

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

**DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIA, TECNOLOGÍA E
INGENIERÍA DE ALIMENTOS**



**ELABORACIÓN DE UN ALIMENTO POR EXTRUSIÓN A
BASE DE MAÍZ CHUNCHO (*Zea mays*) Y FRIJOL
CHICLAYO (*Vigna unguiculata*)**

Tesis

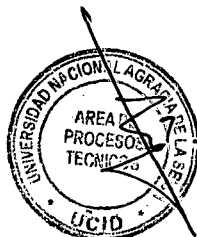
Para optar el Título de:
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

MEZA FLORES, RENZO

PROMOCIÓN 2012 – II

Tingo María – PERÚ

2013



Q02

M49

Meza Florez, Renzo

Elaboración de un alimento por extrusión a base de maíz chuncho (*Zea mays*) frijol Chiclayo (*Vigna unguiculata*) Tingo María 2013

104 páginas; 16 cuadros; 08 figuras; 120 ref.; 30 cm.

Tesis (Ingeniero en Industrias Alimentarias) Universidad Nacional Agraria de la Selva, Tingo María (Perú). Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias.

1. EXTRUSION

2. DENSIDAD

3. VISCOSIDAD

4. ACEPTABILIDAD 5. DIGESTIBILIDAD

6. DIALIZABILIDAD



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo María
FACULTAD DE INGENIERIA EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS
Av. Universitaria s/n. Teléfono (062) 561385 – Fax (062) 561156
Apart. Postal 156 Tingo María E.mail; fia@unas.edu.pe



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos en acto público el 19 de julio de 2013, a horas 4:00 p.m. en la Sala de Grados de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, ubicada en la ciudad de Tingo María, provincia de Leoncio Prado, departamento de Huánuco, para calificar la tesis presentado por el Bach. **MEZA FLOREZ, Renzo**, titulada:

“ELABORACION DE UN ALIMENTO EXTRUIDO A BASE DE MAIZ CHUNCHO (*Zea mays*) Y FRIJOL CHICLAYO (*Vigna unguiculata*)”

Después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas, lo declaran **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO**; en consecuencia la Bachiller, queda apta para recibir el título de **Ingeniero en Industrias Alimentarias** del Consejo Universitario, de conformidad con el Art. 22° de la Ley Universitaria 23733; los artículos 51° y 52° del Estatuto de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

Tingo María, 23 de julio de 2013

Mag. Jorge Castro Gracey
Presidente

Ing. Lauriano Zavaleta de La Cruz
Miembro

Ing. Alfredo Carmona Ruiz
Miembro

Ing. Eduardo Cáceres Almenara
Asesor

DEDICATORIA

A Dios.

Por permitirme llegar a este momento tan especial en mi vida. Por los triunfos y los momentos difíciles que me han enseñado a valorarte cada día más.

A mi familia

Esposa y mi hija por ser el motor para triunfar en la vida sentimental y profesional.

A mis Padres.

Wilberth y Leonor, que siempre están pendientes de mí y que son el pilar de mis objetivos.

A mis Hermanos

Stefany y Nick Por ser una fuente de inspiración en mis proyectos y objetivos.

AGRADECIMIENTO

- A la Dra. Sandy Luz Ovando Chacon, por ser la persona que me ayudo en el camino del logro profesional, por su valiosa contribución y orientación desinteresada y por ser un ejemplo de superación.
- Al Ing. Eduardo Cáceres Almenara, asesor de mi tesis, por su colaboración y aporte de conocimientos en el presente trabajo de investigación y por ser un catedrático de mucho conocimiento.
- Al Ing. Alfredo Abelardo Carmona Ruiz, miembro del jurado calificador de mi tesis, por su apoyo en la realización del presente trabajo de investigación.
- A los docentes de la Facultad de Ingeniería de Industrias Alimentarias, por todos los conocimientos brindados, quienes fueron el pilar de mi formación profesional.
- A mis amigos y compañeros por brindarme su apoyo y motivación en todo el trayecto de la vida universitaria.
- A todas las persona que de una u otra manera ayudaron en la culminación de mi carrera y de este trabajo de investigación.

INDICE

	Pagina
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Antecedentes.....	4
2.1.1. Revalorización de los cereales como alimento.....	4
2.2. Cereales.....	5
2.3. El Proceso de Extrusión.....	7
2.3.1. Tipo de Extrusores.....	9
2.3.2. Principales variables en el proceso de extrusión.....	14
2.3.3. El Almidón: Principal formador de estructura en la Cocción por Extrusión.....	16
2.3.4. Transformaciones del Almidón en los Procesos de coccion.....	19
2.3.5. Evaluación de las Propiedades de los Productos Obtenidos por Extrusión.....	23
2.3.6. Efectos de las variables de extrusión sobre la expansión.....	24
2.3.7. Características reológicas de dispersiones de harinas	25
2.4. Formulación de alimentos de interés social.....	30
2.4.1. Distintos aspectos a tener en cuenta en la formulación de Alimentos.....	30
2.4.2. Algunos ejemplos de productos.....	31

2.4.3. Biodisponibilidad de nutrientes.....	32
2.5. Descripción de las materias primas.....	44
2.5.1. Maíz.....	44
2.5.2. El frijol Chiclayo.....	53
III. MATERIALES Y METODOS.....	59
3.1. Lugar de ejecución.....	59
3.2. Materia prima.....	59
3.3. Materiales.....	59
3.3.1. Materiales de Laboratorio.....	59
3.3.2. Materiales y equipos de procesamiento.....	60
3.3.3. Reactivos y soluciones.....	61
3.4. Método de análisis.....	61
3.4.1. Caracterización de las materias primas.....	61
3.4.2. Evaluación de los parámetros de extrusión y de las características del expandido sin moler.....	61
3.4.2.1. Expansión.....	61
3.4.2.2. Densidad (ρ).....	62
3.4.2.3. Resistencia a la compresión mecánica.....	62
3.4.2.4. Evaluación sensorial.....	63
3.4.3. Evaluación de las harinas extruidas.....	63
3.4.3.1. Obtención de harinas.....	63
3.4.3.2. Solubilidad en agua.....	63
3.4.3.3. Viscosidad de la dispersión de harina.....	64
3.4.4. Evaluación de las características nutricionales.....	65

3.4.4.1. Determinación de digestibilidad in vitro de proteínas.....	65
3.4.4.2. Determinación del contenido aminos libres.....	66
3.4.4.3. Dializabilidad de Fe y Zn.....	67
3.5. Metodología experimental.....	68
3.5.1. Obtención de sémolas.....	69
3.5.1.1. Molienda de los granos de maíz.....	69
3.5.1.2. Molienda de los granos de frijol	69
3.6. Formulación y elaboración del “snack”.....	69
3.7. Diseño experimental.....	71
3.7.1. Caracterización de la materia prima.....	71
3.7.2. Diseño experimental de la extrusión.....	71
3.7.3. Ensayos de extrusión.....	73
3.8. Análisis estadístico.....	73
3.8.1. Evaluación de las muestras.....	73
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	74
4.1. Composición del maíz chuncho, del frijol Chiclayo y de la mezcla.....	74
4.2. Efecto de los factores experimentales en la extrusión sobre las características físicas y organolépticas.....	75
4.3. Análisis de las características reológicas de las dispersiones de harinas obtenidas a partir de las muestras extruidas.....	80
4.4. Evaluación de las características nutricionales.....	82
4.4.1. Calidad proteica.....	82

4.4.1.1. Digestibilidad <i>in vitro</i> de proteínas.....	82
4.4.1.2. Puntaje químico.....	83
4.4.1.3. Contenido y Dializabilidad de Fe y Zn.....	83
V. CONCLUSIONES.....	85
VI. RECOMENDACIONES.....	86
VII. ABSTRACT.....	88
VIII. BIBLIOGRAFIA.....	89

INDICE DE CUADROS

Cuadro	Página
1. Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión.....	15
2. Aspectos a tener en cuenta en la formulación de los alimentos.....	30
3. Distribución de los principales componentes del maíz.....	46
4. Distribución de las fracciones de proteínas en el grano de maíz (composición centesimal en base seca).....	50
5. Composición promedio de minerales del grano de maíz.....	53
6. Composición de minerales de algunas variedades de <i>Vigna unguiculata</i> cultivadas en México.....	57
7. Curva de calibrado para grupos aminos libres.....	66
8. Proporción de los componentes del "Snack.....	70
9. Tratamiento para elaborar el snack.....	71
10. Composición centesimal (en base seca) de las materias primas empleadas.....	74
11. Resultados de los promedios de las características de las muestras en función del diseño experimental correspondientes a las mezclas maíz-fríjol, humedad y azúcar-sal.....	76
12. Resultados del análisis de variancia (P valor) correspondiente a las características de las mezclas extruidas.....	78
13. Coeficientes de consistencia e índices de flujo en función de la	

ecuación de la potencia correspondientes a las dispersiones de harinas de las muestras extrudidas las mezclas maíz- frijol.....	81
14. Resultados del análisis de variancia y polinomios de regresión de las superficies.....	82
15. Puntaje Químico de la mezcla maíz/frijol 80/20 extrudida.....	84
16. Contenido y dializabilidad de Fe y Zn, correspondientes a las muestras del frijol inactivado sin extrudir y de la mezcla maíz/frijol (80/20).....	84

INDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo. (GONZÁLEZ, 1988).....	12
2. Organización del gránulo de almidón a nivel supramolecular (Osella, 2000).....	17
3. Diagrama de las formas físicas del almidón y los métodos de evaluación.....	24
4. Corte transversal de un grano de maíz maduro mostrando la localización de los componentes principales.....	45
5. Vistas de cortes de tres tipos de granos de maíz.....	47
6. Diseño experimental para optimizar el producto extruido tipo snack.....	71
7. Superficies de respuesta obtenida, Densidad, Expansión, Dureza sensorial, Resistencia a la compresión, Solubilidad y sabor sensorial.....	79
8. Superficies de respuesta estimada con respecto a la interacción de 3 variables (Expansión, Dureza sensorial y sabor sensorial).....	80

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se desarrolló en los laboratorios de la UNAS. Los objetivos fueron obtener productos expandidos con buenas características fisicoquímicas y organolépticas a base de una mezcla de maíz chuncho- frijol Chiclayo, obteniendo harinas para determinar sus viscosidades según los niveles de mezclado y de esta manera determinar la biodisponibilidad de sus nutrientes (proteínas, Fe y Zn). Se trabajó con 2 factores; mezclas (1, 2, 3), humedades (10, 12, 14%). Se empleó un análisis estadístico de superficie de respuestas ($p < 0.05$). Los mejores tratamientos del efecto de la extrusión en las características físicas y organolépticas fueron: para la Densidad T-7 (146.80 g/dm^3), Expansión T-1 (4.02), Dureza sensorial T-1 (8), Resistencia a la compresión T-6 (3.89 Kg-f), Solubilidad T-9 (58.60%), Sabor sensorial T-8 (9); La interacción de la expansión, sabor y dureza sensorial nos dio un valor de deseabilidad de 0.585 (12% H, 20% sus; 2% sal). Para la viscosidad, todos los tratamientos arrojaron un índice de pseudoplasticidad (n) comprendidos entre (0,35 y 0,75). Con una sustitución de 80/20% de maíz-frijol dio una digestibilidad in vitro de $71,74 \pm 0,30\%$ tomando como referencia a la Lisina (100%) y una dializabilidad de Fe y Zn de $11,4 \pm 1,4$ a $20,6 \pm 1,2$ y de $46,9 \pm 3,0$ a $43,5 \pm 1,0$ respectivamente.

I. INTRODUCCIÓN

En la selva peruana existe una variedad de maíz que tiene mucha aceptabilidad cuando es utilizado como materia prima para elaborar productos como la chicha que se brinda en las faenas laborales o fiestas patronales y como tortilla que se elabora a ser mezclado con yuca sancochada y luego horneado. Esta variedad de maíz no es utilizado industrialmente para elaborar un producto alimenticio que concuerde con aquellos que están en boga como los productos extruidos.

Por otro lado también sabemos que en la última década se ha incrementado notablemente la demanda de cereales extruidos, los cuales se consumen en forma de "snacks", cereales para el desayuno, bases para sopas cremas, papillas, etc., pero todos ellos elaborados de variedades de maíz, que son híbridos o que han sido modificados genéticamente, pero no se utiliza la variedad de maíz chuncho de la selva peruana.

Estos productos tienen escasas propiedades nutricionales a pesar que conocemos que existen muchas legumbres que tiene un alto contenido proteico, y que al ser mezclados con la harina de maíz se constituirían en un productos nutricional por excelencia.

La harina de maíz chuncho al ser mezclada con la harina de frijol Chiclayo y al ser sometido al proceso de extrusión puede proporcionarnos un excelente producto que tenga buenas propiedades nutricionales y organolépticas que pase a formar parte de un nuevo producto que contribuya con mejorar los niveles de desnutrición del poblador selvático especialmente de los niños.

Así mismo al utilizar estos productos y al llevarlos a la escala industrial se mejorara su precio de adquisición contribuyendo de esta manera a que el agricultor que cultiva estas materias primas mejore sus niveles de ingreso y sus condiciones de vida, ante lo manifestado nos planteamos los siguientes objetivos:

- Determinar la viabilidad de obtener productos expandidos con buenas características fisicoquímicas y de aceptabilidad mediante el sabor utilizando mezclas de maíz y frijol.
- Determinar si las propiedades físicas del producto extruido como la densidad son buenos indicadores de la eficiencia de la operación.
- Investigar si la resistencia a la compresión y la dureza sensorial tienen una relación con el grado de extrusión y con los contenidos de sémola de frijol.
- Investigar si es posible obtener harinas por extrusión de mezclas maíz chuncho-frijol Chiclayo donde se puedan evaluar sus viscosidades aparentes según los niveles de mezclado y los índices de consistencia demostrándonos el tipo de fluido para un manejo adecuado.
- Determinar los porcentajes de la mezcla que demuestren la calidad proteica por efecto de complementación de aminoácidos.

- Demostrar si la extrusión mejora la DFe% y DZn%, En la mezcla sin su aceptabilidad.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Revalorización de los cereales como alimento.

En la última década notablemente la demanda de cereales extruidos se ha incrementado (HARPER, 1992; DOS SANTOS, et al, 2002). Los cuales se consumen en forma de "snacks", cereales para el desayuno, bases para sopas cremas, papillas, etc., siendo el maíz el cereal más utilizado para este tipo de productos, sin embargo existe el interés de incorporar legumbres para mejorar las propiedades nutricionales (BOUZAZA, 1996; GONZÁLEZ, et al, 2000).

Entre las razones que pueden mencionarse para explicar este aumento en el consumo se destacan la revalorización de los cereales como alimento y los cambios en el comportamiento del consumidor que lo induce a adquirir alimentos con mayor valor agregado. La comodidad de los productos pre elaborados y el ahorro de tiempo conjuntamente con la novedad y la variedad en texturas, sabores, características nutricionales, tamaño y tipo de envase, etc., son utilidades que el consumidor moderno reconoce como necesarias y está dispuesto a pagar el mayor valor que estos productos tienen respecto a los alimentos tradicionales a base de cereales (González et al, 2002).

2.2. Cereales

En el desarrollo de distintos productos alimenticios a base de cereales y oleaginosas, existe la tendencia de presentarlos en estado extruido, para su consumo directo o de fácil preparación. Las ventajas de esta forma de comercialización son varias y se pueden mencionar las siguientes:

- Gelatinización de la fracción almidonosa de la fórmula para dar máxima digestibilidad.
- Inactivación térmica de inhibidores del crecimiento y factores que alteran la digestibilidad o el gusto.
- Producto sanitariamente adecuado.
- Alta estabilidad del almacenaje.
- Posibilidad de dar formas y texturas diferentes.
- Posibilidad de agregar diferentes sabores, colores, etc.

Los procesos más utilizados para desarrollar la mayoría de estos productos son nuevas técnicas de cocción para reemplazar o modificar la tradicional cocción hidrotérmica, entre estos podemos mencionar: laminación (flakes); explosión (puffing), en esta se utilizan granos enteros a los cuales se le reduce su densidad alrededor de diez veces (FAST, 1991) y la cocción por extrusión, donde se utilizan especialmente harinas, sémolas y almidones (HARPER, 1981, GÓMEZ et al, 1991, BATTERMAN-AZCONA y HAMAKER, 1998; FAST, 1991, GONZÁLEZ, et al, 2002).

La tecnología de la extrusión se destaca en la industria de alimentos como un proceso eficiente, utilizándose en el procesamiento de cereales y proteínas, para alimentación humana y animal. Inicialmente esta tecnología

se desarrolló para el transporte y formado de materiales, tales como masas y pastas. Actualmente se dispone de diseños muy sofisticados desarrollados las últimas décadas. Una característica importante del proceso de extrusión es que es continuo, y que opera en un estado de equilibrio dinámico estacionario, donde las variables de entrada están equilibradas con la de salidas. La cocción por extrusión ha ganado popularidad debido a distintas razones entre las cuales se puede mencionar: (KOKINI, 1992 a).

- Versatilidad: Se pueden elaborar una amplia gama de productos, mediante la combinación de distintos ingredientes y condiciones operativas, que difícilmente puedan generarse por otros procesos.
- Realiza simultáneamente operaciones de mezclado, cocción, texturización y secado parcial, requiere de poca mano de obra y espacio para su instalación.
- Eficiente utilización de la energía, ya que el sistema opera a una humedad relativamente baja, al mismo tiempo que el producto se cocina. La baja humedad reduce la cantidad de calor requerido para cocinar y para deshidratar el producto después de la cocción. El consumo de energía es del orden de 0,02 a 0,1 KW/h*kg de producto.
- Desarrollo de múltiples características texturales.
- Alta calidad nutricional del producto: ya que es un proceso de alta temperatura y corto tiempo (HTST) que evita daños innecesarios componentes sensibles como aminoácidos (AA) y permite la

inactivación de ciertos factores antinutricionales y así aumenta la digestibilidad de proteínas.

- Ambientalmente favorable: el proceso se lleva a cabo a baja humedad, no generan efluentes que deban ser tratados.

2.3. El Proceso de Extrusión

La extrusión puede definirse como un proceso que involucra el transporte de un material, bajo ciertas condiciones controladas, forzándolo a pasar por una boquilla de una dada geometría y con un caudal masivo pre-establecido, durante este transporte se produce la cocción parcial o total de los componentes de la mezcla (GONZÁLEZ, et al 2002).

