

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA METROPOLITANA

ESCUELA DE TECNOLOGÍA

INGENIERÍA DE EJECUCIÓN EN INDUSTRIA ALIMENTARIA

FORMULACION Y DESARROLLO DE UN ALIMENTO
EXTRUIDO TIPO SNACK DE 2 GENERACION
A PARTIR DE HARINA DE MAIZ

MEMORIA PARA OPTAR AL TÍTULO DE
INGENIERO DE EJECUCION EN
INDUSTRIA ALIMENTARIA

PROFESOR GUIA: FRANCISCO KIGER

LUIS ANDRES PUENTE DIAZ

SANTIAGO — CHILE

1996

SUTE H
P977
1996
C-1

**UNIVERSIDAD TECNOLOGICA METROPOLITANA
ESCUELA DE TECNOLOGIA
INGENIERIA DE EJECUCION
EN INDUSTRIA ALIMENTARIA**

Indice del trabajo de tesis de grado

**"FORMULACION Y DESARROLLO DE UN ALIMENTO EXTRUIDO TIPO
SNACK DE 2ª GENERACION A PARTIR DE HARINA DE MAIZ"**

**MEMORIA PARA OPTAR AL TITULO DE
INGENIERO DE EJECUCION EN
INDUSTRIA ALIMENTARIA
PROFESOR GUIA: FRANCISCO KIGER**



**LUIS ANDRES PUENTE DIAZ
SANTIAGO - CHILE
1996**

DC

Dedico este trabajo a mis Papás y a Claudia

AGRADECIMIENTOS

A la Sra. Ana María Estévez por su colaboración en el desarrollo de la parte experimental de este trabajo.

A Don Héctor Orellana por su paciencia y sus prácticos consejos.

Especialmente a Don Francisco Kiger por la oportunidad que me brindó de trabajar con él y por la confianza que depositó en mi.

Y a todos los que contribuyeron en la realización de este trabajo.

Diversos tópicos de esta memoria, fueron presentados en el II Congreso Nacional de Estudiantes de Ciencias y Tecnología de los Alimentos: "Formulación y Desarrollo de un alimento extruido tipo snack de 2ª generación a partir de harina de maíz".

Santiago, Chile, Septiembre 1996

RESUMEN

Los objetivos del presente trabajo apuntaron a definir los parámetros técnicos para la obtención de un producto tipo snack de 2ª generación mediante tecnología de extrusión-cocción; además se definieron las configuraciones del equipo extrusor y , se evaluaron sensorialmente los productos obtenidos.

El estudio contempló cuatro etapas: caracterización de la harina; definición de las condiciones óptimas de proceso; pruebas con formulaciones dulces y saladas, y análisis físico-químicos a los productos.

La harina utilizada presentó una granulometría de 0,8 mm y una humedad de 13,43%. Las condiciones óptimas de proceso se determinaron en terreno con un producto base, de acuerdo a las características que iba presentando el producto final y se eligió la más favorable. Estos parámetros se vieron modificados en virtud de la influencia de las materias primas de las formulaciones dulces y saladas en la operación del equipo.

Las formulaciones saladas tenían como ingredientes: grits de maíz, ajo en polvo, paprika en polvo y sal, en distintos porcentajes y combinaciones. Los ingredientes de las formulaciones dulces fueron: grits de maíz, azúcar, sal, caramelo líquido , butter scotch y vainilla.

De los productos obtenidos se seleccionaron 3 dulces y 3 salados para realizar análisis físico-químicos de humedad, actividad de agua, índice de solubilidad en agua, índice de absorción de agua, gelatinización, densidad, y sensoriales de calidad y aceptabilidad.

Los resultados de dichos análisis demostraron la notable influencia que tienen las materias primas utilizadas sobre los parámetros antes mencionados, observándose claramente su influencia sobre la operación del equipo extrusor, como así mismo sobre los productos y en definitiva en la aceptación por parte de los consumidores.

INDICE GENERAL

CAPITULO I INTRODUCCION

1.1.-	Introducción	1
1.2.-	Origen del Proyecto	3
1.3.-	Objetivos	4

CAPITULO II REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1.-	Teoría de Extrusión	6
2.1.1.-	Teoría Simple Idealizada	7
2.1.2.-	Partes Básicas de un Extrusor	8
2.1.3.-	Nomenclatura	12
2.1.4.-	Otras Bases para el Análisis	14
2.2.-	Reología en el proceso de extrusión	15
2.2.1.-	Tipos de Flujos en el Extrusor	15
2.2.2.-	Distribución de Velocidades	17
2.2.3.-	Matriz	19
2.2.4.-	Condiciones de Operación	20
2.2.5.-	Factores de Corrección del Modelo Lineal	21
2.2.6.-	Extrusión de Fluidos No Newtonianos	23
2.2.7.-	Extrusores para Alimentos	24
2.2.8.-	Obtención de Algunos Efectos de Operación	26
2.3.-	Almidones y Gelatinización	28
2.3.1.-	Composición Química del Almidón	29
2.3.2.-	Organización de la Amilosa y Amilopectina en el Gránulo de Almidón	32
2.3.3.-	Interacción del Agua y los Gránulos de Almidón	34
2.3.4.-	Cambios Físicos Durante el Proceso de Gelatinización	35
2.3.5.-	Métodos de Medida de Gelatinización de Almidones	39
2.4.-	Modelo de Gelatinización	41
2.5.-	Materias Primas	43
2.6.-	Coberturas	46
2.7.-	Clasificación de Snacks	47
2.8.-	Preacondicionamiento	49
2.9.-	Importancia de la humedad en el proceso de extrusión	51
2.10.-	Ventajas de la Extrusión-cocción	53

CAPITULO III DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1.-	Lugar de Trabajo	56
3.2.-	Caracterización de Harina	56
3.2.1.-	Granulometría	56
3.2.2.-	Humedad	56
3.3.-	Pruebas de Extrusión Simple	57
3.4.-	Pruebas con Formulaciones Dulces y Saladas	59
3.4.1.-	Productos Salados	60
3.4.2.-	Productos Dulces	62
3.5.-	Análisis de Productos	65
3.5.1.-	Humedad	67
3.5.2.-	Actividad de agua	67
3.5.3.-	Solubilidad en Agua y Absorción de Agua	69
3.5.4.-	Densidad Aparente	69
3.5.5.-	Gelatinización	70
3.5.6.-	Evaluación Sensorial	77
3.5.6.1.-	Calidad Sensorial	77
3.5.6.2.-	Aceptabilidad Sensorial	82

CAPITULO IV RESULTADOS Y DISCUSION

4.1.-	Caracterización de Harina	84
4.2.-	Análisis Físico/químicos de Productos	84
4.3.-	Evaluación Sensorial	90

CAPITULO V CONCLUSIONES

Conclusiones	97
--------------	----

CAPITULO VI BIBLIOGRAFIA

Bibliografía	100
--------------	-----

INDICE DE FIGURAS

Figura 1	Sistema de alimentación de fondo móvil	9
Figura 2	Segmento de un tornillo extrusor	9
Figura 3	Segmento de cilindro extrusor	10
Figura 4	Matriz cónica y cuchillos	10
Figura 5	Corte de un extrusor típico	11
Figura 6	Esquema tornillo extrusor	13
Figura 7	Rotación del tornillo	15
Figura 8	Estructura amilosa	30
Figura 9	Estructura amilopectina	31
Figura 10	Fotomicrografía de granos de almidón	32
Figura 11	Microestructura gránulo de almidón	33
Figura 12	Modelo de gelatinización	42
Figura 13	Diagrama de flujo molturación seca de maíz	44
Figura 14	Diagrama de flujo típico para snacks de 2ª generación	48
Figura 15	Esquema cilindros acondicionadores convencionales	50
Figura 16	Esquema acondicionador de diámetro diferencial y velocidad variable	50
Figura 17	Costos de operación/tonelada	52
Figura 18	Mezclador de cubeta horizontal	58
Figura 19	Extrusor WENGER X-20	58
Figura 20	Muestra de producto dulce	65
Figura 21	Muestra de producto salado	66
Figura 22	Comparación de productos	66
Figura 23	Gráfico nº 1	86
Figura 24	Gráfico nº 2	87
Figura 25	Gráfico nº 3	89
Figura 26	Gráfico nº 4	91
Figura 27	Gráfico nº 5	92
Figura 28	Gráfico nº 6	94
Figura 29	Gráfico nº 7	95

INDICE DE TABLAS

Tabla 1	Tamaño y forma de almidones según origen	28
Tabla 2	Capacidad de sorción de diversos almidones	34
Tabla 3	Rango de gelatinización de almidones	37
Tabla 4	Condiciones óptimas de proceso	57
Tabla 5	Formulaciones saladas	60
Tabla 6	Condiciones de operación	60
Tabla 7	Formulación salada	61
Tabla 8	Condiciones de proceso	61
Tabla 9	Formulaciones dulces	63
Tabla 10	Condiciones de proceso	64
Tabla 11	Factor de corrección para Aw	68
Tabla 12	Pauta de calificación color	78
Tabla 13	Pauta de calificación aroma	78
Tabla 14	Pauta de calificación dulzor	78
Tabla 15	Pauta de calificación salado	79
Tabla 16	Pauta de calificación sabor	79
Tabla 17	Pauta de calificación apariencia y textura	80
Tabla 18	Pauta de calificación amargor	80
Tabla 19	Pauta de calificación crocancia	81
Tabla 20	Escala hedónica	82
Tabla 21	Caracterización harinas	84
Tabla 22	Resultados análisis físico/químicos blanco	84
Tabla 23	Resultados análisis físico/químicos form.	85
Tabla 24	Puntajes calidad sensorial snacks salados	90
Tabla 25	Aceptabilidad snacks salados	92
Tabla 26	Puntajes calidad sensorial snacks dulces	93
Tabla 27	Aceptabilidad snacks dulces	95

CAPITULO I
I N T R O D U C C I O N

1.1.- INTRODUCCION

La transformación de las harinas y sémolas de cereales en productos cuyas características sean más atractivas que sus materias primas y por ende comercialmente más ventajosas, ha sido una preocupación permanente de la industria alimentaria en los últimos años. Actualmente la extrusión-cocción se considera como una de las operaciones más eficientes para realizar esos cambios, los cuales implican transformar las partículas de almidón, contenidas en las células, en estructuras que, además de digeribles, tengan una mayor capacidad de interacción con el agua. (1)

Los productos extruídos están presentes en los alimentos que se consumen diariamente: cereales para el desayuno, snacks varios, harinas precocidas e instantáneas, productos dextrinados, alimentos para mascotas, proteína vegetal texturizada, sopas instantáneas y algunas pastas.

El término "snack" resulta difícil de definir y caracterizar, especialmente por el gran número y tipos de estos productos que se están produciendo en el mundo, en este momento. En general, se acepta que los snack deben ser fáciles de manipular, constituir porciones individuales, no requerir preparación o de preparación simple y satisfacer las necesidades de alimentación en corto tiempo.

Estos productos, llamados también bocaditos o entremeses, hicieron su entrada en el mercado hace ya varios años y, se estima que tendrán una permanencia prolongada.

Actualmente se observa un gran aumento en cuanto a su popularidad y variedad, ya que se están desarrollando permanentemente nuevas ideas y tendencias. (2)

Debido a que los alimentos snacks se definen de maneras muy diferentes en cada país, es difícil comparar los mercados y cifras. El mercado de alimentos snacks en los Estados Unidos durante el período 1979-1988 se incrementó, respecto a la década anterior, en un 88% a aproximadamente 10 billones de dólares. En 1988 el mercado Japonés estuvo avaluado en alrededor de 3,5 billones de dólares. Durante el mismo período de 10 años antes mencionado, el mercado Europeo creció cerca de un 80% a un volumen de 5,3 billones. En el período 1988-1989 el mercado Australiano se estimó en 518 millones de dólares y el Sudafricano fue del orden de 147 millones de dólares.(3)

1.2.- ORIGEN DEL PROYECTO

El Trabajo de título, se enmarca dentro del proyecto FONTEC "Desarrollo de nuevas técnicas de extrusión", que nace a raíz de las necesidades de la Empresa DIPA Ltda. de aprovechar un equipo extrusor (WENGER X-25) que era utilizado exclusivamente para la extrusión de harinas para elaborar sustitutos lácteos; dicho equipo se encontraba en un estado de evidente deterioro producto de un mal manejo y el desgaste debido a los años de operación.

El proyecto pretende una optimización del proceso de extrusión, la elaboración de diversos productos extruídos como snacks para cóctel, proteína vegetal texturizada y cereales para el desayuno, ambos en una escala piloto, y finalmente una evaluación del estado del equipo y la reparación o acondicionamiento del equipo para producir estos nuevos productos.

Una parte importante del proyecto es la que constituye el centro de este trabajo, en la que se desarrolla un alimento extruído a base de harina de maíz tipo snack de 2ª generación para cóctel.

1.3.- OBJETIVOS

- Definir los parámetros técnicos para obtener snacks de 2ª generación mediante tecnología de extrusión-cocción.
- Definir las configuraciones del equipo extrusor.
- Evaluar la calidad sensorial del producto.

CAPITULO II

REVISION BIBLIOGRAFICA

2.1.- TEORIA DE LA EXTRUSION

La extrusión de alimentos, por las características heterogéneas de éstos, presentan complejidades que no permiten un análisis teórico cuantitativo. No obstante, las conclusiones de la teoría idealizada sirven de base y guía para apreciar, deducir y pronosticar efectos de la operación con alimentos.

Los extrusores en cuanto a su comportamiento termodinámico pueden ser:

Autógenos o adiabáticos: Generan su propio calor por conversión de energía mecánica, sin que se tomen medidas para eliminarlo (refrigeración).

Isotérmicos: Se extrae el calor generado por enfriamiento (a través de las camisas), manteniendo la temperatura constante.

Politrópicos: Operan en condiciones entre las dos anteriores. Prácticamente todos se clasifican de esta forma, pero algunos se acercan más a la condición adiabática mientras otros a la isotérmica.

