

24.14



Universidad Nacional Autónoma de México

FACULTAD DE QUIMICA

LECHE DE SOYA SECADA POR ASPERSION
TECNOLOGIA BASICA



EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

T E S I S
Que para obtener el título de :
I N G E N I E R O Q U I M I C O
P R E S E N T A

JULIO RAUL ROGERIO BOLAÑOS GUERRA

México, D. F.

1 9 8 7



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

INDICE

	PAG.
AGRADECIMIENTOS	
1 EL FRIJOL DE SOYA	1
Introducción	
Características del frijol de soya	
Aspectos nutricionales del frijol de soya	
Productos alimenticios que se obtienen del frijol de soya	
2 DESCRIPCION DEL SECADOR POR ASPERSION	21
Introducción	
Sistema de calentamiento	
Sistema de esreado	
Cámara y sistema de transporte	
Instrumentos del secador	
3 OBTENCION DE LECHE DE SOYA SECADA POR ASPERSION	39
Comentarios iniciales	
Introducción	
Métodos y materiales	
Resultados	
Discusión	
4 EVALUACION GLOBAL DE LA LECHE DE SOYA	63
Resultados en pruebas	
5 CONCLUSIONES	66
APENDICE	69
BIBLIOGRAFIA	73

AGRADECIMIENTOS

Agradecer es una tarea difícil, sobre todo en un trabajo de esta naturaleza, donde se ha tratado de actuar con el mayor rigor posible. Por lo tanto agradecer únicamente por cumplir con un esquema social llevaría a restarle valor a los verdaderos participantes de este trabajo, cosa que veo inconveniente.

Sucede a menudo que estos trabajos desempeñan para el individuo una función social más que académica. Los objetivos se pierden de vista y se termina por escribir una obra literaria.

Para no caer en lo anterior y evitar falsas consideraciones, pido, haciendo uso de la más amplia confianza, que cada quien haga suya la parte que le corresponde de este trabajo y que si bien es cierto no se puede ser totalmente independiente, no podemos menos que ignorar, a los que creen que sus voraces comentarios hacen más que quienes trabajan directamente, a los críticos baratos de escritorio con sus detestables obstrucciones y en general a los que sin aportar nada bueno solo hicieron esto más difícil.

De manera especial quiero agradecer a quienes en forma directa participaron con su trabajo. Saben perfectamente el valor de su ayuda.

Gracias, a quienes no lo hicieron directamente, pero que no fueron obstáculo. Ustedes son parte importante del éxito.

Gracias, a los constantes obstrutores ya que me han hecho saber el valor de los dos primeros.

Esta tesis está dedicada a ti.

También a mi padre. Sé que le será satisfactorio ver
finalizado este trabajo.

Y a todo el que confió en mi esfuerzo.

Gracias a Raúl Tovar, con un notable y a la vez sincero apre-
cio. Por su evidente participación.

Gracias a Martha Alvarez por su contribución en el reporte
bromatológico.

Gracias al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por su
indirecta ayuda económica.

Gracias al laboratorio de Ingeniería Química. Jesús To-
rres y equipo de trabajo: Don Miguel, Don Pedro y Don
Raúl. También a todo el grupo del Departamento de Ali-
mentos División de Estudios de Posgrado.

Gracias a todos aquellos facilitadores de este trabajo, por
su apoyo e interés.

PREAMBULO

Actualmente el frijol de soya es una de las cosechas más antiguas usadas en la alimentación de los pueblos de Asia, particularmente de las poblaciones de China y Japón. De una forma o de otra el frijol de soya ha sido siempre usado en la dieta asiática como una de las fuentes principales de proteína.

Hace más de 2000 mil años que el frijol de soya ha sido valorado en las cosechas destinadas para alimento humano, pero tan solo recientemente es que sus méritos nutricionales han sido considerados seriamente por nutriólogos en el mundo occidental, debido al aumento en la demanda de proteína como consecuencia de la explosión demográfica y de políticas alimentarias equivocadas.

La propiedad de esta leguminosa de proporcionar 33% más proteína por acre (acre= 0.4047 hectareas) que cualquier otra cosecha de tierra usada para pastoreo de ganado, convierte al frijol de soya en un cultivo potencialmente redituable.

Una de las formas más simples en la gama de alimentos del frijol de soya existentes es la leche de soya y ésta representa una alternativa nutricional para regiones donde la producción lactea es insuficiente. Definiendo un poco más este punto, se puede decir que al promover la leche de soya no se intenta detener el desarrollo y mercado de la leche animal, sino que se pretende complementar el consumo de proteína y no necesariamente reemplazar la fuente de proteína animal.

Con base a lo anterior se planteó el tópico de esta tesis : elaborar leche de soya, secarla por aspersión y evaluar su posible utilización.

Como consecuencia surgió la necesidad de reacondicionar el equipo periférico del secador de esprea del laboratorio de Ingeniería Química de esta Facultad, verificando su funcionamiento e implementando los recursos materiales que se hicieran necesarios. Todo con el objeto de actualizar un equipo que presentaba algunas deficiencias de operación, con esto se proporcionarían datos experimentales más cercanos al secado de la leche de soya a nivel piloto.

Gracias al laboratorio de Ingeniería Química y al departamento de alimentos fue posible la realización de este trabajo, ya que con ambas participaciones se logró la realización de la tesis y la actualización de un equipo que dará servicio de prácticas y a futuros proyectos de investigación .

Antes de terminar, no quisiera omitir algunos conceptos personales con respecto a este trabajo. Aunque parezca un proyecto relativamente simple, el tema de la leche de soya es un tema muy extenso y con implicaciones interesantes para la industria alimentaria del país.

Esta obra pretende enmarcar el trabajo experimental realizado con información relacionada al producto y sus elementos circundantes. Sin embargo no se quiere llenar de una incontable cantidad de información, cuyo único mérito fuese el de transferirla de un texto a otro.

Divido pues, esta tesis en cuatro capítulos aparentemente independientes y en las conclusiones de alguna manera las interconecto y relaciono lo mejor que me fue posible.

Para mi muy personal manera de pensar considero que la selec-

ción de la información y su adecuada canalización representa un trabajo de mayor categoría, que el hecho de movilizar información a diestra y siniestra. Más aún quisiera recalcar que el valor capital de una tesis, por más pequeña que ésta sea, radica fundamentalmente en la veracidad y consistencia de los datos obtenidos y sus consecuentes resultados, junto con la adecuada información colateral al trabajo de experimentación. Esto representa a mi parecer, un paso importante para eliminar el vicio general de todo evaluador que pretende juzgar un trabajo en base a su número de hojas y no en relación a su originalidad y fidelidad de resultados.

Dice Gracian:

"Lo bueno, si breve, dos veces bueno"

CAPITULO 1

EL FRIJOL DE SOYA

INTRODUCCION.

Este capítulo es básicamente el resumen que se realizó de dos trabajos, que a mi manera de ver, muestran sintéticamente las características del frijol de soya (1) y sus aspectos nutricionales (2).

El mexicano promedio ciertamente no conoce de manera directa, lo que es el frijol de soya, mucho menos podríamos decir que se alimente de algún producto de soya ,conscientemente, con relativa frecuencia.

No es el fin de esta tesis hacer un estudio histórico del surgimiento y desarrollo de la soya en México y menos aún en el mundo, ya que el tema es muy amplio, pero sí es una buena oportunidad para complementar esta tesis, mencionar algunas de las características de la soya que, finalmente, ayudarán a redondear este trabajo y permitirán que el tema no quede aislado.

Aparte de mencionar a grandes rasgos qué es la soya, la leche que se obtiene de ésta aparece dentro de una gran variedad de preparaciones, por lo que es conveniente mencionar algunos de los alimentos que se pueden elaborar, esto solo para enmarcar la importancia que puede representar en nuestro país el uso y difusión de una semilla a la que hasta hace poco tiempo no se le había tomado en cuenta, dicho sea de paso a excepción de los países de Asia.

CARACTERISTICAS DEL FRIJOL DE SOYA.

Clasificación.

La soya pertenece a la familia leguminosae, subfamilia papilionidae y género Glycine. La de mayor importancia económica y de la que se dispuso para este trabajo es Glycine Max.

La soya es una planta autógama y los cruzamientos para obtener nuevas variedades se hacen en forma manual. Ha sido posible obtener variedades de alto rendimiento y con excelentes adaptaciones locales.

Morfología.

La soya es una planta anual, herbacea, erecta y ramificada que tiene variantes en altura y precocidad según la variedad.

Casi todas las variedades presentan pubescencias (término que se aplica en botánica para indicar la presencia de vellos en la planta) en tallos, hojas y vainas.

a)-Semillas: Se forman dentro de las vainas. Las variedades silvestres tienen vainas dehiscentes (este término se refiere a los frutos cuyo pericarpio se abre naturalmente al llegar la madurez, para dar salida a la semilla) pero las semillas mejoradas son del tipo indehiscentes, lo cual indica que la apertura del pericarpio no se realiza al tiempo de la madurez para dar salida a las semillas.

Las semillas pueden ser de color amarillo, verde, negro o marrón. El color del hilium puede ser de color negro o marrón. El color de los cotiledones es verde antes de madurar, pero se tornan

amarillos al madurar las semillas. La forma varía de casi esférica hasta achatada.

b)-Flores: Estructuralmente son similares a las de otras leguminosas. Nacen en racimos axiales y son de color blanco o púrpura, corola dividida en cinco pétalos, diez estambres y un ovario generalmente con dos a cinco óvulos. Los estambres rodean al pistilo.

c)-Hojas: Casi todas las hojas situadas encima del segundo nudo son trifoliadas, ocasionalmente algunas tienen 4 ó 5 foliolos. La forma de los foliolos varía entre oval y lanceolada. Las variedades comerciales tienen foliolos anchos.

d)-Tallo: Es erecto con un número variable de nudos y entrenudos según con la reacción de la variedad al fotoperiodo y a su hábito de crecimiento. Casi todas las yemas auxiliares de la parte superior del tallo originan flores.

e)-Raíces: Son bien desarrolladas y con abundante nodulación, como toda leguminosa. La raíz principal puede alcanzar una profundidad de 2 metros. Sin embargo no penetra más allá de la capa arable. Origina muchas raíces secundarias y terciarias con infinidad de pelos radiculares. La presencia de bacterias radicales llamadas Rhizobium japonicum producen nódulos en forma de pequeños gránulos adheridos a las raicillas. Estas bacterias son capaces de fijar el nitrógeno atmosférico del aire proporcionando a la planta un suministro seguro de nitrógeno, permitiendo reducir la cantidad de abono nitrogenado inorgánico. Por lo tanto es de gran importancia inocular las semillas con este microorganismo antes de la siembra.

Fisiología.

La semilla de la soya germina en relación a la temperatura y la humedad de la tierra. Comúnmente esto ocurre a los 4 ó 6 días luego de la siembra. Cada variedad requiere de una duración de luz diaria para florecer y se han clasificado en los siguientes grupos 00, 0, I, II, III, IV, V, VI, VII, VIII, donde el más temprano es el 00 y el más tardío es el es el grupo VIII.

Clima y suelo.

La soya puede cultivarse en una amplia gama de temperaturas. Algunas variedades pueden germinar a 15 °C, pero cuando la temperatura mínima del suelo es superior a los 20 °C, las semillas germinan 5 días después de la siembra.

Se prefiere el uso de suelos de textura ligera pues favorece el crecimiento de las raíces. El adecuado drenaje del agua es importante pues el exceso de ésta en el suelo, perjudica a la semilla en cualquier etapa de su desarrollo. Prospera en suelos con pH de 5.5 a 7.0. En suelos alcalinos se produce una clorosis generalizada, que se manifiesta de manera notable por un amarillamiento en las hojas, este problema se resuelve suministrando Fe (fierro).

Siembra.

La profundidad de siembra es entre 3 y 5 cm. En suelos húmedos se prefiere a menor profundidad con densidad de siembra de 27 a 30 plantas/m cuadrado en hileras espaciadas a 60 cm de distancia.

Cuando la siembra se realiza en sitios donde no se ha sembra-

do soya con anterioridad, es aconsejable inocular la semilla con la cepa específica *Rhizobium japonicum*. Debe tenerse cuidado de no exponer la semilla inoculada a la acción directa de los rayos solares y evitar la desecación, la inoculación deberá realizarse el día de la siembra ya que esto evita la baja de efectividad.

La fertilización de la tierra es un detalle que se debe cuidar para que la siembra prospere, pues una cosecha de 3 ton/ha puede extraer 205 kg de nitrógeno, 55 kg de fósforo y 135 kg de potasio.

Plagas.

El uso indiscriminado de insecticidas y a veces la aplicación innecesaria de los mismos, ha provocado la alteración del ecosistema agrícola.

Las plagas más comunes de la soya son:

a)-Tierreros y trozadores: Estos trozan la base de los tallitos de las plantas causando secamiento de las plantitas, las larvas también atacan el cultivo casi durante las 3 primeras semanas. La buena aradura es una medida preventiva.

b)-Cucarroncitos y crisomélidos del follaje: Hacen perforaciones redondeadas en el follaje tierno.

c)-Masticadores del follaje: Las larvas de ciertas especies de mariposa se alimentan de las hojas de la soya y destruyen gran parte del follaje.

d)-Mosca blanca: Este es un insecto chupador que se alimenta de sabia de la planta.

Enfermedades.

Una enfermedad de origen bacteriano importante es la que se denomina mancha de la hoja que se hace evidente por pequeñas manchas de color amarillento con centros pardo rojizos.

