

37
26
J



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA

"INTERACCION LIPIDO-CARBOHIDRATO-PROTEINA Y SU EFECTO SOBRE LA DETERMINACION DE LIPIDOS EN ALIMENTOS EXTRUDIDOS"



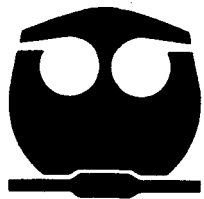
EXAMENES PROFESIONALES
FAC. DE QUIMICA

TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACION

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICO FARMACEUTICO BIOLOGO

P R E S E N T A :

MARIA ALEJANDRA HERNANDEZ ROMERO



México, D. F.

1988



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.

I N D I C E

	PAGINA
OBJETIVO	6
INTRODUCCION	7
I.- G E N E R A L I D A D E S	
CLASIFICACION DE EXTRUSORES	11
ELEMENTOS DEL EXTRUSOR Y SUS FUNCIONES.....	16
METODOLOGIA DEL PROCESO DE EXTRUSION.....	24
VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE EXTRUSION.....	26
II.- I N T E R A C C I O N E S	
LIPIDO - CARBOHIDRATO - PROTEINA	
CAMBIOS FISICOQUIMICOS OCURRIDOS DURANTE EL PROCESO DE EXTRUSION.....	30
MODELOS DE INTERACCION LIPIDO-CARBOHIDRATO-PROTEINA EN PRODUCTOS EXTRUIDOS.....	37
MODELOS DE INTERACCION PROPUESTOS EN EL PROCESO TRADICIONAL DE PANIFICACION.....	41
COMPARACION ENTRE PROCESOS TRADICIONALES DE COCIMIENTO Y EXTRUSION...	45
III.- D E T E R M I N A C I O N D E L I P I D O S.....	54
IV.- C O N C L U S I O N E S.....	67
V.- B I B L I O G R A F I A.....	70

O B J E T I V O :

Realizar una revisión bibliográfica sobre lo referente a los datos reportados de cambios fisicoquímicos sufridos por los lípidos, carbohi
dratos y proteínas en el proceso de extrusión, sus interacciones e influen
cia en las propiedades organolépticas y nutricionales ; así como su efecto
en la determinación de lípidos en este tipo de alimentos.

El proceso de extrusión tiene en nuestros días una gran importancia tecnológica en la industria alimentaria debido a las ventajas que representa su empleo; tales como su alta versatilidad para la obtención de diversos productos, capacidad de producción, bajo costo, menor mano de obra que en muchos otros sistemas de cocimiento y elevada calidad microbiológica en el producto terminado.

La palabra extrusión proviene del latín "extrudere" que significa empujar o presionar hacia afuera, expeler o expulsar. Smith define al PROCESO DE EXTRUSION COMO LA PLASTIFICACION DEL ALMIDON Y MATERIALES PROTEINICOS CON AGUA, COCIDOS EN UN TUBO POR COMBINACION DE PRESION, CALOR Y CORTE MECANICO. El principio básico de éste proceso es la conversión del material sólido a un estado fluido por la aplicación de humedad y calentamiento (8).

El diseño del extrusor fue realizado por el matemático griego Arquímedes (26) al desarrollar una rosca helicoidal introducida en un cilindro para ser utilizada como una bomba o mecanismo de transferencia de materia. Este tornillo helicoidal fue reconfigurado en ciertos aspectos geométricos y empleado primeramente en el procesamiento de materiales viscosos, tales como plásticos y hules, resultando posteriormente un método económico en la gelatinización de cereales y llegando en la actualidad a sustituir en gran parte a otros métodos de cocimiento tradicionales de alimentos.

Mediante esta operación es posible la elaboración de una gran variedad de productos, tales como, botanas y entremeses, cereales para el desayuno, cereales y almidones gelatinizados, harina de soya integral, proteínas vegetales texturizadas, alimentos a base de harina de pescado, polvos para bebidas instantáneas, precocinados para animales domésticos, mezclas de cereales enriquecidos con proteínas, pastas instantáneas para el desayuno, alimentos infantiles, panificación y rellenos entre otros.

Al equipo empleado se le denomina extrusor y mediante éste es posible el mezclado y homogenizado de las materias primas; la gelatinización de carbohidratos, la desnaturalización de proteínas; la producción de sabores y colores durante el cocimiento; el mejoramiento de la textura durante la aplicación de presión, flujo o intercambio de calor, la obtención de diversas formas (hojuelas rizadas, tubos, astillas gruesas ,

cilindros, bolitas) mediante el empleo de orificios de salida especialmente diseñados para cada tipo, y un secado parcial del producto.

Definitivamente las características finales del producto no solo dependen de las condiciones de proceso que se empleen sino también de los componentes y composición química de las materias primas que se utilizan ya que éstas contribuyen en forma determinante a la estructura y propiedades físicas de los alimentos, a través de las interacciones entre los constituyentes que los integran. Debido a la relación que guardan dichas interacciones y calidad del producto se han realizado diferentes estudios para conocer los cambios fisicoquímicos que ocurren durante el proceso, para con ello mejorar cada vez más las condiciones de elaboración y extensión al desarrollo de nuevos productos que aumenten las alternativas para la industrialización de otras materias primas de mayor valor nutritivo y mejor calidad.

Para tal fin ha recurrido a varias técnicas de análisis cuyos resultados revelan la formación de complejos que han dado origen a la descripción de diferentes modelos; conociéndose así las condiciones, transformaciones químicas y estructura de las interacciones lípido-carbohidrato-proteína en los sistemas estudiados.

Al respecto cabe mencionar que dichas investigaciones fueron centradas, hasta hace pocos años, solamente al estudio entre las interacciones carbohidrato-proteína; probablemente porque los lípidos de los granos de cereales se encuentran en menor proporción. Sin embargo, el empleo de materias primas con mayor contenido graso en el proceso de extrusión permitió aumentar su interés científico y en la actualidad es común el estudio de los ácidos grasos y su uso en procesos y productos horneados (60). La presencia de los lípidos produce grandes cambios en la textura, sensación en la boca y en general mejoramiento de la palatabilidad. El mezclado de la masa, extrusión y secado del producto causa la unión de lípidos a las proteínas y carbohidratos causando problemas técnicos en la cuantificación de ácidos grasos y lípidos totales; ello ha creado la necesidad de evaluar métodos de análisis que permitan la extracción eficiente de los lípidos con resultados más representativos.

El presente trabajo bibliográfico enmarca los hallazgos científicos más sobresalientes a las interacciones lípido-carbohidrato-proteí-

na, la evidencia de éstas y los modelos propuestos por los diferentes investigadores, así como la influencia que representa la formación de los complejos en la determinación del contenido total de lípidos en los productos extrudidos.

I.- GENERALIDADES.

CLASIFICACION DE EXTRUSORES

Los extrusores varían en su diseño dependiendo del tipo de alimento que se desee obtener. Han sido diversos los criterios empleados para proporcionar una clasificación idónea; algunos autores proponen una denominación " funcional " de acuerdo a su uso común en la que el equipo recibe el nombre del producto que se obtiene, así se conocen extrusores para pastas y botanas, entre otros. Sin embargo, las clasificaciones más comunes (59) se basan en los siguientes principios :

1.- Características Termodinámicas.- Se consideran tres grupos:

a) Extrusores autógenos (casi adiabáticos).- generan su propio calor por conversión de energía mecánica en el proceso de flujo. No es necesario emplear un enchaquetamiento alrededor del barril, ya sea para el enfriamiento o calentamiento del sistema.

b) Extrusores isotérmicos.- tienen la cualidad de mantener la temperatura constante a lo largo del extrusor por medio de un sistema de enchaquetamiento que remueve el calor generado por la energía mecánica.

c) Extrusores politrópicos.- en este tipo las condiciones de operación oscilan entre los extrusores autógenos e isotérmicos. En general los extrusores de este tipo tienen mayor aplicación en la manufactura de alimentos.

2.- Humedad en el proceso.- de acuerdo a ello existen tres categorías: Alta humedad (30-40%) ; Humedad intermedia (20-30%) ; y Humedad baja (10-20%).

El entrecruzamiento de estas clasificaciones puede representarse por regiones con límites indefinidos, tal como se muestra en la figura No. 1.

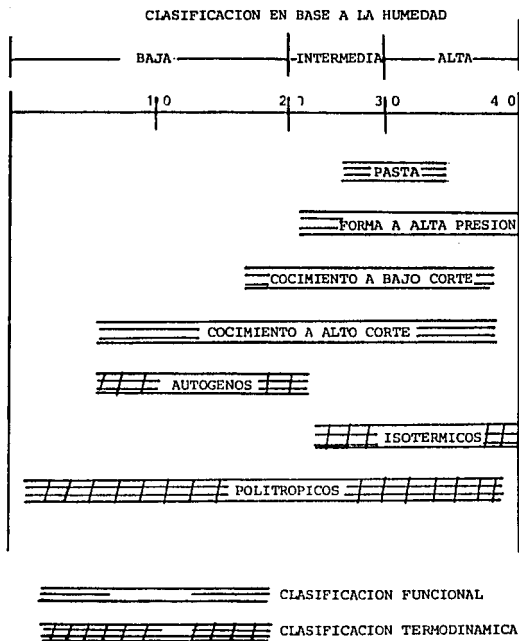


FIGURA No. 1. CLASIFICACIONES DE EXTRUSORES.

3.- Generación de Presión.- ésta clasificación se debe a que - el sistema funciona como una bomba; de éstos se conocen diferentes tipos (29) :

a) Extrusores de desplazamiento positivo o directo.- en ellos se incluyen todos aquellos extrusores de tipo de pistón, utilizándose -- principalmente en la elaboración de salchichas. En este extrusor las propiedades del material antes y después de extrudir son las mismas, esto - se debe a que no se presenta casi ningún esfuerzo; enfatizándose que en los procesos de extrusión la intensidad del esfuerzo al cual es sujeto - el material y el lugar donde se aplica son muy importantes.

b) Extrusor indirecto o del tipo de obstáculo viscoso.- estos tipos desarrollan una masa viscosa modificándose las características del producto extrudido. El extrusor cilíndrico es utilizado para compuestos muy pegajosos que no requieren de alta presión para formarse. Se utilizan ampliamente en confitería.

c) Extrusor de tornillo sinfin sencillo.- el material es alimentado a través de la garganta de alimentación al canal del tornillo -- sinfin.

En la figura No. 2 se incluyen las características y aplicaciones de los extrusores de acuerdo a la presión ejercida.

4.- Corte potencial.- aunque la clasificación termodinámica y por generación de presión son importantes para la designación del equipo de extrusión y para el control ingenieril del proceso en el establecimiento de las condiciones limitantes para los modelos matemáticos, la clasificación debida a la relación de corte relativo es más importante para - el desarrollo del producto y proceso de producción, porque el procesamiento de materiales existentes es dependiente de la cantidad de corte ; así el cocimiento por extrusión es aplicable para la producción de productos expandidos, siendo categorizados como: De bajo, medio y alto corte mecánico (cizallamiento). En la figura No. 3 se presentan las características más sobresalientes de cada tipo.

TIPO DE EXTRUSORES	CARACTERISTICAS	APLICACIONES
a) DIRECTO (desplazamiento positivo) PRESION	poco esfuerzo, continuo	-bocadillos -pasteles -salchichas
b) INDIRECTO (arrastre viscoso) TIPO DE RODILLOS	poco esfuerzo, continuo	-bocadillos -cereales -pasteles -salchichas
c) TIPO DE TORNILLO SINFIN SIMPLE	mucho esfuerzo, continuo	-bocadillos -cereales -pastas -pasteles -alimentos para animales -proteinas e imitación carne

FIGURA No. 2. CLASIFICACION DE ACUERDO A LA GENERACION DE PRESION.

	BAJO CORTE	MEDIO CORTE	ALTO CORTE
Humedad del producto (%)	25-75	15-30	5-8
Densidad del producto (gramos/ litro)	320-800	160-510	32-200
Temperatura máxima del barril(°C)	20-65	55-145	110-180
Presión máxima del ba- rril (Kg / cm ²) (KPa)	6-63 588-6178	21-42 2059-4119	42-84 4119-8238
Ds <u>Diámetro del tornillo</u> h <u>Espesor de la canal</u>	3-5.3	5.0-8.5	8.0-18.0
Flujo paralelo a las canales (n)	1	2	2 o 3
Velocidad del tornillo (rpm)	menor a 100	mayor de 200	mayor de 200
Conversión de energía (Kw / Kg)	0.01-0.04	0.02-0.08	0.10-0.16
Productos típicos	-productos de pasta -botanas de 3ra. generación -productos cárnicos -gomas	-texturizado de soja -panificación -alimentos expandidos p/animales domésticos	-cereales p/desayuno -panificación

FIGURA No. 3 . CLASIFICACION DE EXTRUSORES DE ACUERDO A SU CORTE MECANICO.

ELEMENTOS DEL EXTRUSOR Y SUS FUNCIONES

Como se mencionó anteriormente, el equipo emoleado para efectuar el cocimiento por extrusión es el extrusor. El cual está constituido por : (FIGURA No. 4)

1.- Motor.- éste mueve al tornillo sinfin generando energía térmica a partir de energía eléctrica.

2.- Alimentador.- a través de éste los ingredientes son depositados en forma continua y transportados hacia la canal del tornillo sinfin donde el material es comprimido durante su paso - por cada una de las zonas del barril.

3.- Barril o cilindro.- es de acero inoxidable para evitar un poco su desgaste; ya que el empleo de otros materiales liberarían hierro que actúa como catalizador en el enranciamiento - de las grasas ocasionando la formación de olores y sabores inde- seables en el producto.