La cocción por extrusión es una forma especializada, y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas. Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40% y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo estas condiciones las características físicas de las materias primas, tales como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material. Otra característica de la cocción por extrusión, como ya se dijo, es que resulta ser un proceso pero que además, debido a los esfuerzos de corte que se desarrollan durante el transporte del material en el extrusor, la temperatura se eleva rápidamente

(conversión de energía mecánica en calor por flujo viscoso) y así la del material sufre transformaciones profundas en pocos segundos. La masa de partículas (harina de cereales y/o legumbres) más o menos hidratada, es convertida en un fluido de muy alta viscosidad. A medida que ese fluido es transportado, los elevados esfuerzos de corte en combinación con la alta temperatura, transforman a los elementos estructurales del material, es decir los gránulos de almidón y a las estructuras proteicas. Por ejemplo: en la elaboración de productos expandidos tipo "snack" el almidón no solo pierde estructura cristalina sino también la mayor parte de la estructura granular desaparece y los componentes del gránulo (moléculas de amilosa y amilopectina), son dispersados en la matriz; en la elaboración de proteína vegetal texturizada (PVT) las partículas proteicas (o cuerpos proteínicos) son dispersadas y las reacciones proteicas desnaturalizadas, alineándose en las corrientes de flujo, de esta manera se facilita la formación de nuevos enlaces entre cadenas ("cross links"), los cuales otorgan al producto la resistencia a la disgregación por hidratación durante la preparación del alimento del que parte la (PVT). En la cocción por extrusión de materiales amiláceos, el "grado de cocción" (GC) implica, no solo la pérdida de la estructura cristalina (mayor digestibilidad) sino también el grado de destrucción de la estructura granular del almidón.

2.3.1. Tipo de Extrusores

Históricamente se registran los primeros extrusores para alimentos alrededor de 1870 (extrusor a pistón para salchichas y carnes procesadas), pero los extrusores a tornillos comienzan a ser utilizados por la industria alimentaria para elaborar fideos y dar formas a masas de cereales precocidas, entre 1935 a 1940 (extrusores formadores), luego los extrusores-cocedores aparecen entre 1940 a 1950 para elaborar "snaks" y harinas precocidas. (GONZÁLEZ, et al, 2002).

Existe una amplia variedad de extrusores los cuales se caracterizan no solo por la complejidad de los diseños, sino también por el grado de sofisticación en los sistemas de control de la operación. Como extremos pueden destacarse, por un lado, los de doble tornillo y por otro los monotornillos particularmente llamados de bajo costo tal como el diseño "Brady" (HARPER, 1981).

Los extrusores monotornillos funcionan como una "bomba de fricción", es decir el material es transportado por el efecto de "arrastre". El material "alojado" dentro del canal del tornillo es "empujado" hacia la salida el frente de los filetes. Ese transporte se produce solamente si la fricción del material/harina o sémola sobre la superficie interna del cañón o cilindro, es suficientemente mayor que la fricción del material sobre la superficie del tornillo. Es decir que el material debe "agarrarse" a la superficie del cilindro para que la superficie del tornillo "resbale" sobre el material y así producir el transporte. Si por alguna razón el material se adhiere a la superficie del cilindro lo suficiente como para hacer "resbalar" el material sobre la superficie del

cilindro el transporte se detiene y el material alojado en el canal del tornillo solidariamente con él. Este mecanismo se visualiza con el ejemplo de la mano "tomando" a una tuerca que está en un bulón que gira. Si la mano no "toca" la tuerca esta gira junto al bulón y no se desplaza, pero cuando la "toca" la tuerca (lo "agarra"), la tuerca se desplaza hacia delante o hacia según sea el sentido de la rosca. Para asegurar que este mecanismo se verifique la superficie del cilindro de los extrusores cocedores llevan estrías (longitudinales o también helicoidales), mientras que la superficie del tornillo esta pulida.

El mecanismo de transporte de los extrusores de doble tornillo es muy diferente. Estos son verdaderas "bombas positivas". Los filetes de ambos tornillos "solapan" o penetran cada uno dentro del canal del otro. De esta manera el "paso" de cada tornillo es interrumpido por el filete del otro formándose en cada tornillo una sucesión de "cámaras" con forma de "C" con los extremos desplazados, el caudal resultante es el producto del volumen total de cámaras "C" por la velocidad de rotación. Los extrusores de doble tornillo ofrecen ventajas, tales como un mejor control de la operación y una mayor diversidad de productos. Pero los extrusores monotornillo ofrecen todavía buenas alternativas para la cocción de cereales, debido a los menores costos operativos, de inversión y de mantenimiento.

En el extrusor monotornillo y para una operación normal de cocción se pueden encontrar tres secciones: alimentación, compresión y sección de bombeo o "metering". Los límites de estas zonas no son fijos, que dependen del diseño y de las condiciones operativas. El material, que

debe poseer una granulometría adecuada y uniforme, y con humedades que varían entre 10 y 35%, entra en la zona de alimentación y es transportado acción del tornillo, en esta parte puede poseer filetes más profundos para compensar el cambio de volumen que se produce en la zona o sección de compresión, asegurando el caudal másico que sale a través de la boquilla. El flujo sólido se va transformando hasta convertirse en flujo viscoso, mediante cual la energía mecánica se disipa. Si esa transformación no se produce la operación se reduce al transporte del material y al pasaje a través de la boquilla (GONZÁLEZ, et al, 2002). En la sección de bombeo o "metering" la masa sufre las transformaciones más importantes, quedando las partículas, que anteriormente formaban la sémola totalmente destruida y sus contenidos integrados en toda la masa. El grado de interacción y de modificación estructural dependerá de las variables de operación. Esta sección asegura flujo uniforme a través de la boquilla. Cuando la masa la atraviesa, la presión es liberada súbitamente permitiendo que el agua, en estado líquido sobrecalentada, se evapore instantáneamente (flashing), produciendo la expansión del material y dándole la típica estructura porosa.

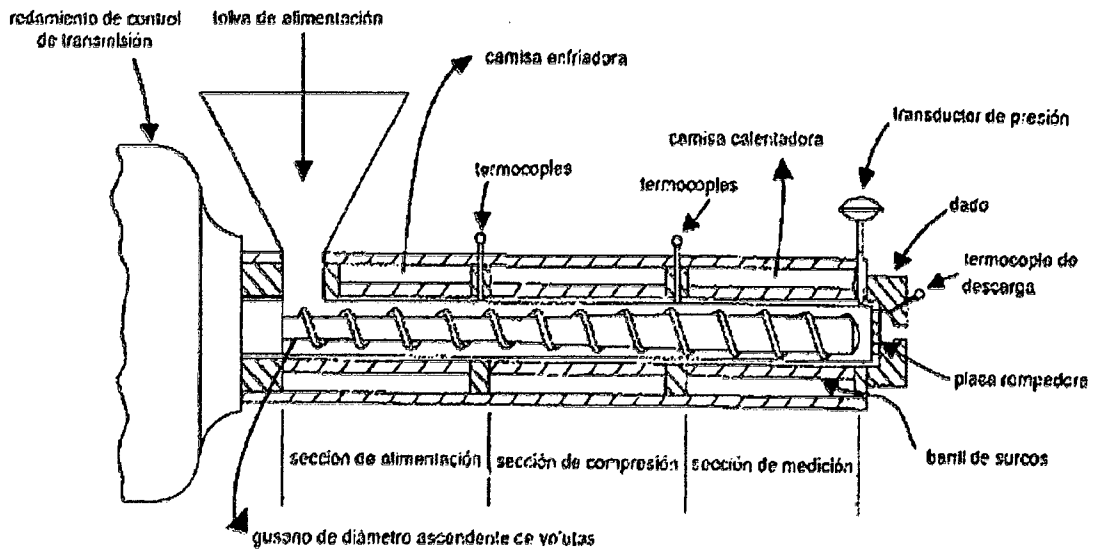


Figura 1. Esquema que muestra las distintas zonas de un extrusor modelo.

(GONZÁLEZ, 1988).

En caso de desear más expansión (con similar grado de cocción o de transformación) la zona de la boquilla debe ser refrigerada para reducir la temperatura y consecuentemente el "flashing".

El material que es transportado dentro del extrusor puede recibir energía térmica por medio de 3 mecanismos:

- Transferencia de calor a través de las paredes del cilindro con un fluido calefactor.
- Aplicación de vapor directamente al interior del cilindro.
- Disipación de energía mecánica por fricción interna del material. Los cambios más importantes que ocurren dentro de extrusor, se producen a través del mecanismo de flujo viscoso, que es desarrollado en los tramos finales del tornillo

y que permite la suficiente destrucción de la estructura granular del almidón aumentando la solubilidad en agua de la fracción amilácea y provocando cambios en las propiedades reológicas que aseguran la expansión a la salida.

En algunos diseños los tres mecanismos pueden operar simultáneamente, cuando no se desean transformaciones profundas, es decir grados de cocción moderados, (moderada destrucción de la estructura granular) el tercer mecanismo debe mantenerse en bajos niveles (lowshearcooking) mientras que cuando se desean transformaciones profundas, es decir, altos grados de cocción, el tercer mecanismo es el que controla el proceso (highshearcooking) (GONZÁLEZ, 1988).

El control del proceso es complicado debido a la compleja relación entre la transferencia de energía térmica y la cantidad de acopladas con las complejas transformaciones fisicoquímicas que gobiernan las propiedades del producto.

Para el caso de extrusores monotornillo, las variables más importantes para determinar el grado de cocción del material son:

- Humedad.
- Temperatura.
- El diámetro de la boquilla.
- La relación de compresión del tornillo.

2.3.2. Principales variables en el proceso de extrusión

El grado de cocción (GC) se incrementa al aumentar la temperatura y la relación de compresión del tornillo y al disminuir la humedad y el diámetro de la boquilla. Una mayor velocidad de rotación se traduce en un menor tiempo de residencia y por lo tanto un menor grado de cocción pero simultáneamente es mayor el gradiente de velocidad y por lo tanto es mayor la intensidad de los esfuerzos de corte producidos. Dicha intensidad dependerá tanto de las características propias del material (dureza, forma, distribución de las partículas etc.) como del nivel de fricción alcanzado, que a su vez depende de la presión y de la humedad. Es importante destacar que las transformaciones se producen en tiempos cortos y menores al tiempo de residencia medio. Otro aspecto a destacar es que la temperatura es considerada una variable independiente solo en el caso de la extrusión con control de temperatura desde el exterior, para el caso de extrusores autógenos la misma debe considerarse una respuesta (GONZÁLEZ, et al, 2002).

Las características de la masa que fluye dentro del extrusor y sus propiedades finales dependen de su composición: humedad, materia grasa, fibra, almidón, proteína, sales, emulsionantes y del diseño particular que provoca mayor o menor interacción partícula-partícula

Cuadro 1. Variables más importantes que intervienen en el proceso de extrusión.

VARIABLES INDEPENDIENTES	Humedad
	Tipo y composición del material
	Intercambio de calor
	Temperatura
	Grado de Alimentación
	RPM
VARIABLES INDEPENDIENTES DEL DISEÑO	Geometría
	Cilindro
	Tornillo
	Boquilla
RESPUESTAS	Presión
	Temperatura
	Caudal Másico
	E Mecánica
	Distribución de tiempo de Residencia
	Propiedades del Producto

Fuente: GONZÁLEZ, et al, 2002

Definidas las condiciones de extrusión (relación de compresión del tornillo, velocidad de rotación, diámetro de la boquilla, nivel de a controlar) (tanto en la zona del cilindro como de la boquilla), material a extrudir (tamaño de partículas, humedad, etc.), la operación es comenzada alimentando material con una humedad suficiente para evitar una excesiva

presión inicial, luego se introduce el material en estudio manteniendo llena a la zona de alimentación del tornillo. La toma de muestras se realiza vez que se alcanza el estado estacionario, es decir cuando el caudal de (Q_s), la presión y el torque (medido sobre el eje del motor), se mantienen constantes. Este caudal de salida, se refiere a la humedad de alimentación (Q_a), habiendo sido previamente determinado el caudal másico de sólido (Q_{ss}). (GONZÁLEZ, et al ,2002).

2.3.3. El Almidón: Principal formador de estructura en la Cocción por Extrusión.

Muchos estudios reconocen que el almidón, como componente predominante en los cereales, juega un rol principal en la expansión, mientras que los otros ingredientes tales como proteínas, azúcares, grasas, y fibras actúan como "diluyentes", con efectos diversos. (GUY ,2001), ha propuesto un sistema para clasificar los materiales de acuerdo con su funcionalidad utilizando un enfoque fisicoquímico.

En el almidón se distinguen dos tipos de polímeros: amilosa, esencialmente lineal y amilopectina, altamente ramificada. La amilosa se caracteriza por ser un polímero lineal de α -D-glucosa unidas con enlaces α 1-4, que tiene un peso molecular (PM) promedio aproximado $2,5 \cdot 10^5$ Da. la amilopectina que también está compuesta de α -D-glucosa, unida primariamente por enlaces α 1-4; está muy ramificada presentando de un 4 a un 5% de enlaces α 1-6. Este nivel de ramificación produce una longitud de cadena promedio de 20 a 25 unidades de glucosa. La amilopectina tiene un

peso molecular (PM) aproximado de 10^8 Da, y tomado un promedio de de 20 unidades de glucosa resultan un número total de cadenas del orden de 30.000. Estas cadenas son de tres tipos: cadena tipo A, compuesta de glucosa unidas por enlaces α 1-4; cadena tipo B, compuesta de glucosa por enlaces α 1-4 y α 1-6; cadena tipo C, compuesta de glucosa unidas por enlaces α 1-4 y α 1-6, incluido el grupo reductor (Figura 2)

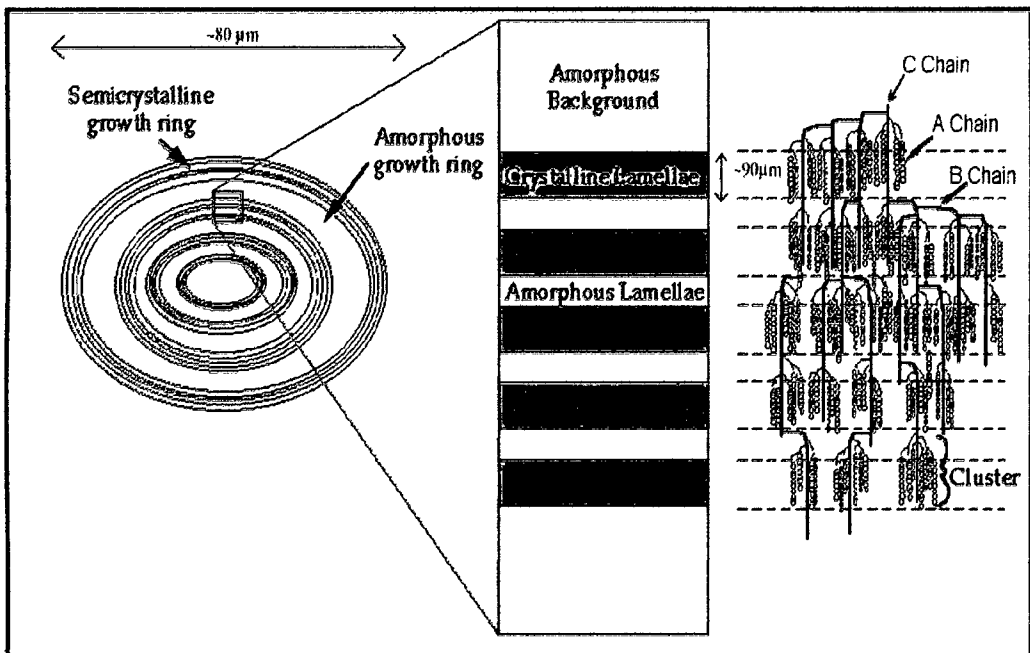


Figura 2. Organización del gránulo de almidón a nivel supramolecular (Osella, 2000).

Ambos tipos de polímeros (amilosa y amilopectina) son altamente polidispersos, presentando un alto rango de PM. El rango de PM varía para cada fuente de almidón, por ejemplo la amilosa de papa posee un rango del grado de polimerización de 840 a 22.000 residuos de glucosa y el correspondiente de la amilosa de maíz de 400 a 15.000 residuos de glucosa.

Las cadenas de amilosa y amilopectina se encuentran formando gránulos, cuya morfología y organización supramolecular, esta determinadagenéticamente. (JOVANOVIĆ, 1997). Los gránulos de almidón sonparcialmente cristalinos y parcialmente amorfos. El carácter cristalino proviene de la organización de las moléculas de amilopectina dentro del gránulo, mientras que la región amorfa está formada por la amilosa que está distribuida al azar entre los clusters de amilopectina. (ABD KARIM, et tal, 2000). El enlace α 1-4 imparte a la "molécula" un giro natural, con lo que la conformación de las cadenas es helicoidal. El modelo actualmente aceptado para la conformación de la amilopectina es el de "clusters" o racimoso (ZOBEL, et tal 1988), que explica la presencia de zonas cristalinas (arreglos de doble hélice) y amorfa (zonas de ramificación densa), con parte de las cadenas lineales de amilosacocristalizadas. Otro modelo para la estructura del almidón propuesto por (BLANSHARD y BOWLER, 1987) incluye a la amilosa y al complejo amilosa-lípido, distribuyéndolo en forma radial y paralela a las ramas de amilopectina.

El orden molecular en el almidón nativo se evidencia por labirrefringencia (Cruz de Malta) que presentan los gránulos cuando se observan bajo luz polarizada. El hecho de que el almidón sea birrefringente implica que hay un alto grado de orientación molecular en el gránulo, aunque la cristalinidad no es prerequisite de birrefringencia. El índice de refracción mayor en la dirección radial, por lo que las macromoléculas están dispuestas perpendicularmente a la superficie del gránulo. Las estructuras, amorfa y cristalina del almidón y la relación entre ellas son los factores que

ciertas propiedades del almidón. Pudiéndose determinar la estructura cristalina del almidón por difracción de rayos X.

Se estima que el límite más bajo de contenido de almidón para obtener una buena expansión es del 60 a 70%. Se ha sugerido que un alto contenido de amilopectina conduce a la obtención de texturas expandidas homogéneas y elásticas, mientras que altos contenidos de amilosa conducen a extrudidos duros y menos expandidos. A un mismo contenido de humedad, los almidones ricos en amilopectina son más blandos que los almidones ricos en amilosa, lo que favorece la expansión.

Otro componente de este grupo son las proteínas, aunque no todas favorecen la expansión. El efecto de las proteínas sobre la expansión depende del tipo y concentración de la misma. Estas ejercen su efecto sobre la expansión a través de su capacidad de afectar la distribución del agua en la matriz y a través de su estructura y conformación macromolecular, lo que a su vez afecta a las propiedades del "melt" (masa en estado fluido).

2.3.4. Transformaciones del Almidón en los Procesos de Cocción

El almidón puede sufrir diversas transformaciones, cuya intensidad depende de varios factores a saber: concentración, nivel de esfuerzos mecánicos durante el proceso de cocción, tiempo de tratamiento, temperatura alcanzada, velocidad de calentamiento, etc. Tales transformaciones pueden involucrar desde la pérdida de estructura cristalina sin ruptura del gránulo, hasta la dextrinización, es decir hidrólisis de los enlaces glicosídicos. Estados intermedios incluyen la cocción por

extrusión, con la cual se puede alcanzar un estado del almidón caracterizado no solo por la pérdida de la cristalinidad sino también por la destrucción de la estructura granular.

