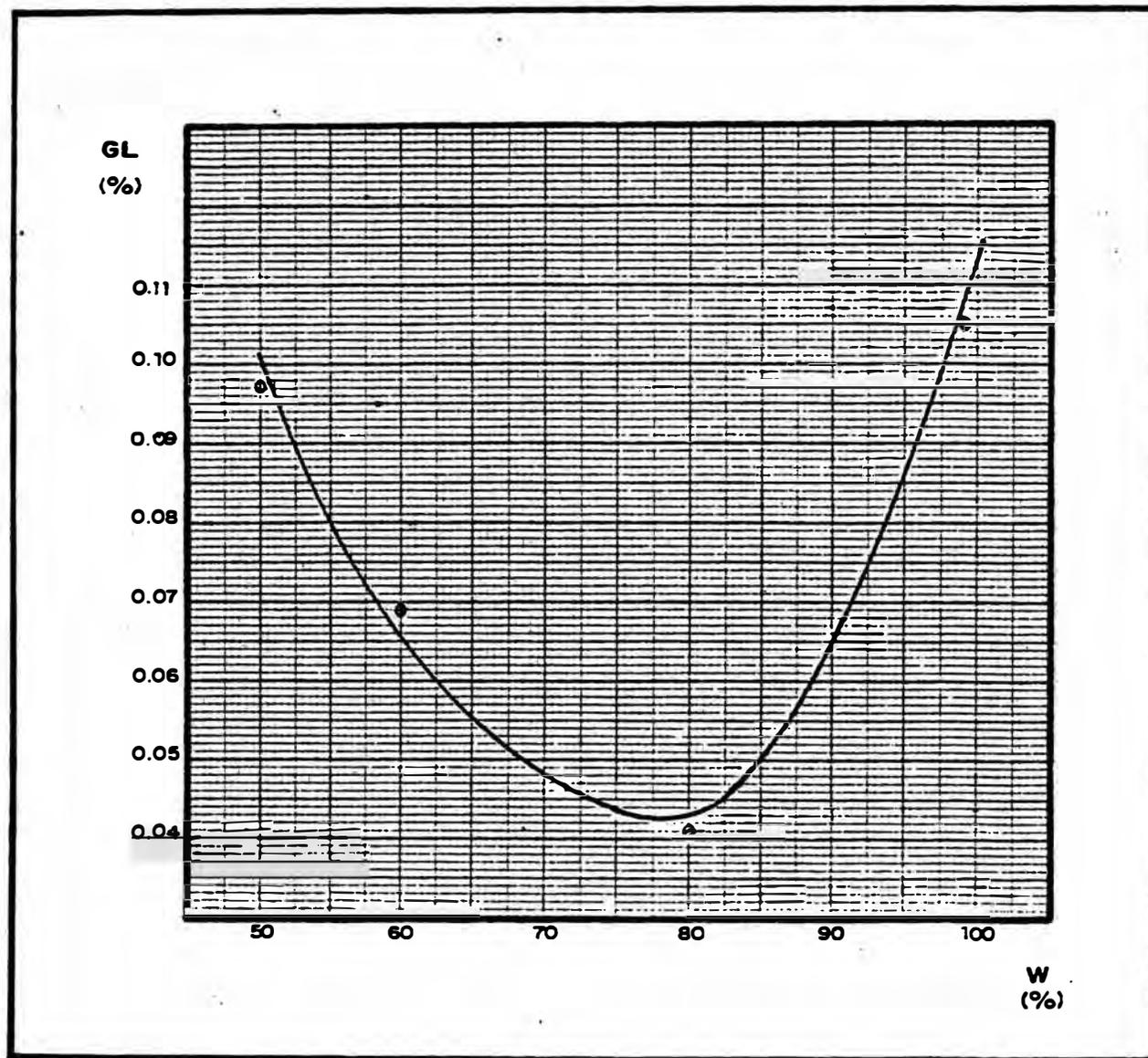
ETANOL ACUOSO (% VOLUMEN ETANOL)	TRANSMITANCIA %	% GR ESTIMADO
94	43	0.105
80	5	0.041
60	12	0.069
50	31	0.098

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS

Relac. liq/sol. (peso) : 5/1
 Temperatura : 25°C
 Tiempo : 10 min.
 Num. Etapas : Una

EFFECTO DE LA COMPOSICION DEL SOLVENTE EN LA EXTRACCION

(GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA vs. PESO ETANOL EN EL SOLVENTE)



CUADRO Nro. 24

EFFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO
EN LA EXTRACCION

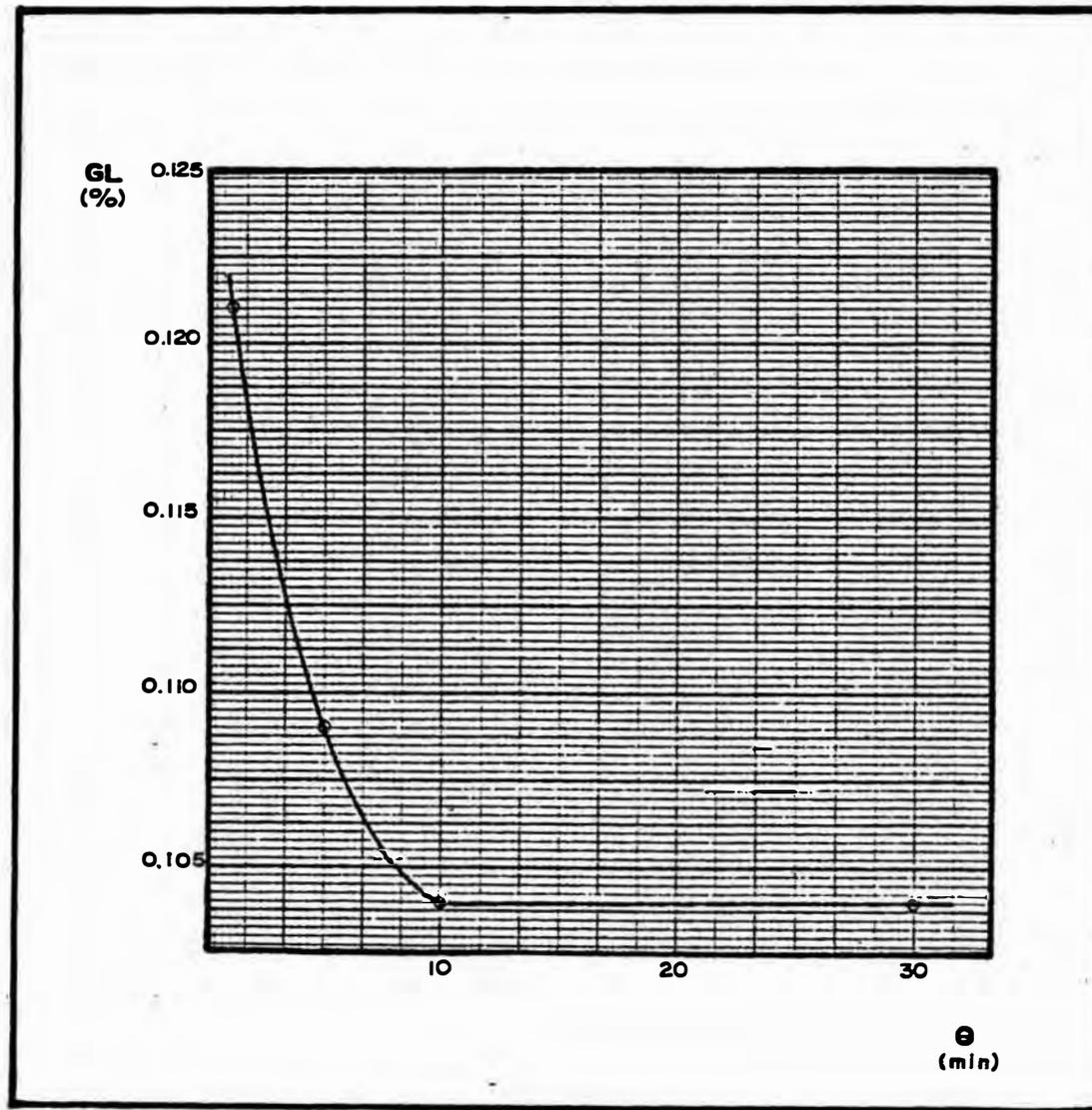
TIEMPO DE EXTRACCION (min)	TRAMITANCIA (%)	% GR ESTIMADO
1	42	0.121
5	17	0.109
10	11	0.104
30	11	0.104

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS

Solvente : Etanol acuoso al 94% vol.
 Relac. liq/sol. (peso) : 5/1
 Temperatura : 25°C
 Num. Etapas : Una

FIGURA 12

EFFECTO DEL TIEMPO DE CONTACTO EN LA EXTRACCION
(GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA vs. TIEMPO DE EXTRACCION)



Para evaluar el efecto de varias relaciones solventes/sólido en la extracción, se ensayó con suspensiones bastantes concentradas, medias y altamente diluidas tanto para una, dos y tres extracciones sucesivas como se reporta en el Cuadro 25.

En los resultados no se aprecia una tendencia definida dependiente de la relación líquido/sólido. El criterio de optimización empleado se basó entonces en que, primero, suspensiones muy concentradas conducen a pérdida de los materiales (sólido, solvente) provocada por la dificultad de su manipulación (como en 2/1 ó 3/1), y segundo, soluciones muy diluidas, fácilmente manipulables, conducen definitivamente a costos de operación unitarios bastante altos. Por estos motivos se decidió que lo mejor es trabajar con una relación solvente/sólido de 5/1.

15.3.4.8. TEMPERATURA DE EXTRACCION:

Dependiendo del sistema, un aumento de temperatura en la extracción conduce, hasta cierto punto, a incrementar la rapidez de transferencia de masa. En el caso de algunos productos naturales, las temperaturas elevadas pueden producir la extracción colateral de cantidades excesivas de solutos indeseables y en algunos casos pueden promover la alteración química del sólido (23). Aparte se estudió el efecto de la temperatura en la extracción haciendo varias extracciones a distintos niveles como se puede observar en el cuadro 26 y en la figura 13.

A medida que se incrementa la temperatura, se disminuye el contenido de gosisol remanente en la harina. Esta tendencia creciente de la extracción sucede hasta los 60°C, más allá no se obtienen mejoras apreciables y es posible modificar la composición química del producto.

15.3.4.9. NUMERO DE ETAPAS DE EXTRACCION:

Una etapa de extracción consiste en poner dos fases en contacto, difusión de sustancias y separación mecánica de las fases. Para separaciones con grandes cambios de concentración se puede utilizar una serie de etapas (23), por lo tanto la cantidad de extracciones depende fundamentalmente de la rapidez de transferencia de masa, el cambio de concentración deseado y el volumen de producción.

Experimentalmente, considerando los resultados de las otras variables de optimización, se obtuvo en una sola etapa el producto que cumple las condiciones de calidad establecidas por los organismos internacionales que rigen la comercialización de la harina de semilla de algodón para consumo humano. Las características del producto obtenido se registran en el cuadro 30, correspondiéndole un porcentaje en peso de gosisol libre de 0.054% que está debajo del 0.060% especificado en el cuadro 12.

Por lo tanto se concluye que es posible producir la harina en sólo una etapa de extracción (Ver Cuadro 23).

CUADRO Nro. 25
EFECTO DE LA RELACION LIQUIDO/SOLIDO
EN LA EXTRACCION

PARA UNA EXTRACCION

PESO LIQUIDO/PESO SOLIDO	TRAMITANCIA (%)	% GR ESTIMADO
2/1	11	0.104
3/1	21	0.102
5/1	43	0.105
10/1	68	0.107
20/1	71	0.088

PARA DOS EXTRACCIONES

PESO LIQUIDO/PESO SOLIDO	TRAMITANCIA (%)	% GR ESTIMADO
2/1	22	0.085
3/1	37	0.083
5/1	59	0.088
10/1	78	0.091
20/1	93	0.079

PARA TRES EXTRACCIONES

PESO LIQUIDO/PESO SOLIDO	TRAMITANCIA (%)	% GR ESTIMADO
2/1	29	0.069
3/1	46	0.068
5/1	64	0.074
10/1	89	0.084
20/1	96	0.074

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS:

Solvente : Etanol acuoso al 94% vol.

Temperatura : 25oC

Tiempo : 10 min.

CUADRO Nro. 26
 EFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA EXTRACCION

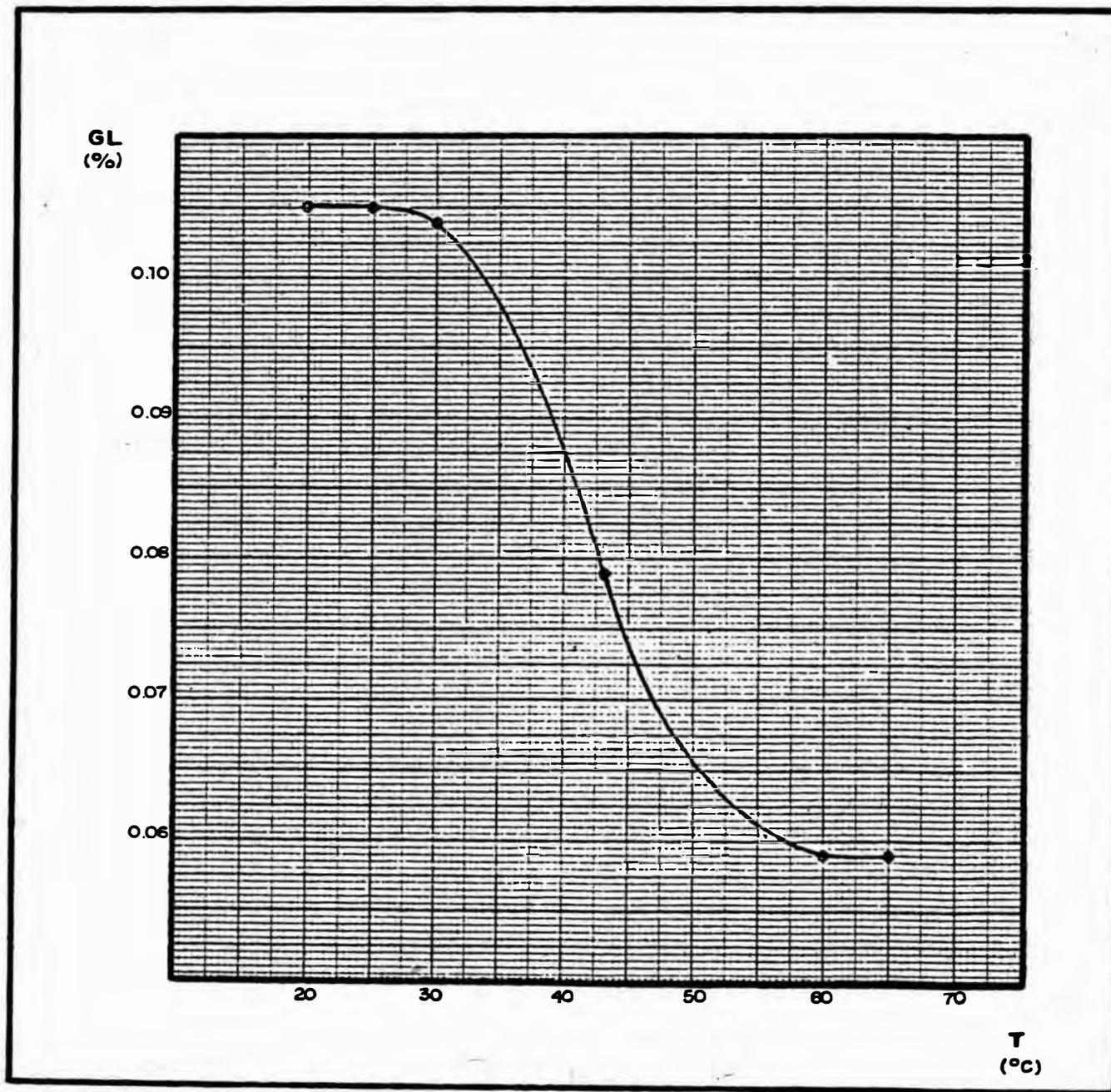
TEMPERATURA DE EXTRACCION (C)	TRAMITANCIA (%)	% GR ESTIMADO
30	42	0.104
43	19	0.079
60	10	0.059
65	10	0.059

CONDICIONES DE LOS ENSAYOS:

Solvente : Etanol acuoso al 94% vol.
 Relac. Liq/Sol (Peso) : 5/1
 Tiempo : 10 min.
 Num. Etapas : Una

FIGURA 13

EFFECTO DE LA TEMPERATURA EN LA EXTRACCION
(GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA vs. TEMPERATURA)



5.3.5. FILTRACION:

Mediante esta operación se separa una cantidad de líquido de partículas sólidas, aprovechando un gradiente de presión. En el proceso estudiado, una vez transcurrida la etapa de extracción del gosipol, se debe separar el solvente agotado de la harina purificada.