Algunas enfermedades de la soya son causadas por hongos y se mencionan algunas de ellas:

a)-Mildiu vellosa: Aparece en el envés de las hojas un micelio blanquecino formado por la proliferación de los hongos.

b)-Podrición de raíz y tallo: Algunos hongos pueden atacar la base de los tallos y las raíces generando una pudrición en la planta.

c)-Podrición carbonosa: Afecta a las plantas jóvenes en la base del tallo y las raíces, ocasionando una pudrición marrón oscuro.

d)-Marchitamiento: Esta es una enfermedad vascular que se presenta en la planta por una coloración amarilla en las hojas.

e)-Antracnosis: Produce lesiones necróticas de color marrón oscuro, ligeramente hundidas en la hoja, tallo y vaina.

f)-Mancha violácea: Estas manchas se presentan en la planta, son de color violáceo a rosado en hojas, tallo y vainas.

El cultivo de la soya se ve también afectado por virus:

a)-Mosaico del frijol: Los virus Phaseolus 1 y 2 son los responsables de un deterioro general de la planta.

b)-Machismo: Las yemas terminales de las plantas se curvan y se secan. Hay un aborto de la vainas.

ASPECTOS NUTRICIONALES DEL FRIJOL DE SOYA.

Como dato comparativo inicial podemos mencionar que un acre (0.4 hectáreas) de cultivo de frijol de soya puede proveer suficiente proteína a un hombre para satisfacer una vida moderadamente activa por 2,224 días. En la misma línea podemos indicar que en el caso del trigo serían 877 días, mientras que con el maíz se podría proporcionar solamente 354 días.

Cualquiera de estos datos es mucho más alentador que la cifra que se maneja para el caso de destinar el alimento al ganado, esto en términos simples es proporcionar la cantidad de soya de los casos anteriores a la cría de ganado y la proteína disponible que se obtiene de la carne para el mismo individuo es de tan solo 77 días.

Los datos manejados anteriormente son lo suficientemente elocuentes como para comentarlos, pero huelga decir que el ganado es un pésimo transformador de alimentos.

De manera justa debemos reconocer que no todo en la soya son cualidades, es por eso que se tomó en cuenta este detalle y se incluyen de manera breve los aspectos más importantes que a mi parecer forman la gama negativa del frijol de soya.

Entrando propiamente a los aspectos nutricionales de la soya lo conveniente será iniciar con los componentes de que está constituida la semilla .

En primer lugar el contenido de proteína cruda que tiene la soya es de aproximadamente 40 % en base seca. Las variaciones que se pueden presentar en el contenido de proteína se deben a dos razones:

a) Localidad y condiciones climatológicas de la zona de cultivo

b) Variedad del frijol de soya

En cuanto a lo que al aceite se refiere el contenido promedio es de 20 %. Las variantes se deben a los detalles ya mencionados con respecto al contenido de proteína.

El contenido de cenizas y constituyentes minerales es alrededor de 5 % para cenizas, 1.83 % de potasio, 0.78 % de fósforo, 0.31 % de magnesio y 0.24 % de sodio, calcio y azufre para cada uno de ellos. Los compuestos que constituyen el fósforo contenido son: fósforo inorgánico, fitinas, fosfolípidos y ácidos nucleicos.

Los fosfolípidos son sustancias afines a la grasa conteniendo fósforo y nitrógeno, son solubles en alcohol y son buenos agentes emulsificantes.

Los carbohidratos presentes son la sacarosa, rafinosa, estaquiosa, entre otros, para dar un contenido total de carbohidratos de 30 % aproximadamente.

Cerca de un 6 % está constituido de fibra, que es la parte del frijol de soya que no tiene valor nutricional para el humano, aunque dicho sea de paso, tiene ventajas importantes para el funcionamiento del aparato digestivo consumir fibra. En su mayor parte esa fibra está constituida por celulosa, hemicelulosa y lignina.

La figura 1.1 muestra esquemáticamente esta distribución de componentes.

Mucho se habla del efecto que tiene el tratamiento térmico en los alimentos, pero en el caso particular de la soya este trata-

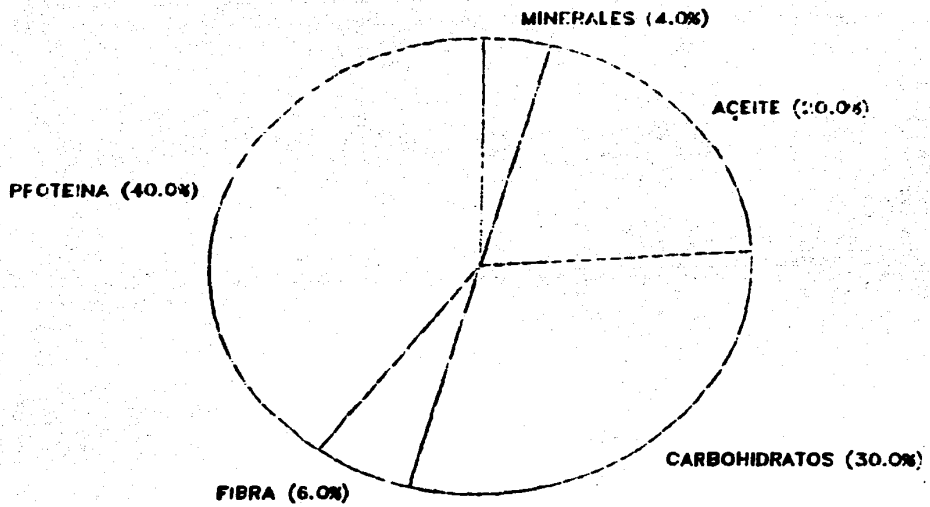


FIGURA 1.1 COMPONENTES NUTRICIONALES DEL FRIJOL DE SOYA

miento térmico es uno de los métodos más antiguos y aconsejables para aumentar el valor nutricional de la semilla eliminando los factores antinutricionales presentes en la soya. Es por supuesto evidente que algunas vitaminas termolábiles tendrán un decremento en su contenido, pero esto es inevitable en la mayoría de los alimentos que se procesan.

De los componentes que se inactivan gracias al tratamiento térmico se encuentran algunas enzimas y algunos factores dañinos que a continuación se indican de manera muy breve:

Lipoxigenasa. Esta enzima cataliza la acción del oxígeno sobre lípidos insaturados, provocando el sabor vegetal a frijol.

Inhibidores de tripsina. La soya contiene naturalmente estos inhibidores proteolíticos que, al no ser eliminados por calor, producen hipertrofia del páncreas.

Hemaglutininas. Son sustancias vegetales que tienen la propiedad de hacer precipitar o aglutinar las células sanguíneas.

Saponinas. Estas sustancias están contenidas en la soya en un porcentaje aproximado de 0.5%, siendo las responsables de crear la espuma que se forma durante la cocción de la leche de soya.

Existen algunos otros factores antinutricionales que se reportan en la literatura pero por no estar bien caracterizados salen del contexto de este tema y considero conveniente omitirlos. Es importante hacer énfasis en que los factores antinutricionales de la soya se inactivan totalmente con el simple hecho de cocinar la leche de soya.

Para terminar este apartado quiero mencionar el factor de

flatulencia que tiene el frijol de soya, ya que en muchos casos se presenta con problemas dispépticos.

Al parecer el problema está bien definido en términos causales, asociándose esta excesiva formación de gases a la presencia de oligosacáridos que al no ser asimilados en el tracto intestinal se fermentan por acción de la microflora, el fenómeno es variable en cada sujeto pero está bien establecido que el tratamiento alcalino con una disolución al 0.5 % de bicarbonato de sodio durante el proceso de remojo del frijol, elimina los oligosacáridos en buena medida, reduce el tiempo de cocción y disminuye el sabor vegetal a frijol (3).

PRODUCTOS ALIMENTICIOS QUE SE OBTIENEN DEL FRIJOL DE SOYA.

Es considerable el número de productos alimenticios que se pueden obtener del frijol de soya. Aunque en nuestro medio la difusión de estos productos es limitada a unos cuantos, en otros países como China y Japón se tiene una gran cantidad de productos derivados de la soya que se consumen con gran frecuencia y que podemos considerar actualmente dentro de la dieta tradicional de estos países.

Productos no fermentados del frijol de soya.

Productos de panificación. En primer lugar se menciona el uso que tiene la harina de soya en panes y pastelería. Durante la Segunda Guerra Mundial se estimuló el interés sobre la harina de soya como una nueva fuente de proteína, especialmente para incrementar el valor nutricional del pan y de otros productos de panifica-

ción.

En los primeros intentos por introducir la harina de soya en el pan se tuvieron desagradables resultados tanto para la industria de la soya como para la panadera.

Luego del periodo de la Segunda Guerra Mundial y con la iniciación en la investigación de los problemas de la soya, los errores iniciales de la industria procesadora se corrigieron y nuevos métodos se manejaron. Un mejor entendimiento de los usos y funciones en el campo de la panadería lograron un éxito en la aplicación de la harina de soya.

El alto contenido de proteína y de lisina de la harina de soya fueron argumentos para que se usara como suplemento a los productos de trigo. Desgraciadamente se encontró que el mercado para consumo humano estaba basado en sus propiedades organolépticas como color, aroma, textura y sabor, impartidas en el pan.

Sin embargo es de interés mencionar que los gobiernos de Israel y Colombia, entre otros, tienen como requerimiento de ley agregar el 5% de harina de soya a la harina que se usa para elaborar el pan.

Adicionar harina de soya a la harina de trigo provoca una disminución en el volumen del pan, por lo que es importante no excederse al agregar harina de soya o en tal caso compensar esto agregando aditivos específicos que promueven el esponjamiento del pan. Los cambios de sabor y textura son de tomarse en cuenta pero solo arriba del 20% (4).

Cereales. Se ha encontrado un uso limitado en el consumo de cereales para desayunar. El problema principal radica en el sabor

que imparte la harina de soya, pero la utilización de técnicas específicas para la eliminación de este problema de aroma vegetal, permitirá su uso futuro como complemento de cereales.

Productos de tipo lacteo. La industria alimenticia está constantemente tratando de aumentar la competitividad de sus productos que substituyen a los derivados de leche animal, como cremas, yogurts, leches, quesos, crema en polvo para café y otros, mientras la industria lechera tiende a fabricar leche descremada, leche reconstituida con grasa vegetal, para mencionar algunos. Esto es principalmente en los Estados Unidos, tal vez con la intención de brindar al público productos que no contengan colesterol, tema que ha creado polémica y confusión.

Al respecto, la leche de soya juega un papel importante paralelamente al desarrollo de estos productos, ya que si consideramos a la leche de soya tal como su nombre lo indica, constituye el producto más cercano que puede substituir a la leche de vaca con todas las ventajas de un producto vegetal, finalidad que pretenden lograr los productores de leche al vender una leche descremada, ventajas de importancia que más tarde se abordarán.

En el año de 1925, el doctor Harry Miller, durante su estancia en China, elaboró para hospitales y orfanatos productos imitación de leche de vaca, a base de leche de soya. Al regresar a los Estados Unidos, él introduce en la localidad donde vivía el uso de la leche de soya fortificada con vitaminas y minerales.

El área de mayor éxito inicial fue cuando se usó para alimentar a pequeños que tenían alergia a la leche de vaca o a la materna, cerca del 7% de los niños en los Estados Unidos.

El proceso que usaba el Dr. Miller consistía en seleccionar y limpiar el frijol de soya cuidadosamente para luego dejarlo remojar por toda una noche. Luego se molía en forma húmeda, se agregaba agua 10:1 en peso de frijol de soya y la pasta resultante se calentaba cercanamente al punto de ebullición por 15 a 20 minutos reteniéndose luego la parte insoluble y obteniéndose finalmente una emulsión muy estable, esto es finalmente la leche de soya llamada de este modo seguramente por su aspecto muy similar a las leches de mamífero.

Siguiendo con el tema, se sabe que se prefiere el uso de aceite de soya para la fabricación de la leche reconstituida, pues tiene un alto contenido de ácido linoleico, es el más económico y su valor nutricional es superior al aceite de coco y a la grasa de leche, ya que contiene mayor cantidad de ácidos grasos esenciales y carece de colesterol.

Si hablamos un poco de las leches en polvo para café, casi todas se elaboran de caseinato de sodio y aditivos para darle cuerpo y lograr una buena emulsión. Considero que la tendencia que debemos seguir sea la de fabricar este producto con leche de soya la cual es baja en carbohidratos y de valor nutricional mayor.

Soya texturizada. El uso de soya texturizada en la industria cárnica está muy difundido y no solamente ésta sino también la harina de soya. La soya texturizada se usa principalmente en esta industria para los embutidos como chorizo, bologna y similares. Entre tanto la harina de soya se usa principalmente en patés.

La intención de incluir la soya en la elaboración de estos productos, es evidentemente como extendedores de carne, ya que la

naturaleza del alimento condimentado y coloreado oculta perfectamente el texturizante que se usa en estos embutidos. El precio de la soya es con mucho, menor al precio de la carne, y considerando que la soya texturizada se rehidrata antes de incluirla esto exacerba aun más el bajo costo de esta carne vegetal (dato proporcionado verbalmente por un fabricante de embutidos). De manera optimista podríamos agradecer a los fabricantes de estos alimentos que aumentan el consumo de fibra y disminuyen la cantidad de grasa animal.