La gelatinización es un proceso hidrotérmico (calentamiento en exceso de agua), mediante el cual el gránulo pierde la estructura cristalina y sufre un proceso de hinchamiento irreversible. La pérdida de la estructura cristalina ocurre a una cierta temperatura llamada (temperatura de gelatinización o TG), pero para que eso ocurra, el agua debe poder penetrar dentro del gránulo. Sin embargo cada gránulo posee su propia TG, debido a diferencias estructurales individuales (es la arquitectura lo que determina la resistencia a hidratarse), así cuando se tiene una población de gránulos, se habla de rango de TG, y no de una TG fija. Por ejemplo, cuando la harina de maíz es calentada en agua y mantenida a 100 °C durante 30 min, prácticamente todos los gránulos de almidón contenidos en las partículas de harina pierden la estructura cristalina (desaparición de la "cruz de Malta"). Sin embargo, en ensayos realizados en el laboratorio de Análisis de Alimentos de la facultad de Ingeniería de los alimentos de la UNALM, se ha podido que en los granos de maíz enteros, aún luego de 60 minutos de cocción en agua a 100 °C, la mayor parte de los gránulos de almidón, mantienen su estructura cristalina y la proporción de éstos es mayor cuanto mayor sea la dureza del endospermo. Este fenómeno está relacionado con el hecho de que la temperatura a la cual la estructura cristalina se desestabiliza, depende del contenido de agua dentro del gránulo, a medida que la cantidad de agua disponible para hidratar el gránulo disminuye, la temperatura de transición

(cristalina-amorfa), aumenta (BLANSHARD, 1987). Es sabido que las proteínas de reserva del maíz (mayoritariamente las zeínas) son insolubles y no hidratables y constituyen verdaderas barreras a la penetración del agua el citoplasma de las células del endospermo, donde los gránulos de almidón se encuentran dispersos.

Una vez completado el proceso de gelatinización e hinchamiento, al enfriar la dispersión, se produce otro proceso llamado retrogradación, involucra la asociación por puente hidrógeno, de cadenas de las amilosa que han sido dispersadas fuera del gránulo, formándose una nueva estructura (tipo "gel") que incluye a los restos de gránulos parcialmente dispersados. Este proceso, cinéticamente lento, culmina con la separación de dos fases: una fase acuosa en la capa superior y una fase "gel", en la parte inferior. Esta separación es llamada "sinéresis". La velocidad a la que ocurre este fenómeno puede alterarse, variando las condiciones del proceso de cocción o agregando aditivos que retardan la asociación molecular. La agregación producida por la asociación de moléculas de amilosa es relativamente rápida, en cambio el correspondiente a la amilopectina transcurre mucho más lentamente, esto es debido al impedimento estérico de sus ramificaciones. La malla formada por estas macromoléculas atrapa o retiene a los fragmentos de gránulos, aumentando considerablemente la viscosidad de la pasta, la cual a temperatura ambiente adquiere apariencia de gel.

El proceso de gelatinización, como ya se ha dicho involucra el hinchamiento y dispersión del gránulo. No obstante no todos los almidones

pueden ser dispersados totalmente en agua cuando se los cocina a 100 °C. Los almidones de papa, mandioca y los de cereales tipo "waxy" (escaso contenido de amilosa), son fácilmente dispersables, en cambio el almidón de cereales con almidón "normal" (contenido de amilosa entre 25 y 30 %) solo puede ser totalmente dispersado en condiciones extremas (temperaturas mayores a 100 °C y suficiente tiempo de tratamiento), por ejemplo el almidón de maíz se puede dispersar a 140 °C en 10 minutos (este es el tratamiento utilizado para la hidrólisis del almidón en el proceso de obtención de jarabes de glucosa).

Cuando el proceso de cocción se realiza a niveles de contenido de agua inferiores a 30 % (como es el caso de la cocción por extrusión), ya no se verifica el proceso de hinchamiento, y la transformación estructural del almidón, dependerá no solo de la temperatura alcanzada y del contenido de agua, sino también del nivel de esfuerzos de corte al que se haya alcanzado durante la extrusión. De esta forma se podrá alcanzar un grado de transformación que puede variar desde un estado caracterizado por una mezcla de: gránulos enteros (con y sin la "cruz de malta"), conjuntamente con gránulos rotos o parcialmente dispersos, hasta un estado caracterizado por la ausencia de estructura granular, en el cual predomina la dispersión de macromoléculas.

En cuanto a los almidones pre gelatinizados, estos son una forma de almidón modificado que se caracteriza por captar agua a temperatura ambiente y formar pastas uniformes, por esto son utilizados

para la elaboración de productos instantáneos (sopas, cremas, flanes instantáneos, etc).

Con respecto a la dextrinización se debe decir que se produce esencialmente por dos vías: una por vía ácida y la otra por acción enzimática (amilasas), en ambos casos se produce la hidrólisis de los enlaces glucosídicos. El grado de dextrinización se puede medir a través de grupos reductores libres y expresarlo como equivalente de glucosa.

2.3.5. Evaluación de las Propiedades de los Productos Obtenidos por Extrusión.

La base de la producción de cereales por extrusión, descansan en la transformación del almidón, que permite la expansión y la formación de una nueva estructura que contribuye a la estabilidad del producto. Los cambios producidos en los materiales amiláceos durante la extrusión han sido extensamente discutidos y la complejidad de las transformaciones producidas pueden ser analizadas por diferentes métodos de acuerdo a la severidad del tratamiento aplicado como puede observarse en la Figura 3 (ROBUTTI, et al, 2002; BILIADERIS, 1991; COLONNA, et al, 1987; GONZÁLEZ, et al, 1986, 1987; KOKINI, et al, 1992b; MASON, et al, 1986).

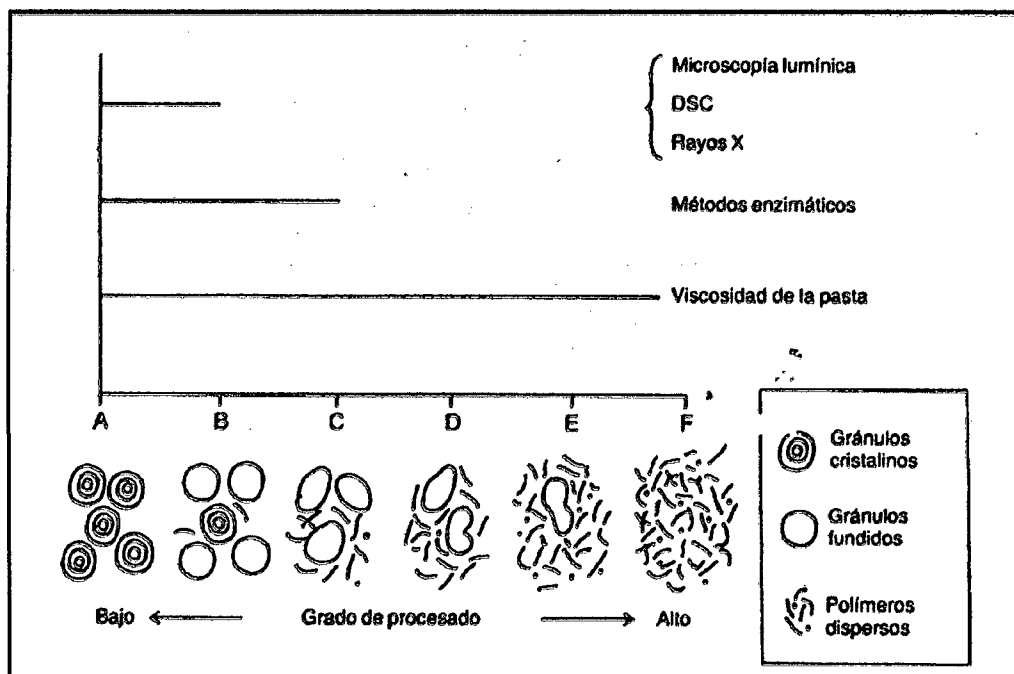


Figura 3. Diagrama de las formas físicas del almidón y los métodos de evaluación.

De los distintos tipos de productos a base de cereales por extrusión, se pueden agrupar en dos grandes grupos: Los productos expandidos (para elaborar "snacks") y harinas precocidas para preparar dispersiones (polenta, papillas y sopas cremas).

2.3.6. Efectos de las variables de extrusión sobre la expansión.

Una de las propiedades más importantes de los productos extrudidos tipo "snack" es la textura, la cual estará muy relacionada a la expansión. Al respecto, cabe mencionar que si bien se ha demostrado que la expansión del producto ocurre en las direcciones longitudinal y radial, la

expansión radial es la más simple de determinar y refleja la expansión global (MAROULIS, 2004).

De las distintas variables que afectan a la expansión, la humedad es la más significativa (GONZÁLEZ, et al ,2002), aunque también son relevantes. la temperatura alcanzada por el material antes de pasar por la boquilla, la relación de compresión, diámetro de la boquilla y la velocidad del tornillo.

2.3.7. Características reológicas de dispersiones de harinas

2.3.7.1. Aspectos teóricos sobre la viscosidad de alimentos.

La viscosidad de un fluido (μ) se define como la fricción interna o su resistencia al flujo. Su expresión matemática está determinada por la relación entre el esfuerzo de corte τ (fuerza por unidad de área tangencial) y el gradiente de velocidad D (variación de la velocidad en la dirección perpendicular al plano de aplicación del esfuerzo de corte). Así la viscosidad de un fluido queda expresada como:

$$\mu = \frac{\tau}{D}$$

La viscosidad o coeficiente de viscosidad se expresa en poises (dinas.s.cm^{-2}) o en Pa.s, correspondiendo a 1 poise 0,1 Pa.s. Para un fluido Newtoniano la viscosidad es independiente de D , solo depende de la temperatura y de la composición. Para un fluido no Newtoniano, $\tau = f(D)$, ya presenta un comportamiento lineal. Para estos casos la viscosidad puede

crecer (fluido dilatante) o disminuir (fluido pseudoplástico) con el aumento de D . Entonces la viscosidad para un dado valor de D se expresa como viscosidad aparente:

$$\mu_{ap} = \frac{\tau}{D}$$

Para describir el comportamiento del fluido se realiza el reograma: $\tau = f(D)$. La clasificación del comportamiento reológico para fluidos está basada en ese comportamiento. Por ejemplo, se pueden reconocer dos grandes tipos de fluidos: aquellos cuyos reogramas arrancan desde el origen, es decir para $D=0$, $t=0$ (fluidos puros) y aquellos en cuyos reogramas se observa la existencia de una tensión inicial τ_0 a partir de la cual comienza a crecer D , es decir, comienza a fluir. Estos son los llamados fluidos plásticos. Para el caso de los fluidos puros, la función matemática más utilizada para representar el comportamiento es la función de potencia:

$$\tau = kD^n$$

Cuando n es mayor a 1 el fluido es dilatante, cuando n es menor a 1 es pseudoplástico y cuando n es igual a 1, es newtoniano. Para el caso de los fluidos plásticos, también se utiliza la función de potencia pero agregando la tensión inicial o de fluencia:

$$\tau = \tau_0 + kD^n$$

En el caso particular de que n sea igual a 1, el modelo corresponde al plástico de Bingham (MULLER, 1973). En realidad, se han propuesto otras clasificaciones tratando de agrupar los distintos modos de comportamiento de los materiales. No obstante, se debe reconocer que tales comportamientos están incluidos en toda la gama que va desde un extremo

caracterizado por el sólido elástico ideal (modelo de sólido elástico que sigue la ley de Hooke) al otro extremo caracterizado por el fluido newtoniano. Así, incluyen los sólidos viscoelásticos, los fluidos viscoelásticos, los plásticos inelásticos, etc. (MULLER, 1973).

En general, las soluciones acuosas con solutos de bajo pesomolecular, tales como: jugos de frutas clarificados, jarabes de azúcar, bebidas carbonatadas, etc. presentan comportamiento newtoniano. Las dispersiones (emulsiones, suspensiones, etc.) son en general no newtonianas. Aunque, en condiciones diluidas pueden presentar comportamiento newtoniano (PRENTICE, 1984). La concentración a la cual el comportamiento no newtoniano se hace evidente depende del tamaño y morfología de los componentes de la dispersión. Por ejemplo, la leche presenta comportamiento newtoniano en un amplio rango de concentraciones, mientras que para dispersiones de proteínas de soja el comportamiento no newtoniano aparece a concentraciones superiores al 6%. En estos dos sistemas, las partículas dispersas presentan morfologías globulares y el alejamiento del comportamiento newtoniano se atribuye a las fuerzas de interacción entre partículas (DICKINSON y McCLEMENTS, 1996). Un caso particular, lo constituyen las dispersiones de macromoléculas tales como las gomas (xántica, guar, alginatos, carrageninas) para las cuales el comportamiento no newtoniano aparece en concentraciones tan bajas como del 1%, siendo más pronunciado para la goma xántica que para las otras, lo cual es atribuido a la mayor intensidad de interacciones moleculares que presenta, promovida por su estructura ramificada (MORRIS, 1998).

Finalmente, se puede mencionar el caso de las dispersiones de almidón, para las cuales el alejamiento del comportamiento newtoniano también se produce a bajas concentraciones.

A medida que la concentración de la dispersión aumenta, la viscosidad va aumentando, al principio de manera lineal y luego, a partir de una cierta concentración crítica, el incremento es de mayor orden, el cual depende del tamaño y forma de las partículas; pudiéndose utilizar una función de potencia cuyo exponente expresa la intensidad de las fuerzas de interacción entre partículas:

$$\tau = KC^m$$

donde: K: viscosidad a un gradiente de velocidad constante, C: concentración de sólidos en g 100 g⁻¹, K y m: parámetros de la regresión.

Superada la concentración crítica (alejamiento del régimen diluido) las partículas hidratadas interaccionan entre sí. Tales interacciones se hacen más evidentes cuanto mayor es el radio hidrodinámico y mayores son las fuerzas de atracción entre partículas. Estas fuerzas de interacción determinan el comportamiento viscoelástico de las dispersiones concentradas (HARROD, 1989).

2.3.7.2. Harinas precocidas

En la evaluación de las harinas precocidas se tiene en cuenta la absorción de agua y por otro lado la solubilidad o dispersibilidad en agua, las cuales están inversamente relacionadas (GONZÁLEZ et al, 1986). Los cambios producidos sobre la estructura granular del almidón afectan a las

propiedades de hidratación y la proporción de sólidos dispersables y (o restos de gránulos hinchados) que determinarán las características reológicas de la dispersión de harina precocida.

Un número considerable de trabajos en la literatura muestran el efecto del proceso de gelatinización sobre la reología final del producto. La gelatinización induce un incremento de la viscosidad como resultado de los cambios estructurales, tales como el hinchamiento de los gránulos, fusión de los cristales, entre otros. Cuando se alcanza el máximo hinchamiento, los gránulos se rompen provocando un decrecimiento de la viscosidad de la dispersión (LAGARRIGUE y ÁLVAREZ, 2001).

Los conocimientos sobre la viscosidad y propiedades de flujo de las dispersiones son de importancia práctica en la formulación de alimentos. Para el caso de alimentos fluidos tales como: sopas crema, bebidas, etc. la obtención de reogramas obtenidos con viscosímetros adecuados tales como los de cilindros concéntricos (de separación pequeña entre cilindros o "narrow gap") es suficiente para caracterizar tales fluidos. No obstante, para el caso de sistemas concentrados tales como pastas, emulsiones, geles, etc. la evaluación reológica se complica ya que las características viscoelásticas deben ser tenidas en cuenta (BISTANY y KOKINI, 1983).

La viscosidad de las dispersiones está influenciada por las propiedades hidrodinámicas de sus componentes, por ejemplo, el tamaño y la forma de las partículas. Éstas a su vez son afectadas por el pH, fuerza y los tratamientos durante el procesamiento, que alteran la conformación, la

estructura, el grado de agregación, la hidratación y el hinchamiento (1995).

2.4. Formulación de alimentos de interés social

2.4.1. Distintos aspectos a tener en cuenta en la Formulación de Alimentos.

En la formulación de alimentos se deben tener en cuenta varios aspectos tal como vemos en el cuadro 2, no obstante la calidad proteica, la densidad de micro nutrientes y su biodisponibilidad son tal vez los más relevantes.

Cuadro 2. Aspectos a tener en cuenta en la formulación de los alimentos

Aspectos nutricionales	Aspectos Sensoriales	Aspectos Tecnológicos	Aspectos Económicos
Densidad calórica	Características que definen la aceptabilidad	Viabilidad del proceso de producción	Uso de materias primas locales
Valor biológico de las proteínas	Tolerancia al consumo prolongado	Uso de tecnología apropiada	Precocción - Practicidad
Relación proteínas/calorías Aporte vitamínico y mineral			Relación costo /Eficacia Volumen de mercado

Teniendo en cuenta los aspectos mencionados surge claramente que, de las diferentes fuentes de proteínas y calorías disponibles, las leguminosas y los productos amiláceos (cereales y tubérculos) son los más indicados en la formulación de alimentos de alto valor nutritivo y bajo costo. Los componentes básicos de estas materias primas son obviamente las proteínas y los almidones cuyas características y propiedades son muy dependientes de los tratamientos físicos y/o químicos que sufren durante el procesamiento. En lo referente a la complementación de cereales, se parte de la base de que, la "calidad" de una proteína depende de la naturaleza y cantidades de aminoácidos que contiene; y que una proteína "equilibrada" o "de alta calidad" contiene los aminoácidos esenciales en proporciones correspondientes a las necesidades humanas. En consecuencia es posible compensar las deficiencias en aminoácidos, de una proteína de "baja calidad" mediante un alimento que contenga varias proteínas o proporciones complementarias de aminoácidos, mejorando así el equilibrio en aminoácidos esenciales.

2.4.2. Algunos ejemplos de productos

2.4.2.1. Snack

Para el caso de este tipo de productos las proteínas de como el maíz son pobres en lisina y ricas en aminoácidos azufrados y las proteínas de leguminosas, son ricas en lisina y pobres en aminoácidos azufrados (MESSINA, 1999); la mezcla de estas dos fuentes satisface las

exigencias para que exista complementación aminoacídica, mejorando el perfil de aminoácidos (CHEFTEL, et al, 1989; GÓMEZ, 1985).

2.4.3. Biodisponibilidad de nutrientes

2.4.3.1. La biodisponibilidad

La digestión de los alimentos, implica una serie de reacciones químicas y biológicas complejas. Durante este proceso, los micronutrientes pueden reaccionar con los productos de la digestión para dar lugar a distintas especies químicas. La capacidad del organismo para absorberlas y transportarlas depende de la naturaleza de esas especies químicas involucradas y de las interacciones intraluminales que se producen con otras sustancias que pueden actuar como promotoras o inhibidoras de la absorción. (ROBB, et al ,1986).

Para estimar el aporte de un mineral por parte de la dieta no alcanza con determinar el contenido total, sino que es preciso conocer que cantidad que se absorbe y se utiliza, o sea, lo que se conoce como biodisponibilidad (O'DELL, 1985).

La biodisponibilidad se define como la fracción de nutriente presente en un alimento o dieta que se digiere, absorbe y metaboliza, por vías normales para cumplir las funciones que le son propias. (FAIRWEATHER-TAIT, 1987).

2.4.3.2. Factores que influyen en la biodisponibilidad de los elementos traza.

Factores intrínsecos o fisiológicos

- Especie animal. S edad.
- Características y anomalías genéticas
- Estados fisiológicos (embarazo y lactancia).
- Estados nutricionales y patológicos.
- Flora intestinal, pH de los jugos gástricos e intestinales.
- Capacidad individual de adaptación a variaciones en el aporte de nutrientes.