Se utilizó en el laboratorio un sistema de embudo buchner y bomba de vacío marca MARATHON ELECTRIC modelo 654. Como medio filtrante se empleó un filtro comercial sintético tipo lana extendido sobre un área de filtración de 50 cm².

A tres diferentes presiones de vacío se tomó el volumen de solvente filtrado correspondiente a varios tiempos como se puede apreciar en el Cuadro 17 con estos datos se determinó que la compresibilidad de la torta obtenida mediante filtración en el laboratorio es de 0.78, es decir de naturaleza compresible.

5.3.6. SECADO:

En general, el secado se refiere a la eliminación de humedad (con frecuencia agua) en una sustancia (23). Luego de la filtración, se obtiene la torta húmeda de harina de algodón a la cual se le somete a una operación de secado para evaporar todo el alcohol etílico y disminuir su contenido de agua a fin de que el producto cumpla con las especificaciones de calidad, máximo 10% de humedad en base seca. Se empleó el mismo equipo utilizado en la evaporación de hexano

(Ver 5.3.2.)

Se dispusieron tortas de masa y espesor iguales en diferentes recipientes en la estufa para controlar la pérdida de peso, de acuerdo a intervalos de tiempo fijados. Se realizaron dos ensayos utilizando dos temperaturas de secado diferentes como se muestra en el Cuadro 28 y la Figura 14, que nos indica que se requiere de 13.75 minutos a 110°C de temperatura y de 16.63 minutos a 86% de temperatura para cumplir las especificaciones de calidad.

Siendo la diferencia de tiempos de secado bastante estrecha y el rango de temperatura amplia, se recomienda trabajar a 85°C durante 17 minutos a las condiciones especificadas en la prueba.

CUADRO Nro. 27
 VELOCIDAD DE FILTRACION A VARIOS GRADIENTES
 DE PRESION

FRACCION FILTRADA	P R E S I O N (psig)		
	5.5 t(seg)	7.5 t(seg)	9.5 t(seg)
0.28	5	4	3
0.43	12	9	8
0.57	18	14	12
0.71	26	20	17
0.86	39	29	24
1.00	53	40	32

CUADRO Nro. 28

EVALUACION DE LA TEMPERATURA Y
TIEMPO DE SECADO

TIEMPO DE SECADO (min)	HUMEDAD (%Base Húmeda)	
	TEMP = 85oC	TEMP = 110oC
0	56.02	56.02
5	28.00	24.00
10	17.20	14.40
20	8.80	6.70
30	4.80	3.50
40	1.40	1.30
50	1.30	1.30

Peso Evaporado(%) : 55.5%

Relación A/e : 35.0 cm.

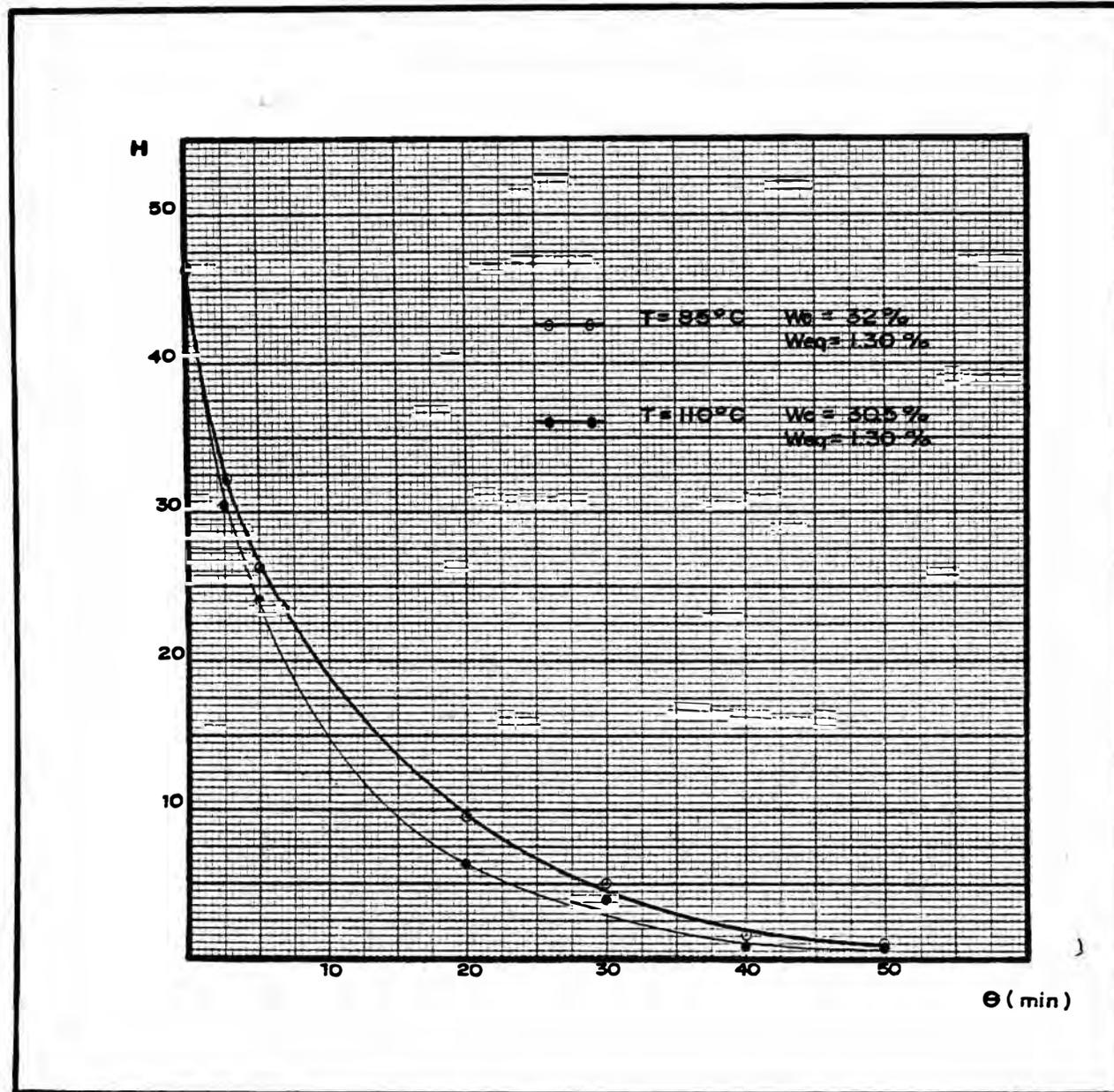
Donde:

A: Area del recipiente de muestra

e: Espesor de la muestra

FIGURA 14

VELOCIDAD DE SECADO (HUMEDAD BASE HUMEDA vs. TIEMPO)



5.3.7. MOLIENDA:

Es un proceso mediante el cual se reduce el tamaño de partículas sólidas para un fin específico. Luego de la filtración y del secado, la harina se encuentra aglomerada formando tortas fácilmente destructibles. Con esta segunda molienda del proceso se obtiene el producto final, una harina de semilla de algodón de buena textura, lista para su uso como alimento apto para consumo humano.

Se utilizó el mismo equipo empleado en la primera molienda (Ver 5.3.1)

La molienda se llevó a cabo fácilmente, pues no demanda de mucha energía para pulverizar los aglomerados.

5.3.8. REGENERACION DEL SOLVENTE:

Se realiza esta etapa para recuperar el alcohol etílico agotado en la etapa de extracción del gosipol. La separación se basa en la diferencia que existe entre el punto de ebullición del alcohol (79°C) y el punto de fusión del Gosipol (184°C). Una evaporación permite separar el solvente (producto valioso) por ebullición de una solución de gosipol en él, para luego ser condensado y finalmente reciclado al proceso. Se utilizó un aparato de destilación simple de laboratorio cuya capacidad en el balón es de 2 lt. y provisto de termómetro, condensador, calentador eléctrico, etc. Se destiló la alimentación, controlando la temperatura de ebullición

(78.80°C) así como la densidad del solvente regenerado en el condensado de tal manera de alcanzar en el recuperado total una densidad similar a la del solvente fresco.

El cuadro 29 muestra los resultados obtenidos. Se verifica la obtención de un recuperado cuya densidad (0.849 gr/ml) es similar a la del solvente fresco utilizado en el proceso (etanol acuoso al 80% en volúmen) pudiendo de esta manera ser recirculado al proceso.

CUADRO Nro. 29
R E G E N E R A C I O N D E L S O L V E N T E

ALIMENTACION (Densidad = 0.858 gr/ml)

COMPONENTES	FRACCION MASA	FRACCION VOLUMEN	FRACCION MOLAR
ETANOL	0.724	0.770	0.508
AGUA	0.275	0.230	0.492
GOSIPOL	5×10E-4	----	----
TOTAL	1.000	1.000	1.000

RECUPERADO (Densidad = 0.849 gr/ml)

COMPONENTES	FRACCION MASA	FRACCION VOLUMEN	FRACCION MOLAR
ETANOL	0.759	0.800	0.552
AGUA	0.241	0.200	0.448
TOTAL	1.000	1.000	1.000

CONCENTRADO (Densidad = 0.978 gr/ml)

COMPONENTES	FRACCION MASA	FRACCION VOLUMEN	FRACCION MOLAR
ETANOL	0.608	0.650	0.379
AGUA	0.389	0.350	0.621
GOSIPOL	0.013	----	----
TOTAL	1.000	1.000	1.000

5.3.9. DISCUSION DE RESULTADOS:

5.3.9.1 MOLIENDA:

Se redujo el tamaño promedio de las partículas de pasta de algodón hasta un diámetro de partícula de aproximadamente 480 micras magnitud que puede ser aún menor si se utilizara un equipo de laboratorio y no uno casero como fue en esta oportunidad.

5.3.9.2 EVAPORACION DE HEXANO:

La pasta de algodón muestreada en la fábrica de aceite inmediatamente después del proceso de extracción contiene 3% de hexano y físicamente tiene la apariencia de un lodo. Debido a la evaporación natural, al ingresar a la etapa de evaporación de hexano ha perdido por lo menos la mitad del hexano inicial, y a 80°C durante 20 min. se consiguió evaporar todo el contenido de hexano e inclusive algo de agua.

5.3.9.3. TAMIZADO:

Se separó la fracción gruesa (desechada) conteniendo cáscara y fibra, de la fracción fina que contiene a la proteína con un rendimiento del 17% correspondiente a la malla número 170 y se satisface así el nivel de proteína (51%) y fibra cruda (4.30) luego de la extracción.

5.3.9.4 EXTRACCION DEL GOSIPOL:

Fue la etapa más detalladamente estudiada. Primero se desarrolló el método de cuantificación del contenido de gosipol empleando la espectrofotometría de absorción determinándose como 335 el coeficiente de extinción específico a 420 mm. de longitud de onda correspondiente al sistema.

Luego se verificó que el solvente a utilizar alcohol etílico al 80% en volúmen, utilizando una relación líquido/sólido de 5/1 durante 10 minutos, a 25°C arrojaba un producto que satisface las especificaciones internacionales.

5.3.9.5 FILTRACION:

Se filtró en un rango de presión de vacío de 5.5 a 9.5 psig. obteniéndose un torta de naturaleza compresible y de 56% de líquido retenido.

5.3.9.6 SECADO:

La evaporación total del alcohol sucedió a 85°C durante 17 minutos para una relación área/espesor de 35 cm. sin llegar a variar el contenido de proteína.

5.3.9.7. MOLIENDA:

En esta etapa se obtuvo la harina de semilla de algodón con sus características de producto final. Los alomerados son pulverizados utilizando un mínimo de energía.

5.3.9.8 REGENERACION DEL SOLVENTE:

Se destiló durante 50 minutos a un rango de temperatura de 78 a 80°C. La densidad del alcohol etílico fresco fue de 0.858 gr/ml. y la del regenerado de 0.849 gr/ml, por lo tanto el solvente agotado puede ser regenerado y reciclado al sistema recuperando el 80% del solvente original.

5.3.10. CARACTERISTICAS DEL PRODUCTO OBTENIDO:

El producto está formado por finas partículas fibrosas de color amarillo pálido, con un diámetro máximo de partícula de 0.090 mm. y diámetro medio de 0.070 mm. aproximadamente. La densidad de la harina es de 1.5 gr/cm³ y su porosidad definida como volumen de espacio vacío respecto a volumen total es de 0.7

El cuadro 30 muestra la distribución del tamaño de partícula en el producto según análisis granulométrico de laboratorio. El cuadro 31 permite observar las principales características químicas de la harina de semilla de algodón obtenida como resultado del presente estudio, estas características corresponden a una muestra de pasta de algodón con contenido inicial de gosipol libre de 0.112%, luego de tamizada se llegó a 0.137% de gosipol libre y luego de proceso evaluado en este trabajo se consigue reducir ese contenido de gosipol libre a 0.054%

CUADRO Nro. 30

DISTRIBUCION DEL TAMAÑO DE PARTICULA
EN EL PRODUCTO

DIAMETRO (mm) DE PARTICULA MENOR DE	PORCENTAJE PESO
0.090	100
0.080	83
0.074	62
0.053	18
0.038	3

CUADRO Nro. 31

CARACTERISTICAS QUIMICAS DEL PRODUCTO *
(% PESO)

! HUMEDAD	!	10.000	!
! GRASA	!	2.100	!
! PROTEINA	!	51.000	!
! FIBRA	!	4.300	!
! GOSIPOL LIBRE	!	0.054	!
! EXTRACTO LIBRE DE NITROGENO	!	32.546	!
! CENIZAS	!		!

* Laboratorio de Nutrición de la U.N.A.
Ver Apéndice 2

CAPITULO VI

DISEÑO DE LA PLANTA PILOTO

6.1 CAPACIDAD DE LA PLANTA PILOTO:

El tamaño de una planta o su nivel de producción se determina en función de la demanda del producto que ha de satisfacer. La planta piloto proyectada en el presente trabajo tendrá una vida útil de 10 años luego de los cuales, en fase de dar buenos resultados, esta planta formará parte de un complejo industrial.