Este barril se divide en tres zonas de calentamiento - que ejercen una función específica y provocan cambios en el extru- dato :

a) Zona de Alimentación.- tiene la función de recibir - la mezcla de materiales crudos, comprimir el material y transportarlo uniformemente a la zona de transición o cocción. En esta zo- na puede inyectarse agua o vapor de agua para ayudar a la textura del producto.

b) Zona de Cocción o Transición.- aquí se efectúa la -- cocción del material aprovechando el calor generado tanto por -- fricción del producto con las paredes del cilindro y el tornillo, como el calor suministrado por medio de vapor o energía eléctrica dependiendo del tipo de extrusor, siendo esta quizás la zona más importante del extrusor. Su función es recibir el material compri- mido de la zona anterior, homogenizarlo y transportarlo a la si-- guiente zona con mayor compresión. La homogenización se lleva aca- bo mediante un mezclado intenso de los flujos longitudinales y - transversales del canal; el comportamiento matemático de esta zo-

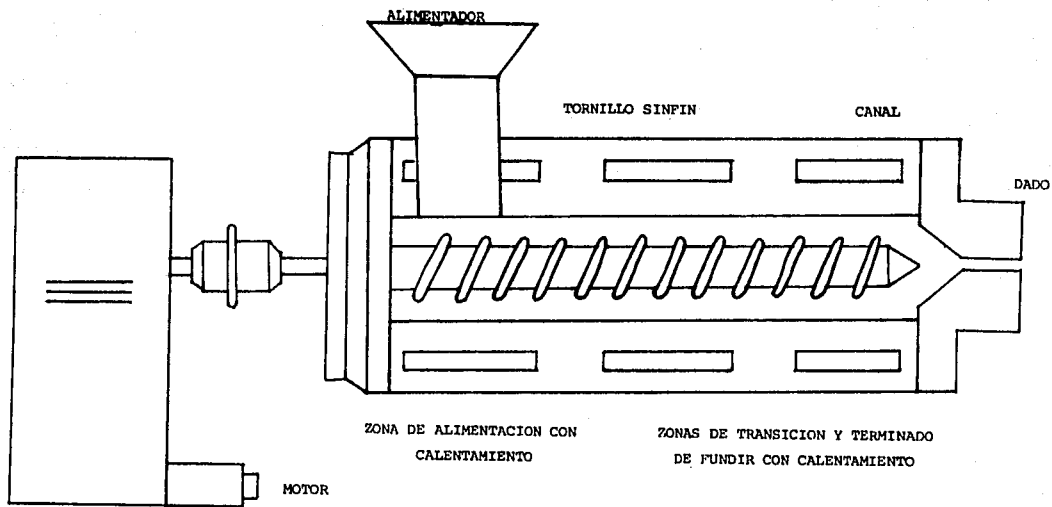


FIGURA No. 4. ELEMENTOS DEL EXTRUSOR.

na supone que el material actúa como verdadero fluido, exhibe deformaciones al esfuerzo y no se desliza en las superficies del tornillo y del barril. Esta sección se comporta como una bomba centrífuga con la capacidad de bombeo relacionada inversamente a la presión de bombeo.

c) Zona en donde el producto alimenticio está fundido en forma homogénea.- aquí el extrudato es pasado por una boquilla o dado a presión constante, cuya función es dar forma y tamaño al producto. La velocidad de flujo a través de la boquilla es función de la viscosidad y geometría del dado que ofrece resistencia y de la caída o gradiente de presión.

4.- Tornillo sinfin.- éste gira dentro del barril y fuerza al material a fluir bajo condiciones de mezclado, calentamiento y esfuerzo. Bajo condiciones normales de proceso, a lo largo del tornillo sinfin se encuentran lugares donde la masa está fundida y en otros donde está en forma sólida, siendo este comportamiento muy importante para determinar la velocidad de producción.

A la zona del extrusor donde coexisten la fase sólida y líquida en estado de fusión se le llama zona de fundido, la cual incluye parte de la zona de alimentación, parte o toda la zona de transición y parte o toda la tercera zona. La mayor o menor fusión dependen de las condiciones de operación: temperatura, velocidad del tornillo, tiempo de residencia, geometría del tornillo.

La mayor parte de la fusión del producto alimenticio se lleva acabo entre la pared interna del cilindro y la cama sólida alimenticia. Ver figura No. 5.

El movimiento del tornillo sinfin hace que ésta cama sólida fluya hasta encontrarse con la siguiente rosca del tornillo y caiga al seno de un alimento previamente fundido con el que se mezcla conforme va avanzando el material, el tamaño de la masa -- fundida crece y la cama sólida decrece. El calor para la fusión es suministrado a través de la pared del cilindro y por medio de calor viscoso disipado de la capa de la mezcla. (56).

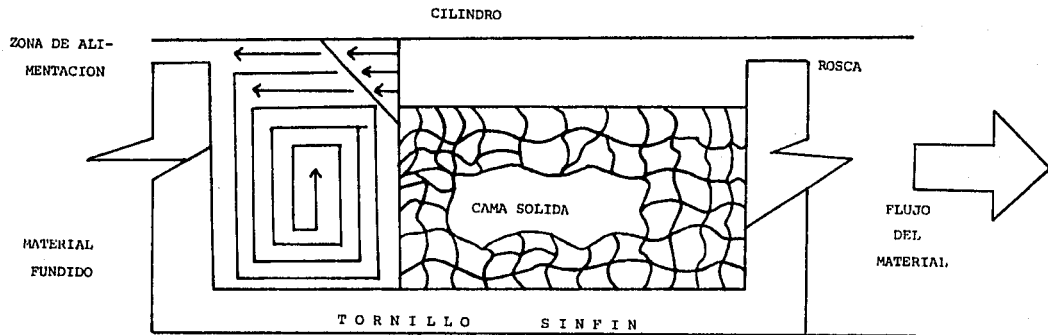


FIGURA No. 5 . COMPORTAMIENTO DEL PRODUCTO ALIMENTICIO EN LA ZONA DE FUNDIDO.

La fusión también se lleva acabo siquiendo el mismo mecanismo en los casos en que el cilindro no es calentado externamente (extrusor autógeno) y todo el calor es suministrado por disipación viscosa de la capa entre la cámara sólida y el cilindro

Este modelo supone que el material fundido en la capa - se comporta como un fluido no newtoniano, dependiendo de la temperatura de la capa fundida.

5.- Dado o Boquilla.- diseñado para dar forma, secar y expandir el producto extrudido. Existen diferentes tipos de dados empleados en éste proceso dependiendo del tamaño y forma que desee obtenerse. Así se tienen : (35, 26)

a) Dado simple.- consta de un plato simple que tiene un predeterminado número de orificios alrededor de la abertura, que dependera del tamaño que se desee dar al producto, así mismo la forma y tamaño de dichos orificios determina la forma del producto final. Este tipo se emplea generalmente en la producción de alimentos secos expandidos para animales domésticos.

b) Dado Doble.- contiene dos platos simples, el primero tiene la función de incrementar la resistencia al flujo y ayudar a impartir mayor corte (cizallamiento) al extrudato, el segundo - se encarga de impartir forma y tamaño al extrudato ya que fuerza a fluir a través de un predeterminado número de orificios configurados para dar forma; este tipo de dado se emplea en la elaboración de botanas y formas simples de cereales para desayuno.

c) Dado Triple.- consta de tres dados simples, el primero tiene la misma función que el correspondiente plato del dado doble, en el segundo plato hay una disminución de la viscosidad del extrudato hasta obtener un tamaño adecuado, estas funciones son terminadas por el tercer plato, se puede obtener configuraciones definidas o con agujero en el centro del producto.

d) Dado simple con espacio.- el espacio se encuentra - entre el barril extrusor y el plato del dado final, de forma que el espacio quede paralelo y fuera del flujo del tornillo extrusor

Este tipo se emplea en la elaboración de proteína vegetal texturizada, teniendo como característica que los orificios - del dado se encuentran en el perímetro del mismo.

Cada tipo se ilustra en la figura No. 6.

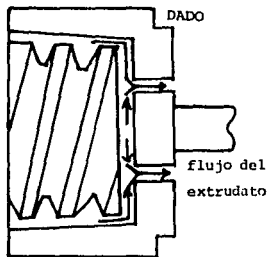
Independientemente del dado utilizado se tienen principalmente des funciones :

1.- Restringir el flujo del producto ocasionando que el extrudato adquiera tanto la presión como el corte (cizallamiento) necesario.

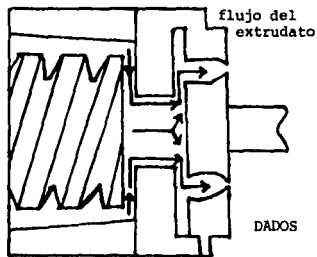
2.- Dar forma al extrudato.

La figura No. 7 muestra las zonas del extrusor mencionadas anteriormente.

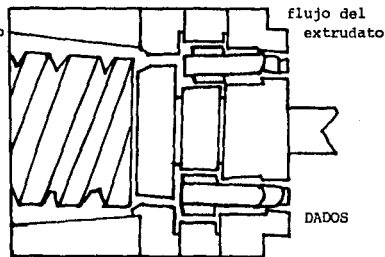
a) DADO SIMPLE



b) DADO DOBLE



c) DADO TRIPLE



d) DADO SIMPLE CON ESPACIO

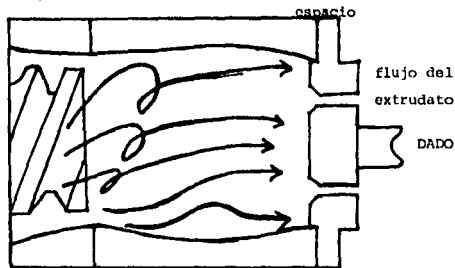


FIGURA No. 6. TIPOS DE DADOS.

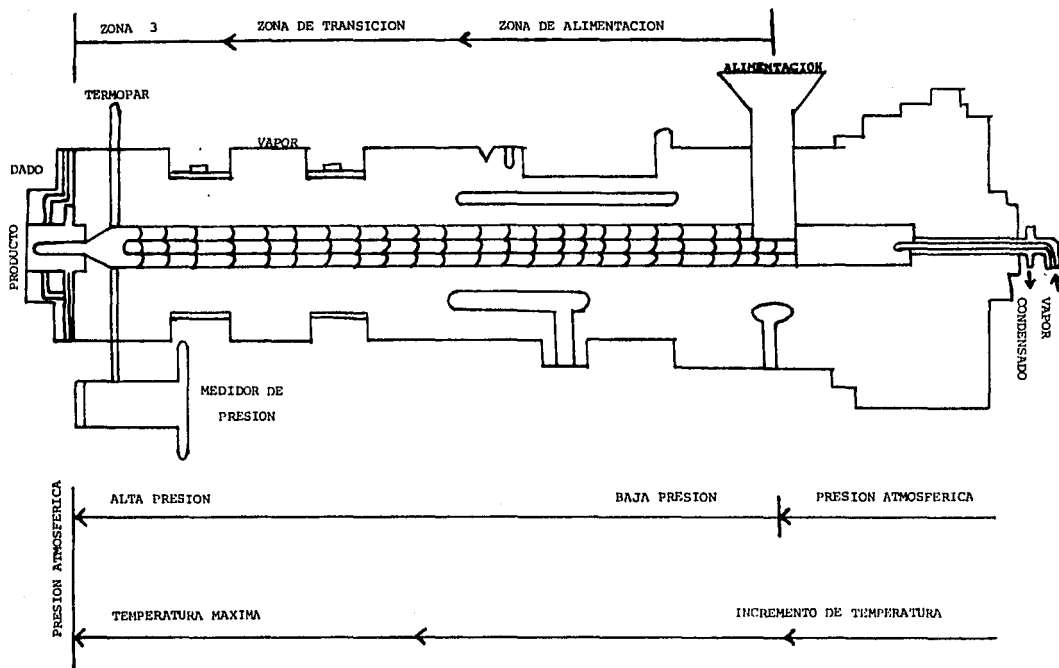


FIGURA No. 7 . ZONAS DEL EXTRUSOR

METODOLOGIA DEL PROCESO DE EXTRUSION

El proceso tradicional empleado en extrusión es el siguiente : (55)

1.- Alimentación continua de la materia prima, ya sea en forma de harina o granular o mezclas de ingredientes a velocidades controladas del tornillo extrusor.

2.- Precondicionar con vapor las materias primas a tratar a temperaturas de 80-90°C y presión atmosférica. Es necesario tener un buen sistema para aplicar la humedad a la materia prima, ya sea en forma de vapor o agua; ésta etapa contribuye poco al cocimiento del material, sin embargo, donde se realiza la verdadera cocción del material es en la cabeza del extrusor donde la energía friccional generada por el motor se convierte en calor. No todos los materiales requieren un precondicionamiento.

3.- Realizar un montaje específico del extrusor en base a cada producto, ya que debe acomodarse de tal forma que pueda convertirse el material húmedo en una masa coloidal que es transportada hasta la sección final del extrusor a temperaturas moderadas, generalmente entre 80-90°C empleándose intervalos menores cuando el material no ha sido previamente precondicionado con vapor o agua; así por ejemplo, los alimentos expandidos empujados como botanas, se clasifican de segunda y tercera generación, los de segunda generación son productos por expansión directa con el dado extrusor dando un tamaño y forma determinada por la configuración del mismo, así como por la velocidad de corte, estos productos contienen baja humedad después de la extrusión, sin embargo, se requiere además del extrusor un secador-enfriador para obtener un producto final frágil y una mayor vida de anaquel. (35). En tanto los de tercera generación (productos semiterminados) requiere del montaje de dos extrusores (uno para cocer el extrudato y el segundo para proporcionarle forma únicamente), además un secador-enfriador y por último un freidor (siendo opcional), en el cual el producto es frito a la francesa, o bien, se puede vender al consumidor para ser frito en casa antes

de ser consumido.

4.- Incrementar la temperatura de la masa durante los últimos 10-30 segundos hasta la temperatura deseada de extrusión (generalmente entre 115-175°C), de esta forma pasa de un estado amorfo a una estructura coloidal. El calor puede suministrarse en alguna de las formas siguientes o combinaciones de ellas:

- a) la fricción generada por esfuerzo constante del tornillo actuando sobre la masa.
- b) vapor vivo inyectado dentro de la masa plastificada, esta inyección debe efectuarse en la zona de alimentación o cocción debido a que en estas zonas la temperatura es inferior a la zona tres del extrusor, ya que si se inyectara en esta última el agua se volatilizaría inmediatamente, ocasionando la formación de grumos que impediría el cocimiento uniforme del extrudato.
- c) suministrando calor externo por medio de calentamiento en el barril. Este tipo de calentamiento es provisto por calentadores eléctricos o por chaquetas de vapor, agua o aceite térmico.

5.- Controlar la temperatura mediante un termopar, es importante este control en la masa durante el tiempo de residencia en el extrusor.

6.- Emplear un dado final, cuyos diseños y funcionalidad se mencionaron anteriormente.