Factores extrínsecos o dietéticos

- Aporte total del elemento por la dieta. S forma química del elemento.
- Propiedades físicas: solubilidad y capacidad de adsorción sobre componentes inertes de los alimentos.
- Propiedades químicas: reacción con otros componentes de la matriz alimentaria.
- Propiedades bioquímicas: capacidad de competir con otros elementos por sitios activos del organismo.(BARBERÁ, 1992)

2.4.3.3. Estimación de la biodisponibilidad

Para determinar la biodisponibilidad de un nutriente hay que tener en cuenta la interacción con sustancias que favorecen y que inhiben la

absorción, el porcentaje del elemento que es absorbido y el que es utilizado. Por consiguiente, la única medida real será proporcionada por la evaluación *vivo*, aunque para evaluar la respuesta del organismo frente a alimentos y nutrientes se necesitan buenos indicadores del estado funcional, que en general no se disponen. Los parámetros y las técnicas utilizadas en la actualidad sólo proporcionan aproximaciones al valor real. (BARBERÁ, 1992)

En los ensayos *in vivo* debe diferenciarse entre estudios realizados con marcas isotópicas intrínsecas o extrínsecas, con un solo isótopo o doble isotópico, con isótopos estables o radiactivos y estudios realizados con animales o los efectuados en seres humanos. La posibilidad de realizar estudios de biodisponibilidad en humanos, mediante técnicas no invasivas, permite descartar los ensayos con animales, aunque los ensayos clínicos costosos, laboriosos, difíciles de llevar a cabo con precisión y además requieren amplias precauciones y material sofisticado, que sólo están al alcance de escasos laboratorios. (BARBERÁ, 1992).

Varias técnicas *in vitro* han sido desarrolladas para estimar labiodisponibilidad que comprenden desde medidas de solubilidad, dispersibilidad, dializabilidad en equilibrio o continua, (WATZKE, 1998). Los métodos de digestión simulada *in vitro*, pretenden estimar el porcentaje de nutriente capaz de ser transformado en el tracto gastrointestinal, en una absorbible. Consisten básicamente en un tratamiento enzimático en dos etapas, la primera con pepsina a pH 2 y la segunda con pancreatina y bilis, a pH neutro. Luego de estos tratamientos, se determina la solubilidad o la dializabilidad de los minerales estudiados (BARBERÁ, 1992). Algunos

separan las fracciones solubles por filtración (NARASINGA y PRABHAVATI, 1978), por diálisis (MILLER et al, 1981) o por centrifugación (CREWS, et al, 1983). Los ensayos *in vitro* constituyen una interesante alternativa frente a ensayos *in vivo*. Son sencillos, rápidos, económicos y proporcionan información sobre determinados aspectos, que no pueden obtenerse en los ensayos con animales. (MILLER, et al, 1981). No predicen los cambios *in vivo* pues no pueden simular factores fisiológicos: como el estado nutricional, secreción gastrointestinal, transporte activo, interacciones con la mucosa, flora y tránsitos intestinales o algunas propiedades fisicoquímicas que en la biodisponibilidad mineral, aunque son importantes para comprender los ensayos *in vivo*. (CLYDESDALE, 1983; SNAPE, 1987; MILLER y BERNER, 1989).

Los métodos para el estudio de la biodisponibilidad se han aplicado a diferentes minerales en los alimentos y al estudio de la influencia de los distintos componentes de la matriz alimentaria. El elemento objeto de mayor número de estudios es el hierro, por su importancia en la etiología de la anemia ferropénica. (BARBERÁ, 1992).

2.4.3.4. Biodisponibilidad del hierro

El organismo requiere hierro para varias funciones, por ejemplo para la síntesis de la proteína transportadora de oxígeno, la hemoglobina y la mioglobina, para la formación de enzimas hemínicas, las cuales participan en reacciones de óxido- reducción y transferencia de electrones. (HURREL, 1997).

El hierro es absorbido en el duodeno y atraviesa las células de la mucosa hacia la sangre, donde es transportado por la transferrina a las células del organismo o a la médula para la eritropoyesis. El cuerpo regula la homeostasis del hierro por control de la absorción. La absorción aumenta durante la deficiencia de hierro y cuando las necesidades fisiológicas están incrementadas. El organismo tiene una capacidad límite para excretar el hierro, que cuando está en exceso es almacenado como ferritina o hemosiderina en el hígado, en el bazo y en la médula (HURREL, 1997). El hierro se encuentra en los alimentos en forma hemínica o nohemínica. La biodisponibilidad del hierro hemínico, el cual se encuentra en las carnes, es alta en comparación con la del hierro no hemínico. Esto se debe a la naturaleza fisicoquímica del grupo hemo. El hierro hemínico es más soluble en las condiciones neutras del intestino, que en las ácidas del estómago y se absorbe en forma intacta dentro de la mucosa intestinal (CLYDESDALE; 1983).

El hierro no hemínico constituye del 80 al 90% del hierro, procedente en su mayor parte de los alimentos de origen vegetal (BARBERÁ, 1992). La absorción del hierro es afectada por promotores e inhibidores presentes en la dieta:

Dentro de los inhibidores se destacan:

- El ácido fítico.
- Los componentes polifenólicos presentes en vegetales y el calcio.

- Los péptidos que se generan en la digestión de las proteínas de origen vegetal.

El ácido fítico se encuentra presente en los granos de los cereales y en las legumbres, es el principal factor que influye en la disminución de la biodisponibilidad del hierro en estos alimentos (HURREL, 1997). La hidrólisis de los fitatos ocurre en algunos procesos, tales como el remojo de los granos, la fermentación, la germinación y la extrusión-cocción (SANDBERG, 1991). En los tres primeros casos, se activan las fitasas endógenas de los granos del cereal o de las harinas, las que degradan al ácido fítico (hidrolizando el mioinositolhexafosfato a mioinositol y fosfato inorgánico), mejorando la absorción del hierro (HURREL, 1997).

Los compuestos fenólicos presentes en vegetales incluyen: ácidos fenólicos, flavonoides y sus productos de polimerización. Estos son particularmente altos en el té, café, cacao y en el vino tinto. Los compuestos fenólicos han mostrado ser inhibidores de la absorción del hierro (HURREL, 1997). Se observó que el tanino, un compuesto polifenólico, reduce la absorción del hierro cuando se incorpora en la dieta en altas cantidades. El ácido clorogénico, un compuesto fenólico del café, es un inhibidor que reduce un 40% la absorción del hierro presente en carnes y un 60% el del té (HURREL, 1997).

El calcio puede inhibir la absorción del hierro. El nivel de inhibición depende: de la cantidad de calcio consumido, de la ración y de la composición de los alimentos (HURREL, 1997).

Durante la digestión, las proteínas son hidrolizadas a péptidos, los cuales pueden unirse al hierro en el lumen intestinal e influenciar su absorción. Los péptidos pueden tanto inhibir como mejorar la absorción del hierro dependiendo de su naturaleza. (HURREL, 1997). Las proteínas de los vegetales, de la leche y de los huevos inhiben la captación del hierro no hemínico, si se compara con lo que sucede con las carnes o con las dietas de bajo contenido proteico (KANE y MILLER; 1984).

La capacidad de mejorar la absorción del hierro no hemínico en alimentos está relacionada no sólo a la solubilización del hierro no complejo, sino también a la capacidad de remover y solubilizar el hierro de complejos insolubles (CLYDESDALE, 1983).

Dos potentes promotores de la absorción del hierro son el ácido ascórbico y la carne, que actúan reduciendo el hierro férrico a ferroso y/o complejando el Fe^{+3} (South, 1997). El ácido ascórbico es efectivo para aumentar la absorción del hierro no hemínico, tanto en forma natural (frutas y vegetales) como componente libre. En altas concentraciones puede superar la inhibición del ácido fítico en los cereales y puede parcialmente disminuir el efecto de los polifenoles en el té (HURREL, 1997). Su efectopromotor de la biodisponibilidad del hierro depende del tratamiento térmico a que se somete el alimento, de la fuente de hierro, del valor del pH (BARBERÁ, 1992) y de la dosis. Cuando el ácido ascórbico es oxidado durante los procesos de almacenamiento o cocción, el efecto mejorado se pierde (BENITO, 1998).

2.4.3.5. Impacto de algunas operaciones sobre la biodisponibilidad del hierro

Algunos autores realizaron investigaciones en todas las etapas de un proceso de elaboración de un producto tipo snack, estudiando la biodisponibilidad de minerales en cada etapa del mismo. (WATZKE, 1998).

La refinación del grano entero de maíz, por una fina molienda que condujo a una remoción completa de la cáscara y del germen, resultó en un leve incremento del hierro absorbible. Sin embargo, se observó que el contenido de hierro fue fuertemente reducido por el proceso de molienda. Los autores explicaron el incremento de la absorción del hierro debido a la pérdida parcial de ácido fólico y de fibras. (WATZKE, 1998).

En la formulación de los productos tipo snack se usaron otras fuentes de almidón (como batata, trigo o harina de arroz) para generar una variedad de sabores y texturas diferentes. Se observó que la mezcla de batata y maíz exhibió una mayor dializabilidad de hierro que aquella elaborada a base de maíz. Los autores explicaron que los altos valores de dializabilidad del hierro de los flakes de batata-maíz se debieron al alto contenido de ácido ascórbico y ácido cítrico de la batata, que mejoran la biodisponibilidad de hierro (WATZKE, 1998).

La extrusión-cocción como ya se dijo es un proceso que involucra altas temperaturas y corto tiempo (HTST). La elevada fuerza de corte durante la extrusión afecta a las biomoléculas provocando ruptura en los enlaces covalentes (WATZKE, 1998).

Los productos extrudidos presentan un pequeño aumento en la dializabilidad del hierro (WATZKE, 1998). HAZELL y JOHASON (1987 a 1989) propusieron que los productos de la reacción de procesos de despolimerización bajo la alta temperatura y esfuerzos de corte podrían cambiar la forma química del hierro haciéndolo más soluble.

En la etapa en que los snack fueron fritos y saborizados no se observó ninguna modificación en la biodisponibilidad del hierro a pesar de la presencia de antioxidantes (ácido ascórbico), secuestrantes (ácido cítrico) y acidulantes (ácido acético) que se usaron en la saborización.

2.4.3.6. Biodisponibilidad del zinc

La deficiencia de cinc en humanos afecta el crecimiento, la maduración sexual y el sistema inmunológico. La homeostasis del zinc se mantiene en un amplio rango, por el incremento o disminución tanto de la absorción del cinc intestinal como de la excreción intestinal endógena. La baja proporción de cinc ingerido, conjuntamente con una disminuida biodisponibilidad y el incremento de las necesidades durante el crecimiento o la reproducción llevan a una deficiencia en este elemento (KING, et al; 2000). En los países desarrollados, la carne, los alimentos de mar y los productos lácteos son la fuente primordial de cinc, resultando un 70% del total de cinc ingerido. En países donde la ingesta de productos animales es baja, los cereales y las legumbres proveen la mayoría del cinc dietario (KING, et al; 2000).

Las principales sustancias inhibidoras de la absorción del cinc son el ácido fítico de los cereales y legumbres y los compuestos polifenólicos del té y café. Dentro de los mejoradores se destacan el ácido ascórbico de frutas y vegetales y péptidos parcialmente digeridos provenientes del tejido muscular. La proteína animal contrarresta el efecto inhibitor del ácido fítico sobre la absorción del cinc. (KING, et al; 2000).

La técnica más empleada es la isotópica dual, que consiste en la administración de dos isótopos, uno oral y otro intravenoso, la absorción de cinc es estimada a partir de la relación entre la concentración isotópica oral e intravenosa en plasma y/o orina luego de 3 a 5 días después de la administración. Este método sólo requiere muestras de sangre u orina, por lo tanto es el método preferido para medir la absorción de cinc en humanos (KING, et al; 2000).

2.4.3.7. Digestibilidad proteica

La digestibilidad de las proteínas se considera como un de su calidad. Se sabe que los alimentos de origen animal presentan mayor digestibilidad que los de origen vegetal. Esto se ha atribuido al menor contenido de fibra cruda de los alimentos de origen animal, lo que hace que velocidad de tránsito intestinal sea menor y en consecuencia, se obtenga mayor absorción de nutrientes (HERNÁNDEZ; et al, 1984). Además, la estructura terciaria de las proteínas animales es menos compleja que la de vegetales, por lo que es más fácilmente digerida por las enzimas gastrointestinales. Otros factores que disminuyen la digestibilidad proteica de

los alimentos de origen vegetal son algunos componentes tóxicos, tales los inhibidores de proteasas, taninos y hemaglutininas. De ahí, la necesidad de emplear tratamientos térmicos para su cocción, que pueden afectar la disponibilidad de los aminoácidos, ya que éstos pueden interaccionar con los carbohidratos que abundan en los alimentos de origen vegetal (et al, 1984).

Las técnicas *in vivo* utilizan ratas machos, recién destetadas, de 21 a 23 días, a las que se les suministra una dieta preparada que contiene aproximadamente 10% de proteína. Paralelamente se utiliza una dieta libre de proteínas usada como control para estimar la excreción del nitrógeno endógeno de las ratas. Los animales se mantienen en un periodo de adaptación, determinándose la digestibilidad proteínica aparente luego de estar ingiriendo las dietas por un determinado tiempo. El alimento ingerido es monitoreado diariamente y el peso de las ratas se registra todos los días. La concentración de nitrógeno en las heces y en la orina es estimado por el método de Kjeldahl (AOAC, 1990). La fórmula para calcular la digestibilidad proteínica es la siguiente:

$$D = \frac{N \text{ ingerido} - N \text{ fecal}}{N \text{ ingerido}} \times 100$$

Donde el *N fecal* = N fecal del test de los animales - N fecal de la dieta libre de proteínas (RANGEL, et al, 2003).

Existen técnicas *in vitro* estandarizadas para determinar la digestibilidad proteica que poseen correlación con los métodos *in vivo*. Algunos se basan en el análisis de productos obtenidos después de la

hidrólisis de las proteínas por enzimas digestivas (GAUTHIER, 1986). Primariamente AKESON y STAHMANN (1964) encontraron que el sistema pepsinapancreatina permitió obtener una razonable aproximación de la digestibilidad proteica. BUCHANAN y BYERS (1969) describieron un sistema en el cual incluyeron papaína. Estos dos últimos métodos volvieron a ser investigados por (SAUNDER, et al ,1973), desarrollando un método que papaína-tripsina que mostró una buena correlación con los ensayos *in vivo*. RHINEHART (1975) estudió un sistema en el cual incluía otras enzimas como pepsina-tripsina, tripsina-quimiotripsina y combinaciones con peptidasas. Este sistema no fue aceptado debido a que los procedimientos resultaron dificultosos para la aplicación en controles de rutina (HSU, 1977). Más recientemente investigadores intentaron determinar la digestibilidad proteica *in vitro* usando una membrana de diálisis o célula. Usando este sistema la digestibilidad proteica fue calculada a través del porcentaje de nitrógeno en el dializado (YEOUNG, 1991). Un método aceptado y utilizado la industria alimenticia es la electroforesis en gel de poliacrilamida SDS-SDS-PAGE. Es aplicada en el control de calidad de productos e ingredientes proteicos, estima el peso molecular de las proteínas y se utiliza en la de péptidos de bajo peso molecular (YEOUNG, 1991).

2.5. Descripción de las materias primas

2.5.1. Maíz

La demanda mundial de maíz está controlada por el mercado de alimentos para animales. Sin embargo, para la industria de la alimentación humana, aparecen algunas características especiales que permiten diferenciar los distintos tipos de maíz y sus respectivas variedades. Es un grano que tiene numerosas y diversas aplicaciones, constituye una importante fuente de materia prima para producir almidones, edulcorantes, aceite, alcohol, etc.

2.5.1.1. Aspectos generales de los granos

Los cereales pertenecen al grupo de las *Angiospermas* y dentro de este, a la familia de las *Gramíneas*. El maíz pertenece a la tribu *Maydeae* y al género y especie *Zea mays*. La calidad del maíz está determinada principalmente por la estructura y composición del grano, las que dependen del híbrido o variedad utilizada, así como de las prácticas de manejo, el clima, el suelo y los métodos de cosecha, secado, almacenaje y transporte (PERCIBALDI, 2003).

2.5.1.2. Estructura y composición del grano de maíz

La estructura anatómica de los cereales es básicamente similar, diferenciándose un cereal de otro solamente en ciertos detalles. Los granos de trigo, centeno y maíz están compuestos por una cubierta llamada pericarpio, un germen localizado en un extremo y un endospermo localizado

en el centro de la semilla o grano. Los granos de avena, cebada y arroz contienen además, la envoltura del fruto o semilla denominada gluma, que constituye la cáscara.

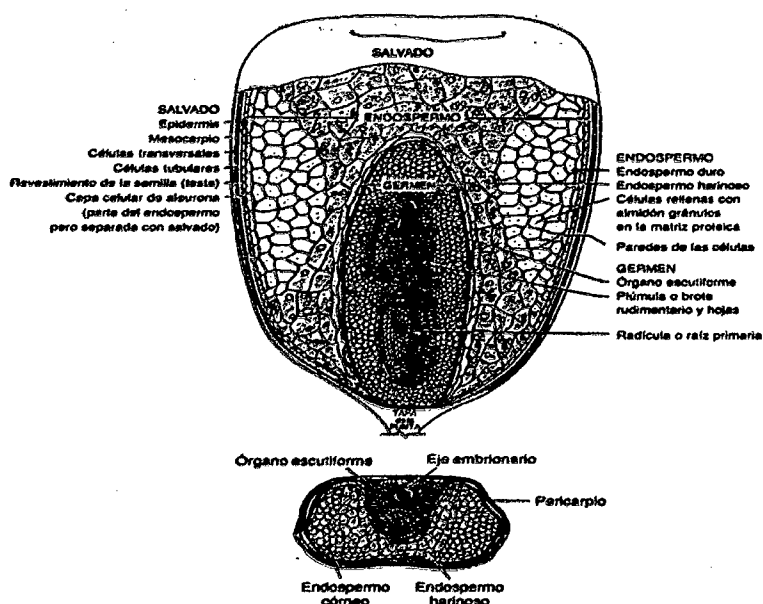


Figura 4. Corte transversal de un grano de maíz maduro mostrando la localización de los componentes principales.

Se destacan entre ellas: el Pericarpio que es la cubierta externa de la semilla, fruto ó grano; la Aleurona que es una capa de células que corresponde al endospermo; el Endospermo que es el sitio en donde se encuentran las reservas de la semilla cuyos componentes principales son los gránulos de almidón y las proteínas; el germen o embrión donde se encuentra especialmente la materia grasa y la maquinaria biológica para la germinación y el pedicelo que es el tejido remanente por donde se conecta el grano con el marlo.

La composición química promedio de estas partes principales se muestra en el cuadro 3. El endospermo contiene la mayor parte del almidón, el germen, los lípidos, y el pericarpio y el pedicelo están constituidos fundamentalmente por carbohidratos estructurales y no digeribles.

Cuadro 3. Distribución de los principales componentes del maíz.