Su objetivo principal, es el incrementar la dosis proteica infantil en programas de apoyo alimentario con caracter social, como es el PAE. Las evaluaciones nutricionales se haran en forma permanente, a través de controles a los niños beneficiarios.

Cabe la posibilidad de preparar varios tipos de formulaciones diferentes a los considerados, así como de acuerdo a los resultados obtenidos incrementar el nivel de sustitución de la harina de algodón por la de trigo.

En el año 2000 (ver capítulo 4) la planta trabajará a su

máxima capacidad produciendo 1,266 Kg. por turno y es este volumen de producción el que determina el tamaño de la planta piloto fijado en 1,300 Kg. por turno de 8 horas, trabajando un turno por día.

Es importante señalar que el primer año de funcionamiento, la planta piloto trabajará al 80% de su capacidad instalada, produciendo 1014 Kg. por turno, ello permite la mayor flexibilidad del proceso para ajustar, de ser necesario, los parámetros y variables del proceso que sean convenientes.

6.2 BALANCE DE MATERIA:

La fig. 15 y cuadro 32 muestran el esquema general del balance de masa que permite conocer la composición másica de todas las corrientes que conforman la planta piloto.

Se puede observar en el esquema que a lo largo de todo el proceso el componente "harina sin gosipol" (HSG) se mantiene constante en 146.6 kg/lote y es la base para determinar la participación de los otros componentes. En un turno de ocho horas se realizan ocho lotes a partir de 420 kg/lote de pasta de algodón para producir 163.0 Kg./lote de alimento. Esto representa un rendimiento de pasta de 40% determinado básicamente por la eficiencia de la etapa de molienda-tamizado (40%).

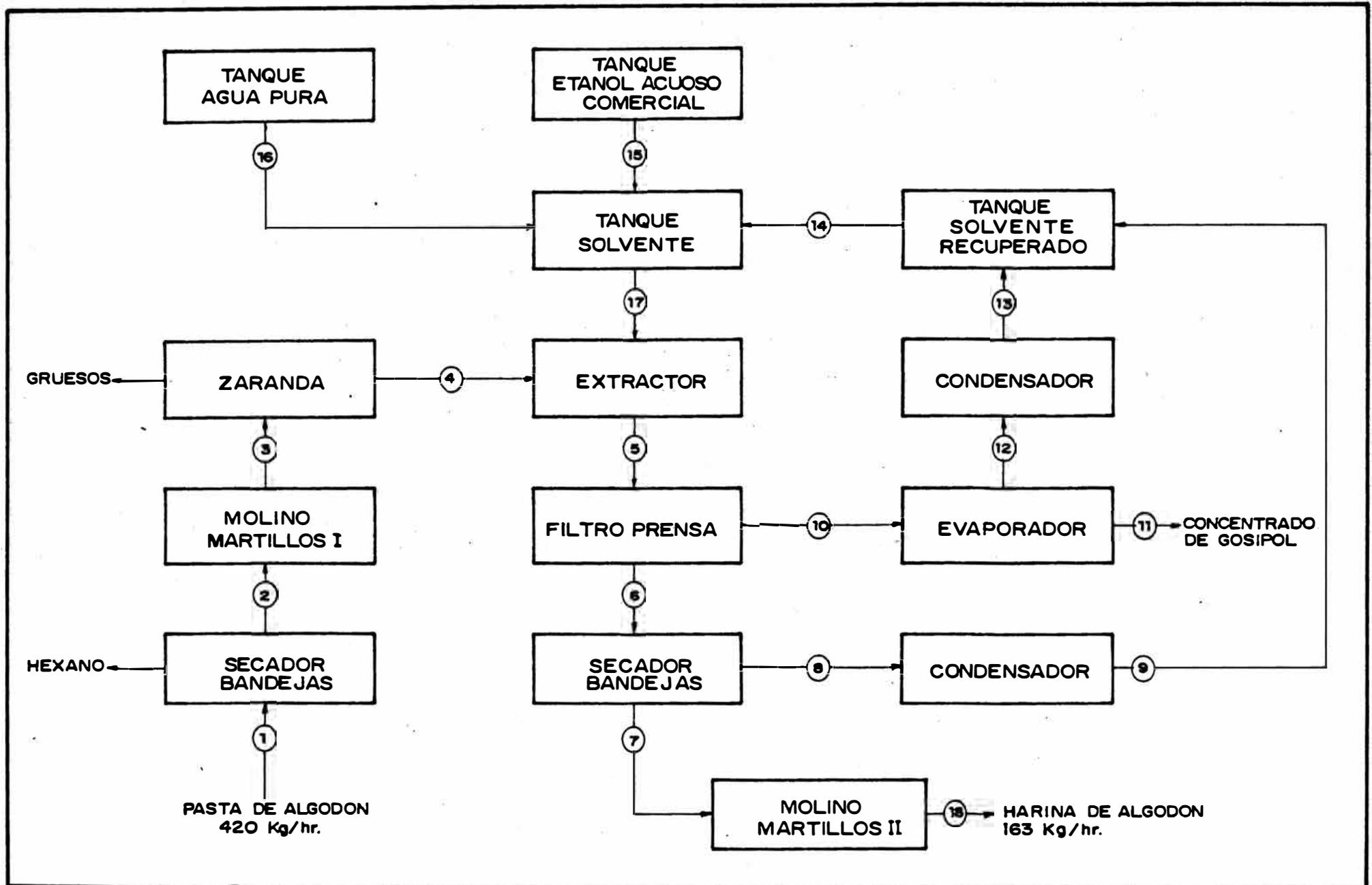
Se puede apreciar en la fig. 16 y cuadro 33 la importancia que tiene la posibilidad de recuperar el solvente

agotado tanto en la etapa de evaporación, donde se regenera el 63% del etanol, como en la etapa de secado, en la cual se recupera el 25%, lo cual totaliza el 88% de recuperación en base a etanol puro que en un día de trabajo representa 6,181 litros.

Por último, la fig. 17 y cuadro 34 muestran el balance global de masa en el proceso pudiéndose apreciar las corrientes de entrada y de salida al proceso.

FIGURA 15

DIAGRAMA DE FLUJOS



CUADRO Nro. 32
BALANCE DE MASA

LINEA DE FLUJO	% PESO DE COMPONENTES							TOTAL
	MSG	GOSIPOL	AGUA	ALCOHOL	HEXANO	GRUESOS		
1	34.90	0.05	3.86	-----	3.00	58.21	100.00	
2	35.97	0.05	3.97	-----	-----	60.00	100.00	
3	35.97	0.05	3.97	-----	-----	60.00	100.00	
4	89.94	0.12	9.94	-----	-----	-----	100.00	
5	14.99	0.02	21.70	63.29	-----	-----	100.00	
6	43.97	0.03	10.44	45.53	-----	-----	100.00	
7	89.94	0.06	10.00	-----	-----	-----	100.00	
8	-----	-----	10.92	89.08	-----	-----	100.00	
9	-----	-----	10.92	89.08	-----	-----	100.00	
10	-----	0.01	27.52	72.47	-----	-----	100.00	
11	-----	0.07	40.87	59.06	-----	-----	100.00	
12	-----	-----	24.00	76.00	-----	-----	100.00	
13	-----	-----	24.00	76.00	-----	-----	100.00	
14	-----	-----	20.72	79.00	-----	-----	100.00	
15	-----	-----	7.48	92.52	-----	-----	100.00	
16	-----	-----	100.00	-----	-----	-----	100.00	
17	-----	-----	24.00	76.00	-----	-----	100.00	
18	89.94	0.06	10.00	-----	-----	-----	100.00	

MSG: Harina sin incluir contenido de Gosipol

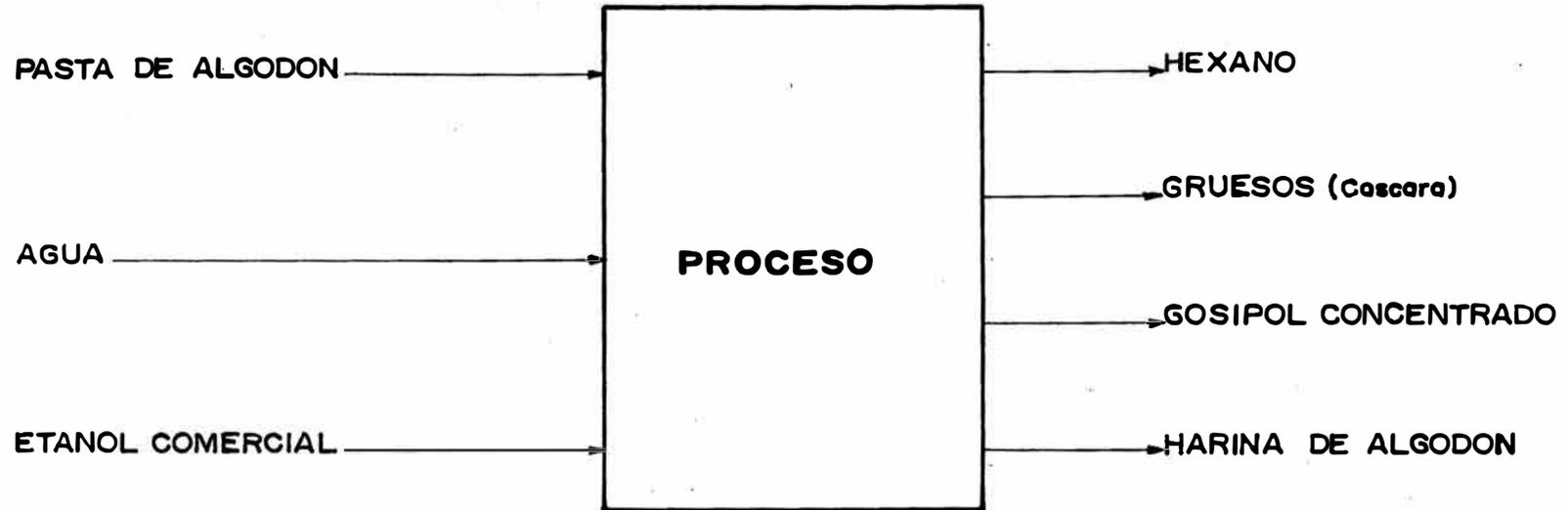
CUADRO Nro. 33

RECUPERACION DE SOLVENTE

LINEA DE FLUJO	RECUPERACION ALCOHOL (%)
5	100.00
6	24.52
8	24.52
9	24.52
10	75.48
11	12.80
12	62.68
13	62.68
14	87.20
15	12.80
17	100.00

FIGURA 17

CORRIENTES DE ENTRADA Y SALIDA DEL PROCESO



CUADRO Nro. 34

BALANCE DE MASA GLOBAL

ENTRADA		SALIDA	
COMPONENTE	MASA (KG)	COMPONENTE	MASA (KG)
PASTA DE ALGODON	3360	HEXANO	101
AGUA	390	GRUESOS	1956
ETANOL COMERCIAL	684	GOSIPOL CONCENTRADO	1073
		HARINA DE ALGODON	1304
TOTAL	4434	TOTAL	4434

NOTA: BASE DE UN DIA DE 8 HORAS DE PROCESO

6.3 DESCRIPCION DEL PROCESO:

El proceso para la obtención de harina de semilla de algodón, cuyo esquema se muestra en la fig. 18 puede describirse en dos etapas. La primera abarca desde la recepción de materia prima (pasta), evaporación de hexano hasta el acondicionamiento previo de la molienda. Esta primera etapa es efectuada por un operador y se realiza en un turno previo a la segunda etapa. Esta segunda etapa está a cargo de dos operadores cuyas funciones se pueden apreciar en la fig. 19 y están coordinadas de tal manera que permiten obtener 163 kg. por cada lote de una hora que consiste desde la dosificación de pasta por lote, extracción, regeneración de solvente y obtención del alimento.

Dos veces por semana se recibe la pasta de semilla de algodón en lotes de 11,625 Kg. cada uno. El silo de recepción tiene una capacidad de 8,265 Kg. y los 3,360 Kg. restantes se colocan directamente en el pre-evaporador de hexano que es simplemente un recipiente lo suficientemente amplio como para que la pasta a ser procesada al día siguiente ya haya perdido gran cantidad de hexano pues es altamente volátil a temperatura ambiente.

Diariamente, el operador evapora en el secador de bandejas todo el hexano a 85°C de temperatura en varios lotes totalizando 3,360 Kg. de pasta sin hexano que se almacenan en el depósito de almacenamiento diario de

pasta los cuales están listos para ser procesados en el turno del día siguiente. Previamente el operador extrae los 3,360 Kg. de pasta del silo de recepción y los coloca en el pre-evaporador maximizando el área de exposición al medio ambiente para facilitar la evaporación.

En el turno del día siguiente el proceso comienza cuando el elevador de cangilones transporta a razón de 10.2 Kg./min un total de 407 Kg. por lote desde el depósito de almacenamiento diario hacia la tolva dosificadora automática desde la cual, por gravedad, se alimenta al primer molino de martillos cuya descarga alimenta la zaranda vibratoria de la cual se obtienen 163 Kg./lote de harina gosipol que ingresan al tanque de extracción que ya contiene los 960 lt. (282.4 gal) del solvente etanol acuoso al 80% en volumen (76% en peso).

La extracción en el tanque agitado dura 30 minutos (incluyendo acondicionamiento del equipo) al cabo de los cuales se abre la válvula de descarga y se acciona la bomba centrífuga que dosifica la suspensión hacia uno de los dos filtros prensa dispuestos en paralelo.

El líquido filtrado alimenta el recipiente pre-evaporador de la columna de evaporación donde luego se obtiene por los topes de alcohol etílico de 80% el volumen. Ese alcohol condensado se dirige por gravedad al tanque de condensado en el cual se junta con el condensado proveniente del secado de la torta.