Los productos texturizados de soya son conocidos pero el problema es de nuevo la aceptación del consumidor a estos productos que considera muchas veces solo para vegetarianos.

Acción gelificante. Es de interés mencionar la aplicación que puede tener la soya desde el punto de vista de sus propiedades gelificantes. Esto indica porqué puede usarse como complemento de salsas, helados, carnes enlatadas y en general todo aquel alimento que requiera como vehículo la gelatina como aglutinante.

La intención de usar gelatina en los alimentos se basa en el hecho de que ésta no tiene sabor, da cuerpo a los alimentos y en el caso particular de los helados permite usar menores temperaturas para conservar el helado adecuadamente para su venta.

Existen otras muchas aplicaciones de la soya en la industria alimenticia, elaborando salsas, sopas, cerveza, pastas secas y dulces entre otras (4).

Leche de soya, que dejaré para capítulo posterior.

Tofu. El tofu es el alimento más importante que se usa para aportar proteína en la alimentación de Oriente (5).

El tofu tradicional es un producto altamente hidratado, algo gelatinoso, conteniendo aproximadamente el 88% de agua. Algunas veces se dice que recuerda el aspecto del queso cottage.

El tofu se elabora diariamente y se consume fresco, uno de los aspectos más importantes en la elaboración de este alimento estriba en el hecho de que se produce en forma seca. Sin lugar a dudas este adelanto permite una mayor vida de anaquel.

La elaboración de tofu se hace a partir de leche de soya a la cual se le agrega sulfato de calcio diluido en agua, esto es para precipitar las proteínas. Luego de agitarse vigorosamente se deja precipitar lentamente, pues así se favorece una aglomeración gelatinosa. Finalmente se prensa para obtener tofu en forma de cuadros.

Kori tofu o tofu seco. Este producto en particular tiene la gran ventaja de poderse conservar en buen estado por cerca de 6 a 12 meses. La preparación se realiza con cloruro de calcio en lugar del sulfato de calcio que se usó en la preparación del tofu. Los trozos de tofu con 78% de humedad se congelan a -20°C para luego mantenerse a -3°C por 20 días. Pasado este tiempo se descongela el cuadro para eliminar el agua hasta el 60 % por medio de rodillos a presión. El agua remanente se elimina por medio de calor en un tunel de secado.

El producto final consiste en 56% de proteína, 27 % de grasa, 6% de carbohidratos y un 8% de humedad.

Tofu frito. Como su nombre lo indica es un producto frito que se logra cortando rebanadas delgadas de tofu y luego friéndose en aceite.

Yuba. Este es un producto alimenticio que se obtiene de la leche de soya, cuando al calentarse cercanamente al punto de ebullición se forma una capa de proteínas y grasa (lo que sería la nata de la leche de vaca). Esta capa se extrae cuidadosamente y se le permite secar hasta el endurecimiento logrando obtener yuba que se usa en sopas o frito, su composición es muy similar a la del tofu seco. Este alimento constituye uno de los alimentos más antiguos en China.

Kinako. Los Japoneses tienen un producto que integran al arroz y que a veces esparcen a éste y a otros alimentos. La preparación de este alimento consiste en moler el frijol de soya entero, el cual ha sido dorado y cocido totalmente. Esta molienda constituye el complemento de casi cualquier alimento.

Germinado de soya. La soya contiene mayor cantidad de grasa y proteína que el frijol Mung, por lo cual se prefiere la soya a este último en la preparación de germinados.

La germinación se realiza en un recipiente aislado de la luz al cual se le cambia el agua diariamente. Una vez que germina el frijol puede usarse en la preparación de ensaladas, cocido, frito, solo o mezclado con otros alimentos.

El germinado de soya es particularmente útil en épocas invernales cuando es difícil encontrar vegetales frescos. Es también importante recomendar el uso de germicidas en el agua de germinación para evitar la proliferación de organismos parasitarios del sistema digestivo, ya que generalmente la semilla esta acompañada de tierra.

Productos fermentados del frijol de soya.

La contribución que tienen los alimentos fermentados del frijol de soya en la dieta oriental, es más en condimento que en valor nutricional, aunque es importante aclarar que este último no es tan despreciable en algunos de los productos. Los condimentos son parte importante de la dieta de los orientales, mencionaremos los mas sobresalientes (5).

Queso de soya. Se ha preparado queso a partir de leche de soya inoculada con Streptococcus thermophilus como organismo fermentador. El iniciador se preparó por adición de 200 mg de cultivo a un frasco conteniendo 200 g de leche de soya esterilizada. Se incubó a 32 °C por 15 hr. Un ml de este iniciador fue agregado a 200 g de leche de soya esterilizada. El queso puede elaborarse por tres métodos : a) Por adición de sulfato de calcio ; b) Por adición de ácido acético ; c) Por fermentación láctica. A continuación se indica el porcentaje de proteína precipitada :

Acido acético 67%

Sulfato de calcio 54%

Fermentación láctica 55%

La cuajada de la fermentación láctica produce un queso con el mejor cuerpo y textura.

Productos tipo yogurt. Se han obtenido bebidas del tipo mencionado a partir de leche de soya y Lactobacillus bulgaricus o Streptococcus thermophilus como agentes fermentadores.

Koji. La palabra Koji es una abreviación de Kabi-tacki que significa "flor de moho". Este preparado es un cultivo especial de microorganismos que se usan para fermentar la mayoría de los pro-

ductos de soya que se consumen en la dieta de Japón y China. Estos son hongos del género *Aspergillus*.

Miso. Es un alimento preparado a partir de soya con sal, sometido a fermentación. Existen múltiples modalidades en la preparación de este alimento pues el producto obtenido varía en características dependiendo de la variación de sustrato, tiempo de fermentación, cantidad de sal, entre otros.

La apariencia del Miso es la de una pasta similar a la manteca de cacahuete en consistencia y suavidad de textura. Este, al disolverse en agua, permite la preparación de varias sopas, generalmente conteniendo vegetales, algas, tofu, pescado, . Puede ser usado en el sazón de carnes y productos vegetales.

Shoyu. Sin duda alguna es el producto derivado de la soya que tiene mayor difusión en nuestro medio, pues es el nombre japonés de la salsa de soya; líquido café oscuro, de sabor salado, el cual se elabora de la fermentación de soya con trigo y sal. Esta salsa es un agente que se utiliza para condimentar toda clase de alimentos, inclusive para preparar ciertos platillos orientales.

Natto. Este es un producto que muestra una diferencia significativa en relación con los demás productos. La preparación del mismo se realiza por fermentación bacteriana, particularmente de *Bacillus subtilis*, pero a pesar de sus características de sabor, olor y aspecto ya bien conocidas, no tiene tanta popularidad como el Miso.

Hamanatto. Es el nombre japonés que se utiliza para designar un producto que se elabora a partir de frijol de soya entero y *A. orizae*.

La soya se remoja y se cuece a vapor hasta que adquiere una consistencia blanda, se drena el agua, se enfría y mezcla con harina de trigo inoculándose para luego ser empacada con la cantidad de vino, las especias y agua necesarias, dejándose añejar por varias semanas e incluso meses. El producto final es negruzco y de sabor muy similar a la salsa de soya.

Tempeh. Es una especie de pastel de frijol de soya fermentado por Rhizopus oligosporus. Cuando éste se fríe, adquiere un agradable sabor, buen aroma y textura. Un aspecto también interesante de este alimento, es que la fermentación del frijol por este microorganismo, produce actividad antioxidante en aceites, conteniendo ácidos grasos polinsaturados. Un fenómeno similar ocurre con el frijol negro al fermentarse (6).

Este es el caso de alimento de soya fermentado que contiene un alto contenido de proteína y que se puede elaborar, a bajo costo permitiendo el aporte suficiente de la misma y con características organolépticas muy agradables.

Se prepara cociendo semilla sin cáscara, luego se mezcla con tempeh previamente preparado y se deja fermentar por un día.

Sufu. Es un producto similar al queso suave, hecho de cubos de tofu y por acción de microorganismos. Se prepara inoculando cuadros de tofu en la superficie con Mucor sufu o A. elegans. Luego se incuban a 20 °C de 3 a 7 días. Finalmente, se sumergen en salmuera y se permite que reposen de 40 a 60 días.

CAPITULO 2

DESCRIPCION DEL SECADOR POR ASPERSION.

INTRODUCCION.

El término secado se entiende en su sentido más simple, como la eliminación de humedad en una substancia. Pero el término se aplica tan general e incongruentemente, que es necesario restringir su significado en el análisis del presente tema.

Podemos considerar un proceso de secado como la eliminación de humedad de sólidos y líquidos por evaporación en una corriente gaseosa. Tomando en cuenta lo anterior no podemos considerar secado como centrifugar o exprimir, siendo estas operaciones puramente mecánicas. En el caso particular del secado existe una transferencia de masa y calor.

Observando la mayor parte de los procesos industriales, generalmente el aire es la corriente gaseosa y el agua se considera la humedad, pero esto no implica que sean las únicas alternativas posibles manejables en el secado; podemos usar corrientes gaseosas como nitrógeno, dióxido de carbono, gases de combustión y otros. La humedad contenida puede ser etanol, benceno, acetona u otro componente líquido.

El análisis se hace por lo general en base al sistema aire/agua pero es posible el manejo de las expresiones matemáticas considerando el sistema particularmente usado. Esto es, que podemos construir cartas de humedad en base a pares acetona/aire, benceno/nitrógeno o en base al sistema que se esté trabajando.

Un sólido húmedo expuesto a una corriente gaseosa conteniendo

una presión de vapor determinada, o bien perderá humedad o ganará humedad del gas hasta que la presión de vapor de la humedad del sólido sea igual a la presión parcial del vapor en la fase gaseosa. En este caso el sólido y el gas están en equilibrio, conociéndose a la humedad contenida en el sólido como la de equilibrio a las condiciones de presión y temperatura determinadas.

En el proceso de secado podemos considerar una clasificación según sea la operación por lotes o continua. Existe un buen número de secadores para todo tipo de usos y materiales, dentro de los cuales aparece el secador por esparcido, también conocido como secador por atomización. Este equipo está destinado para el secado de disoluciones de sólidos en líquidos, pastas y suspensiones (7) .

El proceso de secado por aspersion se resume a continuación: el equipo de secado por aspersion cuenta con un sistema de calentamiento, sistema de transporte neumático, cámara y sistema de esparcido.

El procedimiento de secado consiste en atomizar un líquido lo más finamente posible dentro de una cámara donde se hace dispersar en una corriente de aire caliente. Las gotas finamente divididas al entrar en contacto con el aire caliente, transfieren la humedad contenida al aire, quedando prácticamente seco el sólido antes de llegar a las paredes de la cámara, el sólido seco cae en el fondo cónico de la cámara arrastrado por la corriente de aire caliente y finalmente es colectado por uno o varios ciclones.

Existen varios patrones de flujo entre el atomizado y la corriente: paralelo, a contra corriente y mixto.

De forma general este es el proceso de secado por atomización, los arreglos y diseños detallados varían considerablemente según el fabricante.

El uso que se le da al secado por aspersión es generalmente en productos que no pueden secarse por otro método, ya sea por su carácter termolabil o por tener la propiedad de aglutinarse por efecto de la temperatura en otros procesos de secado. Es muy usado en procesos para fabricar alimentos y así obtener productos como leche, café y en general productos en polvo.

Es difícil predecir el comportamiento que tendrá un producto que se va a secar por primera vez; la distribución del tamaño de partícula varía de producto a producto debido a las condiciones de temperatura, concentración, composición y en general por sus propiedades físicas y químicas; sin embargo, sí es posible establecer que el acabado final es el más deseable en comparación con otros métodos, cuando el producto terminado es polvo.

Existen ciertas sustancias que forman productos esponjosos, esto debido a que la humedad superficial de la gota se evapora primero, formando un recubrimiento seco que al permitir la entrada de calor al interior provoca una evaporación súbita interna, favoreciendo el aumento de tamaño y la formación de numerosos poros, esto es particularmente útil en el momento de rehumedecer el producto.

SISTEMA DE CALENTAMIENTO.

Uno de los trabajos de esta tesis fue reacondicionar el sistema de calentamiento e instalar un control de temperatura nuevo,

todo con la finalidad de poder trabajar adecuadamente y a la vez beneficiar de una manera objetiva a las instalaciones de la Facultad de Química.

Sin duda alguna todo este reacondicionamiento tomó la mayor parte del tiempo usado en esta tesis y vale la pena dedicarle unos cuantos comentarios de cómo estaba y cómo quedó.

Inicialmente el secador tenía un sistema de calentamiento formado por tres placas rectangulares, colocadas casi perpendicularmente al flujo del aire de entrada respecto al plano de la forma rectangular. Debido a lo anterior el aire tenía dificultad en fluir, con un área de calentamiento pobre.

El sistema de calentamiento anterior a las placas, constaba de tiras aletadas por lo que se tomó la decisión de comprar un banco nuevo e instalarlo.

El primer problema consistió en buscar a los fabricantes, determinar a los de mejores condiciones de entrega y precio, e instalar a la entrega.

Una vez instalado el banco durante las pruebas se detectó que el sistema de control-indicador de temperatura fallaba y se vió conveniente reemplazarlo por uno más moderno ya que el bulbo de mercurio que se requería para su reparación costaba relativamente más caro que todo un sistema nuevo, de mayor confiabilidad y más moderno.