2.1.1.- Teoría simple idealizada

Supuestos:

- a) El producto es un fluido newtoniano
- b) Condición isotérmica (no hay variación de viscosidad)
- c) Geometría o configuración simple y constante del extrusor en todo su largo.
- d) El barril o caja del extrusor ajusta perfectamente con el tornillo.
- e) La zona de alimentación no se considera, tomándose el extrusor completamente inundado con fluido. (4)

2.1.2.- Partes básicas de un extrusor

- 1.- Depósito de alimentación: Este dispositivo está equipado con un fondo móvil que permite el flujo libre y uniforme del producto al tornillo alimentador. (5) (ver Figura 1)
- 2.- Tornillo o gusano: Compuesto de eje o flecha y hélice o paleta enrollada helicoidalmente, cuyas piezas trabajan el producto transfiriéndolo a través del cilindro extrusor, al mismo tiempo que incrementan la presión y el calor por fricción. (ver Figura 2)
- 3.- Caja o barril: Envoltura cilíndrica dentro de la cual gira el tornillo; este barril tiene ranuras que ayudan a que la masa se mueva hacia adelante y reducen la fricción entre el tornillo y el interior del barril. Debido a que en el proceso de extrusión-cocción se genera una cantidad considerable de calor, los barriles de extrusión pueden estar equipados de chaquetas de enfriamiento o calefacción, para disipar el calor y/o mantener una temperatura constante. (ver Figura 3)
- 4.- Matriz y cuchillos: Este es el último dispositivo por el que pasa el producto en el cilindro extrusor, y consiste en una placa perforada que restringe la salida del producto extruido colocada al extremo del extrusor, le da al producto la densidad, textura y apariencia finales, y controla la capacidad del extrusor. La velocidad de rotación y el número de cuchillos determinan la longitud del producto final. (6) (ver Figura 4)

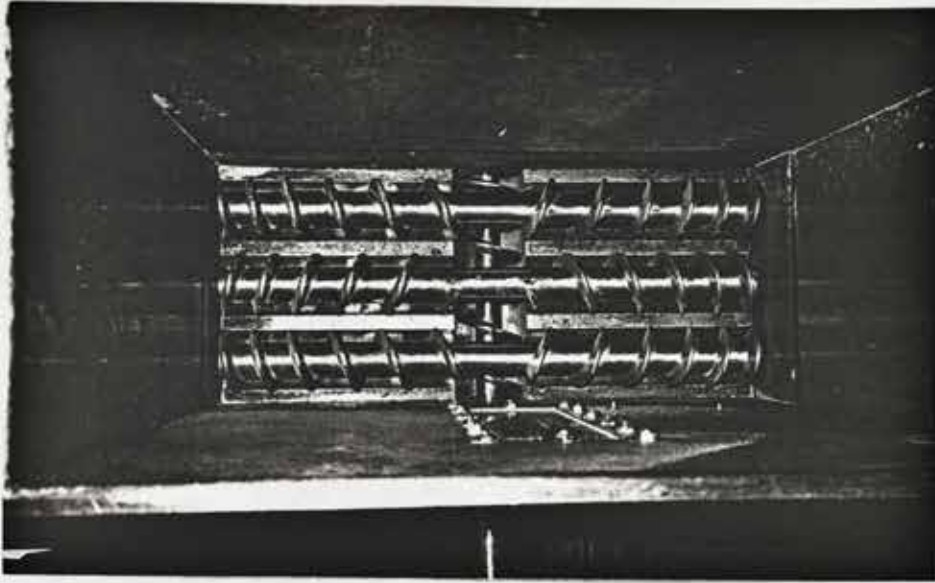


Fig. 1 Sistema de alimentación de fondo móvil



Fig. 2 Segmento de un tornillo



Fig. 3 Segmento de cilindro extrusor (camisa)

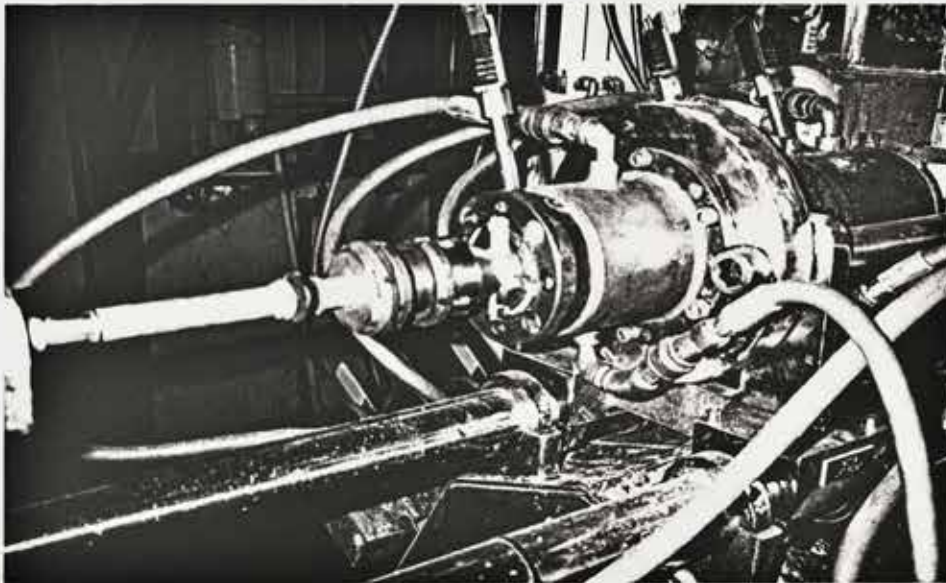


Fig. 4 Matriz cónica y cuchillos

En la figura 5 se aprecia una vista transversal de un extrusor de un solo tornillo.

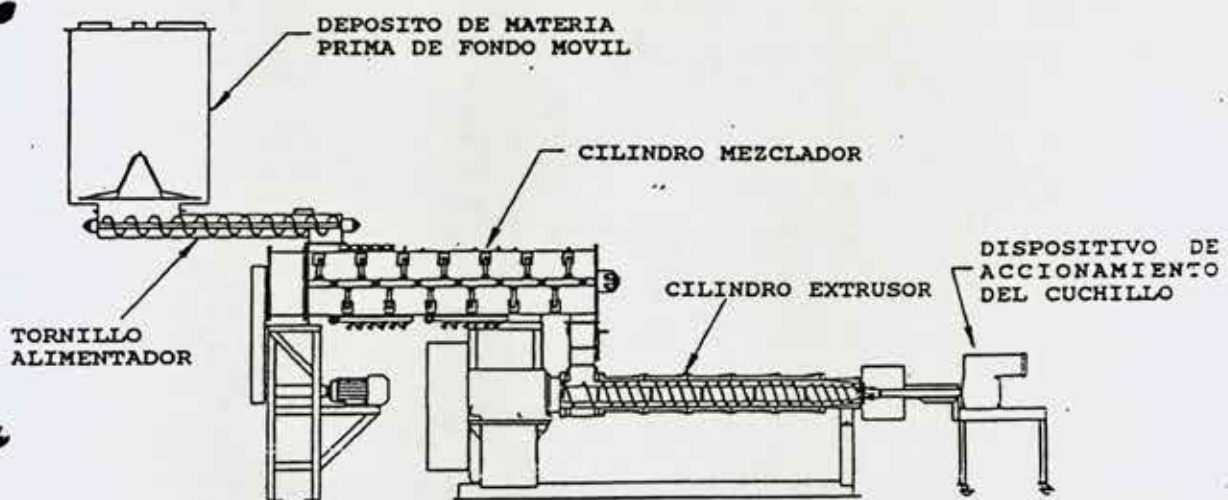


Fig. 5 Corte de un extrusor típico

2.1.3.- Nomenclatura

D : Diámetro del tornillo (eje más paleta). En caso ideal se ajusta con el barril, éste tiene diámetro interior igual D.

e : Grueso de la superficie axial de la paleta.

h : Altura (o ancho) de la paleta.

l : Longitud axial del tornillo (desde el interior de la perforación de alimentación).

n : Número de paletas en paralelo que componen el tornillo.

N : Velocidad de rotación del tornillo (RPM).

ΔP : Aumento de presión a lo largo del tornillo (si la presión en la alimentación y en el punto de descarga son iguales, representa también la caída de presión a través de la matriz).

Q : Flujo volumétrico neto de descarga.

Q_0 : Flujo volumétrico debido al dragado o arrastre del fluido en el canal del tornillo.

Q_p : Flujo volumétrico debido a la presión en el canal.

t : Paso de la paleta.

V : Velocidad periférica del tornillo respecto del barril o vice-versa ($V=DN$).

v : Velocidad en dirección z de una partícula en punto (x,y).

W : Ancho de la canal del tornillo, medido perpendicular a la paleta.

- x : Dirección perpendicular al eje y profundidad del canal.
 y : Dirección de la profundidad del canal.
 z : Dirección del eje de la hélice.
 δ : Claro radial entre la superficie de la paleta y la superficie interior de la caja.
 \wedge : Dirección en el sentido del eje del extrusor o del tornillo.
 μ : Viscosidad del producto.
 ϕ : Angulo de la hélice.

En la figura 6 estan representadas las dimensiones de un tornillo extrusor.

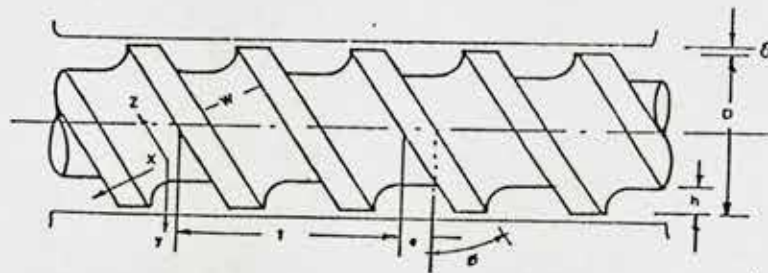


Fig. 6 Esquema Tornillo extrusor.

2.1.4.- Otras bases para el análisis

El producto se comporta como un verdadero fluido, viscoso, soportando deformación por esfuerzo de corte, sin resbalar sobre la superficie del barril y tornillo.

Para facilitar el análisis se invierte el movimiento del barril y tornillo, es decir, se considera moviéndose el barril en sentido contrario y a la misma velocidad que el tornillo en operación normal. El movimiento relativo y los fenómenos de flujos quedan iguales.

2.2.- REOLOGIA EN EL PROCESO DE EXTRUSION

2.2.1.- Tipos de flujos en el extrusor

La velocidad del barril (V) genera componentes V_z y V_x en el sentido del eje del canal y perpendicular a él, respectivamente, (V_z y V en ángulo ϕ). Estas componentes se designan con minúscula (v_z y v_x) cuando se refieren a un punto de coordenadas (x,y) en el canal. La mayúscula se reserva para la velocidad en la pared del barril.

(ver Figura 7)

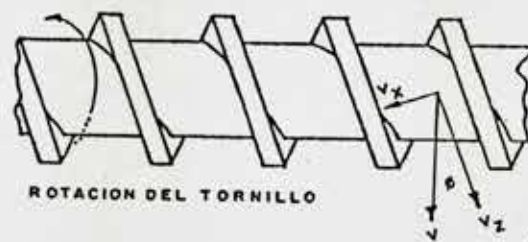


Fig. 7 Rotación del tornillo

La componente en sentido del canal corresponde a flujo de dragado o arrastre: Q_0

Sin contrapresión de matriz $Q_0 = Q$

La componente v_x corresponde a flujo transversal que no afecta al flujo neto del extrusor. Solo contribuye al mezclado del material y en el desarrollo de esfuerzos de corte.

El flujo Q_0 , contra la matriz, genera una presión que obliga a salir parte del fluido por sus perforaciones, mientras que otra parte de él fluye en sentido contrario a Q_0 , impulsado por la diferencia de presión. Este es el flujo de presión Q_p (que es opuesto, en este caso a Q_0).

$$\text{Flujo neto del extrusor: } Q = Q_0 + Q_p \quad (1)$$

Q_0 depende de la velocidad del tornillo y de la configuración del extrusor. No depende de la viscosidad ni de la presión.

$$Q_0 = \alpha N \quad (2)$$

Donde el factor de forma:

$$\alpha = \frac{1}{2} \pi^2 D^2 h \left(1 - \frac{ne}{t}\right) \sin \phi \cos \phi \quad (3)$$

Q_p es proporcional a la gradiente de presión $\Delta P/l$, que la origina (fuerza impulsora) e inversamente proporcional a las resistencias al flujo: viscosidad y configuración del extrusor.

$$Q_p = -B/\mu \Delta P/l \quad (4)$$

B Es factor de forma:

$$B = \frac{1}{2} \pi D h^3 (1 - ne) \sin^2 \phi \quad (5)$$

El flujo neto indicado en (1) resulta:

$$Q = \alpha N - B/\mu \Delta P/l \quad (6)$$

2.2.2.- Distribución de velocidades

Según sean las condiciones de mayor o menor obstrucción de la matriz, se obtienen distintas distribuciones de velocidades.

El flujo de presión puro tiene una distribución aproximadamente parabólica, mientras el flujo de dragado puro presenta distribución lineal. La combinación de ambos tipos de flujo resulta en el flujo neto del extrusor y su distribución de velocidades corresponde a la superposición de los anteriores. Aquí, aparece una componente de velocidad, en el plano (z, y) paralela al eje del canal, en sentido negativo, que contribuye a la mezcla del producto y al esfuerzo cortante.

En el plano perpendicular, en el flujo se produce una distribución de velocidades derivada de la componente v_x , cuyo efecto es de mezclado y esfuerzo de corte adicional en el producto.

No debe concluirse que hay un flujo en sentido negativo del canal, representado por la velocidad del gráfico. Nótese que ella es sólo una componente de velocidad en dirección paralela al canal. Para obtener la real trayectoria del flujo debe combinarse ésta con la componente de velocidad perpendicular al canal. En todo caso, el flujo en el sentido del eje del extrusor (sentido λ) es siempre positivo (o nulo al tapar la matriz).

La configuración resultante del flujo dentro del canal es una espiral, que gira dentro de la espiral del tornillo.

El avance de esta espiral varía según la relación con que se opere, además de la configuración del tornillo, y especialmente el ángulo de la hélice.

2.2.3.- Matriz

La presión que se genera en la cabeza del extrusor es originada por la obstrucción parcial del flujo que provoca la matriz.