7.- Secado y enfriado del producto a la temperatura y humedad deseada en un equipo diseñado particularmente para los productos procesados.

Después de los pasos básicos descritos anteriormente muchos productos extrudidos requieren uno o más de los siguientes pasos:

a) aplicación interna de sabores, vitaminas y otros componentes en forma de líquidos (que solidifican posteriormente), en emulsiones o en forma de polvos, así como una combinación de ambos.

b) reducción en el tamaño de las partículas por medio de molinos.

" VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE EXTRUSION "

El proceso de extrusión es un método de cocimiento eficiente que se realiza a alta temperatura/tiempo corto (HT/ST) y que presenta las siguientes ventajas:

1.- Su gran versatilidad; ya que el propio sistema básico de cocimiento puede modificar su diseño en formas más o menos sencillas, operandose a diferentes velocidades de tornillo, temperaturas de barril y presiones en la boquilla o boquillas; permitiendo así variar los niveles de humedad, mezclado y cocción de materiales, obteniéndose una variada cantidad de productos con formas, densidades y texturas diferentes (chiclosos, blandos, quebradizos, flexibles, etc.) con solo realizar mínimas modificaciones en las partes intercambiables del extrusor. Además con la misma maquinaria se facilita el empleo de diferentes formulaciones que pueden o no fortificarse con protefnas a productos con alto contenido en carbohidratos, tales como : botanas, cereales para desayuno, panificación, entre otros.

2.- Gran capacidad de producción por tener un método de alimentación continua y tiempo corto de cocimiento.

3.- Bajo costo debido a su gran versatilidad, capacidad de producción, no requiere gran extensión de terreno para operar y menor mano de obra por hora de producción que cualquier otro sistema de cocimiento ya que los materiales se cuecen tanto en forma individual como en mezclas.

4.- Proporciona una mayor vida de anaquel debido a :

- a) destrucción de la peroxidasa durante el proceso HT/ST.
- b) disminución del coeficiente de actividad acuosa (A_w).
- c) los productos quedan prácticamente esterilizados, sin presencia de microorganismos patógenos (Salmonella), larvas o insectos, obteniéndose productos con buena calidad sanitaria.

Por todo ésto se obtiene un tiempo máximo de almacenamiento sin refrigeración.

5.- Es una buena forma de convertir energía eléctrica en térmica.

6.- Facilita el moldeado y texturizado de los alimentos para mejorar la aceptabilidad del producto terminado.

7.- Puede modificar histológicamente y reestructurar los concentrados de protefna para producir protefnas vegetales texturizadas.

8.- Es un método eficiente de cocción ya que el análisis químico proximal del alimento no se ve afectado sensiblemente como consecuencia de ésta o peración.

9.- Los extrusores cocedores consumen menor energía total por tonelada de productos que otros métodos de cocción y son termodinámicamente eficientes.

10.- No deja residuos peligrosos en el ambiente, ni efluentes.

11.- Casi no se ve afectada la calidad biológica y el contenido de vi taminas por ser un proceso donde se aplica alta temperatura/tiempo corto, esto es, el tiempo promedio que pasa una partícula de alimento en un extrusor a una temperatura elevada es de unos cuantos segundos, disminuyéndose así la posibilidad de destrucción de vitaminas termolábiles y reacciones indeseables entre - protefnas y carbohidratos asimilables (reacción de Maillard) en comparación -- con otros métodos de cocimiento; pueden agregarse antioxidantes, sabores y colo res para mejorar las características organolépticas del producto.

12.- Permite la utilización de fuentes locales de alimentos tradicionales y no, en la elaboración de cereales y pastas enriquecidas, bebidas, ato les y otros.

13.- Se aumenta la digestibilidad de los productos sometidos a este - proceso de cocimiento debido a los siguientes puntos :

a) los almidones se someten al proceso de gelatinización (ruptura de moléculas a través de una combinación de humedad, calor, presión y corte méca nico) trayendo como consecuencia:

1.- una disminución en la absorción de agua, ya que a temperaturas - mayores de 50-55°C los puentes de hidrógeno intermoleculares de las zonas amor fas se rompen quedando libres radicales hidroxilo, que absorben más cantidad - de agua; proporcionándonos además de la digestibilidad una mayor disponibilidad calorífica del producto.

2.- el ligamiento de micronutrientes (vitaminas y minerales) en forma uniforme e irreversible.

b) las protefnas sufren una desnaturalización irreversible ya que - tanto la temperatura como la cantidad de agua se incrementan, resultando un des doblamiento, extensión y alineamiento de la protefna, perdiendo su estado nati vo globular o forma tridimensional.

14.- Controla los factores antifisiológicos (proteasas) mediante una

inactivación térmica, presentes normalmente en la proteína de soya y otras proteínas; el principal inhibidor de crecimiento es el de la tripsina, la cual es necesaria en la digestión, ya que es una enzima proteolítica que cataliza la -- síntesis de aminoácidos en el tracto digestivo.

Otros inhibidores son las hemaglutininas, también llamadas lectinas, fi tohemaglutininas o soyinas. Son componentes tóxicos presentes en la soya cruda y tienen la capacidad de aglutinar los globulos rojos, siendo a menudo especfi cas para un grupo sanguíneo específico.

A continuación se mencionarán las desventajas que presenta el método - HT/ST :

- 1.- Los extrusores procesan solamente harinas y materiales granulares.
- 2.- Se requiere emplear un menor intervalo de temperatura en mezclas - que contienen proteínas de leche, ya que hay una mayor destrucción de lisina - que en otros productos, obteniéndose así una óptima utilización biológica.
- 3.- La vitamina C presenta pérdidas excesivas durante el proceso, sin embargo, puede reponerse la vitamina perdida por adición de esta después de la extrusión y secado.
- 4.- No se destruye el inhibidor del crecimiento gossypol presente en la semilla de algodón.

II.- INTERACCIONES LÍPIDO -CARBOHIDRATO -PROTEINA.

" CAMBIOS FISICOQUIMICOS OCURRIDOS DURANTE EL PROCESO

DE EXTRUSION "

El proceso de extrusión es ampliamente usado para reestructurar materiales a base de almidón y proteínas obteniéndose una gran variedad de alimentos. El comportamiento de la masa alimenticia durante su recorrido a través del cilindro extrusor es muy complejo, por lo cual, este proceso se ha desarrollado a través de ensayo y error (23). Esta complejidad hace difícil describir cuantitativamente los cambios en el extrusor, sin embargo, han sido varios los experimentos realizados para determinar su comportamiento, utilizando para ello cualquiera de los siguientes sistemas (61) :

1.- Almidón puro y proteína pura.

2.- Maíz \longrightarrow endospermo \longrightarrow almidón
 \searrow \longrightarrow almidón-proteína
 germen \longrightarrow rico en grasas (ácidos grasos insaturados)

3.- Otros cereales (mezclas de proteína-almidón o proteína-almidón-aceite).

Dependiendo de la cantidad de carbohidratos, proteínas o lípidos presentes en la mezcla a extrudir se obtiene un producto con características determinadas. Cuando el mayor contenido es almidón el proceso consiste principalmente en una gelatinización que se considera más completa que la obtenida por cualquier otro método de cocimiento. Si el contenido mayor es proteína entonces la mezcla sufre una texturización, con lo cual hay formación de fibras y carácter expansivo parecido a la carne. En tanto el empleo de lípidos no es conveniente en grandes cantidades ya que pueden producirse características indeseables en el alimento, tales como :

1.- Separación de la grasa del resto del material (masa viscoelástica).

2.- Un aumento en la temperatura de gelatinización del almidón, ocasionando un menor grado de gelatinización y por lo tanto una menor digestibilidad del producto extrudido.

3.- El producto final obtenido es pegajoso implicando mala calidad.

4.- Reducción de la expansión del producto extrudido si el contenido de humedad es bajo, debido a que se genera poco vapor por la vaporización de volátiles.

Sin embargo, es conveniente su empleo ya que funcionan como lubricantes en la masa sólida para su conversión en masa viscoelástica, además el flujo del extrusor depende del contenido de grasa del material a extrudir, por lo que los materiales con alto contenido de grasa (soya) generalmente son extrudidos a flujos altos y bajo contenido de humedad.

El efecto lubricante de los lípidos puede sustituirse adicionando agua a la entrada del extrusor, sin embargo, aunque es atractivo económicamente, tiene la desventaja de reducir el grado de cocción (21).

El almidón es un ingrediente predominante en botanas extrudidas, considerándose el empleo de sémola del cereal como almidón puro aunque también forman parte de la mezcla algo de proteínas, grasa y fibra (25).

Durante el proceso de extrusión el almidón nativo sufre cambios importantes ya que hay una desorganización molecular, perdiendo su cristalinidad nativa, sufriendo degradación molecular y frecuentemente se acompleja con lípidos de la mezcla alimenticia.

Los parámetros importantes en la transformación del almidón son : temperatura, humedad, composición del alimento y corte mecánico. Durante el proceso de extrusión el almidón es parcialmente hidratado y cuando el contenido de humedad es bajo se ocasiona un aumento de viscosidad que produce mayor daño mecánico.

La amilopectina no puede alinearse por si misma de forma efectiva en el flujo del tornillo y el dado, debido a la voluminosidad de la molécula causando mayor daño mecánico y reducción de su tamaño molecular (Davidson y colaboradores 1984). Este daño es característicamente una pérdida de cohesividad y expansión - predominante en la dirección longitudinal (Launay y Lisch 1983) obteniéndose productos con pequeños poros, texturas más blandas, mayor solubilidad y un carácter pegajoso al ingerirse.

Para la elaboración de un producto extrudido se requiere el empleo de - materias primas que permitan la obtención de productos con ciertas características de masticación, fragilidad, plasticidad, dureza o desmenuzado, por lo que si se requiere un producto muy expandido con estructura abierta y quebradiza se debe emplear almidón no modificado.

La relación del contenido de amilosa-amilopectina es importante ya que si hay mayor contenido de amilopectina el producto será muy expandido, pero frágil y ligero, en tanto que si la amilosa predomina se obtendrá un producto duro y poco expandido, sin embargo, se ha encontrado que al emplear de 5 a 20% de ami

losa proporciona un producto con buenas características.

Los factores que afectan el grado de gelatinización durante el proceso de extrusión son : humedad del material crudo, temperatura, velocidad del tornillo y tamaño del diámetro del dado, además puede controlarse la gelatinización con el tamaño de partícula, contenido de humedad, temperatura, presión y tiempo de exposición al calor.

Los cambios originados por el proceso de extrusión han sido estudiados por :

Mercier y Feillen en 1975 (41) reconstituyeron almidón de maíz con diferentes mezclas de maíz cereo (alto contenido de amilopectina) y maíz con alto contenido de amilosa reportando que, excepto para el material extrudido a 225 °C , la amilosa reduce la expansión y solubilidad en agua del almidón extrudido, además la temperatura de extrusión incrementa la solubilidad en agua del almidón extrudido sin producción de maltodextrinas.

Seib en 1976 (16) observó que durante el proceso de extrusión hay una completa gelatinización con lo cual el producto obtenido es muy digerible.

Gómez y Aguilera en 1983 (19) encontraron que al decrecer el contenido de humedad del maíz se incrementa el índice de solubilidad en agua, la susceptibilidad enzimática, el grado de gelatinización y el índice de yodo, en tanto decrece el índice de absorción de agua y los carbohidratos solubles en agua.

Colonna y colaboradores (7) realizaron en 1984 un estudio comparativo entre el proceso de extrusión y el tambor secador, encontrando que la degradación molecular es función del proceso, siendo más drástica en el proceso de extrusión, pero a 90 °C y 36 % de humedad los dos procesos son parecidos en cuanto a la degradación molecular. La fracción soluble en agua de los almidones extrudidos tiene el mismo contenido de amilosa que en el almidón total, atribuyéndose esta mayor solubilidad al decremento de peso molecular, en tanto en el proceso de tambor secador la fracción soluble en agua está compuesta por menor cantidad de amilosa respecto al porcentaje de amilosa del almidón total.

En la figura No. 8 se observan los cambios ocurridos al almidón de trigo durante el calentamiento :

ALMIDON DE TRIGO NATIVO	MODIFICACIONES DESPUES DEL CALENTAMIENTO
<ul style="list-style-type: none"> - Forma gránular - Fuertemente birrefringente 	<ul style="list-style-type: none"> - Desaparición de la forma gránular - Transformación del almidón en una fase continua.
<ul style="list-style-type: none"> - Densidad de $1.482 + 0.005q/cm^3$ 	<ul style="list-style-type: none"> - No hay cambios significativos en la densidad.
<ul style="list-style-type: none"> - Capacidad de unión con el yodo de 5.9 mg de yodo por cada 100 mg de polisacárido 	<ul style="list-style-type: none"> - Decrece la viscosidad intrínseca con lo cual se demuestra la degradación del almidón en macromoléculas de bajo peso molecular - La amilosa y amilopectina se degradan más o menos igual por ambos tratamientos térmicos

FIGURA No. 8. COMPARACION DEL ESTADO NATIVO DEL ALMIDON DE TRIGO Y SUS CAMBIOS DESPUES DEL CALENTAMIENTO.

Richmond en 1985 (50) encuentra que el proceso de extrusión causa deformaciones en la estructura gránular del almidón y produce una nueva estructura que es más estable. Tanto la molécula de almidón como la de proteína son alineadas dentro del extrusor y a altas temperaturas, estas moléculas se entrecruzan para formar una estructura alterna capaz de expandirse al salir del dado extrusor.

El entrecruzamiento del almidón está limitado por uniones hidrofóbicas e hidrógeno, por lo que la estructura final y textura son más fácilmente destruidas en presencia de agua. En contraste, la proteína puede entrecruzarse a través de uniones más fuertes covalentes e iónicas representando esto una relativa insolubilidad y resistencia para perder su textura. La estructura ramificada de amilopectina no puede alinearse dentro del extrusor permitiendo un carácter más altamente expansible. Las proteínas se emplean para estabilizar sistemas de emulsión a--

ceite-agua donde el aceite se encuentra en forma de pequeñas gotas como fase dispersa y el agua como fase dispersante.