A continuación se describen las características del sistema de calentamiento y los cálculos realizados para diseñar las resistencias que en el sistema anterior a las placas eran de 1,250 watts cada una y se decidió cambiarlas a 1,500 watts. También se

muestran los cálculos de potencia para el nuevo sistema .

El sistema de calentamiento cuenta con tres bancos de resistencias, uno de ellos controlado termostáticamente y dos más de operación independiente. Cada resistencia es de tipo tira con aletado adicional para aumentar la disipación de calor, con una potencia de 1,500 watts a 230 voltios y con longitud de 54 cm.

Se diseñan a 230 voltios para proporcionar un margen de seguridad. El suministro de energía eléctrica es en tres fases y 220 voltios.

Cada banco consta de seis resistencias, dos en cada fase y el arreglo es en delta.

La construcción de cada resistencia es a base de alambre nicromel espiralizado soportado en base de cerámica y todo el conjunto confinado en lámina de acero inoxidable y estructurado en forma de tira para finalmente colocarle el aletado. Cada banco de resistencia ya montado y conectado se probó dando una corriente de 20 amperes con una tensión de 220 voltios.

La potencia entregada no puede calcularse multiplicando el número de resistencias por su potencia ya que, como se mencionó anteriormente, el arreglo es en delta y dado que en un sistema trifásico balanceado la corriente de línea no es igual a la corriente de fase, es necesario utilizar la siguiente expresión:

Pt = Potencia total; I = Intensidad de línea; V = Voltaje de línea.

$$Pt = 1.732 * I * V$$

Esto es, que para calcular la potencia total de cada banco,

se hace necesario multiplicar la corriente de línea (20 amperes) por el voltaje de línea (220 voltios) por la raíz cuadrada de 3 obteniéndose el valor en watts.

$$P_t = (1.732) (20 \text{ A}) (220 \text{ v})$$

$$\text{Potencia total} = 7,621.02 \text{ watts}$$

Si multiplicamos por tres bancos, el sistema, operando totalmente, consume aproximadamente 22,863.1 watts. La potencia entregada por cada una de las resistencias será entonces de 1,270.2 watts.

Como dato adicional sabemos que cada resistencia tiene un valor de 35 ohms, tomando en cuenta que cada resistencia es una unidad, independientemente del arreglo a que se le destine; el cálculo se hizo de la siguiente manera: las resistencias del banco anterior tenían un diseño de 1,250 watts y ahora se sobrediseñaron a 1,500 watts; para ello, se calcularon los ohms de cada resistencia de la siguiente forma.

$$P = VI \quad (\text{potencia}) = (\text{voltaje por intensidad})$$

$$V = RI \quad (\text{voltaje}) = (\text{resistencia por intensidad})$$

$$P = \text{watts}$$

$$V = \text{voltios}$$

$$I = \text{amperes}$$

$$R = \text{ohms}$$

Datos de diseño:

$$1,500 \text{ watts} \quad 230 \text{ voltios}$$

$$P = VI \quad I = P/V \quad I = 1,500/230$$

La corriente requerida será de $I = 6.52$ amperes

Despejando R de la expresión $V = RI$ se tiene: $R = V/I$

R = 230/6.52

R = 35.28 ohms

Con esta resistencia obtenemos a 230 voltios una potencia de 1,500 watts.

Ahora podemos calcular la longitud del alambre de nicromel sabiendo el dato de ohms/metro. Se divide el número de ohms entre el dato anterior y se obtiene el número de metros.

Resumiendo lo anterior:

- i) El sistema consta de tres bancos de calentamiento
- ii) Cada banco está constituido por 6 resistencias
- iii) El suministro de corriente eléctrica es de 220 voltios en tres fases
- iv) Cada resistencia tiene un valor de 35 ohms
- v) Cada resistencia se diseñó para dar nominalmente 1,500 watts a 230 voltios, una fase, tipo tira, aletadas y con longitud de 54 cm
- vi) El arreglo de las resistencias es en delta, con dos resistencias por fase, quedando balanceado el sistema y entregando cada una de las resistencia 1,270 watts
- vii) Cada banco consume 7,621 watts y los tres, un total de 22,863 watts
- viii) Para detalles y cálculo de potencia en sistemas trifásicos se utilizaron métodos previamente descritos en la literatura (8).

SISTEMA DE ASPERSION.

Antes de describir el sistema utilizado, se revisarán brevemente los sistemas existentes descritos en la literatura, tomando

como base las obras (7) y (9) .

Como es sabido, en el secado por aspersión es necesario atomizar lo más finamente posible con la intención de aumentar la superficie de contacto del líquido; esto se logra, dividiendo el líquido en pequeñas gotas. Existen tres sistemas de atomización:

- a) Boquillas de alta presión
- b) Boquillas de dos fluidos
- c) Discos centrifugos

a) Boquillas de alta presión.- Trabajan forzando el líquido a altas presiones (400 a 10,000 psi), permitiendo que a la salida de la esprea el líquido se disperse en finas gotas. El diseño de estas espreas es especial permitiendo que la súbita expansión del líquido forme un cono de finas partículas, dependiendo del material a secar.

Los diámetros de esprea utilizados van de 0.01 a 0.15 pulgadas. Es importante mencionar que estas espreas están sometidas a erosión por la elevada velocidad que se alcanza en el orificio de salida. Esto implica que se construyan con materiales muy resistentes a la misma: carburo de tungsteno o estelita entre otros.

A pesar de la dureza que se logra obtener con estos materiales, con el tiempo presentan rayaduras que provocan espreados deficientes o un aumento en el diámetro.

Por otro lado, las bombas utilizadas para suministrar esas presiones presentan altos costos de operación y mantenimiento.

b) Boquillas de dos fluidos.- Son sistemas que utilizan un fluido atomizante, generalmente aire comprimido, en los que se manejan presiones del orden de 5 a 60 psi,

El diseño de las espreas permite introducir el líquido y a su vez aire a presión, el cual, prácticamente se mezcla con el líquido asperjado y proporciona una lluvia de finas partículas.

El caso de desgaste es muy semejante al de las boquillas de alta presión y, debido a su bajo flujo de operación, éstas no son muy usadas a nivel industrial.

c) Discos centrífugos.- Son dispositivos giratorios que operan a velocidades del orden de 3,000 a 50,000 rpm, con diámetros de dos a quince pulgadas. Estos discos reciben el líquido y debido a su alta velocidad, lo esparcen finamente dividido. La ventaja que presentan es que pueden trabajar con productos relativamente viscosos y no sufren obstrucciones como sucedería con las espreas.

Es conveniente realizar un análisis previo de las condiciones del producto a secar así como de las dimensiones de la cámara de secado para determinar el equipo óptimo a utilizar.

En el caso que nos ocupa, el secador cuenta con una boquilla de dos fluidos, intercambiable, que opera con aire a presión. La boquilla tiene un sistema de enfriamiento con agua que evita un sobrecalentamiento en la esprea que, eventualmente, si no hubiese enfriamiento produciría un taponamiento al secarse el producto dentro de ella; además, este enfriamiento previene una deformación por calor de la boquilla.

CAMARA Y SISTEMA DE TRANSPORTE.

El secador de esprea que se usó en este trabajo, tiene una cámara de secado, pues como se indicó anteriormente, el proceso

requiere de contacto directo del aire caliente con el líquido atomizado. La cámara está construida de acero inoxidable con un diámetro interior de 94 cm por 152.4 cm de alto y un fondo cónico de 60° que termina en una descarga de 10.16 cm de diámetro.

Para evitar pérdidas de calor la cámara está aislada con lana de vidrio cubierta con lámina. En la parte superior tiene una ventanilla provista de un foco para iluminar el interior de la cámara, una puerta de cristal al frente que permite observar la operación de la espreea durante el secado y asimismo dar oportunidad a su limpieza y la de la espreea.

El sistema de transporte se efectúa por medio de un ventilador centrífugo de 1/2 hp, que fuerza la entrada del aire ambiental a través del sistema de calentamiento para luego hacerlo pasar por la cámara de secado ya caliente. El aire continúa su viaje hasta el primer ciclón donde es recogido el producto.

El ventilador está colocado entre este primer ciclón y el siguiente de mayores dimensiones, en el cual son recuperados los materiales finos.

El aire sigue su trayecto por el ciclón de finos y al final del mismo se encuentra la descarga de aire húmedo utilizado durante el proceso de secado.

Se determinaron las velocidades del aire a 21 °C a la salida del ciclón colector de finos usando para ello un anemómetro digital de hélice marca AIRFLOW modelo LCA 6000 .

El promedio de lecturas realizadas fue de 4.5 m/s de velocidad en el ducto que tenía un diámetro interno de 14.5 cm, por lo tanto el área resultó ser de 0.0165 m², de esta forma, el gasto

volumétrico calculado es de 267.52 m³/hr de aire húmedo. Las lecturas del higrómetro dieron 21 °C de bulbo seco y 16 °C para bulbo húmedo. Tomando en cuenta estas condiciones se obtuvo un valor de 243.20 kg de aire seco/hr, esto es, flujo másico de aire seco. Expresando este valor en unidades inglesas se tiene que el secador maneja 535 lb de aire seco/hr.

Este valor de flujo másico se obtuvo con el secador operando sin producto y con la válvula de mariposa totalmente abierta la cual, se encuentra colocada en la descarga del ventilador.

La figura 2.1 muestra la estructura simple del secador, donde se representa:

- 1= Montajugos.
- 2= Sistema de calentamiento.
- 3= Sistema atomizador.
- 4= Cámara de secado.
- 5= Ciclón colector de producto.
- 6= Ventilador.
- 7= Válvula de mariposa.
- 8= Ciclón colector de finos.

INSTRUMENTOS DEL SECADOR.

El secador de espreea tiene para su manejo un indicador de temperatura de carátula y bulbo de gas, el cual está colocado a la entrada del primer ciclón para indicar la temperatura de salida del aire. Por otro lado se tienen los controles e indicadores de presión los cuales tienen la función de variar las condiciones de entrada del líquido que se va a asperjar. Podemos controlar la presión de alimentación y la presión de atomización. En ambos ca-

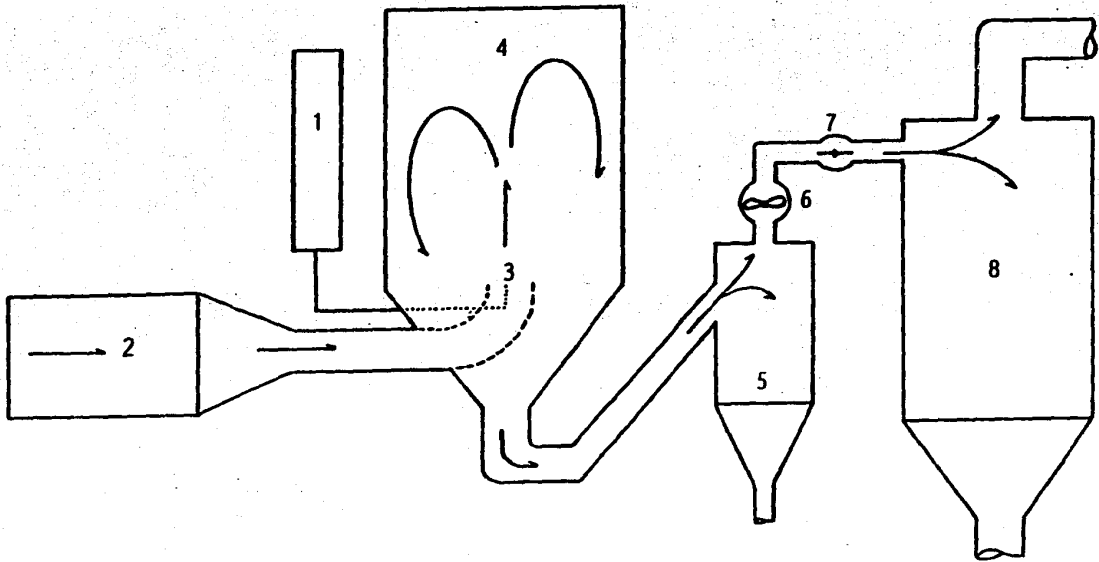


FIGURA 2.1 DIAGRAMA SIMPLE DEL SECADOR DE ESPREA

Los se dispone de dos válvulas: una de paso y la otra controladora de presión.

Con la válvula de paso únicamente controlamos la alimentación de aire, mientras que con la segunda, seleccionamos y fijamos la presión de trabajo de la alimentación y atomización.

El uso de dos válvulas en cada caso, permite un manejo más cómodo en la operación del secador ya que, una vez seleccionada la presión de la misma, el cerrar y volver a abrir la válvula de paso no causa variación en la presión seleccionada.

SISTEMA DE CONTROL DE TEMPERATURA.

En el secador de espreea el sistema de control de temperatura representa un punto importante.

El secador de espreea cuenta actualmente con un control de temperatura marca West con un intervalo de operación de 0 a 800 °C .

La temperatura es registrada por un termopar del tipo hierro-constantano, provisto con sus aislantes cerámicos. El conjunto está acoplado al secador con una cabeza desmontable de tipo marino, que facilita la instalación del cable del termopar y su mantenimiento.

Esta cabeza tiene además, un aislante en forma de placa que elimina el contacto directo del termopar con el tubo de conducción del aire caliente, procedente del sistema de calentamiento, esto evita registros de temperatura erróneos causados por el calor de conducción del tubo de transporte, ya que lo que interesa es la temperatura del aire que se maneja.

El cable de extensión del termopar se transporta por tubo conduit hasta el controlador-indicador que recibe la señal del termopar y lo traduce en temperatura.