Componentes	% Total	Composición centesimal en base seca			
		Endospermo	Germen	Pericarpio	Pedicelo
Almidón	62,0	87,0	8,3	7,3	5,3
Proteína	7,8	8,0	18,4	3,7	9,1
Lípidos	3,8	0,8	33,2	1,0	3,8
Cenizas	1,2	0,3	10,5	0,8	1,6
Otros*	10,2	3,9	29,6	87,2	80,2
Agua	15,0	-	-	-	-

* Por diferencia, se incluye: fibra, nitrógeno no proteico, pentosanos, ácido fítico, azúcares solubles, xantinas.

Fuente: CHERYAN y SHUKLA, 2001

2.5.1.3. Propiedades del endospermo del grano de maíz

A diferencia del trigo, cuyo endospermo posee características de dureza más o menos homogéneas, en un mismo grano de maíz se reconocen dos clases diferentes de endospermo: el córneo (duro y translúcido) y el harinoso (blando y opaco). Las proporciones de cada uno varían con el tipo de maíz y con la variedad.

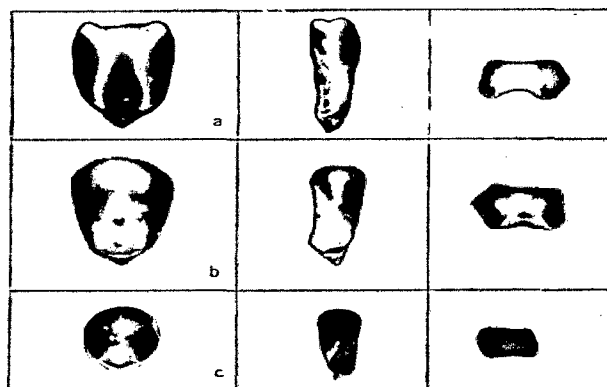


Figura 5. Vistas de cortes de tres tipos de granos de maíz. Columna izquierda, sección longitudinal paralela al frente del germen; columna central, sección longitudinal perpendicular al frente del germen y columna derecha, sección transversal. a) Dentado; b) Colorado duro y c) Pisingallo. (Watson, 1987a).

La Figura 5 muestra la distribución de los endospermos córneo y harinoso en tres tipos de granos de maíz: Dentado denominado amarillo o harinoso (chuncho), estos poseen mayor proporción de endospermo harinoso y por lo tanto presentan la menor dureza Duro ("Flint") comúnmente denominado Colorado duro y Pisingallo ("Pop"), ("Waxy") o ceroso (muy bajo contenido de amilosa) presentando el Pisingallo la mayor proporción de endospermo córneo, estos dos últimos poseen la mayor dureza. La tecnología utilizada para mejoramiento genético ha permitido desarrollar numerosos híbridos agregando material genético del Dentado al Colorado duro, dando origen a los llamados sedimentados, de dureza intermedia. (WATSON 1987b; STROSHINE, et al, 1986).

Análisis químicos de ambos tipos de endospermos, mostraron que ambos contenían la misma cantidad de proteínas pero que variaban en el tipo de ellas. La diferente forma de los gránulos de almidón que pertenecen a uno y otro endospermo, podrían explicarse por el encogimiento de la proteína al perder agua durante el proceso natural de secado. En el caso del endospermo córneo, la adhesión entre la proteína y el almidón es suficientemente fuerte para arrastrar los gránulos de almidón y compactarlos. En esta etapa, los gránulos de almidón son flexibles y, como están fuertemente empaquetados, toman una forma poligonal. En el caso del endospermo harinoso, la distribución de las proteínas es diferente y la matriz es más laxa. Durante el secado, los enlaces proteína-proteína se rompen, dejando espacios de aire entre los gránulos de almidón que, por lo tanto mantienen la forma esférica. Si el maíz escosechado antes de que se seque, todos los gránulos serían esféricos (HOSENEY, 1986).

2.5.1.4. Dureza del endospermo

La dureza del endospermo contribuye a otorgarle al maíz resistencia mecánica. Esta propiedad es deseable para mantener la del grano durante los procesos de cosecha y poscosecha (WATSON, 1987b; ROBUTTI, 1995). Existen diversos parámetros para estimar la dureza endospérmica, DE DIOS y COL. (1992) adoptaron cuatro por su relevancia la estimación de la dureza y su relativa facilidad de medición: Peso índice de flotación (IF), Dureza NIR ("NearInfraredReflectance") y Relación gruesos/finos (RG/F). EYHÉRABIDE y col. (1996) analizaron una extensa

de muestras de maíz de diferentes cultivares producidos en distintos ambientes, utilizando los cuatro parámetros. Los resultados permitieron clasificar las muestras como ya se dijo en tres categorías de dureza: (dentados), semiduros (semidentados) y vítreos (duros y pisingallos).

La base fisicoquímica de la dureza se puede atribuir a las complejas interacciones entre ciertos componentes del grano. Un grupo serían las zeínas, que constituyen las principales proteínas de reserva del endospermo del maíz. El otro componente que tiene incidencia en la dureza del endospermo es el almidón (ver punto 2.5.1.6).

2.5.1.5. Perfil de proteínas del grano de maíz

Datos actuales indican que el contenido proteico de diferentes variedades de maíz se halla en el orden de 6-12% en base seca. Cerca del 75% de la proteína de maíz está contenida en el tejido endospermico, mientras que el resto se encuentra en el germen y el salvado (CHERYAN y SHUKLA, 2001).

De acuerdo a su solubilidad en distintos solventes en el cuadro 4, pueden diferenciarse cuatro clases de proteínas: Albúminas, Globulinas, Glutelinas y Zeínas.

Cuadro 4. Distribución de las fracciones de proteínas en el grano de maíz (composición centesimal en base seca).

Tipo de proteína	Solubilidad	Grano Entero	Endospermo	Germen
Albúminas	Agua	8	4	30
Globulinas	Sal	9	4	30
Glutelinas	Alcali	40	39	25
Zeínas	Alcohol	39	47	5

Fuente: CHERYAN y SHUKLA, 2001.

Las zeínas pertenecen a la categoría de las prolaminas y se hallan presentes mayormente en el endospermo del grano, mientras que las glutelinas están distribuidas tanto en el endospermo como en el germen. Las albúminas y las globulinas se hallan presentes fundamentalmente en el germen (SHEWRY, et al, 2002). Las proteínas del grano de maíz, representadas principalmente por las zeínas y glutelinas, presentan baja calidad debido a que son deficientes en aminoácidos indispensables como lisina y triptófano (OROPEZA y ORTIZ, 1989).

En el endospermo del grano de maíz, se han encontrado distintas clases de zeínas. Las α -zeínas o zeínas-1 (Z_1), de 19 a 22 kDa, son ricas en glutamina, leucina y en aminoácidos hidrofóbicos pero son pobres aminoácidos azufrados, en tanto que las β y γ zeínas llamadas también zeínas-2 (Z_2), de 14 kDa y 16 a 27 kDa respectivamente, poseen gran cantidad de puentes disulfuro (LENDING y LARKINS, 1989). Algunos

también consideran la presencia de una cuarta zeína, δ -zeína cuyo peso molecular es de 10 kDa (PRATT, et al, 1995).

2.5.1.6. Almidón

En el maíz, el almidón conforma el 72-75% del grano (WATSON, 1987a). En los diferentes tipos de maíz, el almidón difiere comúnmente respecto a sus propiedades morfológicas, reológicas, funcionales y térmicas (SANDHU, et al, 2004).

Por otro lado, en la industria alimentaria, el almidón contribuye con características de viscosidad, consistencia y formación de geles (SING, et al, 2003; SANDHU; et al, 2004) y es considerado como el mayor responsable de las transformaciones producidas durante los procesos de cocción del maíz (BULEÓN, et al, 1998).

2.5.1.7. Principales productos del maíz

La mayor parte de la producción de maíz es utilizada para elaborar alimentos balanceados, para este fin el grano es molido íntegramente. Esta molienda no requiere instalaciones especiales, ya que se trata de desintegrar los granos sin clasificar ni separar las partes de los mismos (normalmente se utilizan molinos a martillos).

La utilización del maíz en la alimentación humana está destinada en su mayor parte a la producción de almidón (molienda húmeda) y más del 70 % de éste es convertido en jarabes (de glucosa y de fructosa). La otra forma de utilización del maíz en la alimentación humana es a través de

molienda seca, siendo ésta muy variada y dependiente de varios factores, entre ellos los culturales. Para algunos productos tales como las "tortillas" se utiliza el grano entero molido (incluyendo el germen) previamente cocido en agua de cal, proceso llamado "mixtamalización", en el que se utilizan molinos de muelas o discos, transformando al grano hidratado en una masa. Para otros como la "polenta" y las "arepas", se utiliza la fracción del endospermo proveniente de la molienda del grano, previamente desgerminado y descascarado. Para este caso se requieren instalaciones especiales, las cuales integran el diagrama de molienda seca. La optimización de este diagrama permite obtener sémolas y harinas con bajo contenido de materia grasa, lo cual es uno de los requerimientos para la utilización en diversos productos tales como: "cornflakes", expandidos, polenta, "grits" para cervecería, etc. Estas sémolas y harinas son producidas por reducción (en molinos de rolos), principalmente de trozos o fragmentos del endospermo córneo, que surgen luego de las etapas de desgerminación y descascarado, cuyos tamaños de partículas están comprendidos entre 3 mm y 200

Cuadro 5. Composición promedio de minerales del grano de maíz.

Minerales	Contenido en BS
Calcio	0,03 %
Fósforo	0,29 %
Magnesio	0,14 %
Potasio	0,37 %
Sodio	0,03 %
Cobre	4,0 ppm
Manganeso	5,0 ppm
Zinc	14,0 ppm

Fuente: Watson ,1987

En cuanto a la producción de "snacks" expandidos, comúnmentese prefieren maíces duros debidos tanto a sus propiedades durante la molienda seca, como por la mejor textura alcanzada, en comparación con maíz dentado (de endospermo más blando) (GONZÁLEZ, et al, 2004; ROBUTTI, et al, 2002).

2.5.2. El frijol Chiclayo

2.5.2.1. Breve Descripción de las leguminosas

El nombre de la familia de las leguminosas, leguminosae, se deriva de la palabra "legumbre" que es el nombre del tipo de fruto (vaina) característico de las plantas de esta familia (SHERMAN, 1991). Una es un fruto monocarpelar, que contiene una sola hilera de semillas y que

su dehiscencia a lo largo de dos suturas o costillas. Las leguminosas son dicotiledóneas (HUGHE, et al, 1999).

Las leguminosas se destaca por ser la segunda fuente importante para la alimentación humana y animal, después de los cereales, debido a su alto contenido proteico, el cual varía entre 17 a 40%, con una alta concentración de hidratos de carbono (HUGHE, et al, 1999), pero su contenido de anti nutrientes interfieren negativamente en la digestión y absorción de proteína. (GRANADOS y LARA, 1989).

Las leguminosas se emplean como materia prima para la obtención de fracciones de proteínas y de almidón mediante técnicas apropiadas para luego ser utilizada en la industria alimentaria. Se han realizado diversas investigaciones en leguminosas que se han destacado por su buena adaptación a las condiciones agronómicas, tal es el caso de *Phaseolus lunatus*, *Canavalia ensiformis* y *Vigna unguiculada* (BROUGHTON, et al, 2003).

2.5.2.2. Características del Chiclayo

La altura promedio de la planta es de 60 a 90 cm, con un espaciamiento de 15 a 22 cm., con la necesidad de la exposición total del Los frutos tienen un tiempo de madurez de 61 a 70 días, con un color floral azul-violeta a violeta-lavanda. Para cosechar las semillas se espera hasta las vainas estén secas (95%) En esta etapa las vainas se abren fácilmente al presionarlas con las manos. La limpieza de los granos se realiza mediante venteo (natural o usando el ventilador de una pulverizadora a motor),

eliminando los materiales indeseables que están contaminando el grano (Castañeda, 2000).

El Chiclayo, que es consumida por las poblaciones pobres de África Oriental y del Noreste de Brasil (Rangel, et al, 2003), así como en la selva peruana.

Reconociendo este potencial la Universidad de Michigan (USA) la Fundación Kelllogg patrocinaron una reunión de expertos de África Occidental y Latinoamérica para analizar y compartir experiencias con frijol común y *Chiclayo (Vignaungiculata)*, así como planear las acciones a realizar en el marco del programa de colaboración 2002-2007 (AID, 2000). La *Vignaungiculata* (L.) Walp es una especie de cultivo limitado actualmente, aunque apreciada en algunas zonas de España y Portugal, donde recibe nombres como "caupí" (derivado del "cowpea" en inglés), judía carilla, judía vaca y fríjol de fraile. Esta es considerada de origen africano y traído a América en el siglo XVII, es importante en algunos sistemas campesinos de áreas tropicales secas y subhúmedas del país, por su tolerancia a agrícolas adversas de sequía, plagas y enfermedades, lo cual constituye una seguridad alimentaria en años malos, secos o muy lluviosos. En el sureste México, la *Vigna* está constituida en su mayoría por variedades de grano color café rojizas y otras con vainas, color "beige" o negro, llamados x'pelon o x'peron en lengua maya. La leguminosa *Vignaungiculata* es conocida regionalmente en el Perú como Chiclayo, la cual presenta buenos rendimientos agrícolas en los suelos de la selva peruana donde se siembra como cultivo asociado. El fríjol es originario de la cultura antigua de África y

Asia. Su cultivo se ha extendido por todo el mundo utilizándose en la alimentación humana y animal como fuente de proteína. Tiene las características de ser una planta tolerante a la sequía, a la baja fertilidad de los suelos y a las altas temperaturas (SANTIETEBAN, et al, 2001). En la siembra se realiza entre septiembre a diciembre de acuerdo a las condiciones de humedad del suelo y si se dispone de riego o no (SAENZ, 1995).

La cosecha debe efectuarse de 2 a 3 cortes, ya sea por consumo en verde o en grano en seco. En el primer caso se recomienda cosechar cuando el grano está bienformado, y en el segundo caso cuando las vainas están completamente secas. (RIVERA, 1995)

Información Taxonómica

Familia: Fabaceae

Género: Vigna (Dominico Vigna)

Especie: Unguiculata

Cultivar: Whippoorwill

2.5.2.3. Composición Química

La composición química del grano de frijol Chiclayo en base presenta un contenido de humedad de 6.20 a 6.46%, lípidos 6.20 a 6.50%, fibra cruda 1.7 a 4.5 %, carbohidratos 55.0 a 65.7 % y proteína cruda 20.5 a 39.7%. Al igual que en otras leguminosas, sus proteínas son deficientes en contenido de aminoácidos azufrados reduciendo de esta forma su calidad nutricional (TECSON y ADACHI, 2001; ONWULIRI y OBU, 2002), aunque la

lisina, fenilalanina, leucina, isoleucina y valina se presentan en un nivel adecuado según los requerimientos de la FAO (HUSSAIN y BASAHY, 1998).

Cuadro 6. Composición de minerales de algunas variedades de *Vigna unguiculata* cultivadas en México.

Minerales	Concentración (mg/100g)
Calcio	15,0-24,0
Hierro	22,5-16,0
Zinc	8,8-5,6
Potasio	1319,0-1028,0
Sodio	56,1-42,1
Cobre	0,7-0,3
Manganeso	12,4-8,4
Magnesio	156,0-231,0

Fuente: DUKE, 1981.

Sin embargo, como otras leguminosas contienen factores no nutricionales tales como los inhibidores de tripsina, lecitinas, etc., que reducen su digestibilidad (BRENES y BRENES, 1993; FREITAS, et al, 2004), no obstante éstos factores están presentes en menor cantidad respecto de otras leguminosas (RANGEL , et al, 2003). Otro factor presente en las con efectos negativos desde el punto de vista organoléptico es la enzima lipooxigenasa que participa en la oxidación de ácidos grasos (FEHR, 2000). Para disminuir los efectos de estos factores se debe someter a los

granos a un procesamiento térmico adecuado, denominado inactivación que se ha confirmado una mejora en el valor nutritivo de estas proteínas (BRENES y BRENES, 1993). Esta inactivación puede ser efectuada por medio de la extrusión.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. Lugar de ejecución

El presente trabajo de investigación se desarrolló en la ciudad de Tingo María situado a 680 msnm, en la Provincia de Leoncio Prado, Región Huánuco en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias, y en la Planta Piloto todos ellos en la Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS).

3.2. Materia prima

Se utilizó como materia prima las harinas de maíz chuncho y de frijol Chiclayo de la zona proveniente del mercado de abastos Tingo María.

3.3. Materiales

Se utilizaron materiales de laboratorio, materiales y equipos de procesamiento y reactivos y soluciones.

3.3.1. Materiales de Laboratorio

- Termómetro de 100 °C
- Matraz de Erlenmeyer de 250 ml.
- Buretas.
- Balones de digestión.

- Vasos de precipitación de 50, 100 y 250 ml.
- Crisoles de porcelana.
- Fiolas de 50, 100 y 500 ml
- Vaguetas
- Pipetas graduadas de 2.5 y 10 ml.
- Placas Petri.
- Embudos de vidrio.
- Cubetas de espectrofotómetro entre otros.

3.3.2. Materiales y equipos de procesamiento

- Mesa de trabajo
- Cuchillos de acero inoxidable
- Espátulas
- Ollas
- Recipientes de plástico
- Balanza
- Cocinas a gas y eléctricas
- Estufa marca Felisa® modelo 133
- Extrusor.
- Cuchillos.
- Bascula.
- Molino
- Tamiz.
- Recipientes.

3.3.3. Reactivos y soluciones

- Hidróxido de sodio (NaOH) 0.1 N.
- Indicador de fenolftaleína 1%.
- Buffer acetato de sodio 0.1 M pH 4.5.
- Buffer acetato de sodio 1M pH 5.
- Ácido sulfúrico.
- Colorante 2-6 diclorofenolindofenol.

3.4. Método de análisis

3.4.1. Caracterización de las materias primas.

Las determinaciones de humedad, materia grasa, proteínas, cenizas, se realizaron de acuerdo a las técnicas establecidas por la (AACC,1994). Todas las determinaciones fueron realizadas por duplicado y se trabajaron con los valores promedios. Para estas determinaciones, las sémolas obtenidas en los puntos 3.4.1 y 3.4.2, se molieron utilizando un molino de granos convencional.

3.4.2. Evaluación de los parámetros de extrusión y de las características del expandido sin moler.

3.4.2.1. Expansión

En todos los casos se medirá el diámetro (mm) de los trozos de muestras extruidas con un calibre manual Vernier en 10 zonas distintas escogidas al azar. La expansión se calculará como la relación entre el diámetro medio del producto y el diámetro de la boquilla según:

$$E = \frac{D}{d}$$

Dónde:

D: es el diámetro promedio del material extrudido

d: es el diámetro de la boquilla del extrusor.

3.4.2.2. Densidad (ρ)

Es el peso de un 1 cm³ de muestra extruida. Da una idea de la "porosidad" de la muestra. Por lo tanto, a mayor densidad menor será la porosidad del producto. Esta magnitud está inversamente relacionada con el grado de cocción. La densidad de las muestras extruidas se determinará separando 10 trozos de muestra de aproximadamente 5 cm de longitud cada uno. Cada trozo se pesará y se expresará dicho peso en base seca. La D se calculará con la siguiente fórmula:

$$\rho = \frac{M(mg)}{\left(\frac{\pi d^2}{4}\right)L}$$

Dónde:

L es su Longitud en cm.