El proceso de desnaturalización proteica es irreversible y se describe en la figura No. 9. (58)

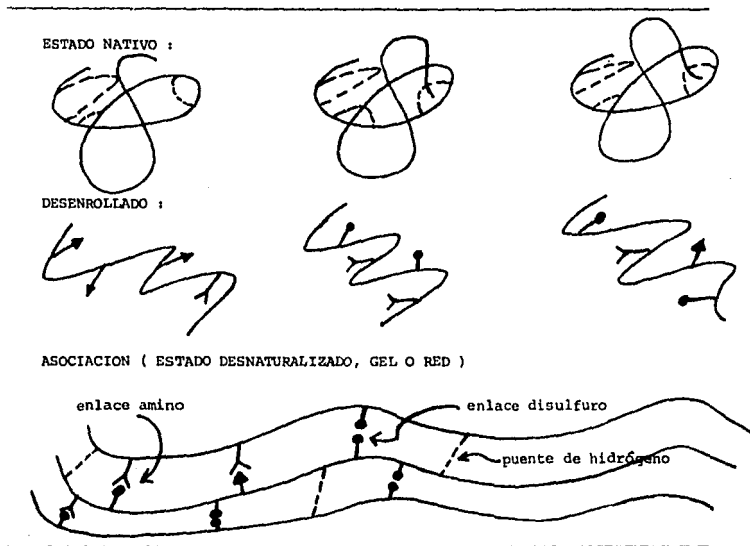


FIGURA No. 9 . PROCESO DE DENATURALIZACION PROTEICA.

Los productos texturizados presentan ventajas tales como: larga vida de anaquel, capacidad de rehidratación sin perder su estructura, forma y textura al paladar, cuenta bacteriana baja, destrucción de factores antinutricionales y toxinas termolábiles.

Al incrementar la temperatura de la protefna y el contenido de agua ,

se obtiene como resultado un desdoblamiento, una extensión y alineación de la protefna con pérdida de su estado globular o forma tridimensional. Los enlaces iónicos, disulfuro e hidrógeno, son forzados a organizarse y las cadenas de protefna lineales al estar libres se orientan y recombinan formando una red. Cuando la protefna se orienta longitudinalmente a lo largo del extrusor y emerge del dado, el agua que contiene se evapora en forma instantánea obteniéndose la expansión del producto; al dejarlo enfriar las fibras de orotefna se extienden y alargan con lo cual se obtiene una estructura porosa con un arreglo paralelo laminar de fibras.

Para obtener protefna vegetal texturizada la mezcla no debe exceder de 50% de protefna, 30% de carbohidratos y 1% de grasa. Si se desea texturizar y el contenido de carbohidratos es mayor al recomendado, se adiciona un surfactante (estearil-2-lactato de sodio) el cual aumenta la temperatura de gelatinización y evita la destrucción de las fibras de protefna del texturizado al controlar el grado de expansión del producto final.

Krukar en 1980 encontró que tanto las protefnas como los polisacáridos son acarreadores importantes de compuestos aromáticos que dan sabor y funcionan como protectores de éstos al emplear altas temperaturas.

Faubion y Hoseney en 1982 (17) encontraron que los efectos que ocasiona la protefna en las propiedades del almidón extrudido dependen del origen de la protefna administrada, observando que tanto los lípidos de la harina como el gluten del trigo ocasionan una disminución en la expansión y ruptura del almidón y los efectos de adición de protefna de soya dependen del nivel adicional.

Smietana y colaboradores en 1985 (54) encuentran que al adicionar protefna de leche pueden lograrse agregados protefnos de cereal-leche que poseen características funcionalmente específicas predecibles a partir de las condiciones de extrusión, así se sabe que el índice de absorción de agua (indicador del grado de viscosidad) en función del tiempo, es menor al emplear mezcla de cereal-leche y mayor cuando es cereal puro.

Generalmente los lípidos se encuentran en menor cantidad en los alimentos empleados en el proceso de extrusión, por lo que su comportamiento no ha sido muy estudiado, sin embargo, se sabe que son importantes en las características del producto. Los más empleados son :

- 1.- Grasas y aceites.- tienden a reducir la resistencia del producto e

incrementar la plasticidad cuando deja el extrusor. El componente graso cubre al gránulo de almidón restringiendo la cantidad de agua que éste puede absorber. Consecuentemente el orden de adición de la grasa, su distribución, sus características propias (punto de fusión o densidad) tienen un efecto significativo en el proceso.

2.- Monoglicéridos, diglicéridos y sus derivados.- forman complejos con el almidón retardando su retrogradación. El estearil-2-lactato de sodio altera la estructura del gluten al interactuar fuertemente a través de enlaces de hidrógeno con la proteína reduciendo así la tendencia de los gránulos de almidón a hincharse debido a la formación de un complejo insoluble que actúa como una envoltura del gránulo previendo la entrada de agua para su gelatinización, por lo que la temperatura de gelatinización es mayor.

3.- Agentes surfactantes.- reducen la tensión superficial entre dos fases miscibles. Evitan la tendencia de las partículas de grasa a interactuar con ellas mismas y formar grandes agregados. Su adición no cambia el índice de solubilidad en agua (indicando el grado de gelatinización), pero si aumenta un poco los índices de nitrógeno, absorción de agua y capacidad de emulsificación.

Smith en 1974 (57) encontró que al aumentar la cantidad de grasa en los productos extrudidos, se reduce la temperatura de extrusión, además la grasa divide y liga a las enzimas las cuales se desnaturalizan o inactivan durante el proceso de cocción impartiendo así estabilidad oxidativa a los lípidos del extrudato.

Cabrera y Lavedre en 1978 (6) reportaron que los surfactantes reducen la expansión del almidón extrudido y que al variar el pH de 4 a 9 no hay efecto sobre la expansión, sin embargo, cuando el pH es menor a 4 la expansión del extrudato se reduce grandemente.

Peri y colaboradores en 1980 (47) encontraron que los productos extrudidos presentan más estrechamente enlaces entre lípidos polares y aminoácidos libres que con lípidos no polares.

Allen y colaboradores en 1981 encontraron que al calentar un alimento la textura de la grasa se convierte en más blanda o líquida y algunas grasas pierden sus compuestos aromáticos y los lípidos sufren cambios químicos, tales como oxidación e hidrólisis.

" MODELOS DE INTERACCION LIPIDO- CARBOHIDRATO-PROTEINA EN

PRODUCTOS EXTRUDIDOS "

Las interacciones entre los lípidos de la harina nativa y las proteínas han sido estudiadas por muchos investigadores durante las pasadas dos décadas. Varios modelos se han propuesto que incluyen el complejo proteína adhesiva-lípido-almidón en harina por Hess y Mahl (1954), el modelo lipoproteína en -- gluten por Grosskreutz (1961), el complejo glutenina-glicolípido-gliadina por Hoseney y colaboradores (1970) y el complejo gluten-glicolípido-almidón por Wehrli (1969).

Más recientemente Cumming y Tung (1975) reportaron un complejo lipoproteico entre los lípidos libres de las harinas y las proteínas durante la formación del gluten y puntualizaron la importancia de la formación del complejo para las interacciones proteína-proteína y proteína-almidón (10).

Algunos surfactantes interactúan con el almidón para formar un complejo helicoidal con amilosa insoluble en agua (Kroq 1971), en tanto los surfactantes etoxilados como monoglicéridos etoxilado o polisorbato 60 producen un complejo con amilosa soluble en agua (Kim y Robinson 1979).

Los modelos propuestos para sistemas macromoleculares, tales como masa y pan que contienen todos los constituyentes de la harina pueden derivarse de otros modelos, los cuales están basados en estudios de interacción a niveles moleculares y macromoleculares utilizando únicamente sistemas separados (almidón-proteína).

La dificultad de estudiar las interacciones entre los componentes puede deberse a :

- 1.- La extrusión de alimentos es comparativamente un proceso nuevo frente a la tecnología de horneado.
- 2.- La extrusión de alimentos es mucho más compleja que la extrusión de plásticos en la cual se basa el proceso.
- 3.- La mayor parte de la información es propiedad de las patentes.
- 4.- La carencia de extrusores para laboratorio, bien instalados que tengan flexibilidad para estudiar un amplio intervalo de condiciones del proceso. (2).

Aunque la interacción lípido-proteína-carbohidrato es ampliamente acep

tada, esta interacción no ha sido muy estudiada debido a la complejidad del sis tema, a los conocimientos limitados sobre la interacción de los componentes y a la limitación de métodos de estudio de la interacción.

Fabriani y Lintas en 1968 (15) realizaron estudios en la elaboración de pastas donde se investigaron los cambios sufridos por los lípidos durante el procesamiento (molienda, panificación, almacenamiento), concluyéndose que a través de las transformaciones de semolina dentro de la pasta durante el proceso - tecnológico, ocurren cambios que resultan en más pequeños porcentajes de grasas extraídas. La causa de esas diferencias en el grado de extractibilidad de lípidos puede ser una transformación química de los lípidos cuando se someten a la presión del tornillo en presencia del agua de la masa o a un acomplejamiento de los lípidos con algunos otros componentes de la pasta. Estas dos posibilidades no necesariamente son contrarias una a la otra, sino que pueden ocurrir simultáneamente.

Mercier y colaboradores en 1979 (39) realizaron un estudio con almi dón comercial de maíz cereo, maíz y papa encontrando que el almidón de maíz que contiene amilosa y lípidos causan la formación de una estructura similar a la V - amilosa, en tanto el almidón cereo (no contiene amilosa) y el almidón de papa (no contiene lípidos) no presentan dicha estructura. A alta temperatura el almi dón de papa forma oligosacáridos lineales en tanto el almidón del cereal no, con cluyéndose que los lípidos del cereal se acomplejan con el almidón.

Mercier y colaboradores en 1980 (40, 42) compararon las característi cas fisicoquímicas y bioquímicas de los almidones extrudidos, para el mejor entendimiento de la formación del complejo amilosa-lípido demostrado por Takeo en 1973, para lo cual emplearon almidón de tapioca (libre de lípidos) y diferentes ácidos grasos, monoglicéridos y grasas. Ellos encontraron que al adicionar 2% - de ácidos grasos o monoglicéridos al almidón se forma una estructura estable de nominada V-amilosa y la solubilidad en agua del producto extrudido disminuye - conforme se aumenta el largo de la cadena y grado de insaturación de los ácidos grasos desde un 90% (almidón sin lípidos) hasta un 25% (almidón con ácidos grasos o monoglicéridos).

Al comparar el índice de solubilidad entre el ácido esteárico y glice ril monoestereato encontraron que son muy similares, demostrando con ello que el grupo estearil y no el glicerol está involucrado en el complejo, confirmádo

se con la ausencia de la estructura V-amilosa donde el almidón se estudio con glicerol, este efecto se atribuye al impedimento estérico del glicerol en la parte interna del hélice de amilosa.

La formación del complejo ocurre solamente al adicionar 0.29 % de ácido oleico viendose afectado por la temperatura de extrusión. Por otra parte al adicionar de 2 a 4 % de grasas (manteca, mantequilla, lecitina de soya, aceites de girasol y cacahuete) al almidón de tapioca, se observa que no hay formación del complejo, atribuyéndose a que existe un impedimento estérico debido a que el largo de la cadena de la grasa es más grande que la parte interna de la hélice de amilosa. En los productos acomplejados con ácidos grasos o monoglicéridos hay una reducción de pegajosidad y estabilidad al derretimiento.

Björck en 1983 (4) observó que al aumentar el contenido de amilosa (maíz cereo maíz amilón 5 amilón 7) hay un aumento en la cantidad de amilolisis después de la extrusión.

La formación del complejo amilosa-lípido reduce la viscosidad de los productos. In vitro se encontró menos amilosa soluble disponible para la amilasa en los complejos amilosa-lisolecitina y amilosa- ácido oleico, sin embargo , con un exceso de amilasa y tiempo de incubación prolongado se obtiene una degradación del complejo, así en experimentos realizados con ratas se encuentra que la cantidad de absorción del complejo amilosa-isooleucina es ligeramente menor que la de amilosa libre.

Menser y colaboradores en 1985 (38,43) mezclaron almidón de trigo y papa con ácidos grasos, monoglicéridos, aceite o agentes emulsificantes para estudiar el efecto del cocimiento por extrusión en la formación del complejo lípido-almidón, encontrando que el ácido mirístico presenta un mayor grado de acomplejación de entre los ácidos grasos saturados, en tanto que estos a su vez, son menores que los ácidos grasos insaturados.

Al determinar el límite de saturación o acomplejación por desengrasado de los productos extrudidos con éter de petróleo, encuentran que después de extraer la grasa disminuye el complejo lípido-almidón, demostrando que los lípidos se acomplejan hasta un cierto grado en forma aparente.

La acomplejación fue máxima al adicionar de 3 a 5 % de ácidos grasos y monoglicéridos variando con el peso molecular, grado de saturación y largo -

de la cadena, en tanto que en triglicéridos y agentes emulsificantes es menor, explicándolo con la penetración del lípido a la hélice de amilosa y su enlace al polisacárido del almidón (amilosa). Al emplear grasa de cacahuate encontraron que éste no se une al almidón debido al impedimento estérico.

Para comprobar la formación del complejo lípido-almidón emplearon la medición de la máxima absorción de la coloración del complejo amilosa-yodo, habiendo una interrelación entre la pérdida de color y el tamaño de la cadena del ácido graso.

La viscosidad y solubilidad del complejo fue menor en los extrudidos de almidón de trigo que en los de papa bajo las mismas condiciones de operación.

Los lípidos durante la extrusión pueden sufrir acomplejamiento, conversión cis-trans (efecto secundario), o en caso de los lípidos insaturados una polimerización oxidativa y por lo tanto el comportamiento típico de los lípidos puede perderse.

El límite de saturación del almidón fue de 3 % con los ácidos grasos libres y monoglicéridos, en tanto que con triglicéridos y lecitina es de 1%.

Cuando en el proceso tradicional de horneado, se sustituyó 4% de harina por el complejo, se encontró que los complejos de harina de trigo con una proporción del 2 al 4 % de monoestereato de glicerilo y lecitina, fueron especialmente activos en el mejoramiento del volumen de pan y retención de frescura. Las propiedades de mejoramiento del horneado con monoglicéridos, diacetil tartratos y estearosil-2-lactatos se pierde en la acomplejación con almidón de trigo durante la extrusión.