Es importante mencionar que para que exista indicación de temperatura no se requiere de suministro de energía eléctrica, ésta solo se ocupa para que la parte controladora del equipo efectúe sus funciones de conexión-desconexión, ya que el indicador es un galvanómetro muy sensible a la señal que envía el termopar.

El control de temperatura está formado por una aguja indicadora y otra para punto de control. Cuando la aguja indicadora de temperatura iguala o supera a la de control, un mecanismo interno interrumpe el suministro de energía a la bobina del contactor que a su vez tiene la función de desconectar la energía al banco de resistencias.

Cuando el mecanismo detecta un descenso en la temperatura, cierra el circuito para accionar la bobina que cerrará el circuito del contactor para suministrar energía al banco.

Como se mencionó antes, el indicador de temperatura no requiere de energía eléctrica, sin embargo, las funciones de control deben alimentarse con 220 voltios (corriente alterna); este suministro también sirve para la iluminación de los indicadores de operación. El control-indicador puede operarse también con corriente de 110 voltios (corriente alterna).

VERIFICACION EXTERNA DEL ESTADO DEL BANCO.

Dentro de la operación de cualquier equipo es importante conocer el estado real de funcionamiento del mismo, para lo cual,

debe realizarse una prueba en forma sencilla y rápida.

Por tal motivo se elaboró la manera de verificar el estado del banco evitando la revisión de cada una de las resistencias. El procedimiento general consistió en lo siguiente:

Se sabe por cálculos y por experiencia directa, pues lo medí con el equipo que se adquirió para la instalación del sistema, que el valor de las resistencias es de 35 +/- 2 ohms. Se tiene que, para calcular el valor equivalente de varias resistencias colocadas en serie, basta con sumar sus valores.

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Quando se tiene el caso de resistencias en paralelo la resistencia equivalente del sistema es igual al inverso de la suma de los inversos de cada una de las resistencias, expresado matemáticamente:

$$R_{eq} = 1 / (1/R_1 + 1/R_2 + \dots + 1/R_n)$$

Como se mencionó anteriormente, cada fase de la delta consta de dos resistencias en paralelo.

Así, la resistencia equivalente de cada fase es:

$$1/R_{eq} = 1/35 + 1/35 = 2 (1/35)$$

$$R_{eq} = 17.5 \text{ ohms por fase}$$

Ahora se tiene una delta equivalente.

El valor óhmico midiendo dos puntos de unión de la delta será igual en todos los puntos si las resistencias son iguales, como en este caso, de ser distintas, los valores pueden predecirse con el mismo procedimiento. Haciendo un análisis detallado del sistema delta se obtendrá un resultado equivalente a dos resistencias en serie y una en paralelo. El valor de las dos resistencias en serie

es $2 (17.5) = 35$ ohms.

Luego, $1/Req = 1/17.5 + 1/35$

$Req = 11.66$

Repitiendo esto para las otras dos posibilidades resulta lo mismo. Ver figura 2.2 .

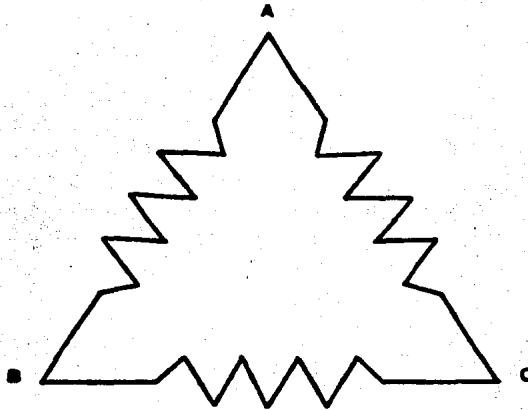


FIGURA 2.2 ARREGLO DE RESISTENCIAS EN DELTA

A, B y C muestran los puntos de unión de las tres resistencias donde se realizan las mediciones: A con B, B con C y C con A son las tres posibles combinaciones.

El lector puede verificar experimentalmente el procedimiento de prueba, colocando tres resistencias del mismo valor en delta y realizando mediciones de resistencia en los puntos de unión. Los valores coinciden con los cálculos matemáticos antes descritos.

La verificación del estado de un banco se realiza midiendo en los bornes que van a la conexión de energía eléctrica debido a

que éstos están conectados directamente a la delta, esto a su vez facilita el acceso a la medición pues no hay necesidad de desmontar los bancos. Por obvias razones el interruptor de corriente debe estar desconectado.

Es importante mencionar la utilidad de esta prueba ya que, de no llevarse a cabo, se hace necesario dismantelar cada banco y probar cada resistencia por separado, acción que representa mayor cantidad de trabajo y la consecuente pérdida de tiempo. Cabe decir que el uso de una electropinza puede ser útil en la detección de fallas al registrar una variación de amperaje.

Esto, considero que es una de las principales contribuciones de este trabajo.

FUNCION DE LOS CONTACTORES.

Cuando se manejan altos amperajes de trabajo iguales o mayores a 10 amperes, se requiere el uso de contactores, es decir, no podemos usar un interruptor de corriente convencional, ya que la carga máxima que aceptan es de poco mas de 5 amperes y en tal caso se requiere de un sistema capaz de soportar la carga de trabajo deseada. La razón de usar dispositivos específicos estriba en el hecho de que el uso de altos amperajes actúa como soldador de arco, promotor de la oxidación en los puntos de contacto del interruptor y deteriorante general del dispositivo, por lo que no pueden usarse los interruptores convencionales. Los contactores son interruptores de construcción robusta diseñados para aumentar el área de contacto y así disminuir la densidad de flujo de corriente.

Están constituidos fundamentalmente por una bobina y elementos de contacto, operados externamente a través de un interruptor convencional o de baja carga de trabajo. La bobina opera con corriente de 220 voltios y tiene la finalidad de trabajar junto con el interruptor abriendo y cerrando los elementos de contacto, los cuales, están diseñados para el trabajo pesado; en esta forma, el circuito de la bobina sólo envía una señal de abrir y cerrar. Al cerrarse el circuito de la bobina, se genera un campo magnético capaz de atraer un núcleo de hierro que es el que realmente recibe el impacto cuando se cierra el circuito de mayor carga.

Una ventaja adicional de este sistema se refiere a la inclusión de elementos térmicos, los cuales se calientan en el momento de una sobrecarga y deshabilitan el suministro de corriente eléctrica, es decir, actúan protegiendo el equipo como lo hacen unos fusibles.

CAPITULO 3

OBTENCION DE LECHE DE SOYA SECADA POR ASPERSION

COMENTARIOS INICIALES.

Antes de iniciar con los aspectos experimentales de la obtención de la leche de soya secada por aspersion, considero importante, mencionar algunos puntos que muestran con mayor detalle lo que es la leche de soya y sus principales características.

Leche de soya según el método tradicional chino es el extracto acuoso del frijol entero que después de obtenido se cocina. Actualmente se incrementa el valor nutricional de la leche de soya adicionando vitaminas y minerales mejorando también su aceptación agregando colorantes y endulzantes. Con esto se logra obtener una leche de soya que es muy similar a la leche de vaca y a la materna. Las vitaminas liposolubles se incorporan excelentemente a la fracción oleosa de la leche de soya, pues recordaremos que la leche de soya es una emulsión estable del extracto acuoso del frijol de soya.

Puede distribuirse en forma de leche fresca (presentación líquida), en forma evaporada (presentación concentrada), o deshidratada (presentación en polvo).

La leche de soya tradicional china primero se obtiene en extracto acuoso y posteriormente se cocina. En el método japonés primero se cocina la pasta molida con agua y luego se extrae la leche de soya.

La leche de soya por sí sola tiene una gran importancia, no solamente por la alternativa que puede representar para algunas

personas el hecho de tener disponible un alimento distinto para consumir, sino por el hecho de dar opciones para complementar su dieta o para satisfacer la carencia de consumo de leche en los intolerantes a la lactosa que contiene la leche de vaca o por dar alimento a los niños alérgicos a la leche animal. La leche de soya tiene además una extraordinaria importancia si tomamos en cuenta que es la materia prima de algunos alimentos, de hecho, y con grandes perspectivas para en un futuro, usarla para el desarrollo de nuevos productos. Con todo ésto, quiero decir que la leche de soya es importante para en un momento dado complementar el consumo de leche animal, pero observada como materia prima de alimentos (el tofu es un magnífico ejemplo) o vehículo de éstos y en su caso como complemento representa, a mi manera de ver, un panorama de excelentes posibilidades.

La leche de soya es una bebida barata, saludable y nutritiva. Existen variadas técnicas económicas y simples, desarrolladas para producir leche de soya de calidad y sin el sabor vegetal típico de la soya, pues es uno de los problemas que se presentan con mayor frecuencia en cuanto a su aceptación.

Se considera que la leche de soya puede producirse a una tercera parte y hasta a la mitad del costo de la leche de vaca. Más aún, por unidad de área de tierra, se puede producir 10 veces más leche de soya que leche de vaca anualmente.

La leche de soya no contiene lactosa. Esta propiedad es particularmente útil en los casos en que el individuo pierde su capacidad para producir lactasa, enzima responsable de degradar la lactosa que contiene la leche de vaca.

Las personas intolerantes a la lactosa experimentan problemas digestivos considerables al ingerir leche de vaca, de tal forma que la leche de soya, representa una alternativa para suplementar esta deficiencia además de ser, para un individuo sano, un producto altamente digerible.

Aunado a esto, se presentan casos de alergias a la leche de vaca, siendo la leche de soya, de nueva cuenta, una alternativa aconsejable. Un punto muy importante es que la leche de soya está libre de colesterol. La leche de soya contiene lecitina y aceite rico en ácidos grasos polinsaturados. El consumo mantenido de leche de soya puede hacer descender los niveles de colesterol en la sangre.

Cuando la leche de soya se sirve con cereales se puede aumentar la calidad de proteína en 30% o más, proporcionando y complementando los aminoácidos esenciales contenidos en ambos.

También suministra ácidos grasos esenciales y vitaminas del grupo B; proporciona sólo el 18.5% de calcio, contenido en la leche de vaca y no aporta vitamina B 12 (aunque estos nutrientes pueden ser agregados durante el proceso de obtención).

En Asia se considera un producto alcalino y esto es tomado en cuenta como un aspecto saludable; de hecho, en Japón y Taiwán, las promociones publicitarias enfatizan esta cualidad alcalina.

La leche de soya puede ser producida por tecnología simple con bajos requerimientos de energía e inversiones de capital relativamente pequeñas.

Nutricional y organolépticamente, es una bebida aceptable. Puede comercializarse endulzada con adición de saborizantes; puede

mezclarse con leche de vaca o jugos. Sus presentaciones pueden ser: líquida, condensada o en forma de polvo.

Sus aplicaciones son variadas: fabricación de tofu (alimento de aspecto y propiedades similares al queso pero obtenido de la leche de soya), helados, pudines, yogurts, mayonesas, cremas, quesos, malteadas, fórmulas infantiles y geriátricas, entre otras. Es evidente que cualquier envase para productos lácteos puede ser utilizado.

El hecho de diversificar el uso de la leche de soya representa una manera de obtener buenas perspectivas de desarrollo.

Las posibilidades de desarrollo en comunidades donde se produce el frijol de soya pueden ser incrementadas si se planea la instalación de una planta productora de leche de soya, en vez de destinar la producción a otros sectores como puede ser el ganadero y el productor de aceite.

El almacenaje de frijol de soya no representa un problema cuando se realiza en forma seca y con el debido control de humedad. Esto permite usar cantidades variables sin tener que preocuparse por la pérdida de materia prima ocasionada por descomposición.

Es sabido que la leche de soya tiene un sabor vegetal que se asocia al del frijol; existe una gran variedad de compuestos a los cuales se les atribuye la propiedad de impartir este sabor. En China el sabor es tolerado y el japonés acepta un sabor suave, quiere decirse con esto, que el sabor vegetal no es muy acentuado. Nuestra cultura, por otro lado, tiende a rechazar el producto ya que compara automáticamente con la leche fresca de vaca.

Nos enfrentamos con problemas que vienen de nuestros patrones y hábitos alimenticios, pero no pretendo en la tesis tocar estos aspectos, sino indicar que un producto (leche de soya) no es mejor que otro (leche de vaca), sencillamente son cosas diferentes, para gustos y necesidades distintos.

Es importante indicar que no se debe hablar de la leche de soya como "producto imitación de leche de vaca" o "leche para vegetarianos", pues esto favorece actitudes de rechazo totalmente justas.

Actualmente se cuenta con procedimientos para eliminar el sabor a frijol; algunos de los más importantes se mencionan a continuación (10):

a) Un grupo de la Universidad de Cornell encontró que simplemente al moler el frijol de soya hidratado con agua hirviendo o vapor a 80 °C o más, manteniendo la pasta con esta temperatura por espacio de 10 minutos, se inactivaba la lipoxigenasa previniendo la formación del sabor a frijol, produciendo una leche de sabor agradable.

b) El grupo de la Universidad de Illinois descubrió que podían blanquear frijol hidratado en agua hirviendo por 10 minutos o colocándolo seco en agua hirviendo por espacio de 20 minutos, lográndose hidratación e inactivación de la lipoxigenasa simultáneamente.