En extrusores ideales, la presión alcanza un máximo en la matriz, para caer a la atmosférica al pasar a través de sus perforaciones. El flujo de producto a través de la matriz (QM) es función de la caída de presión en ella (fuerza impulsora), de la geometría de la matriz (resistencia) y de la viscosidad del material.

$$QM = K \frac{\Delta P}{\mu} \quad (7)$$

k depende de la geometría y es constante para cada matriz. Es posible determinarla analíticamente para geometrías simples; en caso contrario su determinación se hace empíricamente.

2.2.4.- Condiciones de operación

Observando la operación global del extrusor se aprecia que existe una interacción entre los diversos aspectos que se explicaron separadamente. De acuerdo a la conformación geométrica del extrusor y matriz, a la velocidad del tornillo, al fluido que se considera y a la temperatura de operación, se establecerá una determinada relación entre las diferentes variables dependientes de operación, en acuerdo a satisfacer las ecuaciones presentadas anteriormente (ecuaciones (6) y (7)).

Es importante notar que si la alimentación y la descarga de la matriz están a la presión atmosférica, el ΔP es igual para (6) y (7). Además, en régimen permanente, la continuidad de flujo indica que:

$$Q = Q_M$$

Combinando 6 y 7 se obtiene:

$$Q = (\alpha N) / (1 + (B/1k)) \quad (8)$$

$$P = (\alpha N \lambda) / (k + B/1) \quad (9)$$

Donde se aprecia que, en el extrusor ideal con fluido newtoniano que se ha postulado inicialmente, el flujo neto es independiente de la viscosidad, mientras que la presión generada es directamente proporcional a ella.

2.2.5.- Factores de corrección del modelo lineal

- a) Efecto de orilla de la paleta: Cuando la relación h/w es grande se deben considerar factores correctivos para el flujo de presión y dragado respectivamente F_p y F_D . Son función sólo de h y w , para un mismo extrusor.
- b) Flujo de fuga entre la superficie de la paleta y el barril: En la práctica, en especial en extrusores para alimentos, existe una distancia que separa las superficies antes mencionadas. La presión en la cabeza origina una componente de flujo tubular en esa zona, en sentido contrario al flujo de dragado y con cierta analogía al flujo de presión. Este disminuye el fluido neto comparando con una condición sin fuga.

Al incluir este efecto de fuga en la ecuación (6), se llega a:

$$Q = aN (1 - \lambda - J) - fF \quad (10)$$

En que fF es un factor bastante complejo pero pequeño generalmente, por lo cual se despreciará;

$$\lambda = Q_p/Q_0 ; \text{ y } J = \delta/h \quad (11)$$

Incorporando los factores correctivos y este flujo en la ecuación (6) se tiene:

$$Q = \alpha N F d (1 - \delta/h) \frac{-\beta/\mu \Delta P/l}{F_p} \quad (12)$$

c) La geometría del extrusor es, en general variable a lo largo del tornillo. Hay una zona de alimentación, una de transición y otra de dosificación, entre o dentro de las cuales puede variar la altura h correspondiente de la paleta, el ancho w del canal, el ángulo λ , etc.

En estos casos, para llegar a las experiencias analíticas correspondientes, es necesario proceder a integrar las ecuaciones de flujo, en su forma diferencial, para cada sección, conociendo la relación de variación de las características físicas con la longitud del extrusor.

2.2.6.- Extrusión de fluidos no Newtonianos

No existe todavía un tratamiento teórico ni empírico que permita predecir con exactitud, cuantitativamente, el comportamiento de los materiales no-newtonianos en la extrusión.

La complejidad que introduce la variación de la viscosidad con la intensidad del esfuerzo de corte aplicado, solo permite un análisis cualitativo de la situación.

- a) El flujo de dragado, que antes no dependía de la viscosidad, ahora puede depender de ella en canales de tornillo profundo, ya que los esfuerzos de cortes varían apreciablemente con la altura, variando la viscosidad a diferentes niveles de ella.
- b) Al aumentar el flujo de presión (cierre de la matriz) se incrementa Q_p , sometiendo al fluido a mayores esfuerzos de corte, disminuyendo así la viscosidad aparente. Lo mismo sucede al aumentar las revoluciones del tornillo, ya que se provoca una disminución de la viscosidad con una intensificación del esfuerzo de corte.
- c) La viscosidad en la matriz varía con el flujo, existiendo una relación exponencial entre Q y ΔP .

Las ecuaciones de flujo para el extrusor y la matriz toman aproximadamente las siguientes formas:

$$Q = AN - C (V/h)^{1-n} \Delta P \quad (13)$$

$$Q_m = K' (\Delta P)^{1/n} \quad (14)$$

En que A y C son constantes; n es el índice de flujo no-newtoniano; V la velocidad del tornillo y K' una constante que incluye factores geométricos y características del fluido.

2.2.7.- Extrusores para alimentos

Debe notarse que, hasta ahora sólo se ha considerado que el extrusor está completamente inundado con fluido. En consecuencia, su longitud total está operando en condiciones de flujo viscoso. Este tipo de extrusión se denomina "fundida", terminología que deriva del campo de los plásticos.

En este rubro también se extruyen polímeros sólidos, en pellets, que se funden paulatinamente dentro del extrusor, en parte por el efecto del tornillo, pero generalmente también por calor externo. Esta extrusión se denomina "plastificante".

Es esta clase de operación la que más se asemeja a la extrusión de alimentos sólidos. Su tratamiento teórico es bastante más complejo, por la diversidad de las características de cada zona en el extrusor.

La primera sección es de transporte, para pasar a las secciones de compresión y transición, terminando en una sección de dosificación. Esta última opera inundada y en un flujo viscoso, por lo que es susceptible de tratarse bajo los conceptos teóricos antes expuestos.

La sección de transporte opera, primero como un simple transportador de gusano para sólidos. Paulatinamente al disminuir el volumen del canal, se comprime el material, expulsándose el aire ocluido. El canal está sólo parcialmente lleno.

En la zona de transición se produce empastamiento o plastificación del material, parcial y progresiva y, es equivalente a la fusión en los materiales plásticos. Naturalmente hay un aumento de densidad con la compactación y plastificación del material.

No se ha desarrollado, todavía, una teoría que permita abordar estas situaciones, salvo en lo que se refiere a transporte de sólidos pulverulentos en tornillos sin fin, pero este fenómeno sólo se presenta en la tolva de alimentación y primer tramo del tornillo. Para materiales plásticos más rígidos, existe un tratamiento analítico que considera el transporte de ellos como un bloque compacto de material rígido empujado por el tornillo.

En consecuencia, la zona en que se desarrolla totalmente el flujo viscoso, donde se producen los efectos de corte más intensos, característicos de la extrusión, ocupa sólo el último tramo del tornillo en inundación completa.

2.2.8.- Obtención de algunos efectos de operación

En la extrusión de alimentos es frecuente la realización de algunas adaptaciones a la configuración del extrusor, para conseguir ciertos efectos.

- a) Mejoras en mezclado: Se consigue aumentando Q_p y Q_f , el esfuerzo de corte general. Estas medidas disminuyen Q , con apreciable aumento de potencia. Pueden usarse paletas discontinuadas, y adicionalmente pásas mezcladoras, para conseguir este efecto de mezcla.
- b) Para aumentar la cocción se usan espaciadores que separan el extremo del extrusor de la matriz, formando una cámara que contribuye a aumentar el tiempo de residencia del material.

- c) De acuerdo a las características del material, pueden presentarse problemas de deslizamiento en la pared del barril o, contrariamente, una fuerte adhesión a ésta que produce esfuerzos de corte exagerados. El primer caso se contrarresta con paredes estriadas del barril; el segundo, con guías helicoidales en el sentido del tornillo.
- d) Para evitar la salida del vapor recalentado hacia la tolva de alimentación, se intercalan anillos cada cierta distancia en el tornillo, con menor luz que ésta con respecto del barril. (4)

2.3.- ALMIDONES Y GELATINIZACION

Entre los cambios físicos que ocurren, en la estructura de las materias primas de origen vegetal, durante el proceso de extrusión-cocción, la gelatinización de los almidones es uno de los que tiene mayor importancia en las características texturales y físicas del producto final.

El almidón está presente en la composición de materiales de origen vegetal como sustancia de reserva; físicamente, está organizado en pequeñas unidades individuales o "gránulos" de tamaño y forma definida de acuerdo al origen botánico del producto. El tamaño es variable, dependiente del cultivo; oscila entre 4 y 50 μ ; en general para cada caso existe una distribución de tamaños característica. (7) (ver Tabla 1)


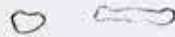




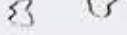
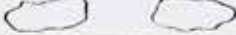
Origen botánico	Tamaño promedio (μ)	Forma
Maíz	15	
Amilo maíz	25	
Cebada	20	
Avena	25	
Trigo	30	
Haba	30	
Arveja	40	
Papa	40	

Tabla 1 Tamaño y forma de almidones según origen
Fuente: Olhagaray (1979)

2.3.1.- Composición química del almidón

El almidón consiste fundamentalmente en una mezcla de polímeros de glucosa y de otros constituyentes minoritarios, entre los cuales se destacan pequeñas cantidades de grasas en forma de lípidos asociados al almidón, como lípidos polares y sustancias minerales como por ejemplo fósforo y nitrógeno.

Entre los constituyentes mayoritarios del almidón (polímeros de α -D-glucosa) se pueden identificar claramente dos tipos de polímeros, como sigue:

a) Amilosa:

En esencia se trata de un polímero lineal de α -D-glucosa con enlaces entre residuos glucosídicos del tipo α -1,4. Aunque se admita generalmente, que el polímero es lineal, esto parece ser cierto solamente para una parte de la amilosa, siendo ligeramente ramificado el resto.

(ver Figura 8)

Investigaciones sobre reacciones enzimáticas y de viscosidad indicarían que se trata de ramificaciones de cadena larga con cadenas laterales de centenares de restos de glucosa; las ramificaciones de la amilosa son tan largas y escasas que hacen que se considere la molécula como un ente sin ramificar.

Su peso molecular es del orden de 250,000 (1550 unidades de glucosa anhidra), pero varía mucho, no sólo según las especies de plantas, sino también dentro de la misma especie; también depende del estado de madurez.

La naturaleza lineal y de gran longitud confiere a la molécula de amilosa propiedades como por ejemplo: capacidad para formar complejos con yodo, alcoholes o ácidos orgánicos; tendencia a asociarse consigo misma y precipitarse en solución, lo que hace que cristalice fácilmente o se retrograde. A causa de esta tendencia a asociarse es difícil trabajar con la amilosa (ésta permanecerá en disolución si se mantiene un pH alto).

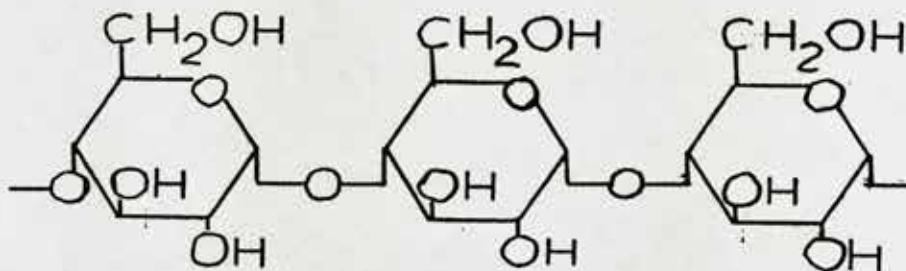


Fig. 8 Estructura Amilosa

b) Amilopectina:

Polímero ramificado de la glucosa que contiene enlaces α -1,4 entre residuos glucosídicos y α -1,6, éste último característico de los puntos de ramificación; alrededor del 4-5% de los enlaces totales son α (1 \rightarrow 6). El peso molecular de la amilopectina es de unos 10^8 ; es una de las mayores que se encuentran en la naturaleza, con 595,238 restos de glucosa ($10^8/168$; 168 es el peso molecular de la unidad de glucosa anhidra) ó 29.762 cadenas con un grado medio de polimerización de 20. (ver Figura 9)

Se han postulado varios modelos para la estructura de la amilopectina; sin embargo el más probable es el de estructura al azar. La distancia entre puntos de ramificación es muy variable; el número promedio de residuos glucosídicos entre ramificación es alrededor de 7; sin embargo, existen regiones con mucho menor densidad de ramificación (hasta 60 residuos glucosídicos entre ramificaciones). (8)

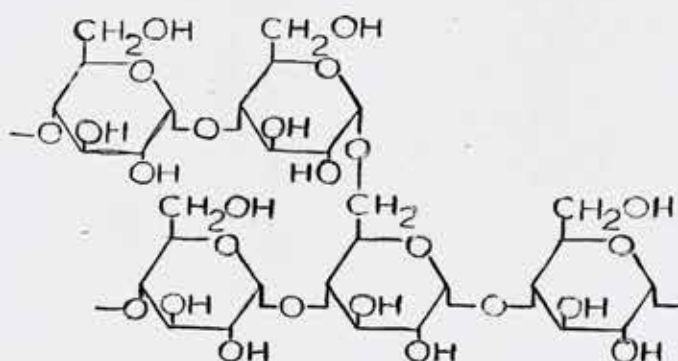


Fig. 9 Estructura amilopectina

2.3.2.- Organización de la amilosa y amilopectina en el gránulo de almidón

El conocimiento sobre la estructura detallada del gránulo de almidón y su organización es restringido; microscópicamente, los gránulos de almidón aparecen formados de una serie de laminaciones concéntricas, más pronunciadas en algunos almidones que en otros. (ver Figura 11)

En cada capa, las moléculas están orientadas en sentido radial, dando origen al fenómeno de birrefringencia. Vistos con luz polarizada, los granos de almidón muestran birrefringencia, o la típica "cruz de malta" (ver Figura 10). La propiedad de birrefringencia es debida al alto grado de estructuración del grano de almidón. Esto no se ha de confundir con la cristalización: las cosas pueden estar muy ordenadas y no ser cristalinas. Si están altamente ordenadas, serán birrefringentes.



Fig. 10 Fotomicrografía de granos de almidón, mostrando las cruces de malta. Referencia de 19 μm .

La integridad del gránulo es el resultado de moléculas lineales y porciones lineales de moléculas ramificadas, para formar regiones cristalinas (micelas). Los enlaces responsables de la cohesión del gránulo son fundamentalmente del tipo puente de hidrógeno. Las zonas cristalinas están compuestas principalmente de amilopectina.