" MODELOS DE INTERACCION PROPUESTOS EN EL PROCESO

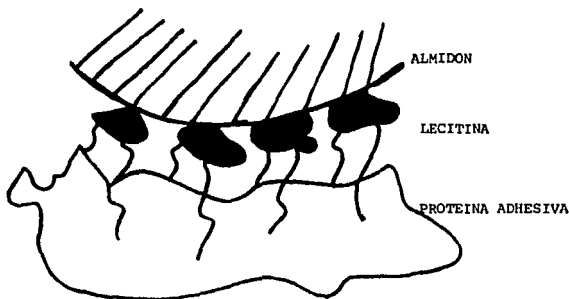
TRADICIONAL DE PANIFICACION "

Durante el proceso tradicional de panificación, el almidón se combina con el gluten y se gelatiniza, en tanto los lípidos juegan un papel importante en las características de textura y volumen.

Durante el desarrollo de la masa, los lípidos interaccionan en mayor proporción con el gluten que con las proteínas solubles del trigo, entonces se promueve la retención del gas en la masa. Durante el horneado, los lípidos interactúan con el almidón, lo cual gobierna extensivamente la retención de la frescura en pan horneado.

Los modelos propuestos para la interacción lípido-carbohidrato-proteína son : (46)

Hess propone una relación estructural entre lípidos, proteínas y almidón en harina de trigo, en el cual los depósitos de proteína son cubiertos por una capa de lípidos, la cual actúa como adhesivo de las capas de proteína y los correspondientes gránulos de almidón.



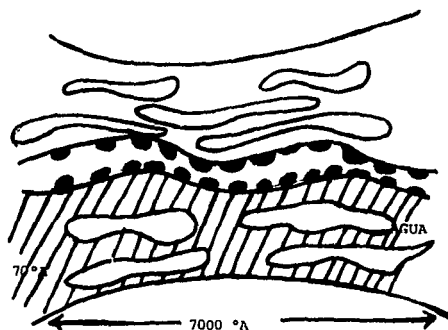
Grosskretz estudia la estructura del gluten del trigo proponiendo un modelo lipoproteico envolviendo una capa de lípido de estructura bimolecular. Además mostró que las proteínas en el gluten húmedo consisten en cadenas polipeptídicas en configuración hélice con espesos plateles planos de 70 °A.

La extracción de los fosfolípidos no afecta los plateles básicos pero afectó seriamente su habilidad de unirse en capas capaces de mantener largas deformaciones plásticas. Postula que :

1.- Las proteínas forman ramas bimoleculares orientadas en forma similar a las encontradas en mielina.

2.- Las lipoproteínas ocupan alrededor del 2 al 5% de la estructura elástica del gluten.

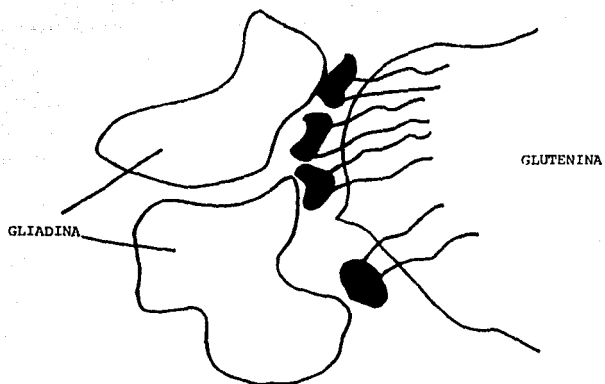
3.- Las cadenas de proteína son unidas al extremo de una rama del fosfolípido bimolecular, posiblemente por medio de uniones tipo sal entre los grupos ácidos de los fosfolípidos y los grupos básicos de la proteína.



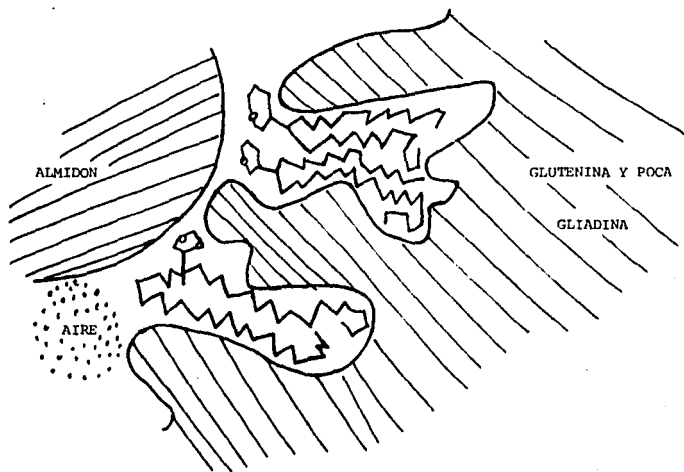
PLATELES DE PROTEINA CON SUPERFICIE POLAR Y CENTRO HIDROFÓBICO

40 °A. DOBLE CAPA DE LIPIDOS

Hoseney encuentra que los lípidos polares libres (principalmente glicolípidos) son unidos a las gliadinas por uniones hidrofílicas. En el gluten no fraccionado, el lípido se une aparentemente a ambos grupos de proteína al mismo tiempo. La unión simultánea de lípidos polares a gliadinas y gluteninas puede contribuir a la habilidad del gluten para retener gas.



Wehrli propone un complejo de almidón-glicolípido-gluten en el cual - se encuentran puentes de hidrógeno entre los glicolípidos y el almidón gelatinizado o componentes del gluten y fuerzas de Van Der Waals entre glicolípidos y - componentes del gluten, detectando también uniones hidrofóbicas. En este estudio también participó Pomeranz.



Las gliadinas controlan el potencial del volumen del pan de harina de trigo y las gluteninas gobiernan los requerimientos de mezclado durante el amasado. Por otro lado el enramado del almidón aunque contribuye en la absorción de agua y el manejo de la masa, no es esencial para crear un volumen óptimo, además el tamaño del gránulo no gobierna el potencial de panificación del almidón.

" COMPARACION ENTRE PROCESOS TRADICIONALES DE COCIMIENTO
Y EXTRUSION "

Dentro de los cereales más importantes en México se encuentran el maíz, trigo y arroz, ya que son los comúnmente incluidos en la alimentación. Han sido manufacturados a partir de ellos, productos tales como tortillas y pan empleando el proceso de cocimiento tradicional. Sin embargo, con el advenimiento de la extrusión, otro proceso de cocimiento, se han implantado nuevos sistemas de elaboración que incluyen esta alternativa.

Comparativamente, tal vez la principal diferencia entre estos dos métodos radique en la forma de realizar el cocimiento, sin embargo experimentalmente, se han detectado ventajas y desventajas al cambiar el proceso tradicional de elaboración por el método de extrusión.

1.- ELABORACION DE TORTILLA (14, 21)

El método tradicional implica la limpieza del maíz a través de cribas, cocimiento a 90 °C durante 50 minutos con cal y agua (nixtamalización), reposo de 5-15 horas, lavado y molienda del maíz cocido para obtener la masa. La tortilla puede elaborarse con masa nixtamalizada o masa de harina de maíz nixtamalizada siendo recomendable el uso de la última porque no presenta problemas de conservación como la masa de nixtamal que en unas cuantas horas ya no es adecuada para el consumo humano.

El propósito de aplicar el proceso de extrusión al cocimiento de maíz es producir una harina que tenga una vida de anaquel de 6 meses a 1 año y que presente las mismas propiedades al ser rehidratada; además ello permite mejorar la calidad nutricional, productividad y ahorro de energía en el proceso. Se han encontrado numerosas ventajas y desventajas al comparar ambos procesos; las cuales se enumeran en la figura No. 10.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
TRADICIONAL (Nixtamalización)	<ul style="list-style-type: none"> - Produce modificaciones en los almidones y protefnas que mejoran las propiedades reológicas de tortilla y masa. - Mejora el valor nutricional de las protefnas del maíz (disminución de niacina, aumentando la relación isoleucina a leucina). 	<ul style="list-style-type: none"> - Pérdidas de 3.5-4.0% en peso de maíz. - Disminución global de aminoácidos. - Consumo de 6 partes - de agua por 1 parte - de maíz. - Duración de 20 horas. - Generación de efluentes altamente contaminantes.
HARINA DE MAÍZ NIXTAMALIZADO	<ul style="list-style-type: none"> - Cocimiento uniforme. - Alargamiento de vida de anaquel de 6 meses a un año. - Posibilidad de enriquecimiento proteico, nutritivo o complementación con otros cereales. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aumenta el consumo de energía eléctrica y calorífica. - Generación de efluentes contaminantes. - Características reológicas de la masa rehidratada no tan aceptable como los de la masa fresca.
EXTRUSION	<ul style="list-style-type: none"> - Menor período de cocción (2 horas aproximadamente). - Menor pérdida de nutrientes sencibles al calor, debido al corto tiempo de residencia en el extrusor. 	<ul style="list-style-type: none"> - Introducción de una nueva tecnología, lo cual no se logra fácilmente con ciertos estratos sociales. - Inversión inicial de capital bastante considerable.

PROCESO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
EXTRUSION	<ul style="list-style-type: none"> - Productos libres de microor<u>g</u>anismos patógenos. - Economiza energía. - Reduce el consumo de cal y agua (1:1). - Producción mínima de aguas residuales (solo las de lavado de equipo). - Puede haber suplementación con nutrientes, ya sea antes o después de la cocción. - Eliminación de posible conta<u>m</u>inación con efluentes de al<u>t</u>a demanda biológica de ox<u>i</u>geno). 	<ul style="list-style-type: none"> - Formación de técni<u>c</u>os, medios para man<u>t</u>ener estos equipos.

FIGURA No. 10. COMPARACION ENTRE LOS PROCESOS DE NIXTAMALIZACION ,
HARINA DE MAIZ NIXTAMALIZADO Y EXTRUSION.

Las ventajas enumeradas anteriormente demuestran la obtención de un -- producto de alta calidad con reducción de costos, tiempos cortos de cocción y obtención de características reológicas en masa y harinas rehidratadas similares a las tradicionales, factores que determinan su factibilidad a nivel industrial. Sin embargo, hace falta fabricación masiva de extrusores y su implementación por parte de entidades paraestatales y privadas, así como la aceptación de los productos por los consumidores.

2.- ELABORACION DE PAN.- La figura No. 11 muestra esquemáticamente la interrelación entre el proceso tradicional de elaboración de pan y el de extrusión (26) :

2.- ELABORACION DE PAN.- La figura No. 11 muestra esquemáticamente la interrelación entre el proceso tradicional de elaboración de pan y el de extrusión. (26)

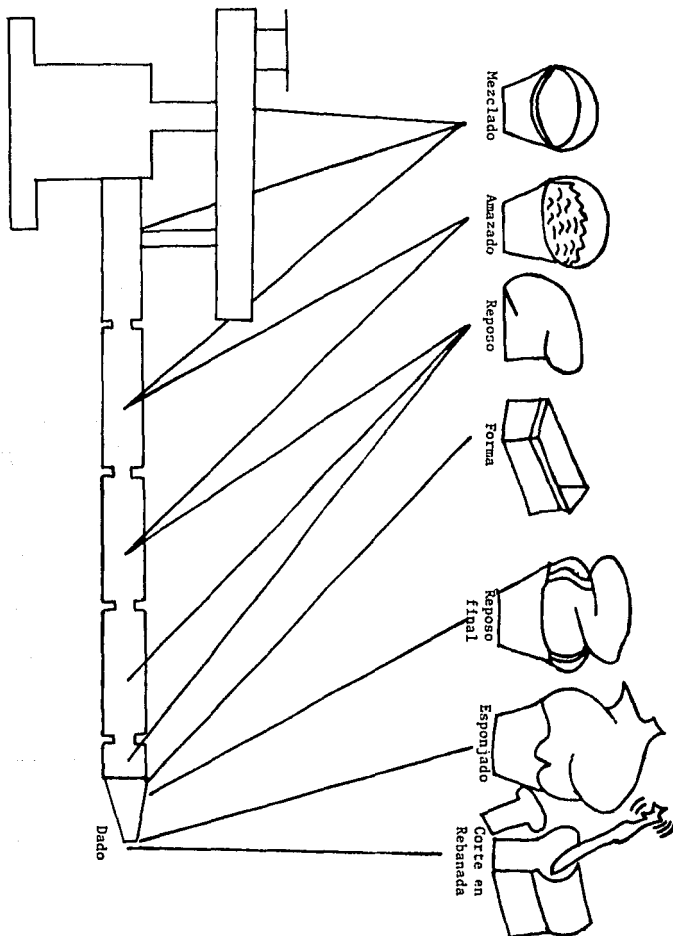


FIGURA No. 11. COMPARACION ENTRE EL PROCESO TRADICIONAL Y EXTRUSION EN PANIFICACION.

El proceso tradicional de panificación incluye tres operaciones: amasado, fermentación de la masa y cocido de ésta en el horno. Los principales ingredientes son: harina de trigo, agua, levadura y sal. Cuando se mezclan estos ingredientes en proporciones adecuadas para formar la masa empiezan dos procesos :

1.- La proteína de la harina comienza a hidratarse, combinándose con parte del agua y formando una materia llamada gluten.

2.- Formación de dióxido de carbono por acción de las enzimas de la levadura sobre los azúcares.

Los ingredientes se mezclan empleando agua a una temperatura tal, que la masa queda a unos 27 °C. La levadura se dispersa en una parte de agua y la sal se disuelve en otra. Ambas porciones se mezclan con otra formada por la harina y el resto del agua dejando que comience la fermentación.

Dos horas después la masa se macea consiguiéndose con esto una mezcla muy completa. Se prosigue el proceso de fermentación una hora más, se corta en pedazos y se proporciona la forma deseada. Tras un reposo de 30-45 minutos se introducen en el horno a una temperatura de 230-260 °C durante 45 minutos con la ayuda de inyecciones de vapor que ayudan a conseguir un mayor lustre y brillo de la corteza del pan.

Cada paso del proceso tradicional de panificación se reduce y lleva a cabo durante el proceso de extrusión con el mismo grado de calidad del producto final. En la zona de transición o fundido se termina el amasado y comienza el estado de reposo de la masa y en la tercera zona termina éste y comienza a darse forma a la masa con la ayuda del dado. Durante el paso de la masa a través del dado se da un reposo a la masa y al salir del extrusor se obtiene el esponjado o expansión de la masa que finalmente se corta para obtener las rebanadas de pan.

Con ello se tiene una reducción considerable de tiempo (de horas a minutos) al emplear el proceso de extrusión.