En algunos casos 0.25% a 0.5% de bicarbonato de sodio se usó para blanqueado, hidratado de la semilla o ambos. Luego se enjuagaron y se molieron con agua para obtener una leche de soya con un mínimo sabor a frijol.

c) Existe la posibilidad de deodorizar, pasando la leche a través de un recipiente a alta temperatura y vacío para remover muchos de los componentes volátiles que imparten el sabor a frijol.

d) El resuspender los aislados de soya (90-95% en proteínas) o los concentrados de soya (60-70% en proteínas) produce una leche suave en sabor a frijol. Es conveniente comentar que el procedimiento descrito es muy caro.

e) Se reporta que el sabor a frijol de la leche de soya puede ser reducido por fermentación con *Lactobacillus acidophilus*. También el uso de *Aspergillus oryzae* y *Rizopus oligosporus*, contribuyen a disminuir el problema.

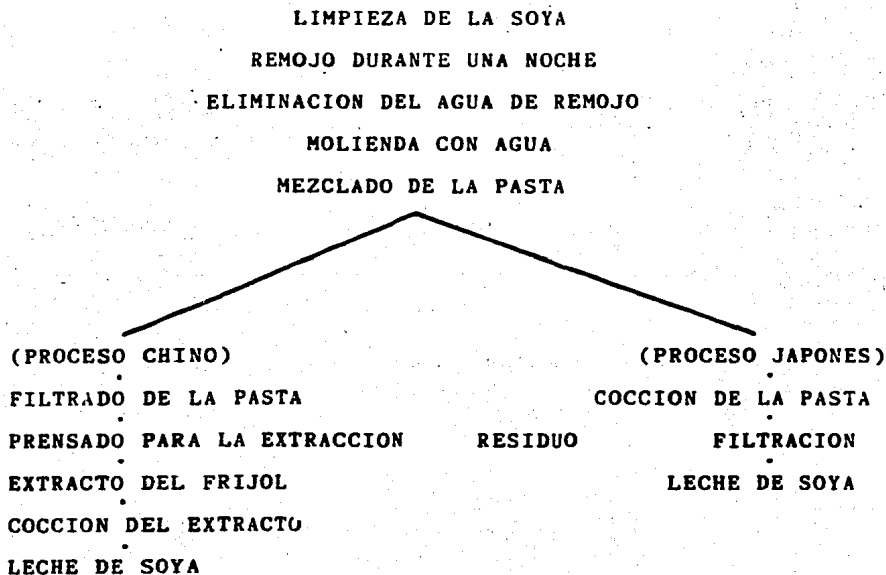
f) Se sabe que el hidratado del frijol de soya aproximadamente durante 10 horas, en solución alcalina (0.5% de bicarbonato de sodio) mejora notablemente el sabor, remueve oligosacáridos y disminuye el tiempo de cocción.

g) Hervir a fuego lento por 30 minutos la leche de soya en un recipiente abierto, transforma el típico sabor vegetal en uno a nueces tostadas.

La combinación de estos métodos se usa para la eliminación prácticamente total del problema referente al sabor a frijol.

En las siguientes 5 figuras se describen los procesos más importantes en la fabricación de leche de soya (10).

Figura 3.1 Elaboración de leche de soya.



El proceso tradicional oriental tiene dos variantes: el proceso chino y el japonés.

En el proceso chino se extrae la leche de soya cruda y luego se cuece; en el proceso japonés, de la pasta ya cocida, se extrae la leche.

La ventaja de ambos procesos es que se requiere de una pequeña inversión y de equipo simple, pero hay que tomar en cuenta que se hace necesaria mayor mano de obra y se tiene el sabor a frijol en la leche obtenida.

Figura 3.2 Uso de la molienda del frijol en caliente.

LIMPIEZA DEL FRIJOL DE SOYA

REMOJO POR UNA NOCHE

1 : 3 FRIJOL EN AGUA

DRENADO DE AGUA Y ENJUAGUE PROFUNDO

PRECALENTADO DEL MOLINO

MOLIENDA DEL FRIJOL REMOJADO

CON AGUA HIRVIENDO

CONTROL DE ESPUMA POR QUIMICOS

O VAPOR VIVO EN EL MOLINO

COCCION DE LA PASTA POR 10 MINUTOS

FILTRADO

RESIDUOS

FORMULACION

LECHE DE SOYA PARA CONSUMO

En este proceso se elimina el sabor a frijol, pero se requiere de equipo más costoso y complejo.

Figura 3.3 Procedimiento de obtención de leche de soya con frijol entero y tratamiento alcalino.

SOYA ENTERA

REMOJO DE LA SEMILLA POR 6 A 12 HR
CON 0.5% DE BICARBONATO DE SODIO

ESCALDADO POR 30 MIN

DRENADO Y ENJUAGADO

MOLIENDA

CALENTAMIENTO A 82 °C

SEPARACION DE SOLIDOS-----RESIDUOS

HOMOGENIZADO DE 3500 PSI A 500 PSI
ADICION DE AGUA, AZUCAR, Y SABORIZANTES

NEUTRALIZACION ENTRE pH 6.8 A 7.2 CON HCL 6N

CALENTAMIENTO A 82 °C

HOMOGENIZADO

Se obtiene una leche de muy buena calidad sin oligosacáridos y sin sabor a frijol; por supuesto, la inversión es mayor y se requieren mayores gastos de energía.

Figura 3.4 Leche de soya producida en comunidades.

LIMPIEZA DEL FRIJOL DE SOYA

REMOJO POR UNA NOCHE

PUESTA DE AGUA A EBULLIR

**LLENADO DE PEÑAS CANTIDADES DE FRIJOL
EN CANASTAS O FILTROS**

SUMERGIDO DEL FRIJOL 15 SEG A EBULLICION

**MOLIENDA HASTA UNA PASTA CREMOSA
MEZCLADA EN 3 TANTOS DE AGUA**

FILTRADO-----RESIDUOS

EBULLICION DE 2 A 3 MINUTOS

LECHE DE SOYA

En este proceso se obtiene una leche de soya de buena calidad pero se requiere de mano de obra excesiva y la escala de operación es relativamente baja.

Figura 3.5 Leche de soya secada por aspersion.

LIMPIEZA DEL FRIJOL

ADICION DE 4 TANTOS DE AGUA EN PESO (50 A 60 °C)

REMOJO POR 7 HORAS

DRENADO

ADICION DE AGUA PARA MOLIENDA 10:1 DE FRIJOL

MOLIENDA

FILTRADO LAVADO DE RESIDUO

LECHE DE SOYA INCORPORACION DEL LAVADO

PRECOCION (115 °C POR 15 MINUTOS)

CONCENTRACION

SECADO POR ASPERSION

La obtención de leche de soya por este procedimiento hace descender los costos de transporte, almacenaje y se prolonga la vida de anaquel. Las desventajas más evidentes son: costos de operación mayores, equipo de mayor complejidad, gastos de energía elevados y de manera global, un proceso más complicado.

Ninguno de los procedimientos anteriores puede considerarse el ideal, pues la presentación y características finales del producto dependen del mercado en que se va a incidir. El último proceso puede ser altamente redituable si el destino de la aplicación es amplio, tal vez como complemento en harinas o como materia prima de productos alimenticios elaborados, pero sería este proceso poco costeable o aconsejable si el producto final fuese a usarse en una comunidad rural, pues únicamente se incrementaría el costo para una aplicación donde la presentación en polvo no lo amerita. Es claro pues, que el destino, mercado y aplicación son los factores que finalmente determinan el proceso más adecuado.

INTRODUCCION.

Después de lo que se ha mencionado de la soya y de la leche de soya, llega el momento de presentar la parte experimental de este trabajo.

Sin duda alguna, es ésta la parte más difícil de una investigación, ya que lo que se tiene planeado realizar cambia constantemente y es necesario adaptar una serie de recursos alternativos a la par del desarrollo del experimento. Todo esto provoca elaboración de trabajo no esperado y numerosos contratiempos.

Es evidente que todo plan requiere modificaciones y este trabajo experimental, no fue la excepción; sin embargo, el curso del mismo, llevó a obtener conclusiones y resultados que pueden ser utilizados a nivel industrial.

Es pertinente indicar que el caso del secado por aspersión, hablando en el campo experimental, es amplísimo y el manejo de las

variables, en algunos casos, se ve restringido por falta de recursos y equipo a nivel piloto.

Es claro que para los fines de una tesis de licenciatura, tratar de abarcar todos los puntos sobre el secado de leche de soya resulta imposible, por ello, es esencial manifestar modestamente, la naturaleza y alcance de esta tesis.

En primer plano se hizo necesario acondicionar el secador de espres del laboratorio de Ingeniería Química de la Facultad. En forma concreta, reparar el sistema de calentamiento de aire e instalar un dispositivo indicador-controlador de temperatura; todo esto se concluyó de manera satisfactoria.

Por otro lado, se propuso usar este secador de espres tal cual, para obtener leche de soya en polvo. Por supuesto una revisión rápida de la literatura permitió establecer un esquema global de como obtenerla y así proceder a experimentar.

Finalmente, caracterizar el producto obtenido y mencionar los errores cometidos durante el trabajo, indicando también las posibles vías para optimizar el proceso.

MATERIALES Y METODOS.

Para empezar, se hizo necesario realizar algunas pruebas de funcionamiento del sistema de calentamiento luego de instalarse las nuevas resistencias y el control de temperatura.

El método de prueba consistió en graficar la variación de la temperatura con respecto al tiempo; esto, con la intención de encontrar la temperatura máxima de operación y obtener el cambio de temperatura con respecto al tiempo, siendo de utilidad para encon-

trar el tiempo que tarda en llegar a la temperatura de operación del propio secador.

La gráfica se construyó operando el secador totalmente vacío y sin ningún producto a secar. La utilidad de esta prueba radica en que se minimiza la posibilidad de complicaciones durante el examen del secador y en realidad, al hablar de la temperatura de entrada al mismo, no hay variación al trabajar secando o sin hacerlo. Evidentemente, la temperatura de salida sí tendría un cambio. La gráfica que muestra el comportamiento del secador durante las pruebas de calentamiento se incluye en la sección referente a resultados.

Para obtener la leche de soya, después de revisar la literatura conveniente, se eligió el siguiente método por considerarse el más adecuado tomando en cuenta el equipo disponible y por ser el más recomendable a la escala piloto:

- 1.- Limpieza gruesa del frijol de soya.
- 2.- Limpieza con agua a presión del frijol de soya.
- 3.- Remojo del frijol por toda una noche.
- 4.- Molienda de la semilla hidratada.
- 5.- Cocción de la pasta obtenida.
- 6.- Prefiltrado de la pasta obtenida.
- 7.- Filtrado.
- 8.- Secado por aspersion del líquido obtenido en la filtración.

Estos fueron los pasos que se siguieron para obtener la leche de soya secada por aspersion tomando en cuenta unas cuantas modificaciones con respecto a la información original, ya que no es

posible tomar al pie de la letra lo que menciona la literatura, debido a que existen limitantes económicas y técnicas.

A continuación se explican con más detalle cada uno de los pasos antes mencionados.

1.- La limpieza gruesa se realizó en forma manual con la intención de eliminar piedras y cuerpos extraños que generalmente vienen acompañando al frijol de soya y así eliminar la posibilidad de complicaciones a la hora de la molienda. De este paso se extrajeron piedras, semillas endurecidas y lodo seco.

2.- La limpieza del frijol con agua a presión se llevó a cabo en una cubeta de 20 litros dejando libre más de la mitad de la cubeta para que el chorro del agua no provocara la salida de semillas y se mantuviera un movimiento cíclico en la base de la cubeta, desbordándose únicamente el agua sucia, las cascarillas y las semillas huecas. El proceso se mantuvo hasta lograr que el agua saliera transparente.

En este proceso se elimina toda la tierra que está adherida en la semilla, materiales secos, cáscaras y semillas dañadas.

3.- El remojo del frijol se llevó al cabo en la misma cubeta de 20 litros, de tal forma que el agua, cubriera totalmente la soya con un margen mínimo de 10 cm para que en el proceso de hidratación tuviera suficiente agua y así, después de 12 hr, todas las semillas dispusieran de líquido para hincharse, ya que poniendo agua al ras en las primeras horas, las capas superiores de semillas no tendrían posteriormente la suficiente para hidratarse. El proceso de hidratación se completó luego de 12 a 18 hr y posteriormente se renovó el agua para pasar a la etapa de molienda.

4.- La molienda se realizó en una licuadora de tipo industrial, de aspas, con vaso de cuatro litros y tres velocidades.

El proceso se llevó a cabo por lotes, usando el vaso a la mitad de su capacidad para evitar sobrecargar el motor y permitir una molienda más homogénea. El proceso de molienda fue de 46 segundos por cada lote a baja velocidad. Completada la molienda se agregó el agua necesaria para su cocción.

5.- La mezcla de frijol molido con agua se introdujo en un tanque enchaquetado calentado por medio de vapor. El tanque tiene las siguientes dimensiones, ambas en centímetros: 75 de diámetro y 72 de altura y está construido en acero inoxidable. Antes de hacer uso del mismo se limpió perfectamente para evitar en lo posible alguna contaminación.

Se procedió a la cocción manteniendo manualmente la agitación mientras aumentaba la temperatura del tanque al que se le suministró vapor a una presión de 3 psig. En el momento de llegar a su punto de ebullición la presión se redujo a 1 psig para evitar la excesiva formación de espuma y su consecuente desbordamiento. Al cabo de 15 minutos aproximadamente, se comenzó a formar una nata muy similar a la de la leche de vaca, la cual, se incorporaba constantemente al líquido en ebullición por medio de agitación vigorosa. La ebullición se mantuvo durante 30 min junto con la agitación manual. Durante la ebullición se repuso la cantidad de agua evaporada.