3.4.2.3. Resistencia a la compresión mecánica

Fue evaluada determinada la resistencia a la compresión del producto, utilizando una maquina universal Instron modelo 4411. Probetas de 8 mm de largo fueron comprimidas a una velocidad de 10 mm/min, usando una celda de carga de 500 kgf, de acuerdo con (Park, et al, 1993).

3.4.2.4. Evaluación sensorial

La evaluación sensorial de la dureza se realizó por medio de un panel entrenado, utilizando una escala de dureza de 1 a 9, cuyos extremos fueron establecidos con las muestras extruidas, otorgando a la más dura el valor 1 y a la menos dura el valor 9. En todos los casos se solicitó al panel que realice comentarios acerca de la intensidad en el sabor percibido en las muestras en una escala de 1 a 9, otorgando el valor de 1 al menos agradable y el valor de 9 al más agradable.

3.4.3. Evaluación de las harinas extruidas

3.4.3.1. Obtención de harinas

Aproximadamente 150 g de las muestras extruidas correspondientes a cada condición experimental, fueron molidas en un molino de martillos utilizando primero una malla de 3 mm para lograr una primera reducción y luego una malla de 0,25 mm para una reducción más fina. El proceso de molienda se realizó hasta que el 98% pasara por un tamiz de 420 μm .

3.4.3.2. Solubilidad en agua

Fueron los gramos de sólidos solubles por gramos de sólidos totales. Se utilizó la técnica descrita por ANDERSON, et al, 1969, con las modificaciones realizadas por GONZÁLEZ, et al, (1986). Se pusieron en suspensión 1,25 g de muestra en 25 ml de agua en tubos de centrifuga a temperatura ambiente y se agito durante 30 min; se centrifugo a 2000xg por espacio de 30 min, obteniéndose un sobrenadante y un residuo o gel

insoluble. En el sobrenadante, se determinó el contenido de sólidos solubles por evaporación en estufa a 105 °C y se calculó la solubilidad como el porcentaje de este peso respecto al de la muestra seca.

3.4.3.3. Viscosidad de la dispersión de harina

Para las medidas de la viscosidad, se prepararon dispersiones de harinas, al 10,0; 13,0; 15,0 % en peso, base seca (%P/P_{bs}). La viscosidad será evaluada con un reómetro Brookfield Ultra Programable. La preparación de la dispersión se realizará de la siguiente manera: la harina se colocará en frasco con tapa a rosca, se le adicionará el peso correspondiente de agua a temperatura ambiente, agitando con la precaución de no generar grumos. Luego, los frascos cerrados serán agitados en un baño termostático a una temperatura de 70 °C por 10 min (tiempo necesario para que la temperatura la dispersión alcance los 63-65 °C). A continuación, se verterá la suspensión en el vaso del viscosímetro. El reograma se realizará a 60 °C, desde una velocidad de 0 hasta 150 rpm. Los valores de esfuerzo de corte (τ) en [Pa] y gradiente de velocidad (D) en [s^{-1}], se calcularán multiplicando los valores de ω y de rpm, por las respectivas constantes que suministra el instrumento. De esta manera, se construirán los reogramas (curva τ vs D) para las harinas obtenidas en las condiciones del diseño experimental. Los reogramas para cada muestra se obtendrán por duplicado y se calcularán los valores medios de esfuerzos de corte (τ , en Pa) para distintos valores de gradiente de velocidad (D, en s^{-1}). Con tales valores se obtendrán por regresión los

parámetros de la función de potencia: $\tau = k D^n$, la cual se utilizará para la viscosidad a un gradiente de velocidad seleccionado.

3.4.4. Evaluación de las características nutricionales

3.4.4.1. Determinación de digestibilidad in vitro de proteínas

La determinación de la digestibilidad proteica se llevara a cabo de acuerdo al método in vitro de GENOVESE Y LAJOLO (1996), con ligeras modificaciones.

Se pesarán aproximadamente 2 g de muestra (maíz/frijol) que dispersaran en buffer de pH=2 (KCl-HCl), obteniendo una concentración de 13,3 % (aproximadamente 10 mg/ml de buffer). Se colocara en baño termostático a 37°C y se adicionará 1 ml de pepsina (Sigma) 0,25 % de manera de alcanzar una proporción de 1/66,7 (enzima/sustrato). Se incubará durante 2 horas. Luego se adicionará buffer fosfato de sodio 0.2 M a pH 8 v/v) para elevar el pH a 7,5-7,7, e interrumpir la acción de la pepsina. Se equilibrará a 37 °C y se adicionará 1 ml de pancreatina (al 0.6%). Se durante 4 horas a la misma temperatura con agitación. Se tomaran muestras intervalos de 1 hora y la digestión se interrumpirá con SDS 2% y calentando durante 10 min a 90 °C. Luego se centrifugara a 2.500 g x 10 minutos y se determinara el contenido de grupos aminos libres en el sobrenadante. Se realizaran dos blancos simultáneamente, uno conteniendo sólo las enzimas y otro solo las muestras. El grado de hidrólisis se determinara basándose en la

medición de grupos aminos liberados utilizando la técnica del OPA et al, 2001).

3.4.4.2. Determinación del contenido aminos libres

Se seguirá la Técnica de NIELSEN et al 2001). Para la preparación del reactivo de color, se disolverá en aproximadamente 75 ml de agua, 3,81g $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot \text{H}_2\text{O}$ y 100 mg de SDS. Aparte se disolverán 80 mg de OPA (orto oftaldialdehido) en 2 ml de etanol. Se mezclarán las soluciones anteriores, se agregara 88 mg de DTT (Ditiotreitol) y se enrasará en matraz de 100 ml con agua destilada.

El Estándar se preparara disolviendo 25 mg de L-serina en 25 mg de agua destilada. Se construirá la curva de calibrado (Cuadro 7) utilizando una dilución de 1/10 de la solución anterior.

Cuadro 7. Curva de calibrado para grupos aminos libres

MUESTRAS	H2O μl	TESTIGO μl
BLANCO	200	-
T1	150	50
T2	100	100
T3	50	150
T4	-	200

El método consiste que a 1,5 ml de reactivo color se agregara 200 μl de estándar (testigo) o 200 μl de una dilución apropiada de la muestra 200 μl de agua (blanco). Se agitara durante 5 segundos y se leerá a 340

Después de 2 minutos. Los aminoácidos libres se calcularán a partir de la curva de calibrado: absorbancia vs. mEq de serina.

3.4.4.3. Dializabilidad de Fe y Zn.

La dializabilidad del hierro (DFe%) y del zinc (DZn%) será estimada en las muestras molidas, utilizando la técnica de dializabilidad modificada, que mide el porcentaje de mineral dializado luego de una digestión que simula los procesos gastrointestinales (primera etapa con pepsina y una segunda etapa con bilis-pancreatina), utilizando bolsas de diálisis (WOLFGOR, 2002).

El método consiste en que alícuotas de 25 gr de muestras homogeneizadas, se ajustarán a pH 2 con HCL 3.914 N y luego se agregará 0.8 ml de solución de pepsina al 16% en HCL 0.1 N. Las muestras se incubarán durante 2 horas a 37°C en baño de agua con agitación. Posteriormente se agregarán a las bolsas de diálisis conteniendo 20 ml de buffer PIPES 0.15M. El pH del buffer usado será calculado para obtener un dializado con pH 6.5 ± 0.2 al final de la diálisis.

Para calcular el pH del buffer se utilizarán las siguientes ecuaciones:

$$[H^+] = K_a \times C_a / C_b$$

Dónde:

Ca = concentración o mEq del ácido

Cb = concentración o mEq de la base

Ka = constante de acidez

Considerando que 20 mL de buffer PIPES 0.15 M PIPES buffer contribuirá con 3 mEq, y sustituyendo Ca y Cb resultará:

$$\frac{[H^+]}{K_a} = \frac{Total\ mEq + X}{(3 - Total\ mEq) - X}$$

Donde mEq totales = mEq HCL necesarios para ajustar a pH=2 la muestra + 0.048 mEq (adicionados con la solución de pepsina) + mEq de ácidos generados por la hidrólisis (titulando con NaOH 0.1 N hasta pH 6.5), y X = mEq de ácido que debería ser provisto por el buffer. Despejando el valor de X de:

$$X = [fx3/(f + 1)] - mEq\ totales$$

$$\text{Dónde: } f = [10^{(PIPES\ pKa - pH\ a\ alcanzar)}] = 10^{(6.8 - 6.5)} = 1.995$$

Remplazando X, se obtiene el pH del buffer PIPES 0.15 M

$$pH = -\log[K_a \cdot X / (3 - X)]$$

Luego se agregaran 3.75 ml de una solución de bilis 2.5% y pancreatina 0.4% en Bicarbonato de sodio 0.1 N, continuando la digestión durante 2 horas a 37°C. Los dializados finalmente se pesaran.

Para calcular el contenido de minerales fue necesario que las muestras sean molidas y mineralizadas por vía seca y el contenido de minerales se determinó por espectroscopia de absorción atómica.

3.5. Metodología experimental

El presente trabajo se realizó en 4 etapas bien definidas que consisten en obtener las harinas y caracterizarlos, determinación de la formulación óptima mediante pruebas preliminares, obtener el producto final mediante las pruebas definitivas y la caracterización del producto final.

3.5.1. Obtención de sémolas

3.5.1.1. Molienda de los granos de maíz

Para la obtención de sémola de maíz se hizo una molienda muy fina, partiendo del maíz chuncho seco (8% de humedad). El contenido de humedad mínimo permitió obtener sémolas con un nivel de finura adecuado para el proceso de extrusión (ROBUTTI, et al, 2002). La granulometría final de estas sémolas fue de 420 μm .

3.5.1.2. Molienda de los granos de frijol

En un trabajo previo (FRITZ, et al, 2005), pudo demostrar que la utilización de los granos de frijol de palo con lipoxigenasa inactivada (por tratamiento con vapor fluyente en autoclave por 10 min) permitía atenuar significativamente el "sabor a legumbre" característico. Por tal razón los granos, fueron molidos en etapas, utilizando un molino de dientes evitando una excesiva proporción de partículas finas, pero suficiente para separar la cáscara por aspiración con aire. La granulometría de la fracción seleccionada para la extrusión fue de 250 μm .

3.6. Formulación y elaboración del "snack"

En esta etapa se tuvo las muestras a extruir la cual consistió en la preparación de las mezclas que tenían que entrar a la operación de extrusión considerando primeramente 20 g, 25 g y 30 g de sustitución de sémola de maíz con sémola de frijol Chiclayo precocido; se consideró luego la humedad de la mezcla o humedad de alimentación que fueron en tres niveles: 10,0;

y 14,0 g. y finalmente se consideró los niveles de sal y/o azúcar: sal 2%, 5% y sal y azúcar 2% y 5% respectivamente,

El acondicionamiento tenía que hacerse como mínimo 2 horas antes del proceso de extrusión, llevándola al nivel de humedad establecido en el diseño experimental anterior, para lo cual se hizo en un mezclador para cake a una velocidad de rotación de 60 rpm, agregando el contenido de agua necesaria y agitando por espacio de un 1 minuto. Luego la mezcla acondicionada fue dispuesta en bolsa de plástico debidamente cerrada hasta

Las condiciones de extrusión para todos los casos fue tal como están especificadas en el equipo controlando que el producto no se queme. La alimentación del extrusor se realizó de tal manera que se llene totalmente los canales del tornillo en la sección de alimentación ("full capacity").

En el Cuadro 8 se indican las proporciones de todos los componentes para los diferentes tratamientos, obtenidos a través de ensayos preliminares

Cuadro 8. Proporción de los componentes del "Snack."

Ingredientes	Porcentaje	Condición
Harina de maíz	70, 75 y 80	Variable
Harina de frijol	20, 25 y 30	Variable
Agua	10, 12 y 14 (del total)	Variable
Azúcar	5, 0 g (del total)	Variable
Sal	2, 0 g (del total)	Variable

Estableciéndose 9 tratamientos que corresponden a un 100% tal como se muestra en el cuadro 9.

Cuadro 9. Tratamiento para elaborar el snack

Ingredientes	T1	T2	T3	T4	T5	T6	T7	T8	T9
Agua	10	12	14	10	12	14	10	12	14
Maíz	80	80	80	75	75	75	70	75	70
Frijol	20	20	20	25	25	25	30	30	30
Azúcar	0	0	0	5	5	5	5	5	5
Sal	2	2	2	0	0	0	2	2	2

3.7. Diseño experimental

3.7.1. Caracterización de la materia prima

En esta etapa no existió diseño experimental, solamente se hicieron pruebas fisicoquímicas específicas.

3.7.2. Diseño experimental de la extrusión

En la figura 6 se tiene el diseño experimental del extruido considerando humedad, sustitución maíz-frijol y niveles de azúcar y sal.

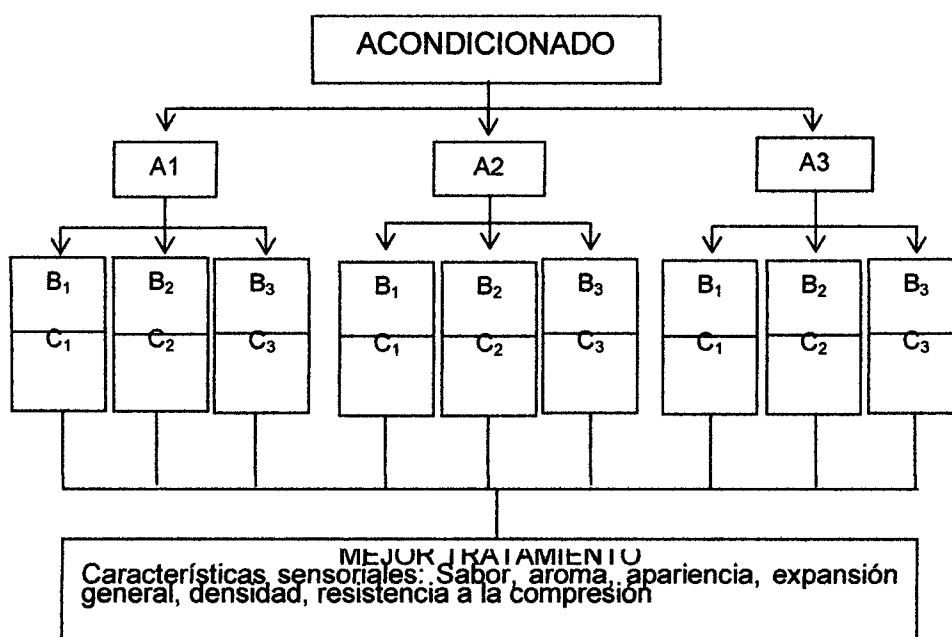


Figura 6. Diseño experimental para optimizar el producto extruido tipo snack.

En la figura 6 se tiene:

A:% de agua.

A1: 10%.

A2: 12%

A3:14%.

B: % de sustitución con sémola de frijol.

B1:20% de sustitución con sémola de frijol.

B2:25% de sustitución con sémola de frijol.

B3:30% de sustitución con sémola de frijol.

C: Niveles de azúcar o sal.

C1:2 % de sal.

C2: 5 % de azúcar.

C3: 5 % de azúcar + 2% de sal

En el diseño del programa Statgraphics centurión se trabajó con 2 factores:

Humedad: 10%, 12%, 14%

Mezclas: 1, 2, 3

Mezcla 1: 20% sustitución, 2 % sal

Mezcla 2: 25% sustitución, 5% azúcar

Mezcla 3: 30% sustitución, 2% sal y 5% de azúcar

3.7.3. Ensayos de extrusión

Como ya mencionamos en la metodología experimental en esta fase no existieron variables en estudio.

3.8. Análisis estadístico

Las pruebas estadísticas se hicieron como detallamos a continuación:

3.8.1. Evaluación de las muestras

Para cada una de las respuestas evaluadas (Y), se ejecutó un análisis de variancia (ANVA). Las respuestas quedaron expresadas en la ecuación de la siguiente forma:

$$Y_{ijk} = U + A_i + B_j + C_k + E_{ijk}$$

Este modelo se corrió en el Software Statgraphics en un diseño de mezclas donde analizaremos la opción que corresponde a mezclas determinaremos la superficie de respuesta para cada análisis para poder establecer el tratamiento óptimo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Composición del maíz chuncho, del frijol Chiclayo y de la mezcla.

El cuadro 10 muestra la composición química centesimal en base seca de las sémolas de maíz chuncho y de frijol Chiclayo empleadas en este trabajo. Los valores de humedad de las sémolas de maíz y del frijol fueron 12.30% y 12.51% respectivamente.

Cuadro 10. Composición centesimal (en base seca) de las materias primas empleadas.

Componentes	Maíz chuncho	Frijol Chiclayo	Mezcla (80/20)
Proteínas (N x	7,0± 0,08	29,0± 0,20	10,4± 0,25
Materia Grasa	1,05± 0,1	1,40± 0,05	1,10± 0,1
Cenizas	0.65 ± 0,06	4,50± 0,08	1,03± 0,1

Se puede observar que la composición de la mezcla se corresponde a lo esperado. Es importante destacar la ventaja de la adición del frijol, ya que, de un contenido de 7% en el maíz se pasa a un valor de 10,4% en la mezcla. Es decir se logra un 47% de aumento con solo 20% de remplazo. Un mayor incremento se podría lograr aumentando la proporción del frijol, pero en este caso aparecerían las restricciones sensoriales, que provocarían una

disminución en la aceptabilidad del producto. No obstante, haber calculado el contenido proteico como proteína bruta, se debe destacar que el factor de conversión de nitrógeno a proteína correspondiente al maíz se encuentra en orden de 6,25 y aunque no conocemos el factor correspondiente al frijol, se puede considerar que el valor calculado como proteína bruta es muy cercano al de la proteína verdadera, ya que el % de remplazo del maíz no es

4.2. Efecto de los factores experimentales en la extrusión sobre las características físicas y organolépticas.

El cuadro 11 muestra los valores de las respuestas para las distintas condiciones de extrusión de acuerdo al diseño experimental llevadas a cabo con el maíz chuncho y el frijol con lipoxigenasa inactivada extruidas a 165 °C, tres niveles de humedad, tres puntos de Mezclas (sustitución maíz - frijol, niveles de azúcar y sal) utilizados en el diseño experimental.

Se observa que el mejor tratamiento para densidad es (T7), expansión (T1), Dureza sensorial (T1), Resit. Compresión (T6), Solubilidad (T9), Sabor sensorial (T8)

Cuadro 11. Resultados de los promedios de las características de las muestras en función del diseño experimental correspondientes a las mezclas maíz-frijol, humedad y azúcar-sal.

Muestra	Densidad (g/dm ³)	Expansión	Dureza Sensorial	Resist. a la Compresión (kg f)	Solubilidad (g %)	Sabor sensorial
T1	188,30	4.02	8	3,95	49,30	5
T2	299,30	3.05	6	7,40	50,50	7
T3	409,30	3.01	5	8,61	36,30	6
T4	186,20	3,09	7	3,91	54,00	6
T5	234,10	3,17	7	4,48	42,80	7
T6	246,40	2.96	6	3.89	42,00	5
T7	146,80	3.05	7	4.00	43,10	7
T8	254,90	2,95	7	4.00	39,60	9
T9	275,70	2.88	6	3.90	58,60	8

En la Fig 7 y cuadro 12. Muestra los resultados de cada variable estudiada respecto a los factores experimentales.