3.- PROCESOS APLICADOS AL SALVADO.- La estabilización del salvado de arroz después de la molienda es importante porque previene el rompimiento de la molecula del aceite, ayudando a controlar el crecimiento de microorganismos y poblaciones de insectos. Además disminuye el nivel de inhibidores de tripsina y hemaglutininas presentes en el salvado de arroz (51).

La estabilización o inactivación de las enzimas lipolíticas es de interés para los investigadores debido a que se aumenta la recuperación del aceite comestible de alta calidad. El aceite de salvado de arroz contiene generalmente de

1.5-2.0 % de ácidos grasos libres, requiriéndose menos de 5 % en el aceite crudo para los propósitos de refinación económica; la refinación de aceite crudo con más de 10 % de ácidos grasos libres se considera no económica.

El proceso de extrusión se emplea para la estabilización del salvado de arroz debido a la simplicidad de la instalación y operación; no requiere de generación de vapor o secado posterior del salvado. Lin y Cater en 1975 (32) evalúan el uso del cocedor Brady Crop para inactivar la lipasa del salvado de arroz y prevenir la rápida deterioración del mismo, encontrando que la lipasa se inactiva, el contenido de humedad se reduce. La capacidad de absorción de agua del salvado cocido disminuye grandemente y reduce la actividad microbiológica (la cual puede contribuir a la hidrólisis de lípidos debido a la lipasa del microorganismo).

Randall J.M. y colaboradores en 1985 (49) realizaron la estabilización del salvado de arroz por extrusión encontrando que no hay incrementos significativos en el contenido de ácidos grasos libres después de 30-60 días al extrudir el salvado a 130 °C y 12-13 % de humedad. Esto resulta importante porque si no se estabiliza el salvado de arroz, la cantidad de ácidos grasos libres se incrementa más rápidamente con el tiempo de almacenamiento; en tanto que al estabilizarlo, los ácidos grasos libres permanecen casi constantes al compararse después de 135 días a 32 °C.

Los procesos comúnmente empleados en la estabilización del salvado de arroz son los siguientes (51) :

1.- Calentamiento con retención de humedad.- el salvado requiere ca lentamiento bajo presiones que prevengan la pérdida de humedad hasta la terminación de la fase de calor. En este método la humedad del salvado es suficiente para ayudar a la transferencia del calor, desnaturalización enzimática y esteri lización. Cuando la presión es liberada después del calentamiento, parte de la humedad sobrecalentada se evapora rápidamente necesitándose un secado posterior.

Los dos métodos de calentamiento con retención de humedad empleados son los procesos de extrusión y tambor rotatorio. Las principales ventajas y - desventajas que brinda el calentamiento con retención de humedad se localizan - en la figura No. 12.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - No requiere de vapor externo. - Instalación y operación sencilla. - La estabilización del arroz solo sufre modificaciones menores y - costo adicional pequeño debido al equipo y operación. - El almacenamiento del salvado estabilizado es igual o mejor que el obtenido por cualquiera de los otros dos tipos de estabilización por calor. 	<ul style="list-style-type: none"> - El equipo es altamente <u>cos</u> toso comparado con el em-- pleado por el método de <u>se</u> cado por calor. - La energía y calor son <u>pro</u> porcionados por equipo e-- léctrico y combustión de - la cáscara de arroz (gene-- ralmente no es empleado <u>co</u> mo fuente de energía).

FIGURA No. 12. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO CON RETENCION DE HUMEDAD EMPLEADO EN LA ESTABILIZACION DEL SALVADO DE ARROZ.

2.- Calentamiento con adición de humedad.- en este método se aplica vapor para aumentar la humedad y calor del salvado, como ejemplos tenemos: cocimiento por extrusión con adición de agua, tambor rotatorio y autoclave con cama estacionaria. . Sus ventajas y desventajas se enumeran en la figura No. 13.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Requerimiento de poco tiempo para calentar. - Mayor efectividad de inactivación enzimática y esterilización. - Motores de baja potencia, con excepción del cocimiento por extrusión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Requerimiento de una caldera de vapor. - El costo de instalación de vapor es alto. - Se requiere de un secado para almacenar el salvado <u>esta</u>

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - La inactivación de lipasas y oxidasa(3-5 minutos, 100-110 °C) es permanente. - Menor daño de vitaminas y protefnas que en método de secado por calor, el cual utiliza temperaturas altas y no uniformes. - El vapor para la humectación del salvado y calentamiento pueden generarse por combustión de la cáscari<u>lla</u> de arroz. 	<ul style="list-style-type: none"> - bilizado.

FIGURA No. 13. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCESO DE CALENTAMIENTO CON ADICION DE AGUA, EMPLEADO EN LA ESTABILIZACION DEL SALVADO DE ARROZ.

3.- Método de secado por calor.- es básicamente un proceso de secado, que inactiva la lipasa debido a la escasez de agua para la hidrólisis. Loeb y colaboradores muestran que el secado y almacenamiento de salvado de arroz a 3% de humedad inhibe la actividad de la lipasa pero al aumentar la humedad, la relación de formación de ácidos grasos libres también aumenta.

En 1977 Srimani y colaboradores reportaron que la actividad de la li pasa del salvado de arroz se pierde a 110 °C durante 20 minutos. Las ventajas y - desventajas de este método se muestran en la figura No. 14.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
<ul style="list-style-type: none"> - Simplicidad de operación. - Equipo mínimo y no costoso. - Requiere baja energía y el calor puede suplirse por el polvo de la cáscarilla de arroz (Barber y Benedito de Barber en 1980 reportan que el salvado carboniza en 1 minuto y 250 °C). 	<ul style="list-style-type: none"> - Tiempo de calentamiento prolongado(20-30 minutos) - Dificultad para mantener la temperatura uniforme - debido a la baja conductividad térmica del salvado de arroz. - Altas temperaturas y largos períodos de tiempo - pueden reducir el valor nutricional de las proteínas del salvado y pueden oscurecer el aceite. - A pesar de la alta temperatura para dañar parte - del salvado, la inactivación enzimática puede ser reversible(Loeb y colaboradores). - Los microorganismos e insectos no son destruidos completamente(Barber y colaboradores 1980, Chattopadhyay y colaboradores 1972).

FIGURA No. 14. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL SECADO POR CALOR, EMPLEADO EN LA ESTABILIZACION DEL SALVADO DE ARROZ.

Se concluye que la selección del método para estabilizar salvado de arroz depende de la situación individual, aunque el proceso de extrusión es el que presenta mayores ventajas sobre los otros métodos .

III.- DETERMINACION DE LIPIDOS.

Los métodos tradicionales para estudiar la composición de las grasas se basan en la medida de algunas propiedades generales de éstas, tales como su punto de fusión, índice de saponificación, índice de yodo y acidez, sin embargo, no proporcionan información acerca del tipo y cantidad de ácidos grasos presentes. Considerando la importancia de las actividades fisiológicas y nutricionales de los ácidos grasos polinsaturados, esteroides y fracción polar lipídica, se ha requerido implementar técnicas instrumentales, en especial la cromatografía de gases, que de manera rápida, reproducible y precisa permite el conocimiento de los tipos y cantidades de ácidos grasos (18). Este interés por obtener información más valiosa en lo que respecta a la composición de los lípidos ha llevado a evaluar métodos analíticos de extracción de acuerdo a su capacidad para recuperar y cuantificar las fracciones lipídicas.

Los métodos existentes para el aislamiento de lípidos proporcionan un extracto cuya composición es dependiente del solvente o solventes usados, tipo de alimento, temperatura de extracción y proporción relativa de las clases de lípidos presentes. Las extracciones con éteres u otros solventes relativamente polares extraen principalmente los lípidos no polares y grasas neutras con lo cual se obtiene una aproximación del contenido de grasa, ya que la fracción no polar generalmente constituye más del 90% de los lípidos totales presentes.

La extracción de lípidos independientemente del origen de la materia prima implica tres operaciones posibles (5) :

- 1.- Tratamiento preliminar de la muestra, el cual incluye secado, molienda, digestión o cualquier combinación de estos.
- 2.- Separación de la grasa por extracción con un solvente apropiado.
- 3.- Purificación parcial o total y valoración de la grasa.

La funcionalidad del secado antes de la extracción de lípidos se debe a que el agua en cantidades considerables impide una extracción completa y eficiente al emplear éter etílico o de petróleo como agente de extracción. La molienda tiene por objeto reducir el tamaño de la partícula de la muestra para que el solvente penetre con facilidad y completamente al incrementar el área de contacto entre éste y el material.

Al emplear el método Soxhlet del AOAC (53) para el análisis de grasa se obtiene un extracto que recibe el nombre de grasa cruda y que representa -

la porción de lípidos totales recuperados por extracción con éter etílico o de petróleo. Este método requiere alrededor de 4 a 8 horas para la extracción completa y su uso es limitado al empleo de solventes puros a ebullición constante por lo que su aplicación es restringida. Un método alternativo es el empleo de tetracloruro de carbono como solvente de extracción y el aparato Let-foss que solo requiere de tres minutos para realizar el análisis, sin embargo, aunque este método es preciso comparado con el método Soxhlet, este también proporciona un extracto de grasa cruda. La posición estereoespecífica de ácidos grasos en mono y diglicéridos es perdida fácilmente por isomerización durante la extracción y procedimientos de análisis. La posición de ácidos grasos en triglicéridos es estable y puede determinarse por métodos de hidrólisis enzimática estereoespecíficos (Brockerhoff, 1971).

La extracción de lípidos en cereales representa problemas porque los lípidos polares tienden a unirse a proteínas y carbohidratos (Mac Murray y Morrison, 1977), por lo que el decidir que método analítico se debe emplear para obtener valores representativos del contenido de ácidos grasos y lípidos totales es difícil. Los datos más confiables son derivados de un sistema de múltiples solventes para extraer lípidos totales en el cual se emplea generalmente éter de petróleo o etílico para extraer lípidos libres y butanol saturado con agua seguido de una extracción con éter para obtener los lípidos unidos.

La extracción con solventes selectivos en harina de trigo se emplea por dos motivos (44) :

1.- Extraer los lípidos que se encuentran en la parte externa del gránulo de almidón, empleándose como solventes de extracción rápida butanol saturado con agua, etanol-éter etílico-agua (2:2:1) o benceno-etanol-agua (10:10:1).

2.- Extraer los lípidos localizados en la parte interna del gránulo de almidón, utilizando para ello butanol saturado con agua a 90-100 °C o butanol-agua (65:35) (Morrison W.R. y colaboradores, 1975). La extracción es acelerada si la estructura del gránulo de almidón es destruida por hidratación durante el mezclado de la masa o por congelamiento y secado (Morrison, 1976).

Métodos tales como la técnica Soxhlet son usados primeramente cuando se requiere reportar el porcentaje del contenido de grasa en productos alimenticios; aunque actualmente consumidores, nutricionistas y otros profesionales de la salud prefieren los métodos que reportan la cantidad total en vez de los que reportan solo la grasa cruda, en especial cuando se requiere la concentración de áci-

dos grasos polinsaturados, colesterol y fosfolípidos.

Los dos métodos tradicionalmente empleados para determinar lípidos totales son los desarrollados por Bligh y Dyer (1959) y Folch y colaboradores (1957).

Estos consisten en la homogenización del tejido, extracción de la mezcla con el sistema de solventes cloroformo-metanol, una filtración para eliminar residuos, extracción o cromatografía para separar fracciones no lipídicas seguido, finalmente, de una columna cromatográfica para obtener las diferentes clases de lípidos. Aunque ambos métodos son exactos tienen la desventaja de requerir operadores diestros y tiempo para realizar el análisis. Las diferencias más sobresalientes entre estos dos métodos y el de Soxhlet es que no requiere que la muestra se seque previamente a la extracción, en tanto que el método Soxhlet es dependiente del solvente, método de secado y contenido de grasa de la muestra (Hagan y colaboradores, 1967). Además la técnica de Bligh y Dyer proporciona invariablemente recuperaciones mayores de lípidos que el método Soxhlet, atribuyéndose a una más completa extracción de fosfolípidos.

Robert J. Maxwell en 1980 (37) desarrolló en el departamento de agricultura de Filadelfia un método de extracción para lípidos, columna seca, el cual difiere significativamente de otras técnicas, es versátil y evita muchos de los problemas encontrados con la metodología tradicional (34). Está basada en la obtención de tres fracciones lipídicas distintas por simples cambios en los solventes empleados. La mezcla se transfiere a una columna cromatográfica de vidrio conteniendo un preempaquetamiento de fosfato ácido de calcio-celite 545 (9:1) para evitar el paso de sustancias no lipídicas, una vez empacada la columna los lípidos se aíslan como se indica a continuación :

1.- Elución de la columna con diclorometano. Se obtiene la fracción de lípidos crudos (Maxwell y colaboradores, 1980).

2.- Elución de la columna con diclorometano-metanol (9:1), con lo que se logra obtener el extracto de lípidos totales (Marmer y Maxwell, 1980-1981).

3.- Extracción secuencial de la columna, primero con diclorometano para eluir la fracción de lípidos neutros y luego con mezcla de solventes diclorometano-metanol (9:1) para obtener la fracción de lípidos polares (Marmer y Maxwell, 1981).

De esta forma es posible aislar selectivamente los lípidos dependiendo de las necesidades analíticas subsiguientes; así al obtener fracciones separadas de lípidos neutros y polares puede examinarse la

das de lípidos neutros y polares puede examinarse la composición acil de la fracción de fosfolípidos y ácidos grasos polinsaturados de importancia biológica (Maxwell y Marmer, 1983) en forma más eficiente.

Este método brinda resultados casi idénticos a los obtenidos por el oficial Soxhlet, en lo que respecta al contenido de grasa cruda. Así mismo Marmer y Maxwell (1981) encuentran concentraciones de lípidos totales y fosfolípidos muy parecidas por el método de columna seca y el de Folch (cloroformo-metanol); y mediante la aplicación de cromatografía de capa fina verificaron también la equivalencia de resultados entre ambos métodos (34). Con el método de columna seca se reduce considerablemente el tiempo de análisis ya que no se forman emulsiones de difícil eliminación como en el Folch.

El método, dadas sus ventajas, ha sido aplicado a diversos alimentos tales como:

Enlatados.- proporciona una buena alternativa del método oficial Soxhlet. La principal ventaja es el mayor contenido de lípidos totales extraídos por el método de columna seca debido a una mayor recuperación de los fosfolípidos, además es un método más seguro al no utilizar sustancias inflamables durante el proceso. Estas diferencias se encontraron en productos enlatados para animales domésticos, sin embargo, se asume un comportamiento equivalente en todos los alimentos enlatados.