6.- Una vez concluido el cocinado de la leche se procedió a prefiltrar con un colador con abertura en el tejido de 1 mm entre cada hilo. La torta obtenida se separó y el líquido fue filtrado

dos veces más, eliminando siempre la torta. La operación se realizó aprovechando la salida del tanque y prefiltrando por gravedad.

7.- La operación de filtrado se hizo a mano de la misma manera pero usando malla de poliéster del tipo 28/4k, en forma de bolsa con un tamaño de 20 x 20 cm, cosida a máquina con hilo de nylon. La filtración se hizo por triplicado. Al final de la filtración se obtuvieron cerca de 30 litros de leche de soya.

De esta cantidad se secaron 16 litros en dos lotes de 8 litros cada uno. El resto se guardó en un cuarto frío y se procesó al siguiente día.

8.- Finalmente la leche fue secada por aspersión en lotes : tres de 8 litros y uno de 6 litros .

Se partió de 3 kg de frijol de soya para obtener aproximadamente 32 litros de leche de soya hidratada; en el proceso de secado se utilizarón las siguientes condiciones de temperatura: en todas las corridas se usó el flujo máximo de aire cerca de 535 lb de aire seco /hr ; la primera corrida, de 8 litros, se secó a una temperatura de 200 °C; la segunda y tercera a 250 °C y finalmente, la cuarta a 300 °C.

La temperatura ambiente fue de 21 +/- 3 °C mientras que la temperatura de salida del secador fue de 100 +/- 20 °C. El diámetro de la esprea fue de 1.5 mm.

El proceso de operación de secador se ajustaría a las propiedades de la leche de soya, procurando que el producto no se proyectara a las paredes y tratando de usar un flujo de líquido máximo para disminuir el tiempo de secado de cada lote.

En realidad el secado en este equipo fue prácticamente cuali-

tativo y se observó en qué presiones de trabajo se obtenía el abanico de mejores características. La descripción del secador se ha hecho ya en el capítulo 2 donde se mencionan con detalle las características principales de su estructura y operación.

En general las presiones que se usaron oscilaron entre 20 psig y 30 psig, tanto en la alimentación como en la atomización.

Antes de finalizar, se considera adecuado comentar el aspecto relacionado con la filtración. En un principio se planteó el equipo necesario a utilizar en este trabajo; estrictamente se requería de un molino helicoidal con acabado higiénico para moler el frijol húmedo, equipo de cocción (a presión o atmosférico), sistema de filtrado y secador de esprea. Este último y el equipo de cocción estaban disponibles en el Laboratorio de Ingeniería Química. Desafortunadamente, los molinos que se hubiesen podido utilizar, no cumplían con los requerimientos de acabado higiénico y, dado el uso a que están destinados, existía la posibilidad de contaminar el producto; además, no están diseñados para trabajar en húmedo.

Para el propósito de esta tesis comprar un molino de estas cualidades requería de un gasto elevado y se decidió utilizar los recursos disponibles, en materia de equipo, del Departamento de Alimentos.

Se pensó en adquirir el equipo que sirviera para el filtrado de la pasta, al cual se le diera uso en proyectos futuros. Se recurrió a una empresa especializada en el ramo de la filtración para que propusiera el mejor tipo de filtro que respondiera a las necesidades en la filtración de la pasta de soya. El fabricante eligió un filtro de acero inoxidable de platos horizontales tipo

Sparkler. Se estableció con el fabricante la realización de una prueba previa a la compra para evitar la adquisición de equipo inadecuado o que tuviera poco uso posteriormente, para lo cual se solicitaron 60 litros de muestra a filtrar. La prueba a la cual asistimos se realizó en las instalaciones del fabricante, quien concluyó que no era posible filtrar la muestra tal como se le entregaba, con el filtro propuesto.

El problema se solucionó prefiltrando la pasta para eliminar los sólidos de mayor tamaño y posteriormente filtrando con un medio filtrante más fino.

Se decidió filtrar en forma no tan tecnificada, a mano, con recursos más elementales, de bajo costo y con los requerimientos necesarios para elaborar no más de 80 litros.

RESULTADOS.

Como se mencionó anteriormente, fue realizada una prueba inicial con el secador de espesa para encontrar el cambio de temperatura con respecto al tiempo y a la vez observar la temperatura máxima de operación. Los resultados se muestran en la figura 3.6. El único comentario al respecto de la gráfica es que, al minuto 36 se apaga totalmente el sistema de calentamiento para aprovechar y saber el tiempo de enfriamiento del equipo.

Los resultados, resumidos, se presentan en la tabla 3.1

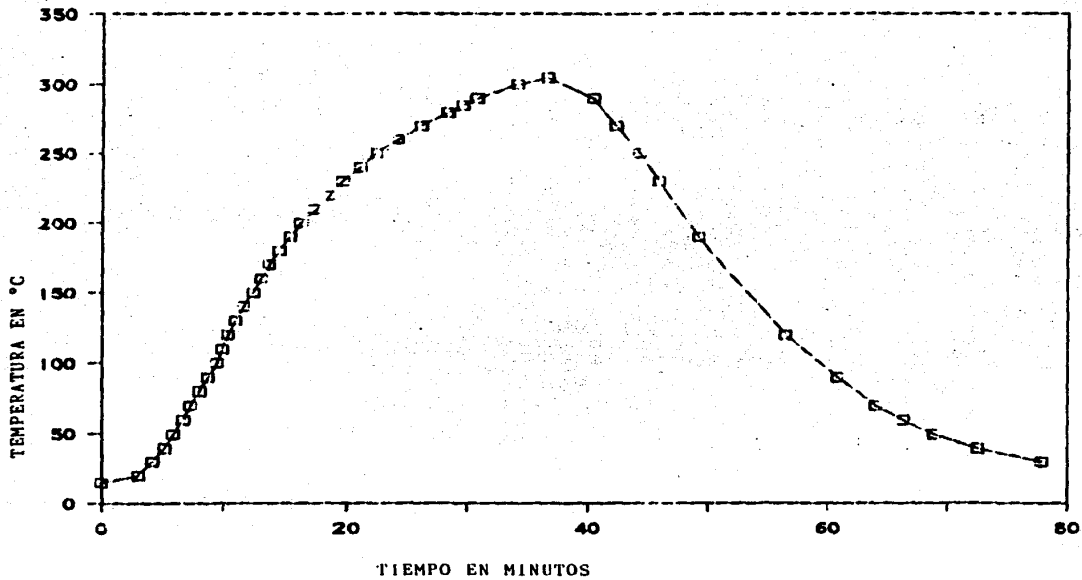


FIGURA 3.6 COMPORTAMIENTO DEL SISTEMA DE CALENTAMIENTO

Tabla 3.1 Resumen de condiciones y resultados de operación.

Corrida #	Volumen l	Temperatura °C	Presión psig *	Tiempo min	Peso prod. g
1	8	200	30-30	90	95
2	8	250	30-30	100	230
3	8	250	30-35	80	108
4	6	300	30-30	80	123

* Presiones de alimentación y atomización respectivamente

DISCUSION.

Es importante comentar antes de entrar propiamente en la discusión, que el secador operó satisfactoriamente. Su control-indicador de temperatura funcionó sin ningún problema y proporcionó gran estabilidad en la temperatura de secado, es decir, la intención de proveer al secador de un control nuevo de temperatura, instalarlo, ponerlo en funcionamiento y probarlo (parte de uno de los puntos de esta tesis), se logró totalmente.

No puede olvidarse la sustitución total que se hizo al sistema de calentamiento al reemplazar el sistema de placas por tiras aletadas, aspecto ya indicado en capítulo anterior.

Respecto al proceso de obtención de leche de soya deshidratada es conveniente comentar lo siguiente: en primer lugar, es importante que la limpieza gruesa del frijol de soya se enfoque hacia un método menos primitivo que facilite el manejo de cantidades

a nivel industrial. No puede concebirse un manejo donde el cuello de botella sea la limpieza inicial del frijol de soya; no es el punto resolver en esta tesis cuál es el método más costeable pero sí, proponer alternativas, tal vez: lecho fluidizado, cribas de selección y sistemas neumáticos entre otros. En este mismo punto, el problema de la limpieza secundaria se hace menos crítico si se toma en cuenta que puede ser resuelto con sistemas de agitación.

Cabe dentro de todo, mencionar una alternativa que parece adecuada para este fin. El hecho de incorporar a los recipientes de limpieza un sistema neumático de agitación, representa un proceso con economía de agua, ya que se aprovecha la fuerza e impacto del aire así como el movimiento circular de la agitación evitando el uso de agua a presión.

El aspecto de filtración es sin duda claro. Tradicionalmente se realiza en forma rudimentaria usando un saco de algodón al cual se le aplica presión, la cual puede proporcionarse con el principio de la palanca, hasta el uso de una prensa hidráulica.

En principio, salta a la vista la cuestión higiénica del manejo en este procedimiento, contrastando con el uso de un filtro cerrado. Como fue indicado antes, la propuesta del fabricante no solucionó totalmente el problema de la filtración. Sin duda, una solución inmediata es prefiltrar, pero debe tomarse en cuenta si se pretende llegar al campo industrial y optimizar al máximo esta operación.

Tocando el punto del secado en sí, se plantean una serie de alternativas para el manejo del secador. El punto que considero de mayor interés es el referente a la descarga del producto en el

primer ciclón, la cual no puede realizarse en forma continua debido a que el producto es recibido en un frasco conectado directamente al ciclón y cuando éste se llena es necesario quitarlo. Esto ocasiona la suspensión momentánea del flujo de aire para evitar pérdidas en el producto y el consecuente sobrecalentamiento de las resistencias.

Otro punto que no pudo abordarse abundantemente y que fue motivo de interés se refiere al hecho de manejar varias concentraciones de leche de soya al inicio del proceso. La falta de tiempo y equipo adecuado para el control de sólidos no permitió que se llegara a la concentración óptima manejable y los diámetros de esprea que pudieron haberse variado, evidentemente habrían generado gastos considerables.

A pesar de éstas y otras complicaciones se logró la obtención de datos de aspecto general en el proceso de secado.

A partir de 3 kg de frijol de soya, se lograron obtener aproximadamente 600 g de leche de soya seca tomando en cuenta que, dentro de este producto, sólo se recogieron 50 g retenidos en los ductos. Con esto se tiene que: $600 \text{ g}/30 \text{ l} = 20 \text{ g}$ de leche de soya seca por cada litro procesado de leche hidratada. El producto obtenido fue un polvo de color beige claro, con un suave olor vegetal y de sabor semejante a la leche de vaca en polvo. Su solubilidad en agua no fue la deseada pues forma grumos difíciles de desbaratar manualmente, aunque con el uso de una licuadora casera, la mezcla es perfectamente homogénea. Estas características eran de esperarse, ya que los productos comerciales, contienen emulsificantes que facilitan su hidratación unido al hecho de que con-

tienen menor cantidad de lípidos.

Las pérdidas de producto que se presentan durante el secado, son de tomarse en cuenta, pues en el viaje por los ductos y en la cámara misma, es inevitable el depósito de material. Simplemente en las paredes de la cámara suele formarse una capa inicial de material seco el cual es difícil recuperar y como consecuencia, la cantidad de producto total obtenido no es siempre la misma; como se indicó anteriormente, la cantidad que se recuperó no sobrepasó los 50 g.

Existe otro sub-producto al elaborar leche de soya, la torta que se obtiene de la filtración, constituida principalmente por celulosa y leche retenida que al secarse puede constituir un complemento de harinas para incluir fibra o como alimento de ganado. Desgraciadamente la cuantificación de este sub-producto no se hizo por falta de tiempo y por un descuido en el manejo del producto.

El problema aquí descrito (adherencia del producto en cámara y ductos) llevado a nivel industrial se presenta siempre, y tienen que efectuarse operaciones periódicas de mantenimiento y limpieza para la recuperación de producto y por ende evitar el constante crecimiento de la capa adherida en cámara y ductos. El aprovechamiento del material recuperado durante la etapa de limpieza se puede hacer incorporándolo al material de entrada al secador.

El contenido de proteína, grasa, humedad y cenizas, fueron aspectos los cuales se consideró importante evaluar, para lo cual fue necesario solicitar la colaboración de una persona capacitada en el análisis de alimentos. Los resultados se presentan en el siguiente capítulo con sus correspondientes comentarios.

CAPITULO 4
EVALUACION GLOBAL DE LA LECHE DE SOYA.

RESULTADOS EN PRUEBAS.

En realidad es muy complicado, en un tema como éste, tratar de abarcar todo lo que nos pasa por la mente y realizar todas las sugerencias que se nos proponen. Teniendo recursos y tiempo suficiente para trabajar, la aventura de la investigación es una actividad tan placentera que el concepto del tiempo se pierde por completo. Ahora bien, cuando se trata de trabajos a nivel piloto en los que la cantidad de materiales manejados son mayores, es importante tomar en cuenta el desgaste físico que ellos implican.

De cualquier forma, aún así, existen puntos que a pesar de no ser representativos o considerados en la carrera de Ingeniería Química, son de tomarse en cuenta, con el objeto de alcanzar los requerimientos básicos de explicación en una tesis.

Tal es el caso del presente capítulo que, aunque no extenso, pretende considerar algunos puntos básicos que faciliten un análisis en relación al producto obtenido.