Con respecto a la densidad se observa el mejor tratamiento es T7, y que el valor óptimo es 145.855, 10% H, 2 de Mezcla y con un 95% de confianza el factor Humedad influye de manera significativa en la variable densidad, es decir se obtiene productos extruidos con diferentes densidades para cada humedad. Esto explica una relación inversa con el grado de (GC)(GONZÁLEZ, et al, 2003). Que a mayor grado de cocción (CG) y consecuentemente para las otras dos características directamente relacionadas (dureza sensorial y resistencia a la compresión), se debe destacar que existe una relación con los niveles de sémola de frijol

(GONZÁLEZ, et al, 2003). Para valores de solubilidad no hay un comportamiento uniforme de aumento o disminución según la sustitución y humedad utilizada para el diseño experimental, se verifica que el aumento o disminución de la solubilidad depende más de los niveles de agua utilizados de la adición de azúcar y sal.

Con respecto a la expansión, se puede destacar que el mayor valor se obtiene en el tratamiento T1 (80/20 Sus; 10 H; 2% sal), disminuye con el aumento del contenido de sémola de frejol y con el aumento de humedad. Este efecto se atribuye que al aumentar el contenido de frejol aumenta el contenido de proteínas y disminuye el contenido de almidón en la mezcla, lo que no permite una buena gelatinización, esto se relaciona con el poco grado de cocción por lo tanto existe menos expansión.

Estos resultados se analizaron estadísticamente observándose que en la mayoría de los casos el P valor es menor que 0,05 por lo tanto los tratamientos son diferentes existiendo un óptimo.

Desde el punto de vista físico de los productos, para, cuanto menos denso es el producto, menos duros son estos, y presentan un mayor grado de expansión, lo cual produce mayor absorción de agua y mayor solubilidad en ella (Zazueta-Morales,2003).

Cuadro 12. Resultados del análisis de variancia (P valor) correspondiente a las características de las mezclas extruidas

Fuente de variación	Características					
	Densidad (minimizado)	Expansión	Dureza sensorial	Resist a la compresión (minimizado)	Solubilidad	abor
Valor óptimo	145.86	3.9255	7.6111	3.13739	55.0472	9.00463
Humedad Óptima	10	10	10	10	10	12
Mezcla optima	2	1	1	2	1	3
P-Valor						
A = Humedad	A=0.0264	A=0.0480	A=0.027	B=0.0301		B=0.034
B = Mezcla		B=0.0266				

Para el cuadro 12 vemos un P valor menor que 0.05 para la humedad (A) lo que se concluye que en la densidad, expansión y dureza sensorial, existe diferencia significativa así como para la Mezcla (B) existe una diferencia significativa en la expansión, resistencia a la compresión y sabor sensorial.

En el caso de la solubilidad no existe diferencia significativa entre cada factor y la interacción de ellos.

Para la figura 8 nos muestra una interacción de las 3 variables dando un valor óptimo de deseabilidad 0.58549 con una humedad de 12% y una mezcla de 1 (20% sus, 2% sal).

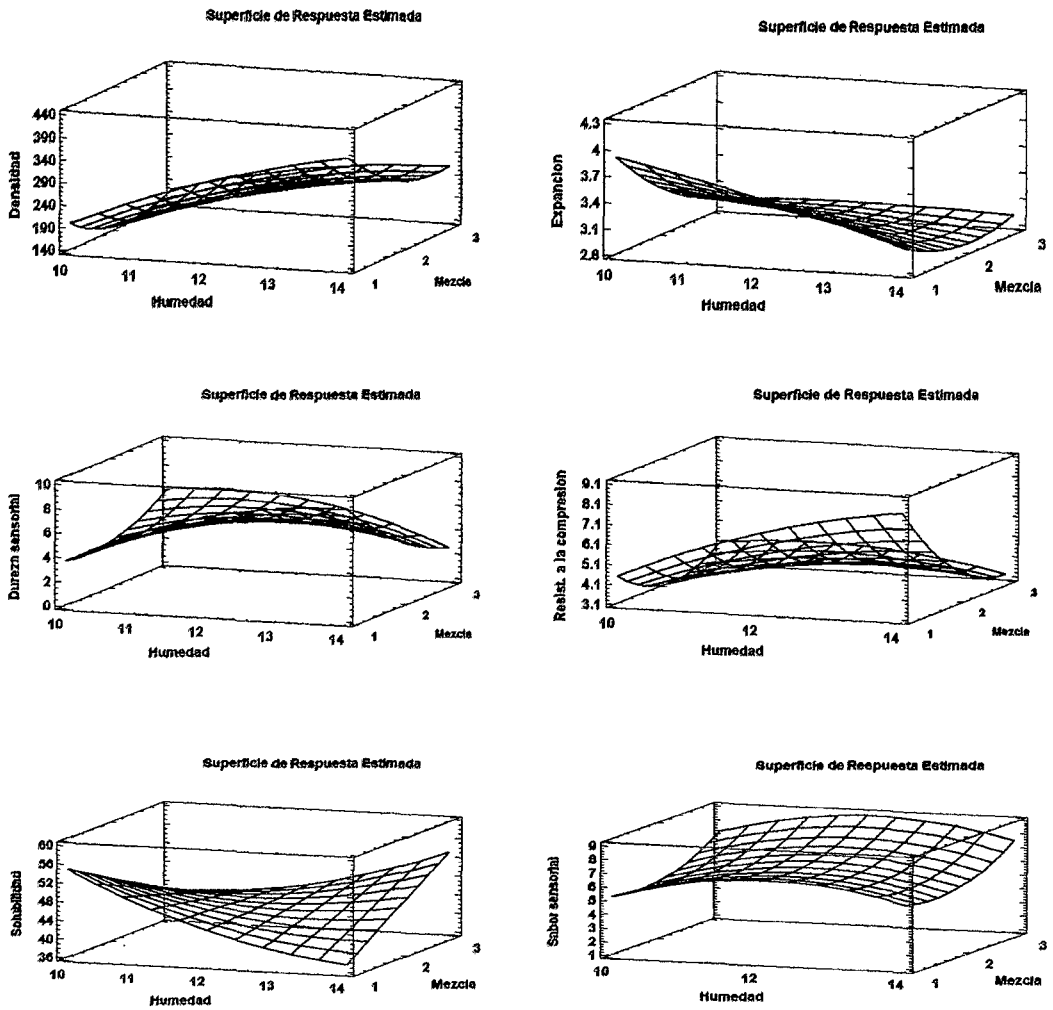


Figura 7. Superficies de respuesta obtenida, Densidad, Expansión, Dureza sensorial, Resistencia a la compresión, Solubilidad y sabor sensorial.

Superficie de Respuesta Estimada

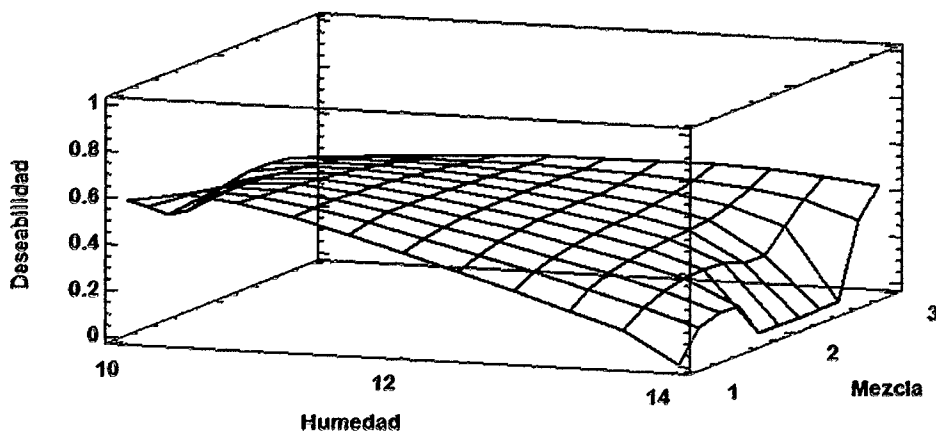


Figura 8. Superficies de respuesta estimada con respecto a la interacción de 3 variables (Expansión, Dureza sensorial y sabor sensorial).

4.3. Análisis de las características reológicas de las dispersiones de harinas obtenidas a partir de las muestras extruidas.

En el cuadro 13 se tiene los coeficientes de consistencia, índice de flujo y el r^2 de las mezclas extruidas que fueron diluidas para evaluar sus propiedades reológicas.

Cuadro13. Coeficientes de consistencia e índices de flujo en función de la ecuación de la potencia correspondientes a las dispersiones de harinas de las muestras extruidas las mezclas maíz- frijol.

Muestra	%	K	N	r²
Mejores	Concentración	(Pa.s)	(Adimensional)	
tratamient	en agua			
os				
T2		1,671	0,485	0,999
T5	10	4,345	0,366	0,979
T8		2,850	0,528	0,991
T2		8,502	0,333	0,981
T5	13	12,810	0,293	0,976
T8		13,959	0,351	0,966
T2		8,031	0,435	0,991
T5	15	13,467	0,410	0,979
T8		16,849	0,401	0,974

En el cuadro 13 se observa los coeficientes de consistencia del producto extruido molido el cual fue diluido en agua a tres concentraciones observándose que el mejor tratamiento tiene menor consistencia comparado con los tratamientos T5 y T8 y también varía en función a la concentración.

El índice de flujo tiene una variación no muy uniforme por lo que lo sometimos a una ANVA, obteniéndose P valores que nos ilustran que para las mezclas la Pseudoplasticidad es notoria es decir en ningún tratamiento es igual ya que el P valor es menor a 0,05; lo mismo sucede con la humedad.

Cuadro14.Resultados del análisis de variancia y polinomios de regresión de las superficies.

Fuente de variación	P Valores
----------------------------	------------------

	10%	13%	15%
Mezcla	0,0089	0,0004	0,0381
Humedad	0,0049	0,0002	0,0163
Falta de ajuste	0,3073	0,0581	0,3159

4.4. Evaluación de las características nutricionales

Teniendo en cuenta los análisis realizados, se seleccionó la muestra extruida optima T2 (12% Hum, 20% sut. 2%sal)a 165°C, para la evaluación de las características nutricionales.

4.4.1. Calidad proteica

4.4.1.1. Digestibilidad *in vitro* de proteínas

La digestibilidad *in vitro* de proteínas de la mezcla optima(T2) fue de $71,74 \pm 0,30$ % (de acuerdo a la técnica de (GENOVESE y LAJOLO; 1996), tomando como referencia a laLisina(100%).

La digestibilidad de la misma mezcla fue determinada en otros laboratorios con la técnica multienzimática de (HSU et al; 1977) y resultó un valor de 83.29%. Este valor es significativamente mayor que el anterior, el es semejante a los obtenidos con estudios *in vivo* en ratas (NIELSEN; 1991). No obstante, los valores de digestibilidad son todavía inferiores a los de las proteínas animales. Esta diferencia puede ser atribuida a varios factores, como la estructura proteica más compacta en las leguminosas, la presencia de otros componentes (minerales,hemicelulosa), la formación de complejos de proteína y almidón (NIELSEN, 1991). Y de enlaces entrecruzados entre proteínas (BALANDRÁN-QUINTANA, et al, 1993).

4.4.1.2. Puntaje químico

En el cuadro 15 se observa el perfil de aminoácidos de la mezcla maíz/frijol extruida y el puntaje químico correspondiente, calculado según los datos de composición aminoacídica aportados por la Dra. Sandy Díaz Covarrubias del Instituto Tuxtla Gutiérrez-Chiapas-México y el patrón sugerido por la FAO/WHO de requerimiento de aminoácidos (mg/ g de proteína) para niños de 2 a 5 años de edad (INSTITUTE OF MEDICINE, 2006). Considerando que el contenido de proteínas (10,4%) está compuesto de aproximadamente un 42% de proteínas de frijol y un 58% de proteínas de maíz, esta proporción se encuentra en el rango recomendado para obtener el máximo de complementación aminoacídica. El puntaje químico calculado para la mezcla fue de 72,6%, siendo el aminoácido limitante la lisina. Este valor es alrededor de 50% mayor que el del maíz, cuyo puntaje químico es 40%.

El agregado de frijol no solo incrementó el contenido proteico, sino que además, mejora significativamente la calidad proteica por efecto de complementación de aminoácidos.

4.4.1.3. Contenido y Dializabilidad de Fe y Zn.

El contenido y la dializabilidad de Fe y Zn, correspondientes a muestras del frijol inactivado sin extrudir y de la mezcla maíz/frijol (80/20) extruida se muestran en el cuadro 16. Estos resultados indican que la extrusión provoca un aumento significativo de la DFe %, mientras que por el contrario la DZn% disminuye, no obstante los valores para el Zn son muy

aceptable. El efecto favorecedor de la extrusión sobre la DFe% y negativo sobre la DZn% ya fue observado en texturizados de soja (DRAGO, 2004).

Cuadro 15. Puntaje Químico de la mezcla maíz/frijol 80/20 extruida.

Aminoácidos esenciales	Mezcla M/F** (mg AA)	mgAA/g de proteína mezcla	mg AA/ g prot de referencia+	Puntaje Químico
Histidina	317,55	30,82	19	162,2
Treonina	411,62	39,95	34	117,5
Fenilalanina+tirosina	926,52	89,93	63	142,7
Valina	455,65	44,22	35	126,4
Azufrados (cisteína+metionina)	352,31	34,19	25	136,8
Isoleucina	417,60	40,53	28	144,8
Leucina	979,60	95,08	66	144,0
Triptófano	348,30	33,81	11	307,3
Lisina	434,04	42,13	58	72,6

Fuente Instituto Tecnológico de Tuxtla Gutiérrez – Dra. Sandy Luz Ovando Chacón- mezcla M/F (maíz/ frijol: 80/20) + Proteína de referencia: patrón FAO para niños de 2 a 5 años. Aminoácido Deficitario (Lisina)

Cuadro 16. Contenido y dializabilidad de Fe y Zn, correspondientes a las muestras del frijol inactivado sin extruir y de la mezcla maíz/frijol (80/20).

Muestras	Fe (ppm BS)	DFe%	Zn (ppm BS)	DZn %
Frijol	55,9 ± 1,8	11,4 ± 1,4	19,3 ± 0,9	46,9 ± 3,0
Mezcla M/F	13,5 ± 0,6	20,6 ± 1,2	11,2 ± 0,3	43,5 ± 1,0

V. CONCLUSIONES

Culminado el presente trabajo y según los objetivos planteados podemos concluir lo siguiente:

- La extrusión de mezclas maíz chuncho-frijol Chiclayo con la lipooxigenasa inactivada, permite obtener productos expandidos con buenas características de fisicoquímicas y de aceptabilidad mediante el ~~labde~~ la densidad del producto expandido son buenos indicadores del grado de cocción donde se nota claramente la modificación de los almidones y componentes de la mezcla haciéndoles asimilables
- La resistencia a la compresión y la dureza sensorial presentan una relación inversa con el grado de extrusión y con los contenidos de sémola de frijol.
- La cocción por extrusión de mezclas maíz chuncho-frijol Chiclayo permite obtener harinas cuyas dispersiones presentan viscosidades aparentes que se incrementan con los niveles de mezclado y los índices de consistencia demuestran pseudoplasticidad.
- El remplazo de un 20% del maíz por frijol, no solo incrementó el contenido proteico en un 47%, sino que además, mejoró significativamente la calidad proteica por efecto de complementación de ~~aminoácidos~~ aminoácidos mejoró la DFe% y si bien afectó desfavorablemente la ~~aminoácidos~~ el valor de ésta sigue siendo aceptable.

VI. RECOMENDACIONES

Culminado el presente trabajo y según los objetivos planteados podemos concluir lo siguiente:

- Se debe estudiar las características del producto como las isotermas de adsorción, las humedades críticas y luego determinar el requerimiento de permeabilidad para que, en base a estos datos, se pueda determinar las características de un empaque que cubra las necesidades del producto estudiado.
- Para controlar el contenido de humedad del alimento a través del empaque, se debe tomar muy en cuenta una serie de factores como lo son la velocidad de transmisión de vapor de agua (WVTR), el área de transferencia y el espesor de la película, sin dejar a un lado las condiciones de almacenamiento a las cuales los productos van a ser expuesto.
- Cuando se realice la determinación del coeficiente de permeabilidad de vapor de agua realizarlo tal como indica la norma, es decir, usando algún tipo desecante, ya que al hacerlo mediante el uso de alimento, los valores del coeficiente van a variar dependiendo del tipo de película plástica y del alimento que se emplee.
- Para tener unos datos más precisos en el tiempo de vida útil dependiendo del volumen a empacar y la forma en la cual son los productos es recomendable, determinar el coeficiente de permeabilidad de la película plástica, ya que para este estudio este valor fue tomado de literatura.

- Es muy importante también determinar los contenidos de humedad crítica dependiendo de las condiciones a la cual los productos están siendo expuestos ya que para este estudio todas las pruebas realizadas que involucraron valores de humedad crítica se tomaron los valores de humedad crítica de Tingo María.

ABSTRACT

The present research work was developed in the laboratories of the UNAS. The objectives were to obtain expanded products with good physicochemical and organoleptic characteristics based on a mixture of corn-bean chuncho Leeds, obtaining flour to determine their viscosities as mixed levels and thus determine the bioavailability of nutrients (proteins, Fe and Zn). We worked with two factors; mixtures (1, 2, 3), humidity (10, 12, 14%). Statistical analysis was used surface responses ($p < 0.05$). Treatments best effect of extrusion on the physical and organoleptic characteristics were: for the Density T-7 (g/dm^3 146.80) Expansion T-1 (4.02) Hardness sensory T-1 (8), Compressive Strength T-6 (3.89 kg-f) Solubility T-9 (58.60%) taste sensory T-8 (9), the interaction of the expansion, flavor and sensory hardness gave a desirability value of 0.585 (12% H, 20% substitution, 2% salt). For viscosity, all treatments showed a pseudoplasticity (n) index of between (0.35 and 0.75). With a substitution of 80/20% corn- kidney bean gave digestibility in vitro of $71.74 \pm 0.30\%$ with reference to the lysine (100%) and Fe and Zn dialyzability of 11.4 ± 1.4 to 20.6 ± 1.2 and 46.9 ± 3.0 to 43.5 ± 1.0 respectively.