FIGURA 18a

ESQUEMA DEL PROCESO

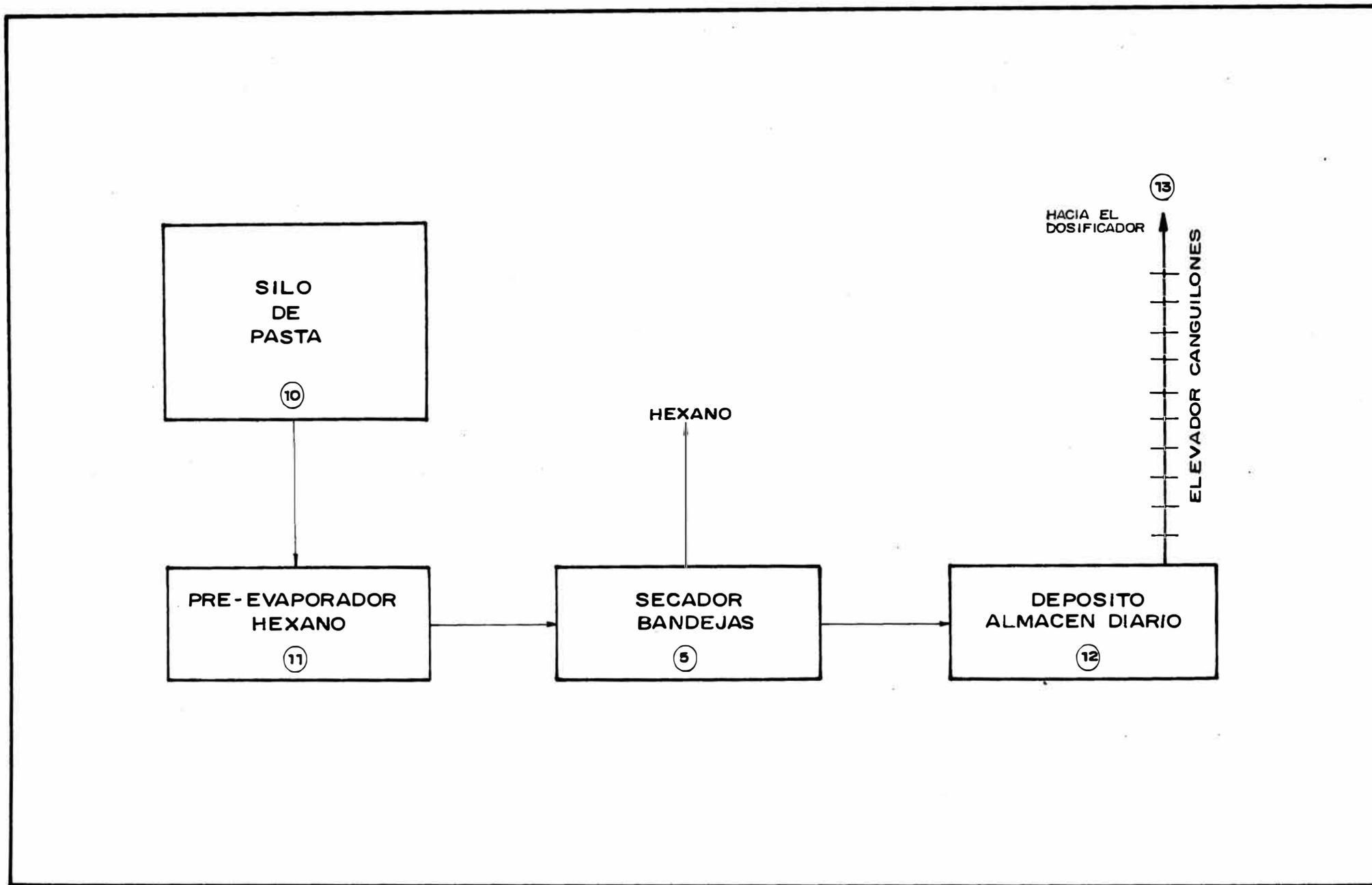
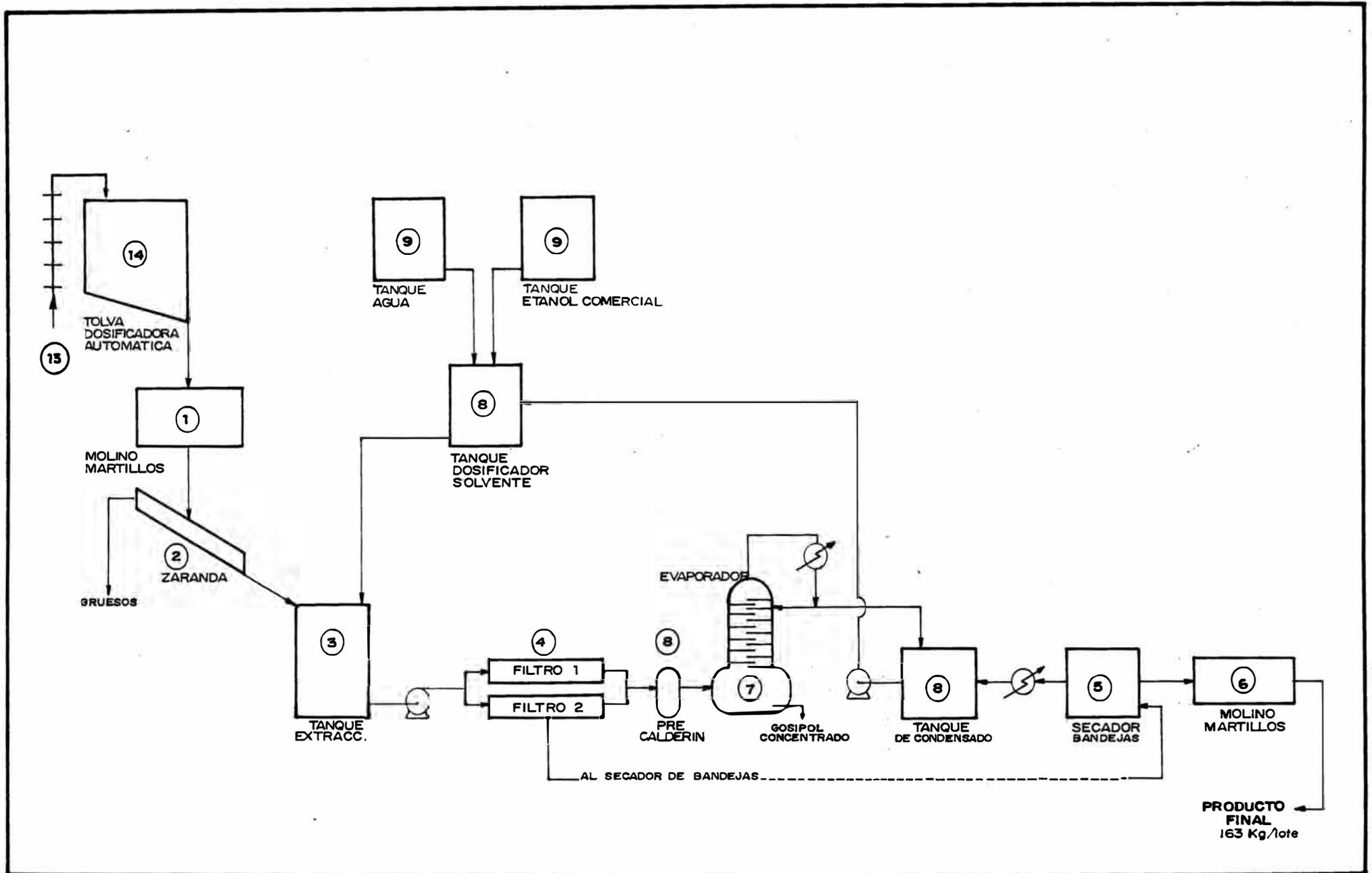


FIGURA 18b

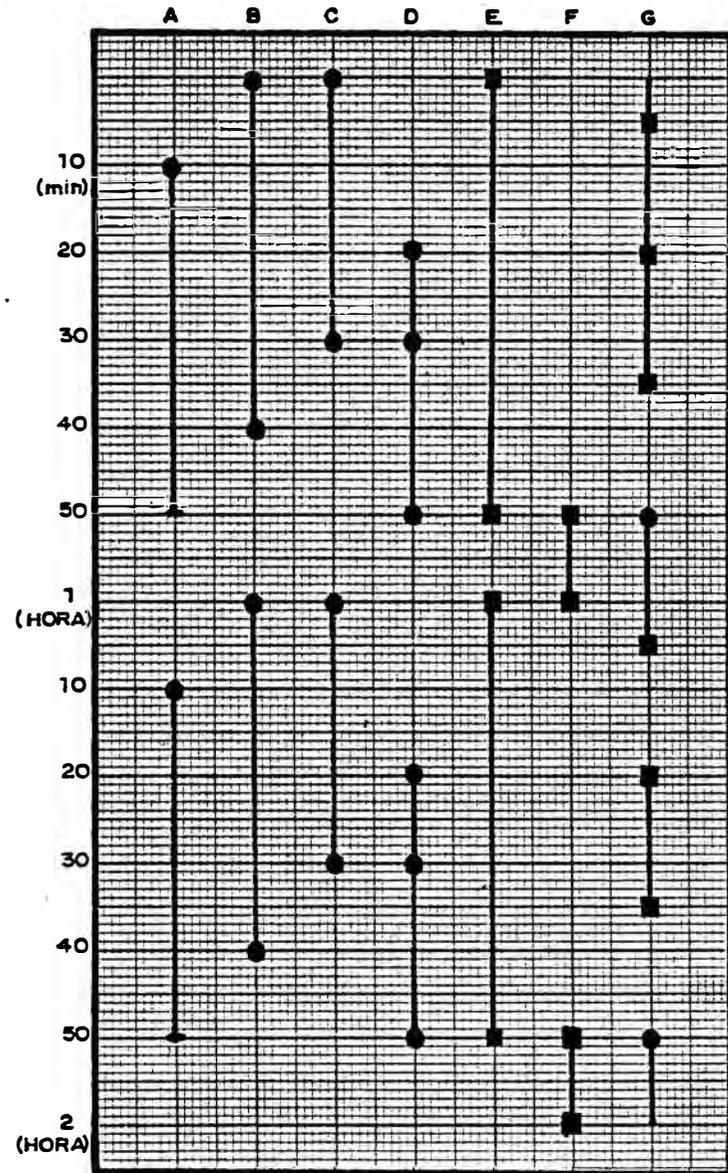
ESQUEMA DEL PROCESO



FUNCIONES DE LOS OPERADORES DURANTE EL PROCESO
(TIEMPOS APROXIMADOS)

- A.- DOSIFICACION PASTA (407.5 Kg) ELEVADOR CANGUILONES (40 min).
- B.- MOLIENDA I Y TAMIZADO (40 min).
- C.- EXTRACCION (30 min).
- D.- FILTRACION Y SECADO (30 min).
- E.- REGENERACION (50 min).
- F.- ACONDICIONAMIENTO SOLVENTE REGENERADO (10 min).
- G.- MOLIENDA II Y ENSACADO (45 min).

OPERADOR II ■
OPERADOR I ●



Luego de la filtración se obtiene la torta húmeda con 56% de líquido retenido. El operador evacua la torta del filtro, pone operativo el otro filtro y transporta la torta al secador de bandejas en el cual se procesan 333.4 Kg. por lote en 30 minutos. El alcohol y agua evaporados se condensan y llegan al tanque de condensado.

Los 806.4 lt. por lote de condensado se bombean al tanque dosificador de solvente donde también se agrega agua pura y etanol comercial en cantidades tales de obtener 960 lt. de solvente de composición 80% en volumen (76% en peso) y es utilizado nuevamente en el proceso de extracción cerrando así el lazo de recirculación de solvente regenerado.

Luego de transcurrido los 30 minutos de secado de la torta, se extrae los aglomerados de 163 Kg./lote de harina ya purificada y se alimenta al molino de martillo en el que se obtiene 163 Kg. por lote de harina de semilla de algodón apta para consumo humano.

6.4 DISEÑO Y SELECCION DE EQUIPOS:

De acuerdo al proceso descrito anteriormente, el cuadro 35 muestra la relación de equipos que conforman la planta piloto para la obtención de harina de semilla de algodón (Ver figura 15 y figura 18). En esta sección se estudian las características básicas de diseño de los equipos.

C U A D R O N^o. 35

E Q U I P O S D E L A P L A N T A P I L O T O

ITEM	EQUIPO	CAPACIDAD TEORICA	CANTIDAD
1	MOLINO DE MARTILLOS	408 Kg/Hr.	1
2	ZARANDA VIBRATORIA	408 Kg/Hr.	1
3	TANQUE DE EXTRACCION	1,069 Lt.	1
4	FILTRO PRENSA CON BOMBA DE ALIMENTACION	978 Kg/Hr.	2
5	SECADOR DE BANDEJAS CON CONDENSADOR	333 Kg/Hr.	1
6	MOLINO DE MARTILLOS	163 Kg/Hr.	1
7	EVAPORADOR	759 Lt/Hr.	1
8	TANQUES PARA AGUA-ALCOHOL	960 Lt.	3
9	TANQUES PARA AGUA-ALCOHOL	5,040 Lt.	2
10	BOMBA PARA CONDENSADO	806 Lt/Hr.	1
11	SILO RECEPTOR DE PASTA	9.5 m	1
12	PRE-EVAPORADOR DE HEXANO	4 m	1
13	SILO DE ALMACEN DE PASTA	4 m	1
14	ELEVADOR DE CANGILONES	11 Kg/min.	1
15	TOLVA DOSIFICADA AUTOMATICA	408 Kg/Hr.	1

6.4.1 MOLINO I

Este equipo se utiliza para la operación física de reducir el tamaño promedio de las partículas de la pasta de algodón (materia prima) para luego, con la zaranda, remover el contenido de fibra, cáscara y gruesos. Se debe tratar de obtener un tamaño de partícula normalmente fina, sin propiciar la molienda de la cáscara.

El grado de molienda debe ser tal que se garantice que la recuperación en la zaranda cumpla las especificaciones en fibra cruda y proteína total.

Las maquinarias de molienda que trabajan por impacto conseguiran fragmentar y pulverizar la pasta pero sin llegar a reducir apreciablemente el tamaño de las partículas de cáscara, que pueden ser extraídas mediante cribadura, junto con otros residuos gruesos (12).

El molino que trabaja por acción de corte y trituración (como el molino de disco) consume más energía reduciendo la capacidad de malturación en cuanto trata de moler cáscara que no debe ser molida ya que estas tienen que eliminarse en la siguiente etapa (12).

Equipos de molienda de la firma Entoleter, que desintegran el material por impacto, en una serie de prue

bas efectuadas en laboratorio, alcanzaron finuras muy próximas a la malla 200 U.S. standard con un 40-50% de recuperación en la etapa de cribado (12).

En un molino de martillos (impacto) la finura del producto se regula cambiando la velocidad del rotor, la velocidad de alimentación o la abertura entre los martillos, así como variando la cantidad y el tipo de martillos utilizados y el tamaño de las aberturas de descarga (24).

El equipo seleccionado debe poseer adicionalmente una turbina para la aspiración del producto molido y lo envía a un ciclón de decantación donde se separa el aire del producto molido.

Las especificaciones del equipo seleccionado son:

Tipo	Molino de martillos.
Capacidad	600 Kg./hr.
Número de martillos	: 12
Area de la criba	: 225 pulg ² .
Diámetro reformaciones	: 0.5 mm.
Diámetro del Rotor	: 13 pulg.
Motor de acondicionamiento:	2000 RPM, 4.8 HP (220 volt, 60 Hz).
Material de construcción:	acero inoxidable 304 en contacto con el producto.

6.4.2 ZARANDA:

La zaranda tiene el objeto de reducir el contenido de

fibra, incrementando a la par el nivel proteico, dichas variables son las principales de la operación de tamizado y se regulan para cumplir las especificaciones internacionales para la harina de semilla de algodón.

La fracción fina, producto valioso de la pasta es separada de la fracción gruesa (gruesos, cáscara, fibra) utilizando un tamiz (22).

Se prefiere un circuito cerrado, con reciclaje, cuando se tratan materiales homogéneos, pero con mezclas de harina de semilla de algodón y cáscaras, se forma una masa que sobrecargará todo el sistema (12).

El contenido de aceite en la pasta tendrá relación directa con la capacidad de una operación de cribadura fina, con contenido de aceite entre 3 y 6%, se obtienen recuperaciones bajas de la fracción fina (12), con el nivel de aceite que tiene la materia prima utilizada en el presente trabajo 2.1%, no se tiene problemas de éste tipo.

La relación de alimentación a recuperación se analizó en un equipo piloto por diferir las condiciones de operación a un equipo de laboratorio. Se procesaron 20 Kg. de pasta de algodón en un molino de martillos como el que se especifica en 6.4.1 cedido por la Compañía Peruvian Trading y luego se tamizó en una zaranda vibratoria de vaivén de la firma SACEM, con los siguientes resultados:

Alimentación : 20 Kg.