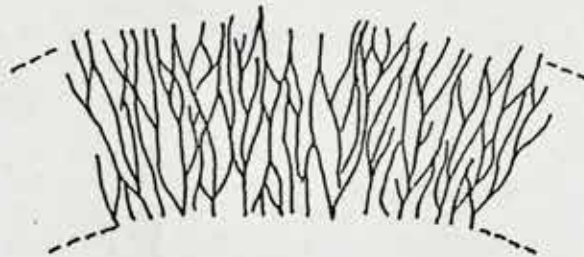


Fig. 11 Microestructura gránulo de almidón

2.3.3.- Interacción del agua y los gránulos de almidón

Siendo la gelatinización un proceso en el cual el agua está involucrada, interesan las características de sorción del agua del sistema. La forma sigmoidal de la isoterma de adsorción, característica de diferentes almidones revela diferentes mecanismos de ligazón entre agua y producto.

En la primera zona (0-15% humedad del sólido) el agua está unida a la matriz molecular como agua de constitución (formando monohidratos). Para valores más elevados de actividad de agua existe adsorción física sobre las moléculas del polímero o condensación en poros submicroscópicos. Sobre 50% de humedad el agua está prácticamente "libre" (sin calor de adsorción).

La capacidad de sorción del almidón depende primariamente de su grado de asociación (o grado de enlace). (ver Tabla 2)

Origen	Capacidad de sorción a $A_w=Cte$ ($A_w=0.92$)
Papa	32.8
Tapioca	25.6
Camote	25.2
Arroz	24.8
Maíz	24.5
Trigo	24.4

Tabla 2 Capacidad de sorción de diversos almidones
Fuente: Olhagaray (1979)

2.3.4.- Cambios físicos durante el proceso de gelatinización

Se puede definir la gelatinización como la conversión del almidón no digerible a digerible, por la aplicación de calor en presencia de agua. La gelatinización ocurre cuando el agua es absorbida en el gránulo, con el consiguiente cambio en la estructura del polímero.

El gránulo de almidón es insoluble en agua fría debido principalmente, a las zonas cristalinas, pero al calentarse en presencia de agua sufre una serie de cambios físicos que, en conjunto, determinan el proceso de gelatinización.

El proceso ocurre a partir de una temperatura crítica característica para cada producto. A partir de esta temperatura y en un rango de aproximadamente 10°C ocurre la totalidad del proceso. La energía térmica comunicada comienza a disociar las zonas más débilmente unidas en el gránulo y el agua comienza a difundir al interior, aumentando el volumen de éste. Mientras las cadenas más cortas pueden difundir fuera del gránulo, las más largas actúan como refuerzo para prevenir la solubilización excesiva.

Como se dijo, el gránulo de almidón es insoluble en agua fría pero, al calentarse en presencia de agua, sufre una serie de cambios físicos, que en conjunto determinan el proceso de gelatinización; los cambios más importantes son:

1.- Aumento de volumen: A medida que el gránulo es calentado, se produce un debilitamiento de las fuerzas de atracción intermolecular, con entrada de agua libre y formación de nuevos enlaces. Las moléculas aumentan su movilidad y los gránulos aumentan varias veces su volumen original.

El aumento de volumen depende del grado de asociación de las moléculas; eventualmente los gránulos de almidón pueden llegar a su límite de ruptura, dando lugar a una mezcla heterogénea de polímeros fragmentados.

El grado de asociación de las moléculas es el factor que controla el hinchamiento. A nivel molecular este factor depende de: tamaño y forma de áreas cristalinas, razón de amilosa-amilopectina, peso molecular y distribución del peso molecular de cada fracción, grado de ramificación y, presencia de grupos ionizables.

El poder de hinchamiento de un almidón se determina como el peso de gránulos dilatados por gramo de almidón seco. (ver Tabla 3)

Origen botánico	Rango de temperatura (°C)
Maíz	62-72
Sorgo	68-78
Trigo	58-64
Tapioca	49-64,5
Papa	59-68
Maíz waxy	63-72
Cenbada	51,5-59,5
Arveja	52-70
Arroz	68-70
Amilo maíz	67

Tabla 3 Rango de gelatinización de almidones
Fuente: Olhagaray (1979)

2.- Pérdida de birrefringencia: Bajo el microscopio de polarización, los gránulos de almidón presentan el fenómeno de birrefringencia debido a la anisotropía del gránulo.

El fenómeno de birrefringencia persiste mientras no se alcance la temperatura de gelatinización, pero desaparece cuando el gránulo está gelatinizado. Se ha encontrado que el % de gránulos que ha perdido su birrefringencia, es una medida del grado de gelatinización.

Para la determinación se usa una placa Kofler (calentamiento programado) junto con un microscopio de polarización.

3.- Aumento de translucidez (transmisión de la luz): La opacidad inicial de una solución acuosa de almidón, decrece al producirse la gelatinización y la pasta se hace cada vez más transparente. Se ha encontrado que el % de luz transmitida correlaciona en forma lineal con el poder de hinchamiento, independiente del origen botánico del almidón. Así, la transmisión de luz es una medida directa del grado de hinchamiento.

4.- Aumento de viscosidad: El término viscosidad se usa en un sentido especial para denotar la consistencia de la pasta. La propiedad más importante, desde el punto de vista industrial, en la gelatinización de almidones es el aumento de consistencia, el que puede ser medido en el amilógrafo Brabender, por ejemplo.

En un sistema, con una cantidad de agua limitada, los gránulos se hinchan hasta absorber toda el agua disponible, quedando más susceptibles a la desintegración mecánica.

Además ciertas fracciones solubles difunden desde el gránulo a la masa acuosa y, una vez que toda el agua está absorbida, redifunden a la matriz sólida formando un gel y aumentando la viscosidad.

La temperatura a la cual se produce el máximo de viscosidad, en el amilograma, se denomina "temperatura de pasta" y es diferente a la temperatura de gelatinización, ya que usualmente los gránulos están totalmente gelatinizados antes de llegar a esta temperatura.

2.3.5.- Métodos de medida de gelatinización de almidones

En general los métodos de medida de gelatinización, se basan en alguno de los cambios ya descritos anteriormente.

A.- Métodos físicos

- Absorción de agua: Medición del peso del almidón gelatinizado (y de los solubles), referido a peso seco de almidón.
- Transmisión de luz: Medida espectrofotométrica del % de luz transmitida con cambio programado de temperatura.
- Pérdida de birrefringencia: Recuento del número total de gránulos que ha perdido su cruz de polarización como función de la temperatura.
- Amilograma: En amilógrafo Brabender, adicionando una pequeña cantidad de alginato de sodio o carboximetil - celulosa.

B.- Métodos químicos

Fundamentalmente, son métodos espectrofotométricos basados en la medición del color formado por el almidón y el yodo. Las amilosas dan, con el yodo, un color azul intenso y las amilopectinas, rojo púrpura, lo que sirve para reconocerlas.

C.- Métodos enzimáticos

Están basados en el aumento de la susceptibilidad del almidón gelatinizado al ataque de enzimas amilolíticas (α -amilasas y β -amilasas), enzimas capaces de fragmentar totalmente al almidón by-paseando los puntos de ramificación produciendo moléculas de glucosas. (7)

2.4.- MODELO DE GELATINIZACION

Gómez y Aguilera (1984) proponen un modelo para la gelatinización de almidones de maíz. (ver Figura 12) Este modelo asume la existencia de tres estados puros: crudo, gelatinizado y dextrinado.

En la práctica, el estado normal de degradación es continuo y sigue la siguiente secuencia:

Crudo-----> Gelatinizado-----> Dextrinado

Otros posibles estados intermedios son incluidos en un modelo más complejo, éstos son: gránulos dañados mecánicamente, polímeros libres y oligosacáridos y azúcares. Los diferentes estados en que puede encontrarse el almidón en los extruidos se deben a la temperatura, perfil de velocidad y gradientes de cizalla en el canal extrusor, que dan origen a una distribución de tiempos de residencia para las partículas que pasan por el extrusor.

De este modo, algunas partículas son procesadas de manera insuficiente (quedan más crudas), mientras otras son sobreprocesadas o dextrinadas.

La presencia simultánea de almidón crudo, gelatinizado, dextrinado, y especies intermedias, puede ser explicado como sigue: Bajo condiciones limitadas de agua, la humedad absorbida por el grano se asocia primero con las regiones amorfas, lo que fue demostrado por Biliaderis *et al* en 1980 usando un análisis en un calorímetro de escaneo diferencial.

Otras porciones del gránulo, teniendo un bajo contenido de humedad, pueden permanecer crudos o tornarse dextrinados, dependiendo de las condiciones de tiempo y temperatura dentro del extrusor.

La acción de cizalla del tornillo a bajas temperaturas solo desarma la microestructura. Sin embargo, la dextrinación puede ocurrir igual a temperaturas bajo 150°C y contenidos de humedad cercanos al 12%. (9)



Fig. 12 Modelo de gelatinización

2.5.- MATERIAS PRIMAS

La harina de maíz es el principal ingrediente en la fabricación de snacks, junto con algunos aditivos tendientes a mejorar las características nutricionales y organolépticas del producto.

Para la fabricación de snacks, las harinas se obtienen generalmente siguiendo una molienda seca, cuyo objetivo es obtener el mayor rendimiento de sémolas, con la menor contaminación posible de grasa y de motas negras de la cubierta del germen.

La secuencia de las operaciones de la molienda seca del maíz se presenta en la figura 13.



Fig. 13 Diagrama de flujo molturación seca de maíz
Fuente: Kent (1987)

El maíz tiene un valor nutritivo inferior al del trigo, por ser deficiente en niacina, y por tener una riqueza protéica relativamente baja; además es deficiente en lisina y triptófano. (10)

La selección de los ingredientes a utilizar en procesos de extrusión tiene gran influencia en las características del producto final (textura, uniformidad, calidad nutricional, grado de expansión, color, etc). Es así como los constituyentes de las harinas y aditivos tienen la siguiente influencia:

- Proteínas: Constituyen un aporte nutricional, mejoran la absorción de agua, elasticidad y cohesión de la masa a extruir.
- Almidón: Mejora la expansión y cohesión del producto, además afecta la viscosidad, textura, sabor y aporte energético.
- Materia grasa: Actúa como lubricante, da plasticidad, influye sobre la velocidad de expansión y es fuente de energía.
- Fibras: Afectan la textura y sirven como relleno.
- Aditivos: Contribuyen al enriquecimiento (vitaminas) y mejorar características como el sabor y color. (11)

2.6.- COBERTURAS

Muchos productos a base de cereales se recubren con azúcar, miel y otros, antes de ser puestos a la venta. El motivo de este recubrimiento radica en que protege el producto de la humedad y le confiere una más larga conservación a determinados productos.

El proceso de recubrimiento es muy simple. Se utiliza un aparato del tipo de las betoneras para agitar el producto mientras el material deseado es agregado lentamente. Frecuentemente se añade algún tipo de aceite para disminuir la espuma y mantener separadas las partículas.

El jarabe endurece rápidamente al enfriarse; generalmente el recubrimiento comprende el 25 a 50% del peso del producto debido a su alta densidad comparada con la del alimento. (10)

2.7.- CLASIFICACION DE SNACKS

Algunos autores han clasificado de manera genérica a los alimentos snacks en tres generaciones, que tienen las siguientes características:

1ª Generación: Productos basados en algún tipo de harina de maíz y elaborados mediante extrusión-cocción a alta presión, siendo posteriormente secados o tostados y luego, recubiertos con saborizantes secos o aceites saborizados.

2ª Generación: La harina de maíz se debe prehumedecer antes de procesarla, para evitar la separación de partículas gruesas durante la extrusión. Antes de agregar los sabores requeridos, el material pasa por una etapa de tamizado para eliminar los finos.

3ª Generación: Luego de la extrusión y el formado del producto se seca para lograr una cierta textura y luego sufrir una expansión ya sea al freirlos en aceite o calentar en corrientes de aire. (12)

En la figura 14 se esquematiza un diagrama de flujo de snacks de 2ª generación.



Fig. 14 Diagrama de flujo típico para snacks de 2ª generación
Fuente: Galen et al (1987)

2.8.- PREACONDICIONAMIENTO

Los cilindros mezcladores o preacondicionadores son dispositivos de alta velocidad diseñados para combinar vapor, agua y otros aditivos o ingredientes líquidos con la mezcla de alimento seca. (Fig. 15) Es deseable tener una mezcla homogénea, humedecida y precalentada uniformemente antes de introducirla en el cilindro de extrusión. Esto se logra mediante el control de nivel de humedad, del nivel de inyección de vapor y del tiempo de retención.

La conductividad térmica de un alimento con el nivel adecuado de humedad facilita la penetración del vapor inyectado. En los cilindros acondicionadores es preferible la presión atmosférica, pues permite que ciertos factores antinutricionales y otros que dañan el sabor se volatilicen y escapen del sustrato conforme el material preacondicionado pasa del cilindro acondicionador, a través del conducto de ventilación, al cilindro extrusor.

Otro beneficio que se obtienen con un preacondicionamiento adecuado es, en niveles óptimos son, la disminución, tanto del desgaste del cilindro extrusor como de los caballos de fuerza que requiere el eje del extrusor por tonelada de producto elaborado. Este es el resultado de la penetración completa de la humedad en cada una de las partículas de la materia prima, lo que aumenta la tasa de transferencia de calor por medio de fricción en cada una de ellas y reduce la condición abrasiva del sustrato. (6)

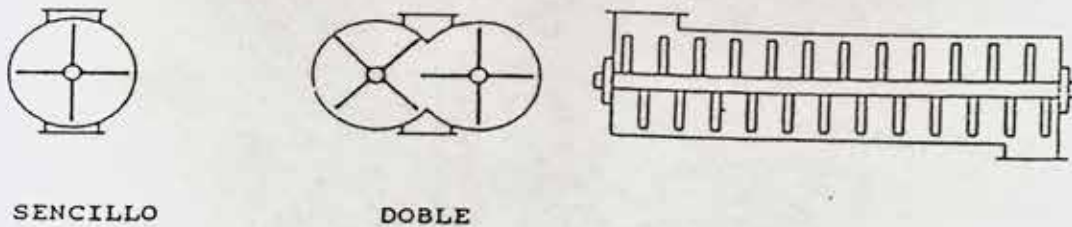


Fig. 15 Esquema de cilindros acondicionadores convencionales

Actualmente la operación de preacondicionamiento se realiza en cilindros de diámetro diferencial (ADD) (Fig. 16), que tienen mayores tiempos de retención, y mezcla con mayor intensidad el agua y el vapor añadidos al alimento seco, lo que ayuda a mantener un nivel óptimo de humedad en el material durante el proceso de preacondicionamiento y no afecta mayormente el valor nutritivo del producto final.