Leche y productos lácteos.- en este caso el método de columna seca se ha comparado con el método Reese-Gottlieb para extraer lípidos (Maxwell, 1986), obteniéndose valores ligeramente más altos en el contenido de lípidos totales por columna seca ya que la recuperación de fosfátidos es más eficiente, siendo este un hallazgo significativo porque la leche tiene pequeñas cantidades de fosfolípidos que con el hidróxido de amonio utilizado durante la extracción por el método oficial Reese-Gottlieb se alteran o destruyen, como es el caso de la fosfatidilcolina (Welstra, 1962).

En cuanto a lo que respecta la determinación de lípidos en extrudidos se han desarrollado diferencias significativas en el contenido de grasa inicial de las materias primas y el producto final, independientemente del método usado. Fabriani (1968) detectó esta disminución en pastas fabricadas a partir de semolina y lo atribuye a la complejación y/o corte (15). Delort-Laval y Mercier en 1976 estudiaron este suceso comparando el proceso de extrusión con tratamientos térmicos a baja humedad en trigo y maíz, en donde solo fue posible extraer (con éter etílico) del 40 al 50% de los lípidos presentes en el material crudo de

pués de la extrusión (temperatura del barril 120 °C, humedad del 25 al 28%).

La disminución del contenido de grasa se atribuye a:

1.- Los monoglicéridos y ácidos grasos libres forman complejos con amilosa durante el proceso de extrusión por lo que resulta más difícil su extracción con solventes orgánicos. La formación del complejo amilosa-lípido puede no dañar la utilización de grasa ya que al estudiar con ratas (4) el complejo L-isolectina indica una completa digestión.

2.- Degradación térmica, dependiendo de las condiciones del proceso de extrusión. Así al estudiar una mezcla maíz-soya e incrementar la temperatura del barril se observa una disminución en el contenido de grasa, en cuanto a la proporción de ácidos grasos insaturados y saturados.

Este fenómeno ocurrido durante la extracción de lípidos también ha sido detectado en otros procesos (panificación) pero en éstos se tiene una mayor extracción.

DETERMINACION DE EXTRACTO ETereo METODO SOXHLET

El método Soxhlet utiliza un sistema de extracción cíclico de los componentes solubles en éter que se encuentran en el alimento. Este método es aplicable para la determinación de ácidos grasos en todos los alimentos sólidos, excepto los productos lácteos (53).

MATERIAL Y EQUIPO :

- Extractor Soxhlet.
- Cartucho o dedal de tamaño adecuado para el extractor.
- Parrilla eléctrica de placa caliente con termostato.
- Estufa a 100-110 °C con termostato y termómetro.
- Balanza analítica, sencibilidad 0.1 mg.

REACTIVOS :

- Eter etílico anhidro.

PROCEDIMIENTO :

Pesar 2 g. de muestra y colocarlos en el cartucho o dedal, cubrir con una porción de algodón.

Transferir el cartucho dentro del extractor Soxhlet. En la parte inferior conectar un matraz con cuerpos de ebullición (llevados previamente a peso constante por calentamiento a 100-110 °C). Colocar el refrigerante.

Añadir éter por el extremo superior del refrigerante en cantidad suficiente para tener dos o tres descargas del extractor (alrededor de 180 ml).

Hacer circular el agua por el refrigerante y calentar hasta que se obtenga una frecuencia de dos gotas/segundo.

Efectuar la extracción durante 4-8 horas. Suspender el calentamiento, desconectar el extractor del matraz y dejar caer una gota del éter del extractor a un papel o vidrio de reloj, si al evaporarse el éter se observa una mancha de grasa, ajustar el Soxhlet de nuevo al matraz y continuar la extracción.

En caso contrario, evaporar suavemente el éter del matraz y secar a 100-110 °C hasta peso constante.

CALCULOS :

$$\% \text{ de Extracto Etereo} = \frac{(P - p) 100}{M}$$

donde :

P = peso en gramos del matraz con grasa.

p = peso en gramos del matraz sin grasa.

M = peso de la muestra.

DETERMINACION DE GRASA CRUDA EN HARINA, PAN Y PRODUCTOS DE
DE CEREAL HORNEADO (61).
METODO HIDROLISIS ACIDA.

MATERIAL Y EQUIPO :

Baño de agua a 70-80 °C.

Vaso de precipitado de 50 ml.

Aparato extractor de grasa Röhrig o Mojonner.

Baño de vapor.

Estufa de secado y centrífuga.

REACTIVOS :

Alcohol etílico al 95 %

Solución ácido clorhídrico (25:11)

Éter etílico.

Éter de petróleo, punto de ebullición menor a 60°C.

PROCEDIMIENTO :

Colocar 2 g. de harina en un vaso de 50 ml., adicionar 2 ml. de alcohol y agitar hasta humedecer todas las partículas (el alcohol previene una reacción violenta al adicionar el ácido). Adicionar 1 ml. de ácido clorhídrico (25:11). Colocar el vaso en un baño de agua a 70-80 °C y agitar en intervalos frecuentes hasta que la muestra este completamente hidrolizada (30-40 minutos). (Algunos productos tales como la harina de trigo, granolas y productos de pan se llevan 90 minutos para hidrolizar completamente).

Transferir la mezcla anterior al extractor Röhrig o Mojonnier. Enjuagar el vaso con tres porciones de 25 ml. cada una de éter y depositarlas dentro del tubo, inserte el tapón de vidrio y agitar vigorosamente durante 1 minuto. Adicionar 25 ml. de éter de petróleo redestilado y agitar vigorosamente durante 1 minuto.

Dejar reposar hasta que el líquido superior este prácticamente claro o centrifugar el frasco durante 20 minutos a 600 rpm.

Filtrar el líquido a través de un embudo de filtración que contenga una cama de fibra de vidrio en la parte interna. Recolectar el filtrado dentro de un matraz de 125 ml. a peso constante (100-110 °C), repetir el proceso de extracción con dos porciones de 15 ml. de éter.

Evaporar el solvente lentamente en baño de vapor y secar la grasa hasta peso constante a 100 °C.

Realizar muestra blanco para corregir el peso.

CALCULOS :

$$\% \text{ de Grasa Cruda} = \frac{\text{peso de la grasa corregida} \times 100}{\text{peso de la muestra}}$$

DETERMINACION DE GRASA CRUDA EN TRIGO Y HARINA DE SOYA COCIDOS

(61)

MATERIAL Y EQUIPO :

Extractor Soxhlet, Butt, Goldfisch o uno similar.

Matraz balón de 250 ml.

Papel filtro Whatman # 2.

Algodón absorbente libre de extracto etéreo o fibra de vidrio.

Desecador a vacío para secados de muestras.

REACTIVOS ;

Eter de petróleo.

PROCEDIMIENTO :

Pesar de 2-5 g. de muestra, dependiendo del contenido de grasa de la muestra previamente secada en atmósfera de vacío a 95-100 °C a una presión no mayor de 100 mmHg durante 5 horas y mantenida en desecador con ácido sulfúrico - concentrado durante 24 horas.

Transferir cuantitativamente la muestra al equipo y extraer con éter de petróleo durante 4 horas con una relación de condensación de 5-6 gotas/segundo o 16 horas a 2-3 gotas/segundo.

Evaporar el solvente y secar durante 30 minutos a 100 °C. Enfriar en el desecador y repetir la operación hasta peso constante.

CALCULOS :

$$\% \text{ de Grasa Cruda} = \frac{\text{peso de la grasa}}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

DETERMINACION DE LIPIDOS EN MACARRON Y HARINA DE TRIGO

METODO DE HIDROLISIS ACIDA (53).

MATERIAL Y EQUIPO :

Baño de agua a 75-80 °C.

Vaso de precipitado de 50 ml.

Centrífuga.

Matraz balón de 250 ml.

Estufa a 100 °C.

Baño de vapor.

REACTIVOS :

Eter etílico.

Cloroformo.

Alcohol etílico

PROCEDIMIENTO :

Adicionar 15 ml. de alcohol (70 % v/v) a 5 g. de muestra (malla-20 o más fino) en un tubo de centrifuga de 250 ml. Rotar el tubo hasta que las partículas se humedezcan, agregar 10 ml. de ácido clorhídrico (25:11). Colocar el tapón e introducir en un baño de agua a 75-80 °C.

Calentar durante 15 minutos mezclando continuamente con movimientos de rotación. Inmediatamente adicionar 27 ml. de alcohol, tapar el tubo y agitar vigorosamente durante 2 minutos. Enfriar, adicionar 45 ml. de éter y agitar vigorosamente 5 minutos (la muestra debe estar dividida finamente), centrifugar a 1000 rpm por 5 minutos y decantar en un frasco de 250 ml. que contenga piedras de ebullición; enjuagar con éter el tubo. Reextraer la muestra con tres porciones de 20 ml. de éter cada una, agitar, centrifugar y decantar dentro del vaso que contiene la primera extracción. Evaporar los extractos combinados de éter-alcohol hasta sequedad en un rotavapor.

Eliminar cualquier remanente de humedad en estufa a 100 °C durante 5 minutos. Disolver el extracto seco en 15 ml. de cloroformo y filtrar en una cápsula Gooch que contenga una capa de asbesto (previamente a peso constante), lavar con 5 ml. de cloroformo. Recolectar el extracto en un vaso a peso constante.

Evaporar el cloroformo en un baño de vapor y secar a 100 °C hasta peso constante (aproximadamente 90 minutos).

DETERMINACION DE LIPIDOS TOTALES

METODO DE COLUMNA SECA (37)

MATERIAL Y EQUIPO :

Columna cromatográfica de 35 mm. de diámetro por 30 cm. de altura
 Agitador metálico de 32 mm. de diámetro por 35 cm. de largo.
 Mortero de porcelana de 750 ml. de capacidad, Coors No. 17.

REACTIVOS :

Sulfato de sodio anhidro granular (J.T. Baker Chemical Co.)
 Fosfato ácido de calcio dihidratado (catálogo No. C-123) $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
 Celite 545 (catálogo No. C-212, Fisher Scientific Co.).
 Mezcla de diclorometano-metanol (9:1).

PROCEDIMIENTO :

Inserte fibra de vidrio dentro de la columna de vidrio; cargue la columna con 10 g. de $\text{CaHPO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ / Celite 545 (1:9), compactar con el agitador metálico.

Pese adecuadamente 5 g. de muestra (ó 3 g. si el contenido de grsa es mayor de 50 %) y transferir cuantitativamente al mortero de porcelana. Adicione 20 g. de sulfato de sodio anhidro y triture hasta que la mezcla se reduzca hasta casi polvo.

Agregar 15 g. de Celite 545 al contenido del mortero y mezcle completamente para obtener un polvo que permita obtener un fluido libre. Transferir cuantitativamente a la columna preparada previamente con la ayuda de una espátula y presione moderadamente para obtener un empaque de 6-7 cm. de altura (aproximadamente un volumen de 60 ml.).

Adicione 25 ml. de la mezcla de solventes diclorometano-metanol - (9:1) enjuagando el mortero y el agitador metálico a la columna. Seguir adicionando la mezcla de solventes hasta que se recolecten unas gotas del eluyente en el colector (matraz balón de 250 ml. a peso constante). Cargar la columna con 150 ml de la mezcla de solventes y deje eluir hasta que todo el solvente sea recuperado.

Evaporar el solvente bajo atmósfera de nitrógeno y eliminar el remanente en una estufa a 100°C durante 30 minutos. Enfriar, pesar y calcular el porcentaje de grasa total.

CALCULOS:

$$\% \text{ de Grasa TOTAL} = \frac{\text{Peso de grasa}}{\text{Peso de muestra}} \times 100$$

DETERMINACION DE EXTRACTO ETereo

METODO DE ROESE - GOTTLIEB (53).

Este método se fundamenta en la extracción de la grasa con una mezcla de éter etílico y éter de petróleo, en presencia de amoníaco y etanol. El amoníaco neutraliza la acidez y disuelve las proteínas, disminuyendo así la viscosidad, lo que a su vez facilita la disolución de grasa; además ayuda a disolver las partículas de compuestos fosfatados. El alcohol previene la formación de una mezcla gelatinosa que tiende a formarse cuando se agita la leche con los demás reactivos. El éter de petróleo disminuye la solubilidad de la fase acuosa en el éter etílico, ya que éste disuelve una pequeña cantidad de la fase acuosa que contiene lactosa y otros sólidos no grasos, al emplearse solo como solvente de la grasa.

MATERIAL Y EQUIPO :

Dos embudos de separación de 125 ml.
 Plato de aluminio ó cápsula de porcelana a peso constante.
 Tubos de Röehrig.
 Placa de calentamiento.
 Desecador de vidrio.
 Balanza analítica.

REACTIVOS :

Amoníaco concentrado.
 Etanol de 95°.
 Eter etílico libre de peróxido y residuos.

Eter de petróleo (punto de ebullición de 49 - 60 °C).
 Agua destilada.

PROCEDIMIENTO :

Ajustar la temperatura de la muestra preparada a 20°C y transferir 10 g. ó 10 ml. al embudo de separación. Adicionar 1.25 ml. de amoníaco (2 ml sí la muestra está ácida). Mezclar bien.

Agregar 10 ml. de etanol de 95°. Mezclar bien y adicionar 25 ml de éter etílico, tapar y agitar vigorosamente durante un minuto, teniendo cuidado de dejar escapar los gases formados por la parte inferior del embudo colocada hacia arriba.

Adicionar 25 ml. de éter de petróleo y repetir la agitación vigorosa. Dejar reposar hasta que el líquido superior se presente prácticamente claro ó centrifugar a 600 rpm durante 0.5 minutos. Decantar la solución etérea dejando caer sobre la cápsula de porcelana (parte superior).

Repetir la extracción de la fase acuosa remanente en el tubo -- dos veces consecutivas, pero utilizando solamente 15 ml. de cada solvente orgánico y decantando siempre la capa etérea, la cual se deja caer sobre la cápsula que contiene el primer extracto. Evaporar los extractos combiandos sobre una placa de calentamiento a una temperatura que no ocasiona proyección de la grasa (30°C). Desechar luego en una estufa a 100 °C hasta peso constante.