Malla : 170 (88 u).

Fracción fina : 8.2 Kg.
Gruesos : 11.8 kg.
Pasantes/Alim. : 0.41
Tiempo : 20 min

La recuperación normalmente en este tipo de equipos es el 40%, que es superior al obtenido en el equipo de laboratorio (17%).

Las especificaciones de la zaranda seleccionada son:

Tipo : Zaranda Vibratoria.
Capacidad : 550 Kg. hr.
Número de mesas : 1
Dimensiones de la mesa : 3 x 3 pies.
Malla : 170 U.S. standard.
Motor de accionamiento : 2200 RPM, 2.4 HP (220 volt. 60 Hz).
Material de construcción: Partes en contacto con el producto en acero comercial forrado con fibra de vidrio, Mallas en acero inoxidable.

6.4.3. EXTRACTOR:

En 5.3.4.2 se han establecido las características geométricas que debe tener el tanque de extracción del gosisol. En esta parte nos limitamos a definir el tamaño del tanque de extracción en base a los cálculos de escalamiento que se detallan en el Apendice 7.

Las especificaciones del equipo seleccionado son:

Volumen de la suspensión a tratar: 1,069 lt.

Peso de la suspensión a tratar : 978 Kg.

Tipo Tanque Cilindrico

Altura : 150 cm.

Diámetro : 106 cm.

Mamparas : Cuatro mamparas de 9.5 cm. x 140 cm. con portamamparas.

Impulsor : Tipo turbina de hojas planas de disco de 33 cm. Eje 2"D

Motor de Accionamiento : 1200 RPM, 2.4HP (220Volt, 60 Mz) con reducción de 3 a 1.

Material de construcción: Acero comercial forrado interiormente co fibra de vidrio.

6.4.4. FILTRO:

El desarrollo en la teoría de la filtración no ha llegado a la etapa en la cual se pueda diseñar con filtro directamente a partir de ecuaciones fundamentales, como se hace en el caso de otros equipos. El diseño definitivo del filtro se hace por el personal técnico de las compañías que fabrican los equipos de filtración. (29)

Las constantes de diseño se deben determinar en un filtro de laboratorio o de planta piloto y sirven para aplicarlos a un filtro de superficie mucho mayor que la superficie experimental para reducir los

errores que introduce el aumento de escala, las constantes deben obtenerse experimentalmente con la misma pasta, el mismo medio filtrante y la misma caída de presión que existirá en el filtro real. (24)

Las pruebas que se deben hacer para determinar datos exactos requieren equipos relativamente simples y de pequeña escala y deben ser del mismo tipo de filtro que se está tomando en consideración. (24)

El filtro a seleccionar sirve para separar la harina purificada (con bajo contenido de gosipol) del extracto obtenido en el tanque extractor.

El elegir entre un filtro a presión o vacío depende básicamente de la velocidad, efectividad y consumo energético necesario para producir la separación entre el sólido y el líquido (31). Normalmente con los filtros a presión se genera un mayor gradiente de presión que incrementa la velocidad de filtración.

Determinar si es conveniente utilizar un filtro continuo o por etapas depende de varios aspectos. Una filtración continua es conveniente cuando la velocidad de separación es rápida a vacío. Para niveles de producción bajos, incluyendo niveles de planta piloto, resulta difícil justificar una operación continua. Si el proceso total no es continuo en todas sus etapas permite utilizar un equipo por lotes. (32)

Los filtros batch a presión más utilizados son los del tipo filtro prensa de placas y marcos.

De acuerdo a los cálculos efectuados en el Apéndice B el análisis de filtración debe ser de 123 pie² en total.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo : Filtro Prensa de Placas y Marcos
con sistema de alimentación.

Area de filtración: 123 pie²

Flujo : 20 gal/min.

Medio Filtrante Algodón de 5 micras de porosidad.

Material de construcción: Acero inoxidable 304 en
contacto con el producto.

6.4.5. SECADOR:

Este equipo se utiliza para dos etapas, el desolventizado total de hexano en la pasta proveniente de la fábrica de aceite, y la evaporación total del alcohol y parcial del agua contenida en el solvente remanente luego de la extracción, hasta reducir la humedad al 10% a fin de cumplir las especificaciones internacionales de calidad. Se orienta la selección al segundo caso pues el contenido de hexano en el primer caso es mínimo.

El factor decisivo en la selección de un secador continuo o discontinuo es la escala de operación. El

secado por lotes es una operación relativamente cara, en consecuencia se limita a operaciones en pequeña escala, a plantas piloto, a trabajos de investigación y para secar materiales valiosos cuyo costo total será poco alterado por el costo agregado en la operación de secado. (23)

El método de transmisión de calor a los sólidos húmedos puede ser en forma directa o indirecta. Los secadores indirectos son apropiados para desecar a presiones reducidas y en atmósferas inertes, para poder recuperar solventes valiosos (generalmente solventes orgánicos, caros o venenosos), evitar la formación de mezclas explosivas o la oxidación de materiales que se descomponen con facilidad, son caros de fabricar y operar, justificándose su utilidad para secar materiales valiosos a bajas temperaturas. (23)

(24)

Dentro de los secadores por lotes e indirectos utilizaremos el secador de bandejas por ser el equipo más sencillo en una unidad intermitente para pequeñas capacidades. Las condiciones de secado se controlan en forma sencilla por lo cual este tipo de secador está particularmente indicado para pruebas en planta piloto. (27)

La recuperación de disolventes tóxicos o valiosos se logra con facilidad sin correr el peligro de pasar

por una forma exposiva. (24)

Con frecuencia los secadores de bandeja utilizan calefacción indirecta cuando el material está en forma de trozos o tortas. (22)

En cuando al tipo de calentamiento, se puede utilizar la electricidad, gas o vapor. Para poder conservar la energía y también el control de la humedad en el aire, con el fin de que se obtenga el mejor producto, es conveniente recircular parte del aire seco. (27)

Se selecciona gas, pues se emplea un quemador con combustible cuando se tratan capacidades superiores a los 150 Kg/hr, de otro modo es más económico utilizar electricidad. Utilizar vapor resulta más costoso que emplear combustible. Los equipos de combustión de encendido indirecto son aquellos en los que la llama y los productos de combustión se separan de todo contacto con el material principal en el proceso, mediante paredes metálicas o refractorias. (24).

Las especificaciones del equipo seleccionado en base a los cálculos del apendice 9 son:

Tipo:

Secador de bandejas con sistema de quemador de combustible para calentamiento de aire, ventilador y condensador de solvente evaporado. Incluye termostato para control de temperatura de 85°C.

Dimensiones de la cámara:

0.75 x 1.20 x 5 mt.

Dimensiones de los carros y porta bandeja:

24 x 24 pul x 1.20 m.

Ventilador de circulación aire para:

8000 pie³/min.

Notar del ventilador:

1200 RPM, 2.4HP (220 volt, 60 Hz)

Bandejas:

80 bandejas, 24" x 24" x 1.5 cm. Acero Inox. 304.

Calor disipado en el condensador:

85,521 kcal/hr.

6.4.6. MOLINO II:

Este equipo se usa para moler los aglomerados de harina luego del secado. En muchos casos, para moler tortas comprimidas, se emplean molinos de martillos, sobre todo cuando no se requiere de una reducción muy fina. (24)

Existen experiencias previas en el empleo de molino de martillos al desintegrar tortas de harina de semilla de algodón de diferentes capacidades y las correspondientes requerimientos de potencia del motor. (24)

La descarga por criba o rejilla de un molino de martillos sirve como clasificador interno, a fin de retener el material de tamaño excesivo dentro de la zona de molienda. (24)

Se utiliza una mayor variedad de materiales suaves, la materia prima que se alimenta debe ser de tipo no abrasivo y con dureza de 1.5 o menos. (24)

Este tipo de molino consume menos energía que la molienda practicada en un molino de frotamiento o fricción por discos además de moler muy fino. (12)

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Molino de martillos

Capacidad: 250 Kg/hr

Número de Martillos: 9

Area de Criba: 120 pulg²

Diámetro perforaciones: 0.5 mm.

Diámetro del rotar: 13 pulg.

Motor de accionamiento: 2200 RPM, 2.4HP, (220 vol, 60 Hz)

Material de Construcción: Acero inoxidable 304 en contacto con el producto.

6.4.7. EVAPORADOR:

En este equipo se recupera parcialmente el alcohol etílico utilizado como solvente de extracción. Esta separación es viable gracias a la diferencia de los puntos de ebullición y fusión del etanol y de gosisol respectivamente.

Se pretende evaporar y condensar el solvente (etanol acuoso) a fin de poderlo reciclar al proceso, a partir del extracto proveniente de la filtración.

Generalmente, en un equipo de evaporación el líquido concentrado es el producto valioso mientras el vapor se condensa y despreceia. Sin embargo, en algun caso concreto puede ocurrir lo contrario. (22)

Para el proceso en estudio, la solución concentrada es la despreciabile, mientras el vapor condensado es el prodcuto valioso. Los cálculos para el diseño se detallan en el Apendice 10.

Las especificaciones del equipo seleccionado son:

Tipo: Evaporador vertical de tubos, con calentamiento indirecto y quemador de petróleo Nro. 2.

Calor total suministrado: 741 Kw.

Area: 10 m²

6.4.8. OTROS EQUIPOS:

6.4.8.1. TANQUES PARA AGUA/ALCOHOL:

Se necesitan cinco tanques para contener distintas composiciones de mezclas alcohol etilico-agua. Para uniformizar tamaños se seleccionaron tres tanques de un tamaño y los periféricos de mayor capacidad. (Ver figura 18). Actualmente se están empleando materiales sintéticos que están reemplazando el uso de Acero Inoxidable para el almacenamiento de fluidos sanitarios.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Tanque cilíndrico

Capacidad: 260 galones (3 tanques), 1580 gl (2 tanques).

Material: Estructura de acero comercial forrado internamente con fibra de vidrio.

6.4.8.2. BOMBA PARA CONDENSADO:

El tanque que recolecta las fracciones de condensado se encuentra a nivel del suelo y es necesario emplear una bomba para elevar el fluido hacia el tanque dosificador de solvente (Ver figura 18).

La bomba seleccionada debe ser un equipo sanitario compatible con alcohol etílico acuoso.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Bomba centrífuga sanitaria

Caudal: 50 GPM

Altura de Descarga : 10 mt

Material: Carcasa e impulsor en fibra de vidrio reforzada con poliéster valox.

Motor: 3600 RPM, 1.5 HP (220v, 60Hz)

6.4.8.3. SILO RECEPTOR:

El silo receptor de la materia prima debe ser de tal tamaño que permita almacenar toda la pasta necesaria para utilizarla en una semana.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Silo vertical con entrada del producto en la parte superior.

Capacidad: 9.5 m³

Dimensiones: 5'D x 20" altura

Material: Acero comercial con revestimiento interior de fibra de vidrio.

6.4.8.4. PRE - EVAPORADOR DE HEXANO:

Este depósito permite una evaporación natural del hexano en la pasta para disminuir el tiempo de remoción de hexano en el secador.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Depósito rectangular de baja altura.

Capacidad: 4 m³

Dimensiones: 14' largo x 3'6" x 3'6"

Material: Acero comercial con revestimiento interior de fibra de vidrio.

6.4.8.5. SILO DE ALMACEN DE PASTA:

En este equipo se almacena la pasta de algodón sin hexano y alimenta al elevador.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Depósito rectangular con tapa en parte superior.

Capacidad: 4 m³

Dimensiones: 14' largo x 3'6" x 3'6"

Material: Acero comercial con revestimiento interior de fibra de vidrio.

6.4.8.6. ELEVADOR DE CANGILONES:

El elevador de cangilones alimenta la tolva dosificadora.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Elevador de Cangilones simple con tolva de carga inferior.

Velocidad de faja: 2.8 mt/seg

Distancia entre centros: 8.5 cm.

Motor de accionamiento: 1800 RPM, 1.2 HP (220v, 60Hz)

Material: Capachos en Acero Inoxidable 304.

6.4.8.7. TOLVA DOSIFICADORA AUTOMATICA:

La tolva dosificadora se va llenando de pasta por el elevador hasta que contiene 420 Kg. momento en el cual descarga el producto automáticamente.

Especificaciones del equipo seleccionado:

Tipo: Tolva dosificadora tipo Balanza Volumétrica.

Capacidad: 410 Kg.

Dimensiones: 75 cm. 0 x 1.20 m altura.

Motor de la exclusiva: 0.6 HP (220v, 60 Hz)

Material: Acero inoxidable 304 en contacto con el producto.

6.5 LOCALIZACION DE LA PLANTA PILOTO:

La proyectada planta piloto para la obtención de harina de semilla de algodón no tiene fines de lucro, más aún esta planta debe cumplir una labor de asistencia social

siendo los directos beneficiarios niños en edad pre-escolar y escolar, motivo por el cual se puede pensar en localizarla en alguna entidad pública existente.

La fábrica de aceites Lima de la compañía Perú - Pacífico produce diariamente 100,000 Kg. de pasta que actualmente se destina en su totalidad al consumo animal. La planta piloto demanda el 3.4% de su producción y como la fábrica de aceites está situada a 1.5 Km. de la Universidad Nacional de Ingeniería nos aparece un acierto localizar la planta piloto en ese centro de estudios con el siguiente beneficio adicional: Durante los meses de verano no es temporada de cosecha de algodón, esto permite utilizar las instalaciones de la planta piloto y/o sus equipos por la Universidad durante tres meses apoyando así trabajos de investigación.

Cabe la posibilidad también, que otra entidad pública puede brindar sus instalaciones a fin de implementar dicha planta piloto, con fines de apoyo social.

CAPITULO VII

ESTIMACION DEL COSTO DEL PRODUCTO

7.1 COSTO DE LA PLANTA PILOTO:

Para determinar el costo estimado de la planta piloto se tuvo en cuenta la situación actual de la política de importaciones en el país que escapa a los patrones tradicionales de estimación por índices de costos.

Peters y Timmerhaus (29) señalan que las cotizaciones recabadas directamente de posibles proveedores son más exactos que los precios que se publican en la bibliografía disponible.

Se decidió entonces, solicitar cotizaciones de los precios de los equipos a fabricantes de equipos locales (Ver Apendice 11), en base a las especificaciones determinadas en la parte correspondiente al diseño y selección de equipos, para conocer el costo de equipo adquirido.

Los costos directos se estiman como un porcentaje del costo por equipo adquirido y entregado. Los costos

indirectos de Ingeniería, Supervisión y otros gastos de construcción como salario de obreros, impuestos, etc., se consideran despreciables frente a los costos directos, particularmente para esta planta piloto.

7.1.1. COSTO DE EQUIPO:

El Cuadro 36 muestra el costo de los principales equipos según las cotizaciones registradas en el Apéndice 11, que hacen un total de 126,351 dólares (Octubre 1,990).

Por tratarse de la producción de un alimento para seres humanos, los materiales de los equipos que están en contacto con él son sanitarios. En el Perú la relación de precios de equipos y accesorios por materiales acero inoxidable-fierro comercial es de 10 a 1 como promedio, esto significa que si esta planta piloto no se usara para alimento el costo de los equipos sería de aproximadamente 15,000 dólares.