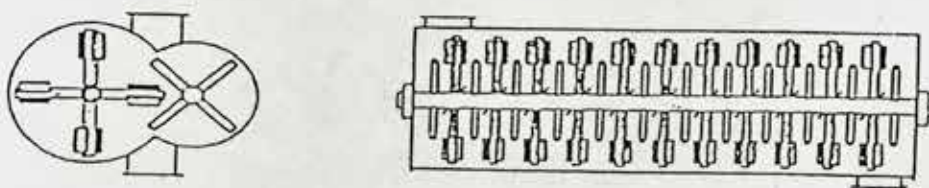


Fig. 16 Esquema acondicionador de diámetro diferencial y velocidad variable

2.9.- IMPORTANCIA DE LA HUMEDAD EN EL PROCESO DE EXTRUSION

La humedad en forma de vapor que se inyecta en el área de preacondicionamiento y en el cilindro extrusor contiene energía adicional para la cocción. Esta energía aumenta la capacidad de producción y reduce el tamaño del motor principal de impulsión.

La presencia de humedad ayuda en la gelatinización de almidones y desnaturaliza las proteínas. El preacondicionamiento suaviza y humedece la materia prima, lo que disminuye la calidad abrasiva del material cuando pasa por el cilindro extrusor, reduce el desgaste del extrusor y, por ende, los costos de operación. La extrusión con niveles de humedad bajos provoca una baja aceptación del alimento, pérdida de vitaminas y destrucción de los aminoácidos a consecuencia de un mayor desgaste en el cilindro extrusor. Estudios realizados demuestran que el contenido óptimo de humedad es de alrededor de 27%. El costo de operación del extrusor se incrementa exponencialmente debajo del 27% y se nivela a partir de esa cifra. (ver Figura 17)

Cuando se extruye con un 27% de humedad, se debe reducir el contenido de humedad del producto para que pueda almacenarse en buenas condiciones. Esta fase de deshidratación se compensa, pues mientras el costo de electricidad y el desgaste durante el proceso de reducción de humedad (de 27% a 15%) se incrementa exponencialmente, los costos de agua, vapor y deshidratación disminuyen de manera lineal.

COSTOS DE
OPERACION DEL EXTRUSOR
POR TONELADA

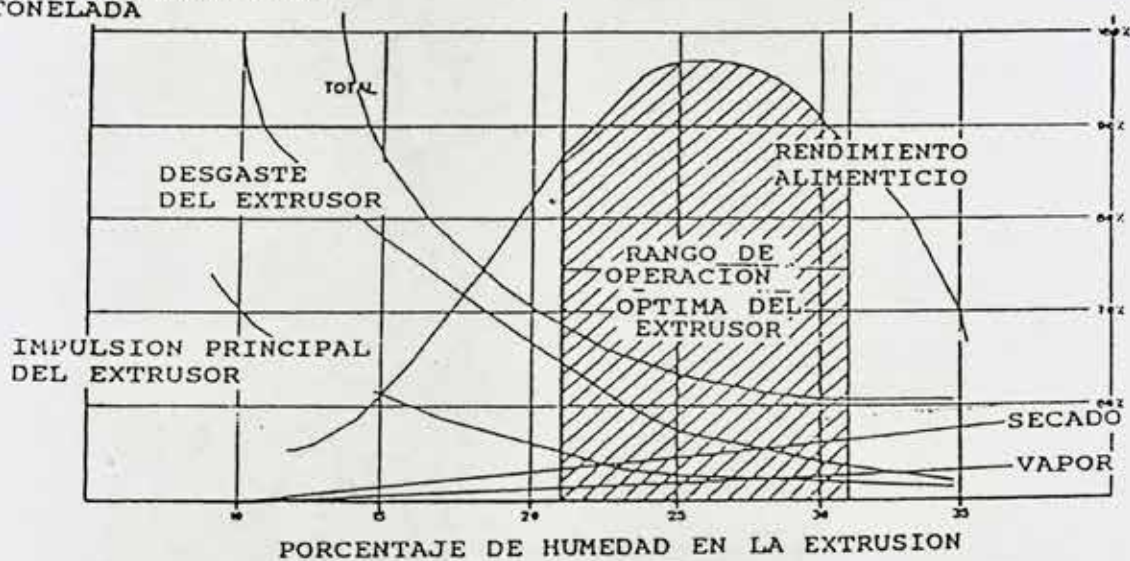


Fig.17 Costos de operación/Tonelada
Fuente: Kearns (1990)

2.10.- VENTAJAS DE LA EXTRUSION-COCCION

- 1) Permite la gelatinización de los almidones con captación de agua, mejorando la digestibilidad y la disponibilidad calórica. Adicionalmente, mejoran sus características funcionales. Los almidones gelatinizados se unen a las proteínas, colorantes y saborizantes, en una mezcla íntima. Las proteínas se coagulan en forma parcial, mejorando también su digestibilidad.
- 2) Provoca la inactivación de factores inhibidores del crecimiento de tipo termolábil, y de factores antipalatables presentes en la semilla. La alta temperatura necesaria para eliminar dichos factores, no atenta contra la calidad nutritiva de la mezcla, ya que se aplica durante un breve tiempo (alta temperatura/corto tiempo).
- 3) Los costos de mantención y de operación por tonelada, son más bajos que cualquier otro método conocido de cocción industrial.
- 4) Las partes del extrusor son fácilmente desmontables, lo que facilita su limpieza; el recuento microbiológico es bajo, y los insectos, larvas, no son capaces de sobrevivir al proceso.
- 5) El tratamiento térmico de extrusión permite inactivar enzimas deteriorantes de materias grasas de las harinas, como las lipasas y lipoxigenasas, que catalizan reacciones químicas, originando la formación de mono y diglicéridos, compuestos fácilmente enranciables.

- 6) Los extrusores pueden producir un amplio rango de productos, con variedad de formas, tamaños, texturas, densidad y características de rehidratación. A la vez que pueden cocer una amplia gama de materias primas, como las harinas de cereales, leguminosas, de tubérculos y almidones.
- 7) Los extrusores tienen la ventaja de trabajar masas con grados de humedad relativamente bajas, ya que en la mayoría de los sistemas convencionales hay que añadir más agua, elemento que posteriormente habrá que eliminar, operación que resulta ser costosa. (13)



CAPITULO III
DESARROLLO EXPERIMENTAL

3.1.- LUGAR DE TRABAJO

De acuerdo a los objetivos planteados, se procedió a realizar pruebas de extrusión a nivel piloto. Estas pruebas se realizaron en la Planta de Procesos de la Corporación de Investigaciones Tecnológicas INTEC-CHILE.

Los análisis de productos se llevaron a cabo en laboratorios del Departamento de Agroindustria y Tecnología de los Alimentos, de la Escuela de Agronomía, en la Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile.

3.2.- CARACTERIZACION DE HARINAS

3.2.1.- Granulometría

Materiales: Grits de Maíz procedentes del Molino Caupolicán S.A.

Método : Método de mallas, utilizando un vibrador eléctrico.

3.2.2.- Humedad

Materiales: Grits de Maíz procedentes del Molino Caupolicán S.A.

Equipos : Estufa marca Thelco modelo 18
Balanza analítica marca Ainsworth

Método : Termogravimétrico, por desecación a 105°C, hasta obtener peso constante

3.3.- PRUEBAS DE EXTRUSION SIMPLE

Se realizaron pruebas de extrusión simple a escala piloto, con el fin de establecer las condiciones óptimas de procesamiento, de tal manera de obtener un producto con el mayor grado de gelatinización, expansión y crocancia.

Materiales: Harina de maíz

Equipos: Mezclador de cubeta Horizontal marca BIGGI (Fig.18)

Extrusor marca WENGER modelo X-20 (Fig. 19)

Las condiciones óptimas, se presentan en la tabla 4.

Fecha	30-05-96
Hora Inicio	10:45
Hora Término	10:50
Cantidad de materia prima utilizada	20 kilos
Matriz	cónica con 2 perforaciones de 4 mm de diámetro
Número de cuchillos	4
Velocidad de los cuchillos	posición 4 del equipo
RPM Tornillo	posición 2 del equipo (394 RPM)
Alimentación	posición 6 del equipo
Preacondicionador	posición 4-5 del equipo
Número de camisas	3, con agua
Tº Ultima camisa	80ºC
Rotámetro preacondicionador	20m ³ /s
Rotámetro camisa	10 m ³ /s

Tabla 4 Condiciones Optimas de proceso

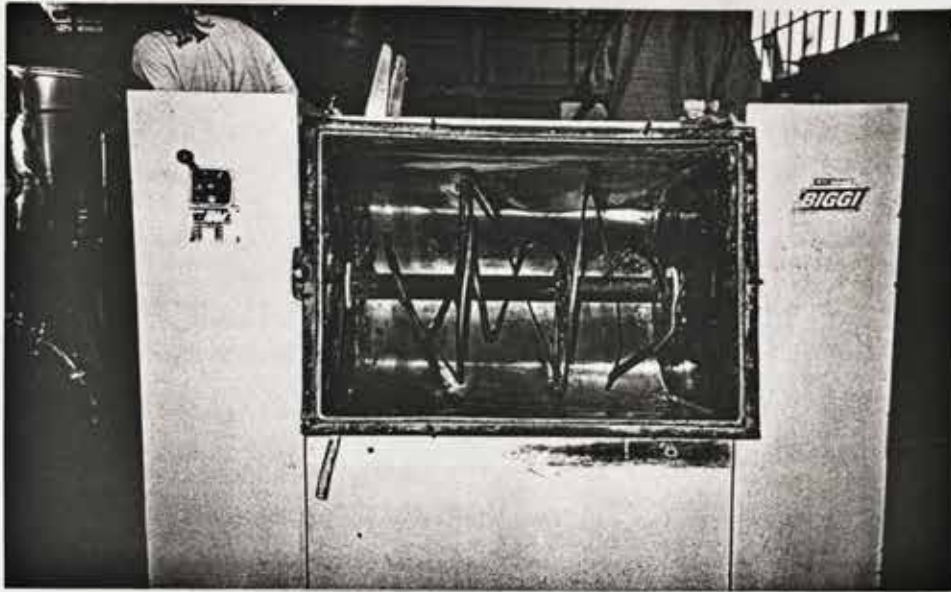


Fig. 18 Mezclador de cubeta horizontal

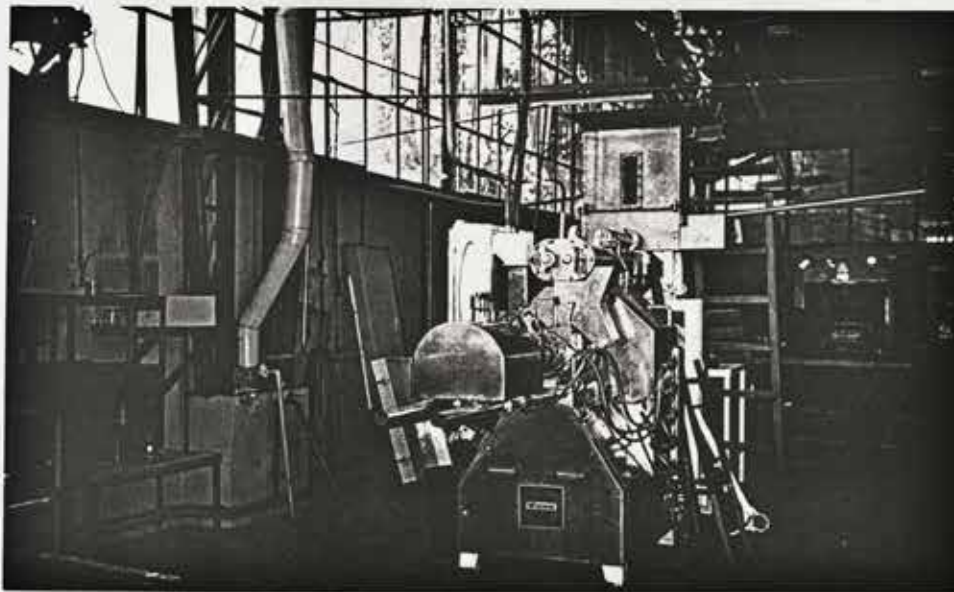


Fig. 19 Extrusor Wenger X-20

3.4.- PRUEBAS CON FORMULACIONES DULCES Y SALADAS

Basados en las condiciones óptimas, obtenidas en la etapa anterior, se realizaron pruebas con formulaciones dulces y saladas.

En primer lugar, se debe destacar que no fue posible operar bajo las condiciones determinadas como ideales en las pruebas de extrusión simple, debido a que la influencia de algunos de los aditivos utilizados tuvo como consecuencia la obtención de productos deficientes; además en estas condiciones el funcionamiento del equipo no fue satisfactorio. Debido a esta razón, las condiciones de operación se modificaron sobre la marcha obteniéndose condiciones distintas para las diversas formulaciones.

Para la confección de las formulaciones se trabajó en base a referencias bibliográficas y a experiencias anteriores realizadas en el equipo (extrusor WENGER X-20), tratando de crear formulaciones distintas a las existentes en el mercado (principalmente queso y caramelo).

3.4.1.- Productos Salados

Ingredientes: Grits de Maíz

Sal

Ajo en polvo

Paprika en polvo

Equipos : Mezclador de cubeta horizontal marca BIGGI

Extrusor WENGER X-20

Se establecieron 3 formulaciones, detalladas en las tablas nº 5 y 7, las formulaciones nº 1 y 2 se obtuvieron bajo las mismas condiciones de operación, que se presentan en la tabla nº6.