Para tal efecto, se solicitó la colaboración de la QFB Martha Alvarez quien realizó un análisis bromatológico del producto y se presentan los datos en la tabla 4.1 junto con datos reportados de análisis de leche de vaca, leche de soya y leche materna.

Tabla 4.1 Resultados del análisis bromatológico y datos comparativos de leche de soya, leche de vaca y leche materna.

COMPONENTE	BASE HUMEDA	BASE SECA
Humedad	1.99 %	
Cenizas	5.78 %	5.90 %
Proteína	44.47 %	45.37 %
Grasa	17.83 %	18.20 %

Los datos reportados para leche de soya, leche de vaca y leche materna están en base seca (10).

	LECHE DE SOYA		LECHE DE VACA	LECHE MATERNA
	REPORTADA/OBTENIDA			
Proteína	38.6%	44.4%	25.4%	11.8%
Grasa	21.9%	17.8%	28.9%	26.1%
Extracto libre de nitrógeno	33.3%	32.0%	39.5%	60.5%
Cenizas	5.4%	5.8%	6.1%	1.7%

Es conveniente mencionar algunos problemas que se presentaron durante la realización de la prueba bromatológica:

- No se pudo reportar fibra cruda debido a que, en la técnica usada, se requería de digerir la muestra desgrasada y filtrar en tela especial.

- Debido a las propiedades del material digerido, no fue posible filtrar por gravedad.

- Para acelerar el proceso se intentó usar vacío, sin embargo, el resultado, al cabo de unos minutos fue el mismo: después de comenzar a filtrar el líquido, formaba una especie de capa impermeable de filtración nula.

Para la leche de soya no se reporta más de 1% de fibra cruda por lo que el contenido de carbohidratos oscila entre un 26 y un 28%.

Considero que la tabla 4.1 que compara leche de soya (reportada y obtenida), leche de vaca y leche materna, es lo suficientemente elocuente como para hacer mayores comentarios fuera de los técnicamente necesarios.

El color de la leche de soya obtenida fue beige claro, casi del color de la leche de vaca en polvo. Después de tres semanas el color se oscureció un poco.

CAPITULO 5

CONCLUSIONES

A pesar de tener una serie de resultados, la mayoría derivados del trabajo realizado, es difícil concluir los puntos más importantes de esta tesis. De alguna manera, cada aspecto que se ha tratado, tiene interés particular. Personalmente considero que cada capítulo tratado es un complemento en relación a la leche de soya.

La intención final de esta sección es cuando menos darle al lector algunos de los puntos más importantes de este trabajo.

* El secador de esprea que se usó para esta tesis, en un principio mostró algunas deficiencias de operación, concretando:

Lento calentamiento, bajas temperaturas de operación y dudoso funcionamiento del indicador controlador. Para solucionar tales problemas, se cambió el banco de resistencias y se instaló un indicador controlador con su correspondiente termopar. Asimismo, se adquirió equipo de medición como apoyo a la instalación: termómetro digital con dos sensores remotos, multímetro digital con adaptadores de temperatura y capacitancia.

El secador quedó en buenas condiciones de operación para la elaboración de leche de soya en polvo, para el manejo habitual del mismo y para su utilización en proyectos futuros.

* Establecí un sencillo procedimiento de prueba para verificar externamente el estado del sistema de calentamiento, para lo cual se requiere de un óhmetro. Sabiendo el valor de cada resistencia es posible calcular el valor óhmico de un banco que está en

buen funcionamiento. Cualquier variación de dicho valor puede atribuirse a la ruptura de alguna de las resistencias que forman el banco. Esto evita desconectar, desmontar el banco y revisar cada una de las resistencias.

* Secar leche de soya por aspersion tiene aplicaciones directas, como una alternativa al uso de la leche de vaca, pero el producto, usado como complemento en otros alimentos, significa un mercado enorme ya que se combinan sus buenos aspectos nutritivos y su costo, relativamente más bajo respecto a la leche de vaca, en aplicaciones de substitución y complementación.

* El procedimiento de secado por aspersion lleva a la leche de soya a tener una vida de anaquel incomparablemente más larga que la leche de soya hidratada. El concepto de transporte y almacenamiento de la leche de soya gira totalmente tornándose más versatil, si realizamos una comparación con la leche de soya líquida.

* La leche de soya no es un producto destinado a las clases socioeconómicamente bajas, un producto para enfermos o un alimento utilizable solamente por vegetarianos. La leche de soya es un producto de características propias el cual ha sido usado en Asia desde hace mucho tiempo y que puede adaptarse a nuestro medio si se utilizan tecnologías adecuadas. La leche de soya no substituye a la leche de vaca, sino que es una alternativa de ella.

Este es un primer paso para dar acceso a la soya hacia un uso más racional desligado de mitos y prejuicios que siempre han estado en contra de su utilización.

* La tecnología básica adquirida en este equipo al secar un pequeño lote de leche de soya, se describió en esta tesis y esto

no quiere decir que sea el único camino; sencillamente, con los elementos disponibles, se logró hacer leche de soya deshidratada. Con mayores y mejores recursos aplicando fundamentos de Ingeniería Química, es factible explotar en mayor escala las posibilidades de este producto.

APENDICE

Con la intención de tratar un poco más a fondo la cuestión de ingeniería, elaboramos este apéndice donde se realiza un balance de materia, balance de energía y finalmente calculamos un coeficiente de transferencia de calor volumétrico. Además los cálculos teóricos permiten obtener datos de eficiencia que de alguna manera dan al lector una idea para una futura aplicación industrial.

En primer lugar se procedió a calcular el C_p de la leche de soya usando la correlación de Charm (11).

$$C_p = 1.424 X_{ch} + 1.549 X_p + 1.675 X_g + 0.837 X_c + 4.186 X_h$$

donde X_{ch} , X_p , X_g , X_c y X_h representan fracción peso de carbohidratos, proteínas, grasa, ceniza y humedad respectivamente. Las unidades $C_p = \text{kJoule/kg } ^\circ\text{C}$.

Usando los datos presentados en el capítulo 4 y calculando los carbohidratos por diferencia obtenemos una capacidad calorífica de 1.5454 kJoule/kg $^\circ\text{C}$. Los cálculos de balance de materia y energía se realizaron con los siguientes datos:

Aproximadamente 10 kg de muestra

Temperatura de secado 250 $^\circ\text{C}$

Tiempo: una hora

Presión de trabajo: 585 mm Hg (presión atmosférica del D.F)

Entrada de aire: 21.0 $^\circ\text{C}$ tbs humedad 0.012

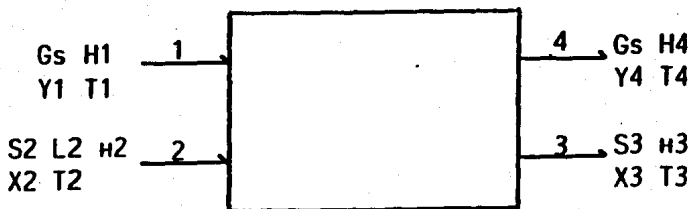
16.0 $^\circ\text{C}$ tbh

Salida de aire: 44.0 $^\circ\text{C}$ tbs humedad 0.052

37.0 $^\circ\text{C}$ tbh

Producto obtenido: 108 g.

BALANCE DE AGUA Y DE CALOR



Balance de agua.

$$G_s \cdot Y_1 + L_2 \cdot X_2 = G_s \cdot Y_4 + S_3 \cdot X_3$$

$$G_s(Y_4 - Y_1) = L_2 \cdot X_2 - S_3 \cdot X_3$$

$$G_s(Y_4 - Y_1) = 244 (0.052 - 0.012) = 9.76 \text{ kg agua/hr}$$

$$L_2 \cdot X_2 - S_3 \cdot X_3 = 0.20 \cdot X_2 - 0.20(1.99/98.01) = 9.76 \text{ kg agua/hr}$$

Por lo tanto $X_2 = 48.82 \text{ kg agua/kg de sólido}$

/Esto equivale a un 2% de sólidos a la entrada

La eficiencia la podemos calcular en base a la siguiente expresión: $E = (\text{gramos a la salida} / \text{gramos teóricos}) \cdot 100$

$$E = (108 \text{ g} / 200 \text{ g}) \cdot 100 = 54\%$$

La eficiencia obtenida $E = 54\%$

Balance de calor.

$$H_1 = 286.93 \text{ kJoules/kg de aire seco}$$

$$H_4 = 178.65 \text{ kJoules/kg de aire seco}$$

$$G_s \cdot H_1 + S_2 \cdot h_2 = G_s \cdot H_4 + S_3 \cdot h_3 + Q_p$$

$$G_s \cdot H_1 + S_2 \cdot h_2 = 244 \cdot 286.93 + 0.20(4.184 \cdot 294) = 70.25 \text{ E6 joules/hr}$$

$$G_s * H_4 + S_3 * h_3 = 244 * 178.65 + 0.20(1.5454 * 44) = 43.60 \text{ E6 joules/hr}$$

$$Q_p = 26.6 \text{ E6 joules/hr calor perdido por radiación.}$$

70.25 E6 joules/hr cantidad de energía necesaria a suministrar para evaporar los 9.76 kg agua/hr a través de 244 kg de aire seco/hr .

COEFICIENTE VOLUMETRICO DE TRANSFERENCIA DE CALOR

$$Q = U_v * V * LMTD$$

152 cm de altura y 94 cm de diámetro

$$\text{area} = \pi * r^2 = \pi (94/2)^2 = 0.694 \text{ m}^2$$

$$\text{volumen} = \text{area} * \text{altura} = 0.694 \text{ m}^2 * 1.52 \text{ m} = 1.0055 \text{ m}^3$$

$$LMTD = [(T_1 - t_1) - (T_2 - t_2)] / \ln [(T_1 - t_1) / (T_2 - t_2)]$$

T₁ = aire entrada t₁ = liquido entrada

T₂ = aire salida t₂ = sólido a la salida

$$LMTD = 84.36 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$70.2 \text{ E6} = U_v * 1.055 * 84.36$$

$$U_v = 7.88 \text{ E5 joules/hr m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$U_v = 219.10 \text{ Watts/m}^2 \text{ }^\circ\text{C}$$

El rendimiento del proceso fue de 54%, siendo una cifra baja si deseamos extrapolar a nivel industrial, pero es un buen valor si consideramos los resultados habituales del equipo.

Nomenclatura usada en este apéndice.

tbs = temperatura de bulbo seco °C
 tbh = temperatura de bulbo húmedo °C
 Gs = gasto de aire en kg de aire seco/hr
 Y1 = humedad del aire a la entrada kg de agua/kg de aire seco
 Y4 = humedad del aire a la salida (idem)
 L2 = gasto de material a secar kg sólido seco/hr
 X2 = humedad del material a la entrada kg de agua/kg sólido seco
 X3 = humedad del material a la salida (idem)
 S3 = gasto de material seco a la salida kg sól.seco/hr
 H1 = entalpía del aire de entrada kjoules/kg aire seco
 H4 = entalpía del aire a la salida (idem)
 h2 = entalpía del material a la entrada kjoules/kg
 h3 = entalpía del material a la salida kjoules/kg
 Uv = coeficiente volumétrico de transferencia de calor watts/m² °C
 Qp = calor perdido kjoule/hr
 V = volumen m³
 LMTD = diferencia de temperatura media logarítmica
 La entalpía se calcula como el Cp delta T. El Cp del material a la entrada se tomó como el del agua en unidades 4.184 kjoules/kg °K, por eso el valor de temperatura aparece como 294 en grados Kelvin.

BIBLIOGRAFIA

- (1) Sánchez, A., Cultivos Oleaginosos, Trillas, México, 1985, p. 11 a 22
- (2) Liener, I.E., Nutritional value of food protein products Chap.7 in: Soybeans: Chemistry and Technology (Smith, A.K & Circle, S.J.) Editors. Vol.1, p. 203 to 260, The AVI Publishing Co., 1972, Westport, Connecticut.
- (3) Cristofaro, E., Mottu, F., Wuhrmann, J., Study of the effect of stachyose & raffinose on the flatulence activity of soymilk. 3th International congress of food science & technology, Washington, 1970.
- (4) Smith, A.K & Circle, S.J . Protein products as food ingredients Chap. 10 in: Soybeans: Chemistry and Technology (Smith, A.K & Circle, S.J.) Editors. Vol 1, p. 346 to 374, The AVI Publishing Co., 1972, Westport Connecticut.
- (5) Smith, A.K & Circle, S.J . Historical background Chap. 1 in: Soybeans: Chemistry and Technology (Smith, A.K & Circle, S.J.) Editors. Vol. 1, p. 12 to 18, The AVI Publishing Co., 1972, Westport, Connecticut.

- (6) Tovar, L.R., Comunicación personal, 1986.
- (7) Treybal, R.E., Operaciones de transferencia de masa, 2a edición, Mc. Graw-Hill, México, 1980, p.723 a 781
- (8) Skilling, H.H., Circuitos en Ingeniería Eléctrica, CEC-SA, México, 1980, p.755
- (9) Perry, H.R y Chilton, C.H. Manual del Ingeniero Químico , 2a ed. en español, Mc. Wraw-Hill, México, 1982, p. 20-66 a 20-71
- (10) Chen, S., Soymilk. A drink from the great earth, American Soybean Association, Taiwan, Aug 1983, p. 10 a 18
- (11) Comunicación verbal del M. en C. Edmundo Brito de la Fuente, 1987.