7.1.2. COSTO DE INSTALACION:

La instalación de un equipo adquirido requiere mano de obra, fundiciones, soportes, plataformas, gastos de construcción y otros factores directamente relacionados con los mismos (29). En el Apéndice 12 figuran los costos de instalación de los principales equipos, expresados como porcentajes del costo del equipo adquirido para varios tipos de equipo. A partir de esta información se estima los costos de instalación de los equipos adquiridos que conducen a un total de 25,000 dólares.

C U A D R O Nro. 36

C O S T O D E L O S E Q U I P O S

ITEM	EQUIPO	CANTIDAD	PRECIO UNIT. US\$
1	MOLINO DE MARTILLOS	1	6,000
2	ZARANDA VIBRATORIA	1	8,000
3	TANQUE DE EXTRACCION	1	7,900
4	FILTRO PRENSA CON BOMBA DE ALIMENTACION	2	9,500
5	SECADOR DE BANDEJAS CON CONDENSADOR	1	25,000
6	MOLINO DE MARTILLOS	1	4,000
7	EVAPORADOR	1	19,000
8	TANQUES PARA AGUA-ALCOHOL	3	335
9	TANQUES PARA AGUA-ALCOHOL	2	1,677
10	BOMBA PARA CONDENSADO	1	871
11	SILO RECEPTOR DE PASTA	1	8,800
12	PRE-EVAPORADOR DE HEXANO	1	2,720
13	SILO DE ALMACEN DE PASTA	1	3,200
14	ELEVADOR DE CANGILONES	1	14,000
15	TOLVA DOSIFICADA AUTOMATICA	1	3,500
C O S T O T O T A L ...			126,351

7.1.3. COSTO DE INSTRUMENTACION Y CONTROLES:

El costo de los instrumentos, la mano de obra para su instalación y los gastos para los equipos y materiales auxiliares constituyen la mayor parte de las inversiones de capital requeridas para la instrumentación. Para una planta que procesa sólidos y fluidos, se utiliza normalmente un valor del 13 por ciento del costo del equipo adquirido para estimar el costo total de la instrumentación (29). En los equipos cotizados, los más importantes vienen con sus accesorios de instrumentación y como se trata de una planta piloto se ha utilizado un valor del 5 por ciento, lo cual totaliza 6,300 dólares por gastos de instrumentación y controles.

7.1.4. TUBERIAS Y ACCESORIOS:

El costo de las cañerías y tubería incluye mano de obra, válvulas, caños, tubos, soportes y otros rubros directamente relacionados con el tendido de tuberías que se utilizan directamente en el proceso. Una planta que incluya las operaciones de trituración, moliendo, formación de torta y extracción, constituye una planta típica que procesa sólidos y líquidos y el costo de tuberías y accesorios representa el 31 por ciento del equipo adquirido (29). Para la planta piloto proyectada en el presente trabajo le corresponde 39,200 dólares.

7.1.5. OBRAS CIVILES:

El costo de las obras civiles, incluyendo servicios, comprende los gastos mano de obra, materiales y suministros para la construcción de todos los edificios relacionados con la planta (29). Esta planta piloto proyectada puede ser considerada como ampliación en un terreno existente aplicándosele entonces un 7 por ciento del costo de adquisición de equipos por costo de obras civiles incluyendo servicios, esto equivale a 8,850 dólares.

7.1.6. INSTALACIONES Y SERVICIOS:

Las instalaciones para proveer vapor, agua, potencia, aire comprimido y combustibles, forman parte de los servicios que requiere una planta. En el caso de una planta pequeña que fabrica un sólo producto el costo puede considerarse el 30 por ciento del costo de adquisición de los equipos lo cual corresponde a 37,900 dólares.

Como se aprecia del cuadro 37 el costo de la planta piloto es de aproximadamente US\$ 243,601, pudiendo darse la posibilidad de minimizar estos costos (sobre todo donde se ve involucrada la mano de obra) mediante sistemas ocupacionales existentes el país o personas involucradas de algún modo en los beneficios de la planta piloto, por ser constituir este un programa de asistencia social.

C U A D R O Nro. 37

INVERSIONES DE CAPITAL FIJO

COSTOS DIRECTOS	US\$
- EQUIPOS ADQUIRIDOS	126,351.00
- INSTALACION EQUIPOS	25,000.00
- INSTRUMENTACION Y CONTROLES	6,300.00
- TUBERIAS Y ACCESORIOS	39,200.00
- OBRAS CIVILES	8,850.00
- INSTALACIONES Y SERVICIOS	37,900.00
COSTOS INDIRECTOS(*)	US\$
- INGENIERIA Y SUPERVISION	-----
- GASTOS DE CONSTRUCCION, ETC.	-----
T O T A L	243,601.00

(*) SE CONSIDERAN DESPRECIABLES POR LOS MOTIVOS YA DISCUTIDOS

7.2 COSTO DE FABRICACION DEL PRODUCTO:

En los costos de fabricación del producto se incluyen todos los gastos directamente relacionados con la fabricación o producción y con los equipo físicos de una planta de procesos (29). Se consideran divididos en tres categorías, costos directos de producción, gastos fijos y gastos generales de la planta. Este último involucra gastos adicionales de limpieza general, servicios médicos, comedor, etc. y en este caso en particular lo consideramos despreciable.

7.2.1. COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION:

Los costos directos de producción comprenden todos los gastos directamente vinculados con la fabricación, como los gastos de adquisición de materias primas, mano de obra directamente vinculada con el proceso y supervisión (29). Para un saco de 50 Kg. de harina de semilla de algodón se necesita como materia prima básicamente 129 Kg. de pasta de algodón, 32 lt de alcohol etílico comercial y 14 lt de agua.

Cada día se necesitan 3 obreros y una supervisión no permanente pues el proceso no es complicado.

El costo por consumo de electricidad se rige por la tarifa 50 de Electrolima que actualmente es de 0.06 dólares por Kw-Hr. Los equipos de la planta piloto consumen en total 20.1 HP-Hr. (14.8 Kw-hr).

Los costos por mantenimiento y suministros se estiman

a partir del costo total de equipos en 2 y 0.5 por ciento respectivamente, y los gastos de laboratorio se pueden considerar como el 10 por ciento de la mano de obra (29).

El cuadro 38 detalla los costos directos de producción que totalizan 54 dólares por 50 Kg. de harina.

7.2.2. GASTOS FIJOS:

Son los gastos que existen en una planta, independientemente que se encuentre operando o no. La inversión inicial de los equipos y otros objetos materiales se amortizará considerando 10 años de vida útil de los bienes para la depreciación. La tasa anual de depreciación de maquinarias y equipos suele calcularse en el 10 por ciento de la inversión de capital fijo (29) que en este caso conduce a 24,360 dólares anuales.

7.2.3. COSTO DEL PRODUCTO:

La suma de los costos directos y los gastos fijos nos da el costo de fabricación del producto que es de 58.3 dólares por saco de 50 Kg. o 1.17 dólares por cada kilogramo de harina de semilla de algodón de elevado valor proteico (51%) para consumo humano. Ver cuadro 39.

C U A D R O Nro. 38

COSTOS DIRECTOS DE PRODUCCION
(BASE: 50 Kg. de Harina)

ITEM	US\$
MATERIAS PRIMAS	
PASTA	16.40
ALCOCHOL	28.30
AGUA	(*)
MANO DE OBRA	6.40
SUPERVISION	2.10
ELECTRICIDAD	0.90
MANTENIMIENTO	0.10
SUMINISTROS	(*)
GASTOS LABORATORIO	0.60
T O T A L . . .	54.80

(*) Despreciable

C U A D R O Nro. 39

C O S T O D E L P R O D U C T O
(BASE: 50 Kg. de Harina)

COSTO	US\$
COSTOS DIRECTOS DE PRODUC.	54.80
GASTOS FIJOS	3.50
T O T A L ...	58.30

COSTO DE UN KILOGRAMO DE PRODUCTO	1.17
--------------------------------------	------

CAPITULO VIII

APENDICES

APENDICE 1

La producción nacional de pasta de algodón representa el 52.63% de la correspondiente producción de semilla de algodón anual, según data de la Sociedad Nacional de Industrias y de la Junta Nacional del Acuerdo de Cartagena, entre los años 1974 y 1981.

Por lo tanto, la estimación para los siguientes años de la producción de Pasta de Algodón se basará en la producción de la semilla de algodón, como sigue:

AÑO X:

$TM/AÑO$ de pasta de algodón = $.5263 \times Tm/Año$ de semilla de algodón

APENDICE 2

ANALISIS QUIMICO DEL PRODUCTO FINAL

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
DEPARTAMENTO DE NUTRICION

M E M O R A N D U M

DN-069-90

DEL: Laboratorio de Analisis Nutricional de los Alimentos
AL: SRS. CONCYTEC
ASUNTO: MUESTRA HARINA DE ALGODON
FECHA: 28 Febrero 1990

Por el presente comunico a Ud. que el resultado de los análisis de la muestra que Ud. nos enviara es el siguiente:

Humedad	10.00
Proteina	51.00
Grasa	2.10
Fibra	4.30
Cenizas	8.30
Nifex	24.30
Gosipol Libre	0.054

Los resultados están expresados en porcentaje en base húmeda, esto es con la humedad que aquí se refiere.

El costo del análisis es de I/. 700,000.00

Atentamente,



[Handwritten Signature]
Luz María Muñoz de Marulanda
Del Laboratorio de Evaluación
Nutricional de Alimentos.

APENDICE 3

ANALISIS PARA LA DETERMINACION
DEL COEFICIENTE DE EXTINCION

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
DEPARTAMENTO DE NUTRICION

MEMORANDUM
DN-068-90

DEL: Laboratorio de Analisis Nutricional de los Alimentos

AL: SRS. CONCYTEC

ASUNTO: MUESTRA DE PASTAS DE ALGODON

FECHA: 28 Febrero 1990

Por el presente comunico a Ud. que el resultado de los análisis de la muestra que Ud. nos enviara es el siguiente:

	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3	MUESTRA 4
Gosipol Libre	0.0901	0.0761	0.0631	0.1321
Humedad				
Proteina				
Grasa				
Fibra				
Carbrazo				
Nifox				

Los resultados están expresados en porcentaje en base húmeda, esto es con la humedad que aquí se refiere.

El costo del análisis es de I/.480,000.00

Atentamente,



[Signature]
María Muñoz de Aragón
Laboratorio de Evaluación
de Alimentos

APENDICE 4

RELACION ENTRE EL COEFICIENTE DE EXTINCION MOLAR Y EL COEFICIENTE DE EXTINCION ESPECIFICO

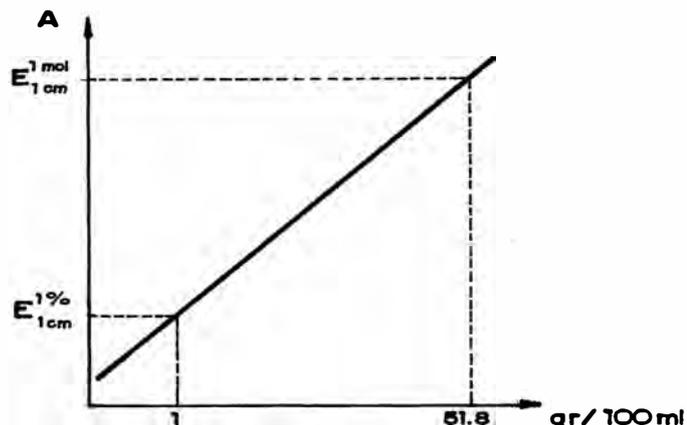
Por definición, el coeficiente de extinción específico ($E_{1\%, 1\text{cm}}$) es la absorbancia de una solución que contiene un gramo de soluto por 100 ml. de solvente en una celda de longitud de absorción de 1 cm. (25).

El coeficiente de extinción molar es la absorbancia de una solución de concentración 1M, por lo tanto, para el soluto gosipol (PM = 518 gr/mol) y una celda de 1cm. de longitud:

$$\frac{1 \text{ mol}}{1 \text{ l}} \left(\frac{1 \text{ l}}{1000 \text{ ml}} \right) \left(\frac{518 \text{ gr. gosipol}}{1 \text{ mol}} \right) = 51.8 \frac{\text{gr}}{100 \text{ ml}}$$

$$E_{\text{mol}, 1\text{cm}} = 51.8 \times E_{1\%, 1\text{cm}}$$

Entonces, el coeficiente de extinción molar, es la absorbancia de una solución que contiene 51.8 gr. de soluto por 100 ml de solvente y como $A = E \times C$, será fácil encontrar la absorbancia de una solución que contiene 1 gr por 100 ml como se muestra en el siguiente esquema:



APENDICE 5

CALCULO DEL GOSIPOL LIBRE REMANENTE EN LA HARINA A PARTIR DEL ANALISIS ESPECTROFOTOMETRICO

El principio consiste en calcular la cantidad de gosipol libre en el extracto por espectrofotometria ya que $A = EC$, conociendo A y como E es una constante conocida, se puede calcular la concentración de gosipol en la solución. Luego, como se debe conocer la cantidad de gosipol libre inicial en el sólido antes de cada extracción, por diferencia se determinará la cantidad de gosipol libre remanente en el sólido (harina).

El algoritmo es el siguiente:

V = Volúmen (ml) de solvente

P = Peso (gr) de sólido (soluto + inerte)

G_1 = % de gosipol libre antes de la extracción

T = Transmancia (%)

W = Volumen (ml) de solvente para diluir la alicuota de extracto.