Fecha	23-07-96
Hora Inicio	13:50
Hora Término	14:10
Formulación nº1	
Grits maíz	20 kilos
Sal (2,5%)	0,5 kilos
Ajo (1%)	0,2 kilos
Formulación nº2	
Grits maíz	20 kilos
Sal (2,5%)	0,5 kilos
Paprika (1%)	0,2 kilos

Tabla 5 Formulaciones saladas

Matriz	cónica con 3 perforaciones de 4 mm de diámetro
Número de cuchillos	4
Velocidad de los cuchillos RPM Tornillo	posición 5 del equipo posición 2 del equipo (394 RPM)
Alimentación	posición 4 y 5 del equipo
Preacondicionador	posición 4 del equipo
Número de camisas	3, con vapor
Tº Última camisa	112ºC
Rotámetro preacondicionador	20 m³/s
Rotámetro camisa	20 m³/s

Tabla 6 Condiciones de operación

En la tabla 7 se muestra la formulación n°3, y en la tabla n°8 las condiciones de operación respectivas.

Fecha	25-07-96
Hora Inicio	13:00
Hora Término	14:45
Formulación n°3	
Grits maíz	20 kilos
Sal (2,5%)	0,5 kilos
Ajo (0,5%)	0,1 kilos
Paprika (0,5%)	0,1 kilos

Tabla 7 Formulación salada

Matriz	cónica con 3 perforaciones de 4 mm de diámetro
Número de cuchillos	4
Velocidad de los cuchillos	posición 5 del equipo
RPM Tornillo	posición 2 del equipo (394 RPM)
Alimentación	posición 5 del equipo
Preacondicionador	posición 4 del equipo
Número de camisas	3, con vapor
Tº Última camisa	130ºC
Rotámetro preacondicionador	0 m ³ /s
Rotámetro camisa	20 m ³ /s

Tabla 8 Condiciones de proceso

3.4.2.- Productos dulces

Ingredientes: Grits de maíz

Azúcar

Sal

Caramelo líquido

Vainilla en polvo

Butter scotch líquido

Equipos : Mezclador de cubeta horizontal marca BIGGI

Extrusor WENGER X-20

En la tabla 9 se muestran las formulaciones de productos dulces, y en la tabla 10 las condiciones bajo las cuales se obtuvieron los productos.

Fecha	26-07-96	
Hora Inicio	12:15	
Hora Término	12:55	
Formulación nº8		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (15%)	1,5	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Formulación nº 9		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (15%)	1,5	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Vainilla (1%)	0,1	kilos
Formulación nº10		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (15%)	1,5	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Butter scotch (1%)	0,1	kilos
Formulación nº11		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (18%)	1,8	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Formulación nº12		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (18%)	1,8	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Vainilla (1%)	0,1	kilos
Formulación nº 13		
Grits maíz	10	kilos
Azúcar (18%)	1,8	kilos
Caramelo (2%)	0,2	kilos
Sal (1,5%)	0,15	kilos
Butter scotch) (1%)	0,1	kilos

Tabla 9 Formulaciones dulces

Matriz	cónica con 3 perforaciones de 4 mm de diámetro
Número de cuchillos	4
Velocidad de los cuchillos	posición 7 del equipo
RPM Tornillo	posición 2,5 del equipo (460 RPM)
Alimentación	posición 7 del equipo
Preacondicionador	posición 5 del equipo
Número de camisas	3, sin agua y vapor
T ₂ Última camisa	130°C
Rotámetro preacondicionador	0 m ³ /s
Rotámetro camisa	0 m ³ /s

Tabla 10 Condiciones de proceso

3.5.- ANALISIS DE PRODUCTOS

Los productos obtenidos en la extrusión simple y las formulaciones se aprecian en las figuras 20, 21, 22. Para la realización de los análisis se eligieron 3 muestras de productos salados y 3 productos dulces, además del producto extruído base o blanco obtenido bajo las condiciones óptimas; se sometieron a análisis físico-químicos de humedad, actividad de agua, solubilidad en agua, absorción de agua, densidad, gelatinización, sensorial de calidad y aceptabilidad.



Fig. 20 Muestra de producto dulce



Fig. 21 Muestra de producto salado



Fig. 22 Comparación de productos

3.5.1.- Humedad

Materiales: extruídos blanco, dulces y salados

Equipos : Estufa THELCO modelo 18

Método : Termogravimétrico, por desecación a 105°C hasta obtener peso constante.

3.5.2.- Actividad de agua

Materiales: extruídos blanco, dulces y salados

Equipos : Medidor de actividad de agua Aw-werth marca LUFFT

Método :

1) Calibración de la cabeza de medición a 20°C

1.1.- Poner 4 discos de papel de calibración en el recipiente de prueba.

1.2.- Poner una solución de cloruro de bario en el recipiente de prueba hasta que los discos se hayan embebido, sacando el exceso.

1.3.- Poner la cabeza de medición del equipo sobre el recipiente de prueba y asegurarlo mediante un giro.

1.4.- Luego de 3 horas ajustar la cabeza de medición del Aw-werth a un valor de 90 en el tornillo de ajuste con la llave de ajuste adjunta. Antes de la lectura golpear con el dedo la caja de aislapol para evitar errores de lectura.

1.5.- Después de la medición, limpiar escrupulosamente el recipiente calibrador, poner nuevamente el recipiente de medición (en el caso de dejar un recipiente sólo para la calibración).

2) **Medición entre 15°C - 25°C**

- 2.1.- La cabeza de medición calibrada ponerla y asegurarla (gírala).
- 2.2.- Luego de 3 horas leer el Aw-werth (antes de la lectura golpear lateralmente con el dedo la caja de aislapol).
- 2.3.- Limpiar el recipiente del medidor escrupulosamente y colocar el recipiente de medición nuevamente.

El factor de corrección para valores de temperatura entre 15-25 °C del equipo Aw-werth marca Lufft está en la tabla 11.

Temperatura °C	Factor de corrección
15	-0.010
16	-0.008
17	-0.006
18	-0.004
19	-0.002
20	0.000
21	+0.002
22	+0.004
23	+0.006
24	+0.008
25	+0.010

Tabla 11 Factor de corrección para Aw

3.5.3.- Solubilidad en agua y Absorción de agua

Materiales: Extruidos blanco, dulces y salados

Equipos: Centrifuga International Equipment Co. modelo hn-s

Agitador Arthur H. Thomas modelo Atlab

Estufa Thelco modelo 18

Método: Se determinaron según el método propuesto por Anderson et al (14), modificado: 2,0 gramos de muestra pasados por un tamiz de malla 60 se suspenden en 24 ml de agua destilada a 30°C; se agitan por 30 minutos y se centrifugan a 5400 RPM durante 10 minutos. El sobrenadante se separa para ser secado en estufa a 105°C durante 8 horas. Los sólidos solubles secos sirven para calcular el Índice de Solubilidad en agua (ISA), el que se expresa como gramos de sólidos solubles por 100 gramos de muestra seca. El gel remanente se utiliza para obtener el Índice de Absorción de agua (IAA), que se expresa como gramos de gel obtenido por gramo de muestra seca.

3.5.4.- Densidad aparente

Materiales: extruidos blanco, dulces y salados

Método: La densidad aparente (DA) se determina por simple relación de peso y volumen de una muestra molida de 10 gramos en una probeta de 100 ml.

3.5.5.- Índice de Gelatinización (IG)

Materiales: Extruidos blanco, dulces y salados

Buffer acetato 4M

Amiloglucosidasa

Glucotest de Sigma Diagnostics

Método : El método se basa en la susceptibilidad del almidón cocido o gelatinizado a ser hidrolizado a glucosa por la enzima glucoamilasa o amiloglucosidasa (Ryzopus) respectivamente. El almidón no gelatinizado en cambio, no es degradado por la enzima. La muestra sometida a cocción y la no cocida se someten a la acción de la enzima y finalmente se determina la glucosa liberada en ambas por el método de la glucosa oxidasa-peroxidasa. (15)

Etapas I Hidrólisis

- a) Se pesan 0,5 gramos de producto en dos matraces Erlenmeyer de 250 ml previamente secos y pesados.
- b) Se suspende el producto en 25 ml de agua destilada y se calienta hasta disolución (aprox. 30-40°C).
- c) Se somete a ebullición uno de los matraces durante 35 minutos tapado con papel aluminio (baño María).
- d) El otro matraz se deja reposando a temperatura ambiente.

- e) Enfriar los matraces a una temperatura igual o inferior a 55°C y adicionar 2,5 ml de buffer acetato 4M, pH 4,8 a ambos matraces.
- f) Completar a 45 gramos +/- 1 de peso con agua destilada.
- g) Sumergir los matraces en baño termorregulado a 55°C y adicionar 1 ml de solución glucoamilasa 100 U/ml.
- h) Agitar los matraces periódicamente durante la hidrólisis que se prolonga por espacio de dos horas.
- i) Filtrar el contenido de los matraces por papel filtro Whatman #40 o equivalente y lavar cuantitativamente con agua destilada aforando finalmente a 100 ml.

Etapa II Preparación del Glucotest

El Kit de glucotest marca SIGMA está compuesto por:

Enzimas PGO (Nº 510-6)

Dihidrocloride o-Dianisidina (Nº 510-50)

Solución estandar de glucosa (100 mg/dl) (Nº 635-100)

Solución de hidróxido de Bario 0,3 N (Nº 14.3)

Solución de sulfato de Zinc 0,3 N (Nº 14.4)

Preparación de los siguientes reactivos

- a) Solución enzimática: Adicionar el contenido de una cápsula de enzimas PGO (510-6) a 100 ml de agua destilada.
Disolver totalmente.
- b) Solución de reactivos colorantes: Se reconstituye un frasco de Dihidrocloride o-Dianisidina (510-50) con 20 ml de agua destilada.
- c) Solución combinada enzimas-reactivos colorantes: Se prepara combinando 100 ml de solución enzimática con 1,6 ml de solución de reactivos colorantes. Homogenizar bien.

Almacenamiento

Conservar las enzimas PGO, Dihidrocloride o-Dianisidina y la solución standar de glucosa a temperaturas de 2-6 °C. Las soluciones de hidróxido de bario y Zinc se pueden almacenar a temperatura ambiente (18-26°C).

Etapa III Calibración del método

La absorbancia de soluciones standar es utilizada para calcular la concentración de glucosa de las muestras. Se ha establecido que la Ley de Beer sólo es válida hasta concentraciones no superiores de 300 mg de glucosa/dl. Debido a esto se recomienda verificar la respuesta de cada instrumento en particular.

Para esto se deben realizar los siguientes pasos:

Preparar soluciones standard de glucosa equivalentes a 100, 200 y 300 mg/dl. Determinar la absorbancia de estas soluciones según el procedimiento usado para plasma o serum.

Realizar una curva de calibración usando los standars de glucosa como variables independientes en la abcisa y la absorbancia de cada una de estas soluciones en la ordenada. Uniendo los puntos del sistema se debería poder trazar una línea que fuese lineal y pasara por el origen para poder verificar la Ley de Beer.

El nivel mínimo de glucosa dentro del cual la ley de Beer se cumple son 25 mg de glucosa/dl.

Etapas VI Determinación de la glucosa

Existen dos procedimientos que pueden ser utilizados en la determinación de glucosa por medio del glucotest de Sigma.

- a) Aplicación directa, utilizable para serum o plasma.
- b) Aplicación previa desproteinización de los filtrados, utilizable para sangre entera.

- b) Aplicación para el uso en sangre entera desproteinizada.
- 1) Marcar 4 o más tubos de ensayo con: blanco, standar, test A, test B, etc.
 - 2) A cada tubo adicionar 1,8 ml de agua destilada.
 - 3) Al blanco adicionar 0,2 ml de agua destilada, al standard adicionar 0,2 ml de solución de glucosa standar (Nº 635-100). A cada test adicionar 0,2 ml de muestra. Agitar suavemente de manera de asegurar una buena homogenización.
 - 4)
 - a) A cada tubo de ensayo agregar 1,0 ml de solución de hidróxido de bario (Nº 14-3) y mezclar bien.
 - b) Luego a cada tubo adicionar 1,0 ml de solución de sulfato de zinc (14-4). Tapar bien el tubo y agitar fuertemente.
 - c) Filtrar o centrifugar de manera de obtener un sobrenadante claro y transparente (10 minutos máximo)
 - 5) Transferir 0,5 ml del sobrenadante claro de cada tubo a otra serie de tubos limpios y secos.
 - 6) A cada tubo adicionar 5,0 ml de solución combinada enzimas-reactivos colorantes y mezclar bien.
 - 7) Incubar todos los tubos a 37 °C por 30 +/- 5 minutos o a temperatura ambiente (18-26°C) por 45 minutos.

Nota: evitar exposición directa al sol o iluminación muy fuerte.

8) Al final de la incubación sacar los tubos del baño María y leer la absorbancia del standar y los test usando el blanco como referencia a 425-475 nm (450).

Nota: Las lecturas deben completarse al cabo de 30 minutos.

9) Cálculo de los valores

$$\text{Glucosa [mg/dl]} = \frac{\text{Abs. test (1,2,3,4)}}{\text{Abs. standar}} * 100$$

Nota: Si el test resulta mayor que 300 mg/dl, repetir usando una disolución de 40 veces en vez de 20, tal como se indica en el punto 2 y multiplique el resultado por 2.

Nota: Es importante que los valores de glucosa obtenidos estén dentro del rango fijado entre 25-300 mg de glucosa por dl. De no funcionar las alternativas expuestas habría que entrar a cambiar la concentración de la muestra durante el lavado cuantitativo de la etapa I paso i.

Etapa V Cálculo del % de gelatinización

El porcentaje de gelatinización se obtiene de la siguiente relación

$$\% \text{ gelatinización} = \frac{\text{mg glucosa liberada por muestra no ebullida}}{\text{mg glucosa liberada por muestra ebullida}}$$

3.5.6.- Evaluación sensorial

Las muestra seleccionadas para ser analizadas se sometieron a un secado para lograr una humedad uniforme, quedando con una humedad aproximada de 4%. Luego se sometieron a análisis de calidad y aceptabilidad sensorial.

3.5.6.1.- Calidad sensorial

Para determinar los parámetros de calidad se usó el método de Scoring con puntaje simple; este método consiste en calificar una o varias muestras en base a una pauta de valores de 1 a 9 puntos. Los parámetros considerados para la calidad fueron: apariencia, color, aroma, salado o dulzor, amargor, textura y crocancia. Los jueces que realizaron la evaluación fueron 12 jueces entrenados.