Con el aparato Mojonnier se utiliza la estufa al vacío a 135 °C durante cinco minutos, aplicando un vacío no menor de 20 pulgadas de Hg. Enfriar el residuo desecado en un desecador de vidrio hasta que adquiera la temperatura ambiental y pesar rápidamente.

Corregir el peso de la grasa por la determinación de un blanco de referencia.

CALCULOS :

$$\% \text{ de Grasa Cruda} = \frac{\text{Peso de la grasa extraída}}{\text{Peso de la muestra}} \times 100$$

IV.- CONCLUSIONES

- 1.- El proceso de extrusión es un método de cocimiento de alimentos económico, con el cual se logra obtener productos con larga vida de anaquel, capacidad de rehidratación sin perder su estructura, forma y textura al paladar, cuenta bacteria baja, menor destrucción de vitaminas, destrucción de factores antinutricionales y toxinas termolábiles. Ello hace al proceso de extrusión, de entre otros métodos de cocimiento, el mejor.
- 2.- Entre los cambios fisicoquímicos benéficos producidos se encuentra :

En el proceso de extrusión se logra una mayor gelatinización a causa de la deformación sufrida en la estructura gránular del almidón, lo cual origina un alimento más digerible y soluble en agua, sin producción de maltodextrinas como en otros métodos de cocimiento.
- 3.- Durante el proceso de extrusión hay formación de un complejo lípido-carbohidrato-proteína, a pesar del corto tiempo de residencia en el extrusor al cual están sujetos estos componentes; el cual tiene influencia sobre las propiedades organolépticas y nutricionales del producto extrudido, tales como, volumen, frescura y digestibilidad.
- 4.- La formación del complejo lípido-almidón depende del número de átomos de carbono y del peso molecular del lípido empleado, incrementándose la formación de éste al adicionar de 1 a 3 % de lípidos (ácidos grasos, monoglicéridos, triglicéridos y agentes surfactantes). Entre los diferentes tipos de lípidos se encontró que los ácidos grasos y monoglicéridos se acomplejan en mayor proporción que los triglicéridos y surfactantes, explicándose debido al impedimento estérico producido en el momento de la penetración de los lípidos al hélice de amilosa. Se observó que en los productos extrudidos los ácidos grasos insaturados se acomplejan en mayor proporción que los ácidos grasos saturados, en tanto que se presenta el efecto contrario en productos elaborados por el método tradicional de elaboración de galletas y pan.
- 5.- Las diferencias existentes en el porciento de lípidos extraídos entre productos extrudidos y no extrudidos, se deben al enlazamiento o acomplejamiento de lípidos a otros componentes como son carbohidratos y proteínas, debido a las condiciones de presión del tornillo.

- 6.- Entre los métodos empleados actualmente para la determinación de lípidos se considera de amplia aplicación el método de columna seca, desarrollado por Robert J. Maxwell, ya que esta técnica posibilita la forma de aislar selectivamente los lípidos dependiendo de las necesidades analíticas. Por ello se sugiere un estudio en el que se considere esta técnica aplicativa a los diversos productos extrudidos.
- 7.- La conclusión más importante a la que se llega es que la formación de este complejo no afecta la digestibilidad del producto. Como se ve en los puntos 4 y 5 realmente solo afecta a la determinación de lípidos en el producto - por la razón ya mencionada, pero de ninguna manera resta calidad nutritiva al producto final; mientras que el problema de la determinación de lípidos puede ser resuelto buscando un método alternativo de medición como se comenta en el punto anterior.

**ESTA TESIS NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA**

V.- BIBLIOGRAFIA .

- 1.- Approved methods of the American Association of cereal Chemists.Eight Edition. American of cereal chemists. 1983. St. Paul Minnesota. Volumen I y II.
- 2.- Baton, Spratt W. 1978. Component interactions in the extrusion cooking process processing of chlorinated and untreated soft wheat flour. Cereal Chemistry. 55 (6). 973-980.
- 3.- Beaufrand, M. de la Gueriviere J., Monnier, C.1978. Effect of the cooking-extrusion process on protein availability. Annual Nutricional Aliment.32(2-3). 353-364.
- 4.- Bjorcki, I., Asp, N. 1983. The effects of extrusion cooking on nutritional value. Journal of food engineering. 2 (). 281-308.
- 5.- Buenrostro Martínez Margarita.1986. Proceso enzimático para la extracción de aceite de cacahuete. Tesis.Universidad La Salle.México,D.F.
- 6.- Cabrera,J. 1978. Extrusion cooking of wheat starch:Effects of pH and emulsifiers.Master thesis,Kansas States University Manhattan.
- 7.- Colonna,P.,Doublie,r,J.,Melcion,J. 1984. Extrusion cooking and drum drying of wheat starch. I.- Physical and macromolecular modifications. Cereal Chemistry. 61(6). 538-543.
- 8.- Chiang, Y., Johnson, J. 1977. Gelatinization of starch in extruded products.Cereal Chemistry 54(3). 436-443.
- 9.- Chung,O., Pomeranz,Y., Finney,K. 1977. Defatted and reconstituted wheat flours. I.- effects of solvent and Soxhlet types on functional properties. Cereal Chemistry. 54(3). 454-483.
- 10.-Chung,O.,Tsun,C.,Robinson,R. 1981. Functional properties of surfactants in bread making.III.- Effects of surfactants and soy flour on lipid binding in breads.- Cereal Chemistry. 58(3). 220-226.
- 11.-Davison,V.,Paton,D.,Diosady,L. 1984. Degradation of wheat starch in a single screw extruder: Characteristics of extruded starch polymers. Journal Food Science. 49(2). 453-458.
- 12.-Davies,R.,Daniels,N.,Greenshields,R. 1969. An improved methods of adjusting flour moisture in studies on lipid binding. Journal Food Technology. 4 (). 117-123.
- 13.-Eggum,B.,Judiano,B.Ihabao,M. 1986. Effects of extrusion cooking on nutritional values of rice flour. Food Chemistry. 19(3). 235-240.
- 14.-Estrada,O.C.,Herrero,M.L.,Lara,A.V. 1986. Harina de maíz nixtamalizada, estudio comparativo entre el proceso tradicional y el proceso de extrusión. Tesis. Universidad La Salle. México,D.F.
- 15.-Fabriani,G.,Lintas,C.,Quaglia,G. 1968. Chemistry of lipids in processing and --

- technology of pasta products. Lipids in pasta products. 45(). 454-461.
- 16.-Faubion, J., Hosenev, R. 1982. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. I.-Effect of moisture and flour type on extrudate properties. Cereal Chemistry. 59(6). 529-533.
 - 17.-Faubion, J., Hosenev, R. 1982. High-temperature short-time extrusion cooking of wheat starch and flour. II.- Effect of protein and lipid on extrudate properties. Cereal Chemistry. 59(6). 533-537.
 - 18.-Garza Fernández Flora. 1979. Estudio de la composición química de la grasa de semillas silvestres. Tesis. UNAM. Facultad de Química. México, D.F.
 - 19.-Gomez, M., Aguilera, J. 1983. Changes in the starch fraction during extrusion-cooking of corn. Journal of food science. 48(). 378-381.
 - 20.-Gould, W. 1985. Changes and trends in the snack food industry. Cereal foods -- world. 30(3). 219-220.
 - 21.-Guerra Vargas Rosaura. 1978. Extrusión una nueva tecnología aplicada al procesamiento de maíz normal y opaco-2. Tesis. UNAM. México, D.F.
 - 22.-Guerra, R., Rodríguez, A., Durán de Bazua, C. 1983. Extrusion of high-lysine corn and applications. American society of agricultural engineers. 26(2). 618-623.
 - 23.-Harper, J. 1979. Food extrusion. Critical reviews in food science and nutrition. 11(2). 155-215.
 - 24.-Harper, J. 1981. Extrusion of food. C.R.C. Press. Inc. Vol. I y II.
 - 25.-Harper, J. 1986. Extrusion texturization of foods. Food Technology. 40(3). 70-76
 - 26.-Hauck, B. 1981. Control of process variables in extrusion cooking. Cereal foods world. 26(4). 170-173.
 - 27.-Holay, S., Harper, J. 1982. Influence of the extrusion shear environment on plant protein texturization. Journal of food science. 47(). 1869-1874.
 - 28.-Holm, J., Bjoerch, I., Eliason, A. 1985. Digestibility of amilose-lipid complexes - in vitro and in vivo. Progress Biotechnology. 1(New approaches res. cereal carbohydrate). 89-92.
 - 29.-Jack, L., Miller, R. 1973. Food extrusion. Food technology. (8). 46-53.
 - 30.-Killeit, U., Wiedmann, W. 1985. Effect of cooking extrusion on the stability of - vitamin B. Veroeff Arbeitsgem Getreideforsch. 198 (). 60-68.
 - 31.-Lai, C., Davis, A., Hosenev, R. 1985. The effect of a yeast protein concentrate and some of its components on starch extrusion. Cereal Chemistry. 62(4). 293-300.
 - 32.-Lin, S.H.C., Cater, C.M. 1975. Effect of extrusion-cooking on the formation of - free fatty acids in rice bran. Food Protein R. & D. Center Texas A. & M. Univer

sity.

- 33.-Lorenz,K.,Jasen,G. 1980. Nutrient stability of full-fat soy flour and corn--soy blends produced by low-cost extrusion. *Cereal foods world*. 25(4). 161-172.
- 34.-Marmer,W.N.,Maxwell,R.J. 1981. Lipids *Journal Association official analytical chemistry*. 16 (). 365-371.
- 35.-Matson,K. 1982. What goes on? in the extruder barrel. *Cereal foods world*. 27 (5). 207-210.
- 36.-Maxwell,R.J. 1987. Determination of total lipid and lipid subclasses in meat and meat products. *Journal association official analytical chemistry*. 70(1). 74-77.
- 37.-Maxwell,R.J.,Marmer,W.N.,Zubillaga,M.P. 1980. Determination of total fat in meat and meat products by a rapid,dry column method. *Journal association official analytical chemistry*. 63(). 600-603.
- 38.-Menser,F.,Van Lengerich,B.,Stender,J. 1985. Formation of starch lipids by extrusion cooking. I.- production and structural characterization of the complexes. *Getreide, Mehl Brot*. 39(7). 205-211.
- 39.-Mercier,Ch.,Charbonniere,R.,Gallant,D. 1979. Structural modification of various starches by extrusion cooking with a twin-screw french extruder. *Easter Sch. Agric. Sci. University Nottingham*. 27 (polysaccharides food). 153-170.
- 40.-Mercier,C.,Charbonniere,R.,Grebaut,J. 1980. Formation of amilose-lipid complexes by twin screw extrusion cooking of manioc starch. *Cereal Chemistry*. 57(1) 4-9.
- 41.-Mercier,C.,Feillet,P. 1975. Modification of carbohydrate components by extrusion cooking of cereal products. *Cereal Chemistry*. 52(3). 283-297.
- 42.-Mercier,C.,Linko,P.,Malkki,Y. 1979. Structure and digestibility alteration of cereal starches by twin-screw extrusion-cooking. *Food Process English*. 2nd. (Pub. 1980). 795-807.
- 43.-Meuser,F.,Van Lengerich,B.,Stender,J. 1985. Formation of starch-lipid complexes by cooking extrusion. *Veroeff, Arbeitsgem, Getreideforsch*. 198(). 151-178.
- 44.-Morrison,W.R.1978. Capitulo 4. Cereal lipids. *Advances in cereal science and technology*. Vol. II. 221-232.
- 45.-Nierle,W.,Elbaya,A.,Seiler,K. 1980. Changes in grain components during extrusion with a twin-screw extruder. *Getreide, Mehl Brot*. 34(3). 73-76.
- 46.-Okkyung Kim Chung. 1986. Lipid-protein interactions in wheat flour,dough,gluten and protein fractions. *Cereal foods world*. 31(3). 242-256.

- 47.-Peri,C.,Barbieri,R. 1980. Utilization of corn germ meal as protein source. II.- study of the extrusion conditions and quality of the extruded materials. Riv. Ital. Sostanze Grasse. 57(5). 240-247.
- 48.-Pomeranz,Y. 1985. Wheat flour lipids-what they can and cannot do in bread. - Cereal foods world. 30(7).443-446.
- 49.-Randall,J.,Sayre,R.,Schultz,W.,Fong,R. 1985. Rice bran stabilization by extrusion cooking for extraction of edible oil. Journal of food science. 50(). 361-364.
- 50.-Richmond,P.,Smith,A. 1985. The influence of processing on biopolymeric structures. Br. Polym. J. 17(2). 246-250.
- 51.-Sayre,R.,Saunders,R. 1982. Review of rice bran stabilization systems with emphasis on extrusion cooking. Cereal foods world. 27(7). 317-322.
- 52.-Schuler,E. 1986. Twin-screw extrusion cooking systems for food procesing. Cereal foods world. 31(6). 413-416.
- 53.-Sidney,W. 1984. Official methods of analysis of the association of official analytical chemists. 14th. Edition. Arlington, Virginia.
- 54.-Smietana,Z.,Fornal,L.,Szoebdowski,S. 1985. Extrusion cooking as a process for modifying the physicochemical properties of cereal proteins and their mixtures with milk proteins. Getreide Mehl Brot. 39(11). 344-348.
- 55.-Smith,O. 1976. Why extrusion cooking?. Cereal foods world. 21 (1). 4-8.
- 56.-Tadmor, Zeher Klein,I. 1969. The effects of design and operating conditions - on melting in plasticating extruders. Polymer Engineering and science. 9(1). 1-10
- 57.- Tortosa, E.,Ortolá,C.,Barber,S. 1985. Chemical changes during bread dough - fermentation.I.-Lipids of bread dough. Agronomía y Tecnología de Alimentos. 25(3)
- 58.-Trejo,E. 1984. Elaboración por extrusión de proteína vegetal vegetal texturizada a partir de harina desengrasada de cacahuete. Tesis. Universidad La Salle. México,D.F.
- 59.-Tribelhorn,E., Harper,J. 1980. Extruder-cooker equipment. Cereal foods world. 25(4). 154-156.
- 60.-Wehranch,J. Matheus,R. 1977. Lipid content of selected cereal grains and -- their milled and baked products. Cereal Chemistry.
- 61.-Zuilichem,D.J., Stolp,W. 1985. Einsatz von kochextrudern in Genwart und zukunft. Veroeff, Arbeitsgem Getreideforsch.