E = Coeficiente de extinción específico

G_2 = Gosipol libre (gr) antes de la extracción

$$G_2 = G_1/100 \times P$$

A = Absorbancia

$$A = -\log (T/100)$$

C = Concentración gosipol (gr/ml) en la solución diluida

$$C = (A/E)/100$$

G_3 = Gosipol (gr) en la solución diluida

$$G_3 = C \times (V + W)$$

G_4 = Gosipol libre (gr) remanente en el sólido

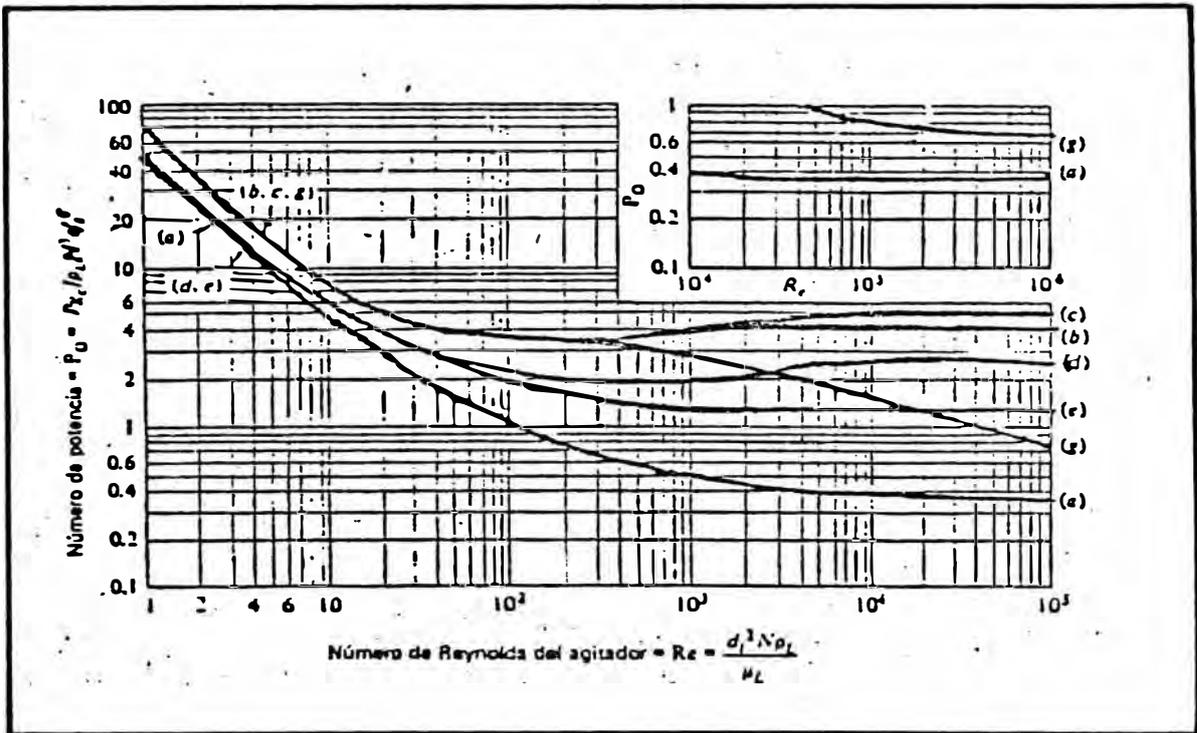
$$G_4 = G_2 - G_3$$

G_r = % Gosipol libre remanente luego de la extracción

$$G_r = (G_4/p) \times 100$$

FIGURA A5

CURVA DEL NUMERO DE REYNOLDS VS. NUMERO DE POTENCIA PARA AGITACION



FUENTE: (23)

APENDICE 6

CALCULO DE LA POTENCIA CONSUMIDA POR EL IMPULSOR DURANTE LA EXTRACCION (13)

D_m = Densidad de la suspensión

F_z = Fracción volúmen de sólidos en la suspensión abajo de z
(0.11 cm)

Z = Altura arriba del plano medio del impulsor (10.5 cm)

D_p = Densidad del sólido (1.5 gr/cm³)

D_L = Densidad del liquido (0.85 gr/cm³)

U_m = Viscosidad de la suspensión

U_l = Viscosidad del liquido (1.4 Cp)

F_s = Fracción volumétrica en el sedimento tranquilo (0.5)

$$D_m = F_z * D_p + (1 - F_z) * D_L$$

$$D_m = 0.92 \text{ gr/cm}^3$$

$$U_m = U_l / (1 - F_z/F_s)^{1.8}$$

$$U_m = 2.2 \text{ cp.}$$

NUMERO DE REYNOLDS (N_{Re})

$$N_{Re} = D_i^2 \times N \times D_m / U_m$$

Como: $D_i = 3.1 \text{ cm}$ (diámetro Impulsor)

$$N = 2000/60 \text{ seg}^{-1} \text{ (velocidad de giro)}$$

$$U_m = 2.2 \times 0.01 \text{ gr/cm-sec}$$

$$D_m = 0.92 \text{ gr/cm}^3$$

Entonces: $N_{Re} = 13,396$

NUMERO DE POTENCIA (N_{po})

En el gráfico A -1, la curva C corresponde a turbinas de hoja plana de disco. Para $N_{Re} = 13396$ le corresponde $N_{po} = 5$

POTENCIA CONSUMIDA

Por definición: $N_{po} = P * gc / (D_m * N^3 * Di^5)$

Como: $N_{po} = 5$

$$D_m = 0.92 \text{ gr/cm}^3$$

$$N = 2000/60 \text{ seg}^{-1}$$

$$Di = 3.1 \text{ cm}$$

$$gc = 980 \text{ grm} - \text{cm/grf} - \text{seg}^2$$

$$P = 49771 \text{ grf} - \text{cm/seg}$$

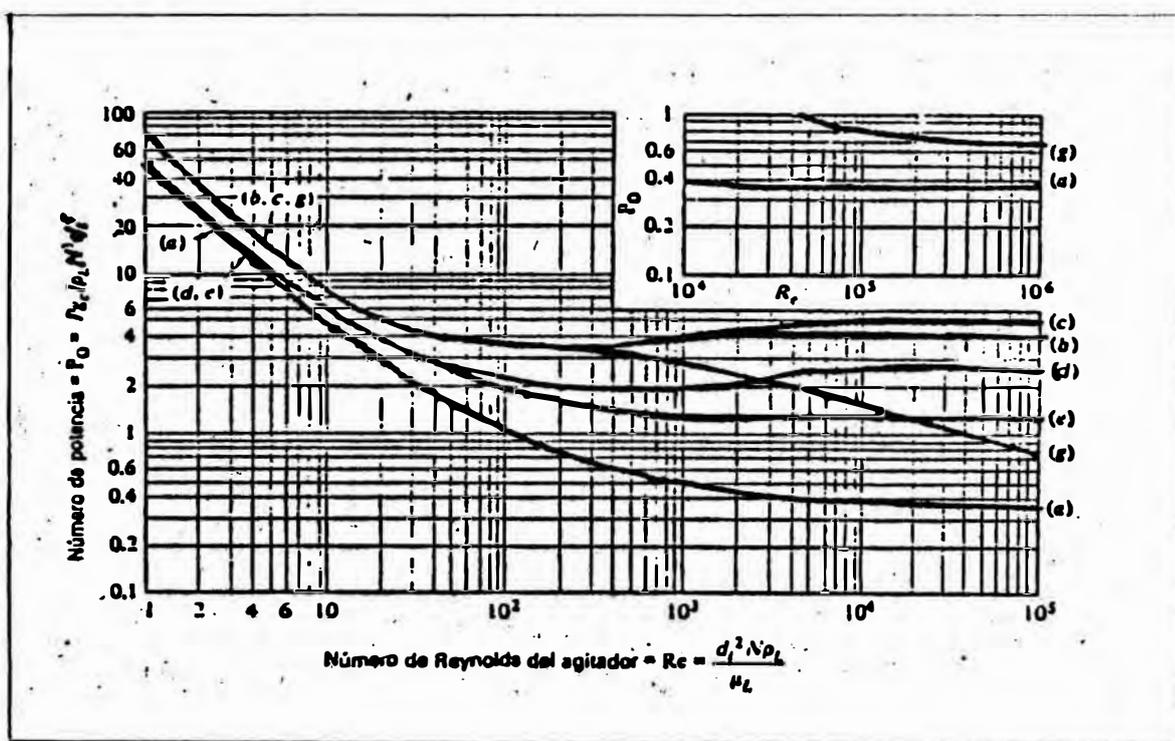
Entonces: $P = 4.9 \text{ W}$

POTENCIA DEL MOTOR:

Treybal sugiere que la potencia dada por el motor, usualmente abarca a la potencia consumida por el impulsor más un 35% adicional, de tal manera que se usa en total 6.6. watts.

FIGURA A5

CURVA DEL NUMERO DE REYNOLDS VS.
 NUMERO DE POTENCIA PARA AGITACION



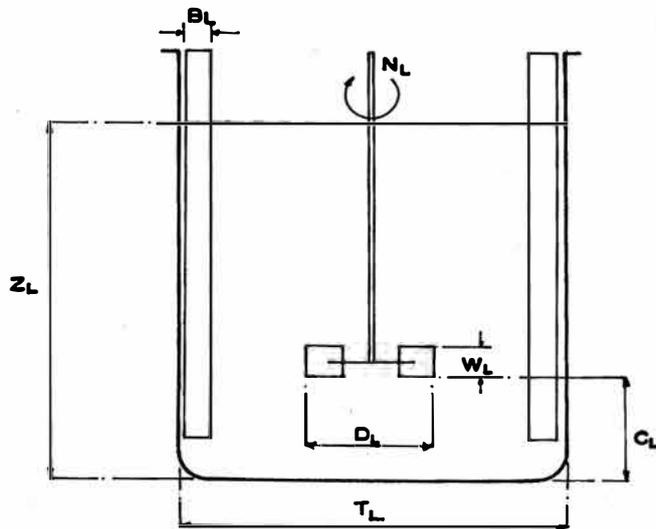
FUENTE : (23)

APENDICE 7

CALCULOS DE ESCALAMIENTO PARA EL EXTRACTOR (30)

EXTRACTOR DE LABORATORIO:

Dimensiones: $D_L = 3.0 \text{ cm} = 0.030 \text{ m}.$
 $W_L = 9.0 \text{ cm} = 0.090 \text{ m}.$
 $C_L = 6.0 \text{ mm} = 0.060 \text{ m}.$
 $T_L = 9.3 \text{ cm} = 0.093 \text{ m}.$
 $Z_L = 3.0 \text{ cm} = 0.030 \text{ m}.$
 $B_L = 8.0 \text{ mm} = 0.008 \text{ m}.$
 $N_L = 2000 \text{ rpm}.$
 $V_L = 589 \text{ ml} = 0.589 \text{ lt}.$



RAZON DE ESCALA:

P: Planta Piloto

L: Laboratorio

$P_L = 100\text{gr} = 0.1 \text{ Kg},$

$V_L = 0.589 \text{ lt}.$

$P_p = 163 \text{ Kg}.$

$$V_p = V_L (\text{Produc.}_p / \text{Produc.}_L)$$

$$V_p = 960 \text{ lt}$$

$$R = (V_p / V_L)^{1/3}$$

$$R = 11.77$$

$$R = \frac{D_p}{D_L} = \frac{T_p}{T_L} = \frac{W_p}{W_L} = \frac{Z_p}{Z_L} = \frac{C_p}{C_L} = \frac{B_p}{B_L}$$

$$D_p = 0.353 \text{ m}$$

$$W_p = 1.060 \text{ m}$$

$$C_p = 0.071 \text{ m}$$

$$T_p = 1.094 \text{ m}$$

$$Z_p = 0.353 \text{ m}$$

$$B_p = 0.094 \text{ m}$$

$$N_p = N_L (1/R)^n$$

Donde:

$n = 3/4$ para suspensión de sólidos equivalente

$n = 2/3$ para transferencia de masa

$n = 1/2$ para movimiento superficial equivalente

$$N_p = 387 \text{ RPM.}$$

CALCULO DE POTENCIA:

$$H_p = (D_p/394)^5 \times S_g \times N_p^3$$

Para:

$$S_g = 0.92$$

$$D_p = 13 \text{ pulg.}$$

$$H_p = 2.1 \text{ HP.}$$

En el mercado local se proveen motores de 2.4 HP a 1200 RPM que con una reducción de 3 a 1 se obtiene 400 RPM.

$$D_p = 394 (H_p/s_g/N^3)^{1/5}$$

$$D_p = 13.1 \text{ Pulg.}$$

$$= 0.33 \text{ m.}$$

$$D_p = 33 \text{ cm.}$$

APENDICE 8

CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL FILTRO

La Durion Company Inc., proporciona una fórmula para la determinación del área de filtración.

$$C = \frac{V_s \times S_s \times D_s}{S_t \times D_t}$$

Donde:

V_c = Volumen de la cámara (pie³)

V_s = Volumen de la suspensión por lote (290 gal)

S_s = % sólidos en la suspensión (20%)

D_s = Densidad de la suspensión (7.3 lb/gal)

S_t = % sólidos en la torta (60%)

D_t = Densidad de la torta Húmeda (68.8 lb/pulg²)

Entonces:

$$C = 10.3 \text{ pie}^3$$

Separación entre placas: $E = 1 \text{ pulg} = 1/12 \text{ pie}$

AREA TOTAL DE FILTRACION:

$$A = C/E$$

$$A = 123 \text{ pie}^2$$

APENDICE 9

CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL SECADOR

1. DATOS FISICOS DE LA TORTA

Humedad Inicial (Hi) = 56.0% Base húmeda
127.3% Base seca

Humedad Final (Hf) = 10.0% Base húmeda
11.0% Base seca

Masa Solido seco (MS) = 146.5 g

Densidad = 0.88 g/cc

2. MEDIO CALEFACCION : AIRE

Temperatura Bulbo seco (TBS) = 77°F

Temperatura Bulbo Húmedo (TBH) = 75°F

Humedad Relativa (HR) = 90%

Humedad Absoluta (h) = 0.0195 lb agua/lb aire seco

Recirculación (%R) = 87.5% (*)

3. SECADOR:

Temperatura (T) = 185°F

Presión (P) = 29.92 Pulg. Hg.

- * El % de recirculación oscila entre 80-95% según experiencias de diseño (24). Se eligió el promedio, es decir 87.5%

Con la ayuda de cartas psicrométricas y utilizando:

$$\%R = 100 \left[1 - \frac{h_d - h_c}{h_d - h_a} \right] \text{ Ver bibliografía (24)}$$

h = Humedad absoluta (lb humedad/lb aire seco)

h_a = Humedad del aire fresco

h_c = humedad aire entrada al secador

h_d = humedad aire salida del secador

Además:

h' = Entalpía específica (btu/lb aire seco)

Aire fresco (a):

$$TBS_a = 77^{\circ}F$$

$$TBH_a = 71^{\circ}F$$

$$h_a = 0.0195$$

$$h \cdot a = 40,5$$

Aire Entrada Secador (c):

$$TBS_c = 185^{\circ}F$$

$$TBH_c = 128^{\circ}F$$

$$h_c = 0.087$$

$$h \cdot c = 134,75$$

Aire Salida Secador (d):

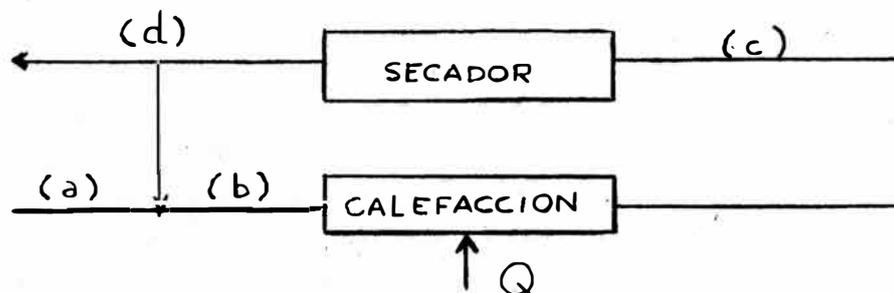
$$TBS_d = 175^{\circ}F$$

$$TBH_d = 128^{\circ}F$$

$$h_d = 0.090$$

$$h \cdot d = 134,50$$

PROCESO DE SECADO CON RECIRCULACION



Humedad a extraer (H): 170 Kg humedad/hr

Masa de secado (M): 333 Kg/hr

Masa de aire (MA): $H / (h_d - h_g)$

$$MA = 25,758 \text{ la aire seco/hr}$$

Volumen específico aire en (3): 18,5 pie³/lb aire seco

Volumen aire (V): 7942 pie³/min

Calor suministrado al aire (QH):

$$QH = MA h \cdot c - (1-R)h \cdot a - R h \cdot d$$

$$QH = 309,160 \text{ btu/hr}$$

$$= 90.58 \text{ Kw}$$

POTENCIA DEL VENTILADOR:

$$P = \frac{d \times v}{g} \times VA^2 \quad \dots (A)$$

d = densidad aire (lb/pie³)

v = volumen aire (pie³/min)

g = Acelerac. gravedad (pie/min²)

VA = velocidad del aire (pie/min)

P = potencia del ventilador (HP)

$$VA = Gv/MA \quad \dots (B)$$

Gv = flujo másico aire (lb/hr pie³)

$$Gv = 804.95$$

$$MA = 25,758$$

$$\text{En (B): } VA = 248.2$$

$$a = 0.054$$

$$v = 7942$$

$$g = 248,19$$

$$\text{En (A): } P = 7 \times 10^{-3} \text{ HP}$$

$$= 5 \times 10^{-3} \text{ Kw}$$

TIEMPO DE SECADO:

En sólidos fibrosos, el movimiento de la humedad es lento y tiene lugar por difusión del líquido a través de la estructura del sólido. Presentan periodos muy cortos de velocidad constante, finalizando en valores altos de contenido crítico de humedad. (27)

Evaluaremos el tiempo de secado con el período de velocidad decreciente, despreciando el período de velocidad constante, por presentar tiempos muy pequeños.