Las pautas de calificación utilizadas fueron las que se presentan en las tablas 12 a 19

COLOR	
Extremadamente alto, oscuro	9
Muy oscuro	8
Alto	7
Levemente oscuro	6
Moderado	5
Levemente bajo, claro, pálido	4
Bajo	3
Muy pálido	2
Sin color	1

Tabla 12 pauta de calificación color

AROMA	
Extremadamente aromático	9
Muy aromático	8
Aromático	7
Levemente alto	6
Moderado	5
Levemente bajo	4
Bajo	3
Muy bajo	2
Sin aroma	1

Tabla 13 Pauta de calificación aroma

DULZOR	
Extremadamente dulce	9
Muy dulce	8
Dulce	7
Levemente alto	6
Moderado	5
Levemente suave	4
Suave	3
Muy suave	2
Sin dulzor	1

Tabla 14 Pauta de calificación dulzor

INTENSIDAD DE SAL	
Extremadamente salado	9
Muy salado	8
Salado	7
Levemente alto	6
Moderado	5
Levemente suave	4
Suave	3
Muy suave	2
Sin sal	1

Tabla 15 Pauta de calificación salado

SABOR	
Extremadamente alto	9
Muy alto	8
Alto	7
Levemente alto	6
Moderado	5
Levemente bajo	4
Bajo	3
Muy bajo	2
Insípido, Sin sabor	1

Tabla 16 Pauta de calificación sabor

En color, aroma, dulzor, salado y sabor el puntaje ideal es cercano a 5,00 bajo este le falta color o aroma o sabor y sobre este puntaje son más intensos.

APARIENCIA Y TEXTURA	
Excelente	9
Muy buena	8
Buena	7
Más que regular	6
Regular	5
Menos que regular	4
Deficiente	3
Mala	2
Muy mala	1

Tabla 17 Pauta de calificación apariencia y textura

Para la apariencia y textura lo ideal es de 5,5 a 9,0, mientras más alto mejor

AMARGOR	
Extremadamente amargo	9
Muy amargo	8
Amargo	7
Levemente alto	6
Moderado	5
Levemente suave	4
Suave	3
Muy suave	2
Sin amargo	1

Tabla 18 Pauta de calificación amargor

En el caso del amargor, el puntaje ideal es el que oscila entre 1,00 y 2,00, lo que corresponde a "sin amargor" y "muy suave" respectivamente.

CROCANCIA	
Extremadamente duro	9
Muy duro	8
Duro	7
Levemente duro	6
Crocancia Normal	5
Algo blanda	4
Blanda	3
Muy blanda	2
Extremadamente blanda	1

Tabla 19 Pauta de calificación crocancia

Para la crocancia el puntaje ideal es 5,0, lo que corresponde a una crocancia moderada, bajo este puntaje está falta de crocancia y sobre él, se trata de un producto duro.

3.5.6.2.- Aceptabilidad sensorial

Para la determinación de aceptabilidad se utilizó el método de Escala Hedónica, considerándose la opinión de 12 panelistas entrenados y 12 no entrenados, con el fin de representar la opinión del consumidor común.

La pauta de calificación utilizada fue la que se presenta en la tabla 20.

ACEPTABILIDAD	
Me gusta extremadamente	9
Me gusta mucho	8
Me gusta medianamente	7
Me gusta algo	6
No me gusta ni me disgusta	5
Me disgusta algo	4
Me disgusta poco	3
Me disgusta mucho	2
Me disgusta extremadamente	1

Tabla 20 Escala hedónica

Puntajes entre 5,45 y 9,0 las muestras son aceptadas. Entre 1,0 y 4,44 son rechazadas y los puntajes entre 4,45 y 5,44 quedan en zona de indiferencia.

CAPITULO IV
R E S U L T A D O S Y D I S C U S I O N

4.1.- CARACTERIZACION DE HARINA

En la tabla 21 se presentan los resultados de los análisis de granulometría y humedad de la harina.

Análisis	Resultado
Granulometría	0,8 mm
Humedad	13,43%

Tabla 21 Caracterización harinas

4.2.- ANALISIS FISICO-QUIMICOS DE PRODUCTOS

Se presentan a continuación (tabla 22) los resultados obtenidos para cada uno de los análisis realizados.

Producto Blanco

Análisis	Resultado
Humedad	9.3%
Aw	0.65
ISA	4.44 g/100g
IAA	3.16 g/g
DA	245.9 g/L
IG	--

Tabla 22 Resultados análisis físico/químicos blanco

En la tabla 23 se muestran los resultados de los análisis físico-químicos que se le realizaron a las formulaciones.

Analisis	form.1	form 2.	form.3	form.11	form.12	form.13
Humedad	5.61	5.79	4.55	4.37	4.89	4.91
Aw	0.446	0.486	0.532	0.455	0.462	0.452
ISA	5.32	14.62	14.94	11.37	10.8	11.69
IAA	2.29	4.20	3.80	3.32	2.15	2.17
DA	323.4	357.3	186.9	476.7	625.3	25.3
IG	--	72.85	91.63	--	--	--

Tabla 23 Resultados análisis físico/químicos formulaciones

En los gráficos 1, 2 y 3 se comparan los valores obtenidos por el producto blanco y las formulaciones en los análisis físico-químicos.

Grafico n° 1 HUMEDAD Y ACTIVIDAD DE AGUA

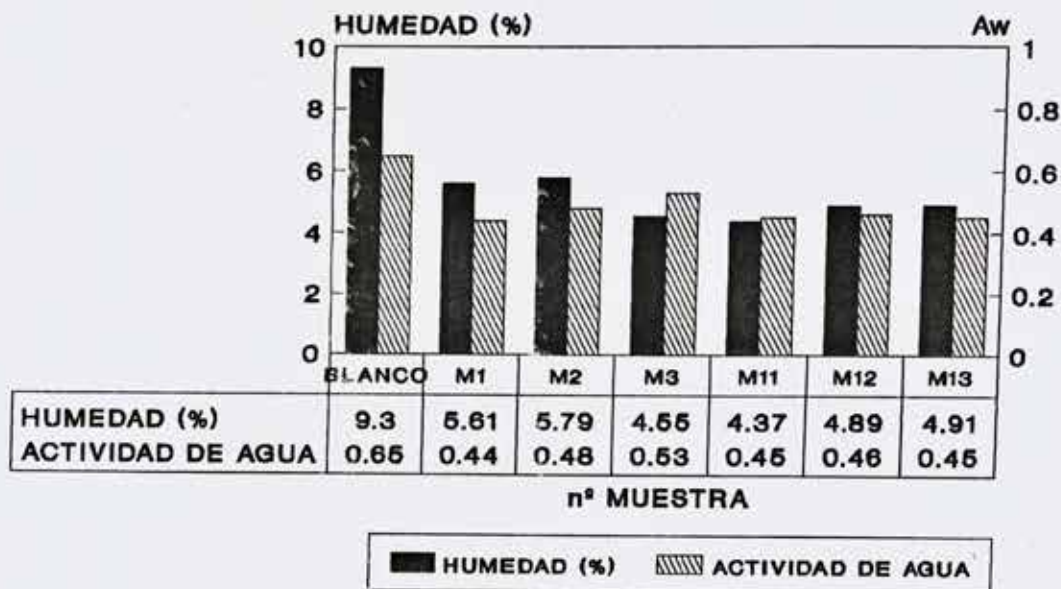


Figura 23

1.- Humedad y Actividad de agua: La humedad y actividad de agua entregan información respecto a la estabilidad del producto frente a los microorganismos y otros fenómenos de deterioro durante el almacenamiento. Como se observa en la figura 23 los valores de humedad de las muestras de formulaciones saladas (M1, M2, M3) son más altos, debido a que durante su proceso se trabajó a niveles altos de inyección de agua en el preacondicionador, en relación al nivel nulo de inyección de agua de las formulaciones dulces (M11, M12, M13).

Sin embargo, y a pesar de las pequeñas fluctuaciones en los valores de humedad (todos menores al 6%) y Aw (bajo 0.55), los productos se encuentran en condiciones de estabilidad tal que no deberían presentar alteraciones en el tiempo debido a las causas mencionadas anteriormente.

Grafico n° 2

ISA e IAA

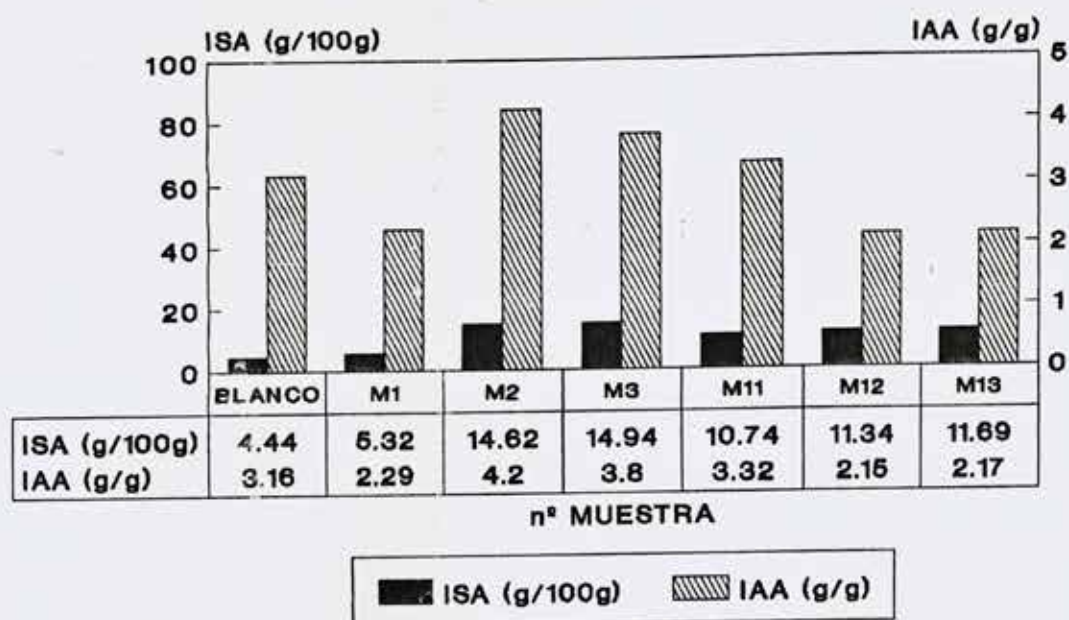


Figura 24

2.- ISA e IAA: El Índice de absorción de agua (IAA) entrega una idea de la capacidad que tiene 1 gramo de gel para absorber agua, o su insolubilidad en agua y de la capacidad de hinchamiento de los gránulos de almidón, lo que es una medida indirecta del grado de gelatinización de almidones. De esta manera, mientras aumente el grado de cocción o gelatinización y se mantenga constante la morfología de los gránulos, éste índice irá aumentando. Cuando el tratamiento, dentro del extrusor, es tal que la integridad de los gránulos es suficientemente alterada, los valores de absorción comienzan a disminuir.

El Índice de solubilidad en agua (ISA) expresa el porcentaje de sólidos disueltos en el sobrenadante. Es conveniente lograr un alto índice de solubilidad, sobre todo si se desea elaborar productos como sustitutos lácteos o cereales para el desayuno. Sin embargo, el ideal es que estos valores sean lo más alto para que el producto sea más soluble y por lo tanto digerible.

En la figura 24 se aprecia que las muestras M2 y M3 presentan los índices de absorción de agua y solubilidad en agua más altos, en el caso de los productos dulces los valores de las muestras M12 y M13 son similares. En este caso los valores obtenidos son considerados como aceptables para este tipo de productos (snacks).

Grafico nº 3 DENSIDAD APARENTE

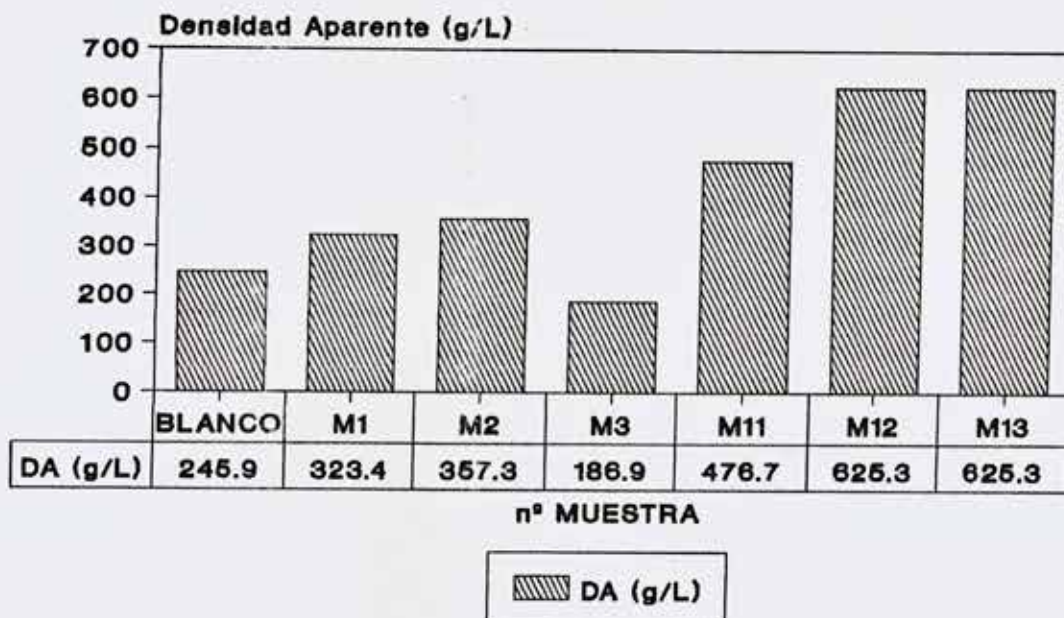


Figura nº 25

3.- Densidad aparente: La dilatación o expansión es una de las acciones características de un extrusor destinado a la elaboración de snacks. Los extruidos dilatados contienen burbujas de aire en su interior, lo que les confiere una estructura crujiente, de bajo contenido de humedad y peso específico. Este índice es útil para poder tener una idea acerca del grado de dilatación del extruido y del volumen que ocupará el producto en las zonas de almacenamiento y en los envases. Las muestras M1 y M2 obtuvieron los valores más altos en las formulaciones saladas junto con las muestras M12 y M13 (dulces).