Para las tres fórmulas siguientes ver bibliografía (27).

$$t_D = - \frac{MS}{A} \left[\frac{X_c - X_e}{VS} \right] \ln \left[\frac{X_f - X_e}{X_c - X_e} \right]$$

$$VS = hv / \lambda (TBS_c - TBH_c)$$

$$hv = 0.0128 Gv^{0.8}$$

Variables por definir:

Xc: Humedad crítica (lb humedad/lb sólido seco)

Xe: Humedad en equilibrio (lb humedad/lb sólido seco)

Xf: Humedad final (lb humedad/lb sólido seco)

λ : Calor latente de vaporización del material (btu/lb)

tD: Tiempo del período de velocidad decreciente (hr)

hv: Coeficiente de transferencia de calor (btu/hr pie² of)

BS: Velocidad de secado (Lb/hr.pie²)

Además:

$$\lambda = \lambda_1 X_1 + \lambda_2 X_2 \quad \text{Ver bibliografía (24)}$$

$\lambda_{1,2}$ = Calor latente de vaporización del agua y etanol respectivamente.

$X_{1,2}$ = Fracc. en peso de agua y etanol respectivamente.

$$\lambda_1 = 367.7$$

$$\lambda_2 = 972.0$$

$$X_1 = 0.46$$

$$X_2 = 0.10$$

$$\lambda = 266.3$$

$$hv = 2.7$$

$$VS = 2.93$$

$$Xc = 0.47$$

$$Xe = 0.013$$

$$Xf = 0.11$$

Para Xc y Xe ver fig. de secado.

$$t_D = 0.5 \text{ hr}$$
$$= 30 \text{ min.}$$

NUMERO DE BANDEJAS:

Dimensiones: 61 x 61 x 1.5 cm

Volumen por bandeja: 5574 cm³

Densidad torta: 0.88 g/cm³

Masa Torta: 4905 g

Material a secar: 333,000 g

Número de bandejas: 68

$$FS = 17\%$$

Número de bandejas para el diseño: 80

Se dispondrán de 8 carros portabandejas de 10 bandejas cada uno.

$$\text{Area de secado: } (61 \times 61 \text{ cm}^2) \times 8$$
$$= 29,768 \text{ cm}^2$$
$$= 32 \text{ pie}^2$$

CALCULOS DEL CONDENSADOR (ADAPTABLE AL SECADOR):

Presión (P): 29.92 pulg. Hg.

Temperatura (T): 79°C

Potencia disipada (P) en HP.

Calor disipado del sistema (Q) en Kcal/hr.

Calor latente de condensación (λ) en cal/g

Masa a condensar (m) en Kg/hr.

$$Q = \lambda \times m$$

$$\lambda = \lambda_1 y_1 + \lambda_2 y_2$$

$\lambda_{1,2}$ = Calor latente de condensación del agua y etanol (cal/g)

$Y_{1,2}$ = Fracc. en peso del agua y etanol.

$$\lambda_1 = 204,26$$

$$\lambda_2 = 540,00$$

$$y_1 = 0.11$$

$$y_2 = 0.89$$

$$\lambda = 530$$

$$m = 170$$

$$Q = 85,521$$

$$P = 99,5$$

APENDICE 10

CALCULOS PARA EL DISEÑO DEL EVAPORADOR

Evaporación por cargas

- 1) Etapa de calentamiento inicial
- 2) Etapa de ebullición

- 1) Etapa de calentamiento inicial

Ver bibliografía (28)

$$\theta_1 = \frac{M \cdot C_p}{U_h \cdot A} \ln \left[\frac{t_s - t_i}{t_s - t_f} \right]$$

$$Q_1 = U_h \cdot A (t_s - t_f)$$

θ_1 = Tiempo de calentamiento (hr)

Q_1 = Energía necesaria para el calentamiento Kcal/hr)

U_h = Coef. global de transf. de calor (Kcal/Hr.m² C)

t_i = Temperatura inicial (°C)

t_s = Temperatura de calefacción (°C)

t_f = Temperatura final de evaporación (°C)

C_p = Capacidad calorífica (cal/g °C)

M = Masa a evaporar (Kg)

A = Area intercambio calor (m²)

Para soluciones de etanol a T = 25°C

$C_p = 1.053 - 0.005 \times (\% \text{ molar etanol})$ Ver Bibliografía (24)

% molar = 50.8

$C_p = 0.80$

$U_h = 1000$ (Estimado de (24))

$A = 10$

$t_s = 120$

$t_i = 25$

$t_f = 79$

$\theta_1 = 0.05 \text{ hr} = 3 \text{ min}$

$Q_1 = 410,000$

2) ETAPA DE EBULLICION:

$$\theta_2 = \frac{\text{MSE} \times \lambda}{U_r (t_s - t_f)} \quad ; \quad Q_2 = \text{MSE} \times \lambda$$

Q_2 = Energía necesaria para la ebullición (Kcal/hr)

θ_2 = tiempo de ebullición (hr)

MSE = Masa soluc. evaporata (Kg)

λ = calor latente de vaporización (Cal/g)

$$\lambda = \lambda_1 x_1 + \lambda_2 x_2$$

$\lambda_{1,2}$ = calor latente de vaporización del agua y etanol

$x_{1,2}$ = fracc. en peso del agua y etanol

$$\lambda_1 = 204,26$$

$$\lambda_2 = 540$$

$$x_1 = 0.28$$

$$x_2 = 0.72$$

$$\lambda = 446$$

$$\text{MSE} = 510$$

$$\theta_2 = 0.55 \text{ hs} = 33 \text{ min.}$$

$$Q_2 = 227,460$$

Se concluye:

$$\theta_{\text{total}} = \theta_1 + \theta_2 = 36 \text{ min.}$$

$$Q_{\text{total}} = Q_1 + Q_2 = 637,460 \text{ Kcal/hr.}$$

$$= 741 \text{ Kw.}$$

APENDICE 11

COTIZACIONES DE LOS EQUIPOS

TEM	EQUIPO	PROVEEDOR	# COTIZACION	PRECIO US\$
1	MOLINO DE MARTILLOS	SACEM	546	6000
2	ZARANDA VIBRATORIA	LIGOLD S.A.	225-90	8000
3	TANQUE EXTRACCION	LIGOLD S.A.	237-90	7900
4	FILTRO PRENSA	LIGOLD S.A.	237-90	9500
5	SECADOR BANDEJAS	LIGOLD S.A.	225-90	25000
6	MOLINO MARTILLOS II	SACEM	546	4000
7	EVAPORADOR	LIGOLD S.A.	225-90	19000
8	TANQUES PARA AGUA-ALCOHOL	LININSA	2631-90	1677
9	BOMBA CONDENSADO	REYCOOSA	440-4HS/90	625
10	SILO RECEPTOR	LIGOLD S.A.	237-90	8800
11	PRE-EVAPORADOR	LIGOLD S.A.	237-90	2720
12	DEPOSITO DIARIO	LIGOLD S.A.	237-90	3200
13	ELEVADOR	LIGOLD S.A.	237-90	14000
14	TOLVA DOSIFICADA	LIGOLD S.A.	237-90	3500

A P E N D I C E 12

C O S T O D E I N S T A L A C I O N
D E E Q U I P O S

TIPO DE EQUIPO	COSTO DE INSTALACION, EN%
BOMBAS	10-50
EVAPORADORES	10-40
FILTROS	25-45
MEZCLADORAS	10-20
SECADORES	50-150
TANQUES METALICOS	20-40
TORRES O COLUMNAS	25-50

FUENTE: (29)

A P E N D I C E 17

PRECIOS EN EL PERU DE
ALGUNAS HARINAS COMPA-
RADAS CON EL COSTO DE
PRODUCCION DE HARINA
DE SEMILLA DE ALGODON
OBTENIDA EN EL PRESEN-
TE TRABAJO (*)

HARINA	US\$/Kg.
TRIGO	0.51
SOYA	0.68
MAIZ	0.48
ALGODON	1.17(*)

CAPITULO IX

BIBLIOGRAFIA

BIBLIOGRAFIA

1. Sopena, Diccionario Enciclopédico; Ed. Sopena, Barcelona (1970).
2. JUNAC, Nro. 14. "El sector productor de Harina de Algodón para consumo humano en la sub-región andina", (1983) (INDDA)
3. SCARPATI DE BRICERO, Zoila, "Producción de Harina de Algodón para consumo Humano", (1973), Tesis (UNA)
4. FUNDEAL, "Las razones del Algodonero", (1984) (SNI)
5. Univ. de Lima, "Aceites y Grasas", Ciencia y Tecnología de los alimentos.
6. CARPIO, Nelson, "Influencia del Tratamiento Térmico sobre la Calidad de Tortas de Semilla de Algodón, (1985) Tesis (UNA)
7. THE MERCK INDEX, 9na. Edición, USA (1976) (UNI)
8. BRESSANI, R., "The use of Cotton Seed Protein in Human Foods", "Food Technology Journal", vol XI, 342-348 (1965) (UNA)
9. GILHAM, F.E.M. "Cotton in a Hungry World", South Africa Journal Scientist:, Vol 65, Nro. 6, 173-179 (1969)

10. REUSCH, W.H. "Química Orgánica", Ed. Mc Graw Hill, México (1979) (UNI)
11. JUNAC, Nro. 16 "Procesos de Producción de Harina de Algodón para Consumo Humano", (1983) (INDDA)
12. FAO "Tecnología de la Producción de la Harina de Semilla de Algodón para uso en los Alimentos Proteínicos", Roma (1974) (UNA)
13. MAYORGA, H. GONZALES, J. "Preparation of a Low Free Gossypol Cottonseed Flour by Dry and Continuous Processing", :Journal of the Science of Food and Agriculture: Vol XL, Nro. 6 (1975) (INDDA)
14. BACIGALUPO, A. ZAMDRA, J. "La producción en escala piloto de harina de semilla de algodón de alto valor biológico", "Anales científicos", vol III, Nro. 2 (1965) (INDDA)
15. BAILEY, Aton, :Cotton Seed and Cotton Seed Products", "Interscience Publishers", New York (1948) (UNMSM)
16. NESHCHADIM, A; ORCHINNIKOVA, G. "Transition of Gossypol into the Miscella During Direct Extraction of Raw Cottonseed Meal", "Masloz hirovaya Promyshlennost" Vol XXXV, Nro. 12, 6-8 (1969) (ITINTEC)

17. EL NOCHRASHY, A. KHALIL, H. "Degossy polisation of cottonseed meal" "Grasas y Aceites", Vol XXIII, Nro. 6 427-431 (1972) (ITINTEC)
18. LIU, F; JUNG, L. "A new method of detoxification of cottonseed by means of mixed solvent extraction", "journal of the american oil chemists society", vol LVIII, Nro. 2 934-964 (1981) (ITINTEC)
19. EL NAHRY, F; BASSILY, N. "Detoxification and nutritional evaluation of solvent extracted Egyptian cottonseed meal", "Nahrung"; Vol XXVII, Nro. 6 537-544 91983) (ITINTEC)
20. DAMATY; HUDSON "Preparation of low - gossypol cottonseed flour"; "Journal scientist and food agriculture" Vol XXVI, Nro. 1 109-115 (1975) (ITINTEC)
21. OCON, J; TOJO, G "Problemas de Ingenieria química", Edic. Aguilar; Chile (1970) (ITINTEC)
22. Mc. CABE, W; SMITH, J. "Operaciones básicas de Ingeniería Química". Edit. reverté, España (1981) (UNI)
23. TREYBAL, R. "Operaciones de Transferencia de masa", 2da. edición. (UNI)
24. PERRY, R; CHILTON, C. "Manual de Ingeniero Químico". Edit. Mc. Graw Hill, 5ta. edición (1982) (UNI)

25. BARNARD, J; HAYIN, R. "Metodos modernos de análisis quimicos", Ed. URMO (1970)
26. REIN, P; WOODBURN, E. "The chemical engineer journal", Vol VII, Nro. 41 (1974) (INDDA)
27. FOUST, A; WENZEL, L. "Principios de operaciones unitarias", Edit. Continental, México (1985)
28. MARQUEZ, M; CASAL, J. "Evaporación por cargas: Características y métodos de cálculo", Ingeniería Química, 121-129, (Agosto 1987) (UNI)
29. PETERS, M; TIMMERHAUS, K. "Diseño de Plantas y su evaluación económica para ingenieros químicos, Edit. Geminis, Buenos Aires, (1978) (UNI)
30. RAUTZEN, R. "How to use scale up methods for turbine agitators, chemical engineering, 119-126 (Octubre 1976) (UNI)
31. EVENGELISTI, Ivano. "Selección de Filtros a presión", Ingeniería Química, 139-143 (Junio 1986)
32. FLOOD, J.E., "Filtration Practice Today" Chemical Engineering, 119-126 (Octubre 1976)
33. MATTHEWS, R. "The use of some oilseed flours in bread", Cereal chemistry vol XLVII, Nro. 2, 181-189 (1970) (ITINTEC)

34. SPADARO, J. "Processing to produce - high - protein cottonseed products", oil mill gazetteer, Vol LXXVI, Nro. 5, 20-23 (1971) USA (ITINTEC)
35. ANON "Another source of protein ready for marked place", oil mill gazetteer, Vol LXXVII, Nro. 8, 30 (1973) USA (ITINTEC).
36. GARDNER, H. "Liquid eyelone process for edible cottonseed flour production", oil mill gazetteer, Vol LXXVIII, Nro. 6, 12-13, 15-17 (1973) USA (ITINTEC)
37. HARDEN, M. "Protein quality and supplementary value of cottonseed flour", Journal of food science Vol XL, Nro. 1, (1975) USA (ITINTEC)
38. EL SAYED, K. "Utilization of cottonseed flour in human food. Evaluation of cotton flour in food preparation", Alexandria journal of Agricultural Research, Vol XXVI, Nro. 3, 641-646 (1978), Egipto.
39. MONCADA, F. "Cottonseed meal in recipes for some popular foods "Revista del Instituto de Investigaciones Tecnológicas, Vol XXI, Nro. 118, 33-50 (1979) Colombia.
40. BRESSANI, R. "Human nutrition and gossypol" Food and nutrition bulletin, Vol II, Nro. 4, 24-32 (1980) Guatemala.

41. BHAT, V. "Effect of incorporation of soy, peanut and cottonseed flours on the acceptability, and protein quality of chagatis", Journal of food science and technology, Vol XVII, Nro. 4, 168-171 (1980) India.
42. BLOUIN, F. "Role of flavonoids in the production of color in biscuits, prepared with wheat and cottonseed flours"; Journal of food science, Vol XLVI, Nro. 1 266-271 (1981) USA
43. Ministerio de Educación, Archivos
44. Instituto Nacional de Alimentación y Nutrición (INAN). Estadística.
45. Sociedad Nacional de Industrias. Comité de Aceites, Derivados.
46. Ministerio de Agricultura, Archivos.