4.- Índice de gelatinización: Este índice indica el grado de cocción de producto. Los análisis de gelatinización no pudieron realizarse en la totalidad de los productos.

4.3.- EVALUACION SENSORIAL

La tabla 24 muestra los puntajes obtenidos por los productos salados en la evaluación de los parámetros de calidad sensorial.

Parámetro	Puntaje ideal	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3
Apariencia	6-9	6.83	7.25	6.83
Color	5.0	4.67	5.50	4.58
Aroma	5.0	3.50	3.58	3.08
Salado	5.0	4.67	4.25	4.00
Amargor	1-2	2.42	2.50	2.25
Sabor	5.0	4.83	4.67	4.50
Crocancia	5.0	5.75	5.83	4.25
Textura	6-9	6.33	6.42	5.33

Tabla 24 Puntajes calidad sensorial snacks salados

En apariencia la muestra 2 fue significativamente mejor calificada; las otras formulaciones obtuvieron puntajes cercanos a 7, lo que corresponde a una apariencia buena.

En relación al color, la muestra 2 presenta una calificación mayor, lo que corresponde a un color más intenso; esta coloración se debe a la utilización de paprika como aditivo saborizante.

Con respecto al aroma las muestras presentan una baja intensidad.

En cuanto al salado, la muestra que presenta un valor más cercano al ideal es la muestra 1; las otras muestras estarían faltas de sal.

El amargor de todas las muestras fue calificado como "suave", pero esta característica debería haber sido calificada con una nota menor, ya que esta es una característica indeseable en este tipo de producto.

En relación al sabor las muestras presentaron buenos puntajes (cerca al ideal) destacándose la muestra 1.

Los mejores valores de textura fueron obtenidos por las muestras 1 y 2, siendo deficientemente calificada la muestra 3.

Las muestras 1 y 2 fueron calificadas como "levemente duras" y la muestra 3 como "levemente blanda".

En el gráfico nº4 se comparan las calificaciones en puntaje obtenidas por las muestras saladas en la evaluación de calidad sensorial.

Los puntajes de calidad sensorial obtenidos por las formulaciones dulces están en la tabla 26.

Parámetro	Puntaje ideal	Muest. 11	Muest. 12	Muest. 13
Apariencia	6-9	6.33	4.75	4.08
Color	5.0	4.67	5.67	6.58
Aroma	5.0	3.42	3.42	3.83
Dulzor	5.0	3.75	3.92	4.67
Amargor	1-2	1.50	1.67	1.83
Sabor	5.0	4.08	4.83	4.92
Crocancia	5.0	5.50	5.75	7.00
Textura	6-9	5.67	5.58	4.75

Tabla 26 Puntajes calidad sensorial snacks dulces

La muestra 11 obtuvo el mejor puntaje, en relación a la apariencia; las dos restantes están por debajo de los ideales establecidos.

El color más intenso resultó ser el de la muestra 13, la intensidad del color de la muestra 12 fue "moderado" y la muestra 11 "regular".

Con respecto al aroma, todas las muestras presentaron una baja intensidad.

La muestra 13 presentó la mejor calificación de dulzor, acercándose al ideal; las otras dos muestras presentan una falta de dulzor.

El amargor presentado por las muestras es "suave", lo que se considera como bueno para este producto.

Los puntajes de sabor de las muestras indican que este parámetro estaría relacionado con el dulzor, la muestra 13 obtuvo el puntaje más cercano al ideal.

La crocancia de la muestra 11 es la que se acerca más a la crocancia normal, la calificación de la muestra 13 corresponde a un producto "duro".

En el parámetro textura las muestras 11 y 12 presentan una calificación cercana a la ideal; la muestra 13 presenta una textura "regular".

En el gráfico nº6 se comparan las calificaciones en puntaje obtenidas por las muestras dulces en la evaluación de calidad sensorial.

Grafico nº6 Evaluación Sensorial de Calidad Snacks Dulces

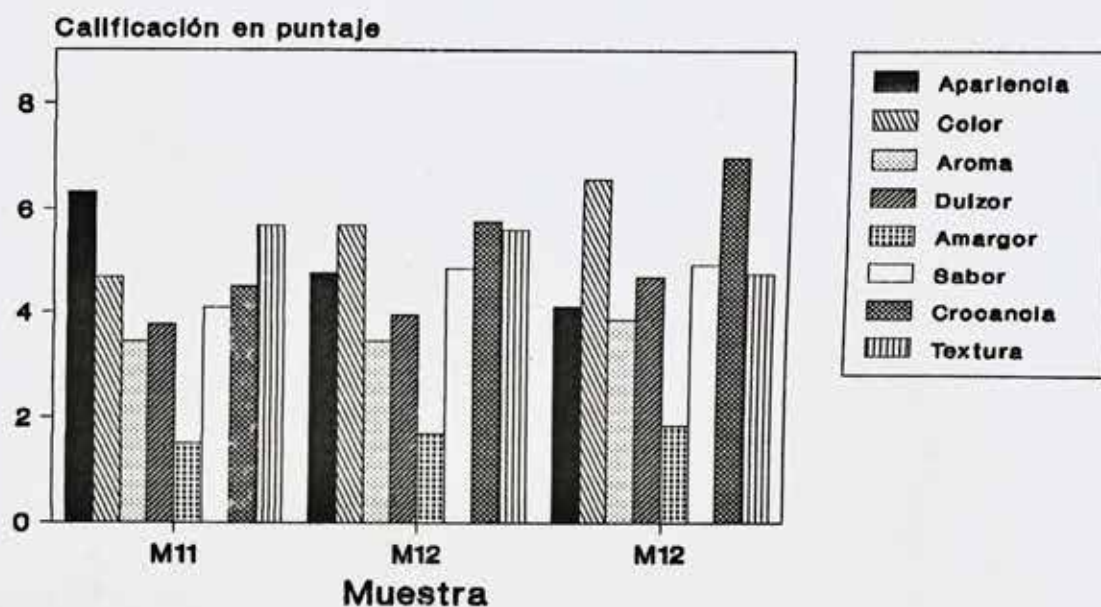


Figura 28

La aceptabilidad de los snacks dulces se presenta en la tabla 27, donde se puede apreciar que la aceptabilidad de la muestra 11 fue la de mayor puntaje. Es importante notar el alto porcentaje de rechazo obtenido por la muestra 13.

En el gráfico nº7 se comparan las calificaciones en porcentaje obtenidas por las muestras dulces en la evaluación de aceptabilidad sensorial.

Parámetro	Muestra 11	Muestra 12	Muestra 13
% Aceptabilidad	54.17	50.00	33.33
%Indiferencia	20.83	12.50	12.50
%Rechazo	25.00	37.50	54.17

Tabla 27 Aceptabilidad snacks dulces

Gráfico nº7 Evaluación Sensorial de Aceptabilidad Snacks Dulces

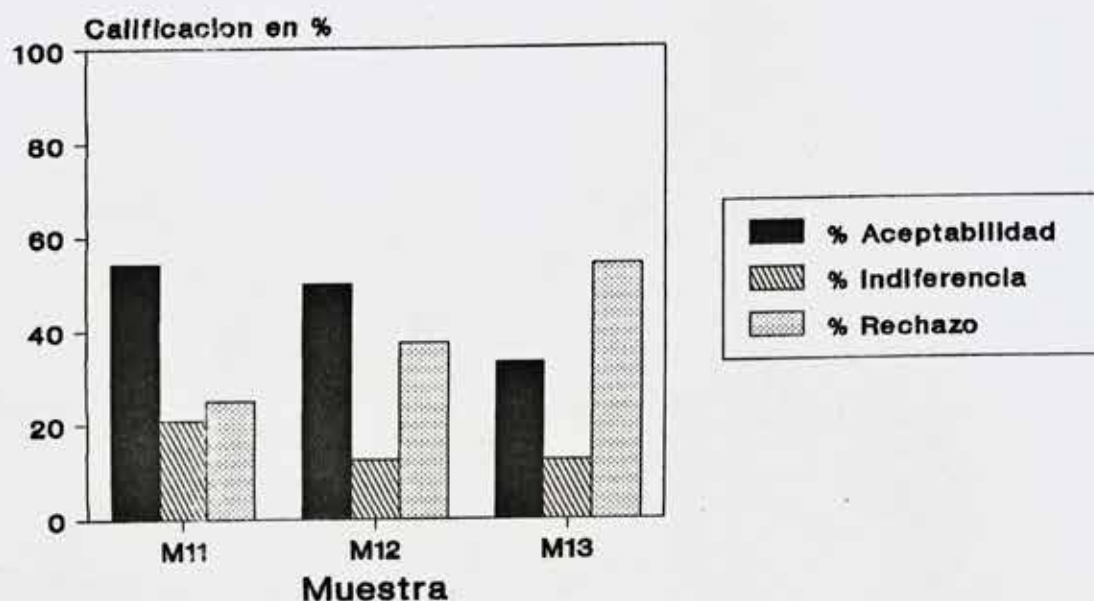


Figura 29

CAPITULO V
CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados para este trabajo, se lograron establecer los parámetros técnicos tales como la composición de las materias primas y la configuración del equipo extrusor necesarios para obtener snacks de 2ª generación, los que posteriormente fueron sometidos a análisis físico-químicos y sensoriales, que permitieron caracterizar los productos obtenidos.

Se obtuvieron dos variedades de productos, salados y dulces; resultando ser mejores, tanto en el aspecto sensorial como tecnológico, las variedades correspondientes a los productos de formulaciones saladas; particularmente, la muestra nº2 obtuvo los resultados más satisfactorios tales como baja actividad de agua, buenas características de solubilidad en agua, una calidad sensorial aceptable y una aceptabilidad moderada. En cuanto a las muestras dulces, la que presenta mejores características fue la muestra nº11. Los resultados de los análisis realizados a estas muestras fueron notoriamente más bajos que los realizados a los productos salados; esto se debe principalmente a que la utilización del caramelo líquido, presente en todas las formulaciones dulces, como aditivo colorante produjo una depresión en la calidad y un rechazo en los consumidores acostumbrados a productos de color más natural y característicos de la harina de maíz.

El proceso de extrusión es muy sensible a las características de las materias primas utilizadas, como por ejemplo granulometría y humedad de la harina y, especialmente el uso de aditivos líquidos, que provocan alteraciones en el comportamiento reológico de la masa durante el proceso de extrusión, lo que conduce a una disminución en el grado de expansión, gelatinización y otros efectos. Estos aditivos deben aplicarse en forma de coberturas para evitar la pérdida de características organolépticas y nutricionales en el producto. Debido a esto, deben establecerse condiciones especiales de operación para cada producto en particular (incluso si se trabaja con coberturas para aplicar los aditivos líquidos).

La extrusión-cocción otorga productos estables en el tiempo y, al ser un proceso donde se aplica una alta temperatura por cortos períodos de tiempo (concepto HTST High temperature - Short time), los productos debieran presentar bajos recuentos microbiológicos, lo que no justificó la realización de ensayos microbiológicos, desde un punto de vista tecnológico y económico.

Los resultados de este trabajo, deberán complementarse con otros más específicos, especialmente respecto a realizar un estudio más acabado de las variables de extrusión como temperatura, humedad y configuración del equipo para obtener productos de calidad uniforme.

CAPITULO VI
B I B L I O G R A F I A

BIBLIOGRAFIA

- 1.- R.J. González, R.L. Torres, D.M. De Greef y N.A. Gordo (1987). "Aplicación del método de la superficie de respuesta al estudio de la extrusión-cocción de sémola de maíz" Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., 27 (2), pp. 252.
- 2.- B. Escobar, A. Estévez, M. Vázquez, V. Castillo, E. Araya (1992). "Aporte calórico-protéico de barras tipo snack elaboradas con cereales y maní" Rev. Aliment., 17, pp. 5-6.
- 3.- Peter Tettweiler (1991). "Snacks Foods Worldwide" Food Technol. February, pp. 58-60
- 4.- Franco Rossi V. (1979). "Teoría de la Extrusión". En: Anales de Seminario sobre extrusión-cocción de alimentos en América Latina. Santiago, Chile. INTEC/OEA 1979. pp. 1-9, 11-12
- 5.- Joseph P. Kearns (1990). "Extrusión de soya integral". En: Memorias del seminario Extrusión en alimentos balanceados, Guadalajara, Jalisco, Mexico 6 de diciembre de 1990. pp. 11-13.
- 6.- Joseph P. Kearns (1990) "Metodo WENGER para la extrusión de alimentos acuícolas". En: Memorias de seminario Extrusión en alimentos balanceados, Guadalajara, Jalisco, Mexico 6 de diciembre de 1990, pp. 57-65.

- 7.- J. M Olhagaray (1979) "Gelatinización de almidones". En: Anales de Seminario sobre extrusión-cocción de alimentos en América Latina. Santiago, Chile. INTEC/OEA 1979. pp. 1-7
- 8.- C. Hosemey (1991). "Principios de Ciencia y Tecnología de los cereales" 1ª Edición, Editorial Acribia S.A. España, pp. 34-38
- 9.- M.H. Gómez and J.M. Aguilera (1984) " A physicochemical Model for Extrusion of Corn Starch". Journal of food science-Volume 49 (1984). pp. 40-429
- 10.- N.L. Kent (1987). "Tecnología de los cereales" 1ª Edición, Editorial Acribia S.A., España, pp. 194-195, 199
- 11.- Neil Frame (1993). "Process Description, Pet and Aquatic Feed Production", WENGER Manufacturing 1993. pp 2-6
- 12.- Galen J. Rokey, Gordon R. Huber (1987) "Extrusión cooking for production of corn based snacks", The snack food association, July 1987. pp. 1-7
- 13.- Ricardo Catricheo Riveros (1983) "Formulación, desarrollo y control de calidad de una mezcla protéica a base de lupino utilizando tecnología de cocción extrusión". pp. 14-16, 26

- 14.- R.A. Anderson, H.F. Conway, V.E. Pfeifer, E.L. Griffin (1969) "Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-cooking" *Cereal Sci. Today*, 14 (4) (1969).
- 15.- AOAC (1984) "Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemist 14ª edición Whashington D.C., pp. 260