VII. BIBLIOGRAFIA

- AACC (American Association of Cereal Chemist).1994."Approved Methods".
St. Paul Minnessota.
- ABD KARIM, A.; NORZIAH, M.H. y SEOW, C. C.2000. "Methods for the
study of starch retrogradation" (Review).*Food Chemistry*. 71: 9 - 36.
- AGENCY FOR INTERNATIONAL DEVELOPMENT (AID-
USA).2000.Proceedings: "Midcourse 2000 researchers meeting of the
bean/cowpea collaborative research support program. Bean/Cowpea
CRSP 2000".Center for International Programs Michigan State
University, USA. April 9-14.
- AKENSON, W.RySTAHMANN, M.A.1964."A pepsin pancreatin digest of
protein quality evaluation".*Journal.Nutr* .83:257.
- ANDERSON, R.A.; CONWAY, H. F.; PFEIFFER, V. F.; GRIFFIN, E.
L.1969."Gelatinization of corn grits by roll and extrusion-
cooking".*Rev.Agrop. y Tec de Alim*.26 (4):552- 564.
- A.O.A.C (Official Methods of Analysis Association of Official Analytical
Chemist).1990.14 TH. WilliawHorwitz (ed). Washington D.C., U.S.A.
- BALANDRÁN-QUINTANA,R. R.;BARBOSA-CÁNOVAS G.V;ZAZUETA-
MORALES J.J; ANZALDÚA- MORALES A; QUINTERO-RAMOS
A.1998. "Functional and Nutritional Properties of Extruded Whole
Pinto Bean Meal (*Phaseolus Vulgaris* L.)".*Journal of Food Science*.
63(1):113-116.

- BATTERMAN AZCONA, S.J y HAMAKER, B.R.1998."Changes occurring in protein body structure and azein during corn flake processing".*Cereal Chemistry*.75:217-221.
- BARBERÁ, R; FARRÉ, R. 1992. "Revisión: Biodisponibilidad de los elementos trazas". *Ciencia y Tecnología de Alimentos* 32 (4) pp: 381-399.
- BENITO, P Y MILLER, D. 1998. "Iron absorption and bioavailability: an updated review". *Nutrition Research* 18(3):581-603.
- BILIADERIS, C. 1991."The structure and modifications of starch with food constituent". *Canadian Journal of Physiology and Pharmacology*. 69: 60-78.
- BISTANY, K. L.; KOKINI, J. L. 1983. "Dynamic viscoelastic properties of foods in texture control".*Journal of Rheology*. 27: 605-620.
- BLANSHARD, J. M. V. 1987. "Starch granule.Structure and fuction a physicochemical approach" Capitulo 2 en *Starch Properties and Potential Critical reports and Applied Chemistry*Volumen 13.
- BLANSHARD Y BOWLER. 1987. "Morphology and composition of starch". En *Starch: Properties and Potential*. Ed T Galliard. Critical Reports on Applied Chemistry John Willey & Sons Chichester-GB.Cap: 3, p: 64.
- BOUZAZA, D.; ARHALIASS, A Y BOUVIER, J. M. 1996. "Die design and dough expansion in low moisture extrusion cooking process".*Journal of FoodEngineering*, 29(2): 139-152.

- BRENES, A.; BRENES, J. 1993."Tratamiento tecnológico de los granos de leguminosas: Influencia sobre su valor nutritivo". *IX Curso de Especialización FEDNA*.
- BROUGHTON, W. J; HERNÁNDEZ G.; BLAIR, M.; BEEBE, S.; GEPTS, P.; VANDERLEYDEN, J.2003."Beans (*Phaseolus* spp.) - model food legumes".*Plant and Soil*.252:55-128.
- BUCHANAN, R.A AND BYERS, M. 1969. "Interference by cyanide with the measurement of papain hydrolysis".*Journal Science Food Agr*.20:843.
- BULEÓN, A.; COLONNA, P.; PLANCHOT, V.; BALL, S. 1998. "Starch granules: structure and biosynthesis".*International Journal of Biological Macromolecules*.23, 85112.
- CASTAÑEDA, W. 2000. "El Fríjol o frijole" Facultad de Agronomía (UNPRG-Lambayeque).<http://www.monografias.com/trabajos4/elfrijol/elfrijol.shtml>(mayo 2003).
- CHEFTEL, J. C.; CUQ, J. L.; LORIENT, D. 1989. "Propiedades nutricionales de las proteínas". En: *Proteínas alimentarias*. Ed. Acribia S.A. 5: 107-139.
- CHEL GUERRERO L; PEREZ FLORES V; BETANCUR ANCONA D AND DÁVILA ORTIZ G. 2002. "Functional properties of flours and protein isolates from *Phaseolus lunatus* and *Canavalia ensiformis* seeds".*Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 50 (3): 584-591.
- CHERYAN, M.; SHUKLA, R. 2001. "Zein: the industrial protein from corn". *Industrial Crops and Products* 13:171-192.

- CLYDESDALE, M. F. 1983. "Physicochemical Determinants of iron Bioavailability". *Food Technology*. 133-138.
- COLONNA, P.; BULEON, A.; MERCIER, C. 1987. "Physically modified starches". En: *Starch: properties and Potential*. Ed. Galliard, T. John Wiley & Sons, New Cork. Cap. 4, p: 81.
- CREWS, H.M.; BURRELL, J.A.; MCWEENY, D.J. 1983. "Preliminary enzymolysis studies on trace element extractability from food". *Journal Science.Food Agric.* 34:9971004.
- DE DIOS, C.; PUIG, R.; ROBUTTI, J. L. 1992. "Tipificación de maíces por algunos caracteres de sus granos". Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria. Estación Experimental Pergamino. Informe Técnico N° 265.
- DICKINSON, E; MC-CLEMENTS, D.J. 1996. "Protein-Polysaccharide Interactions". En: *Advances of Food Colloids*. UK. Chapman & Hall. 81-101.
- DINTZIS, F. R.; BAGLEY, E. B. 1995. "Effects of thermomechanical processing on viscosity behavior of corn starches". *Journal of Rheology*. 39(6): 1483-1495.
- DOS SANTOS F. M.; WANG, S; ASCHERI, M. F, COSTA, S. A. J. 2002. "Productos extrusados expandidos de misturas de canjiquinha e soja para uso como petiscos". *Pesq agropec bras* Brasilia 37(10):1495-1501.
- DRAGO, S.R; GONZALEZ, R.J; TORRES, R; DE GREEF, D.M; FREYRE, M.R; VALENCIA, M.E. 2004. "Efecto del agregado de promotores en la disponibilidad de Fe, Zn y Cade texturizado de soja". Congreso

Internacional de Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Córdoba, Argentina 24-26/11.

DUKE, J.A. 1981. "Handbook of Legumes of World Economic Importance Plenum" USA. p 302-306.

EYHÉRABYDE, G.H.; RO BUTTI, J.L. ; PUIG, R.C. ; LUQUI, B. 1996. "Caracterización de la calidad física del grano de maíz de cultivares argentinos de maíz".*INTA- Pergamino. Informe Técnico N° 313.*

FAIRWEATHER-TAIT, S. J. 1987. "The concept of bioavailability as it relates to iron nutrition".*Nutr.Res. 7:319-325.*

FAST, R. B. 1991. "Manufacturing Technology of Ready-to-Eat Cereals". En: *Breakfast Cereal and How They Are Made*. Fast, R.B. and Caldwell, E.F. editors. American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA. 15-42.

FEHR, W. R.; NARVEL, J. M.; WELDON, L. C. 2000. "Analysis of soybean seed lipoxygenases".*Crop Science. 40:838-840.*

FREITAS, R. L., TEIXEIRA, A. R., FERREIRA, R. 2004. Characterization of the proteins from *Vigna unguiculata* seeds. *J. Agric. Food Chem. 52:1682-1687.*

FRITZ, M; GONZÁLEZ, R; CARRARA C, DE GREEF D, TORRES R; CHEL GUERRERO L, 2005. "Selección de las condiciones de extrusión para una mezcla maíz-frijol: aspectos sensoriales y operativos". *CYTED BRASIL. Brazilian Journal of Food Tech. IIIJIPCA* (disponible "on line" desde enero de 2006).

- GAUTHIER, C.; VACHON, C.; SAVOIR, L. 1986. "Enzymatic Conditions of an in Vitro Method to Study Protein Digestion". *Journal of Food Science* 51(4):960-963.
- GENOVESE, M. I, y LAJOLO, F. M. 1996."In vitro digestibility of albumin proteins from *Phaseolus vulgaris*". Effect of chemical modification. *J Agric. Food Chem.*1996, (44):3022-3028.
- GOMEZ, M. H. 1985."Development of a food of intermediate moistness from extracts of corn and soybean".*Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 35(2):306-314.
- GÓMEZ; M. H; WANISKA; R. D y ROONEY L. W. 1991."Starch characterization of nixtamalized corn flour".*Cereal Chemistry.* 68:578-582.
- GONZÁLEZ, R. J.;TORRES, R. L.; DE-GREEF, D. M.; GORDO, N. A. 1986. "Evaluación de almidón de maíz precocido por extrusión-cocción". *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos.* 26(4): 552-564.
- GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M.; GORDO, N. A. 1987. "Efectos de algunas variables de extrusión sobre la harina de maíz", *Archivos Latinoamericanos de Nutrición.* 37 (3): 578-592.
- GONZÁLEZ, R. J. 1988.Boletín de extrusión del ITA (UNL).
- GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE-GREEF, D. M.; GORDO, N. A. 1999. "Extrusión- Cocción de harinas de maíz: modelo para la viscosidad y su aplicación en las ecuaciones de flujo". *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos.* 30(3): 347-355.

- GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE-GREEF, D. M.; GORDO, N. A.; VELOCCI, M. E. 1991. "Influencia de las condiciones de extrusión en las características de la harina de maíz para elaborar sopas instantáneas". *Revista Agroquímica y Tecnología de Alimentos*. 31(1): 87-96.
- GONZÁLEZ, R. J.; DE-GREEF, D. M.; TORRES, R. L.; GORDO, N. 1995. Patente nro. 247662: "Procedimiento para controlar la operación de extrusores autógenos". Acordada 31-1995.
- GONZÁLEZ, R. J.; OSELLA, C. A.; GORDO, N. A. 1996. "Parámetros indicadores del tratamiento térmico en porotos de soja desactivados". *Revista Información Tecnológica. La Serena (Chile)*. 7(6): 119-124.
- GONZÁLEZ, R. J.; PERTICARI N. 1991."Industrialización integral de la soja". *La Alimentación Latinoamericana - Sección PNITA (Argentina)*. 187:50-59.
- GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M. 1998."Comportamiento a la cocción de variedades de arroz y maíz utilizando el amilógrafo y dos diseños de extrusores". *Información Agropecuaria*. TORRES, R. L.; GONZÁLEZ, R. J.; OSELLA, C. A.; GORDO, N. A. 1998. "Comparación de las características de cocción de arroz y maíz antes y después de la extrusión". *Polish Journal of Food and Nutrition Science*. 9(50), 1: 29-54.
- GONZÁLEZ, R. J.; TORRES, R. L.; DE GREEF, D. M. 2002."Extrusión-Cocción de Cereales".*Boletim da Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 36(2): 104-115.

- GONZÁLEZ, R. J; DE GREFF, D. M; TORRES, R. L, ROBUTI. J AND BORRÁS, F. 2003. "Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on properties of products obtained with grits from two commercial maize cultivars". *Food Sc and Technology /LwT*. 37: 193-198.
- González, R.J.; Robutti, J. L.; Borrás, F.S.; Torres, R.L.; De Greef, D.M.2004."Effects of endosperm hardness and extrusion temperature on propertiesobtained with grits from commercial maize cultivars".*Food Science andTechnology /LwT*. 37: 193-198.
- GRANADOS M Y LARA J.1989.Alimentos de Origen Vegetal, pp. 77-79. Ed: CECSA. México.
- GUY, R. 2001."Materias primas para la cocción por extrusion". En Extrusión de losalimentos, Cap 2, Editor Guy, R, Acribia SA, Zaragoza.
- HARPER, J.M. 1981. "*Extusion Food*".CRC. Press. Boca Ratón, Florida.pp: 127-163.
- HARPER, J. M. 1989."Food extruders and their applications". En: *Extrusion Cooking*.Mecier, C; Linko, P; Harper, J.M. editors.AmericanAssociation of CerealChemists, Inc. St. Paul, Minnesota, USA, 1989, pp. 139-148.
- HARPER, J. M. 1992."A Comparative analysis of single and twin screw extruders" en: *Food extrusion Sc. and technology* Cap. 8: 139-148. Ed: Kokini J. L. Ho Ch.T.andKarwe M. Marcel Dekker Inc New York. V.
- HARROD, M. 1989."Apparent concentration: a method to predict the flow properties ofviscous foods for process applications".*Journal of Food Process Engineering*.11: 277-296.

- HAZELL, T y JOHNSON, I. T. 1987. "Effects of food processing and fruit juices on in vitro estimated iron availability from cereals, vegetables and fruits." *Journal. Science. Food Agric.* 38:73-82.
- HERNÁNDEZ, M.; DE LA VEGA, A.; SOTELO .A. 1984. "Determinación de la Digestibilidad Proteínica in vitro e in vivo en Cereales y Leguminosas Crudos y Cocidos". *Archivos Latinoamericanos de Nutrición* 24(3):515-522.
- HOSENEY, R.C. 1986. "Structure of cereals". En: *Principles of cereal science and technology*. American Association of Cereal Chemists, inc. St. Paul, Minnesota, USA. pp :1-31.
- HUGHES, M.H. 1999. Forrajes, pp. 89-113. Continental. S.A.
- HURREL, R. F. 1997. "Bioavailability of iron". *European Journal of Clinical Nutrition. Suppl1*, 84-88.
- HUSSAIN, M. A., BASAHY, A. Y. 1998. Nutrient composition and amino acid pattern of cowpea (*Vigna unguiculata* (L.) Walp, Fabaceae) grown in the Gizan area of Saubi Arabia. *International Journal of Food Sciences and Nutrition.* 49:117-124.
- HSU, W. H., SAVA, L. D.; SATTERLY, L. D Y MILLER, G. A. 1977. "A Multienzyme Technique for Estimating Protein Digestibility" *Journal of Food Science* 42(5):1269-1273.
- INSTITUTE OF MEDICINE 2006. "Protein and Aminoacid". En: *Dietary Reference Intake*, cap 10: 589-768. Ed. The National Academic Press. Washington DC. 2006.

- JOVANOVIĆ, G. 1997."Estudio de las interacciones entre almidón y lípidos en harina de trigo", pag. 2, Tesis Doctoral, Facultad de Ciencias Exactas, Universidad Nacional de La Plata.
- KANE, A. P. Y MILLER, D. D. 1984. "In vitro estimation of the effects of selected proteins on iron bioavailability". *Am. Journal.Clin.Nutr.*39:393-401.
- KING, J.C; DONANGELO, M.C; WOODHOUSE, L.R; MERTZ, S.D; SHAMES, M.D; VITERI, F.E; CHENG, Z.y WELCH, R.M.2000."Measuring iron and zinc bioavailability in humans "Food and Nutrition Bulletin 21(4)
- KOKINI and LIH-SHIUH, L. S. 1992A. "The role of rheological properties on extrudate expansion". En: *Food Extrusion Science and Technology*. Ed Kokini.J, Ho Ch.T. Karwe. M: Marcel Dekker; NY. p: 631-652.
- KOKINI, J. L.; LIH-SHIUH, L. A.I; CHEIDD, L. L. 1992B."Effect of starch structure on starch rheological properties".*Food Technology*. 46(6): 124-139.
- KOKINI, J.L.; MORARU, C.I. 2003."Nucleation and Expansion During Extrusion and Microwave Heating of Cereal Foods".*Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*. 2: 120-138.
- LAGARRIGUE, S.; ALVAREZ, G. 2001. "The rheology of starch dispersions at high temperatures and high shear rates: a review".*Journal of Food Engineering*. 50: 189-202.
- LENDING, C. R.; LARKINS, B. A. 1989."Changes in the zein composition of protein bodies during maize endosperm".*Plant Cell*. 1:1011-1023.

- MAROULIS, Z.B.; THYMI, S.; KROKIDA, M.K.; PAPPAS, A. 2004."Structural properties of extruded corn starch".*Journal of Food Engineering*. 68(4): 519-526.
- MASON, W. R.; HOSENEY, R. C. 1986."Factors affecting the viscosity of extrusion-cooked wheat starch".*Cereal Chemistry*. 63(5): 436-441.
- MECIER y FEILLET. 1975."Modification of carbohydrate components by extrusion-cooking of cereal products".*Cereal Chemistry*. 52: 283-297.
- MESSINA, M. J. 1999."Legumes and soybeans: overview of their nutritional profile and health effects".*American Journal of Clinical Nutrition*. 70: 439-450.
- MILLER, D. O., SCHRICKER, B. R., RASMUSSEN, R. R. Y VAN CAMPEN, D. 1981. "An in vitro method for estimation of iron bioavailability from meals". *Am. Journal. Clin.Nutr.* 34(2):248-256.
- MILLER, D. O Y BERNER, L. A. 1989. Is solubility in vitro a reliable predictor of iron bioavailability. *Biol. Trace Elem. Res.* 19:11.
- MORRIS, V.J. 1998."Gelation of polysaccharides". En: *Functional Properties of Food Macromolecules*. New York: Aspen Publication. 143- 226.
- MULLER, H. G. 1973. "Introducción a la reología de los alimentos". *Ed. Acribia. Zaragoza. España*.
- NARASINGA, R. B. S. Y PRABHAVATHI, T. 1978."An in vitro method for predicting the bioavailability of iron foods" *Am Journal Clin Nutr.*31:169-175.

- NIELSEN, P. M.; PETERSEN, D.; DAMBMANN, C. 2001."Improved method for determining food protein degree of hydrolysis".*Journal of food Science* 66, 642646.
- O' DELL, B. L. 1985. "Bioavailability and interactions among trace elements". En: Chandra, R.K.(Ed), *Trace Elements in Nutrition of Children*. New York:RavenPress.Nestlé Nutrition.Vevey,pp.41-62.
- ONWULIRI, V. A.; OBU, J. A. 2002."Lipids and other constituents of *Vigna unguiculata* and *Phaseolus vulgaris* grown in northern Nigeria" *Food Chemistry*. 78:1-7.
- OROPEZA, E.; ORTIZ, L. B. 1989."Evaluación nutrimental de la proteína del grano de seis cultivares de maíz (*Zea mays* L.)". *Revista Facultad de Agronomía*. 15: 225-234.
- OSELLA, C. A. 2000.Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de Alimentos." Pan sin gluten: Influencia de la composición y de la historia térmica de los constituyentes sobre sus propiedades termofísicas". UNL-FIQ-ITA.
- PERCIBALDI, N. M. 2003.Tesis de Magíster en Ciencias y Tecnología de Alimentos. "Variación de la composición lipídica en germen y endospermo de variedades de maíz argentino y su asociación con el proceso de extrusión". UNL-FIQ-ITA.
- PARK, J.; RHEE, K. S.; KIM, B. K. Y RHEE, K. C. 1993."Single -screw extrusion of defatted soy flour, corn starch and raw beef blends". *Journal of Food Science* 58 (1):9-19.

- PRATT, R.C.; PAULIS, J.W. ; MILLER, K. ; NELSEN, T. ; BIETZ, J.A. 1995. "Association of zein classes with maize kernel hardness". *Cereal Chemistry*. 72(2): 162-167.
- PRENTICE, J. H. 1984. "Measurement in the rheology of foodstuffs". *Elsevier Applied Science Publishers LTD. London and New York*.
- RANGEL, A., DOMONT, G.B., PEDROSA, C. FERREIRA, S.T. 2003. Functional properties of purified vicilins from cowpea (*Vigna unguiculata*) and pea (*Pisum sativum*) and cowpea protein isolate. *J. Agric. Food Chem.* 51: 5792-5797.
- RHINEHART, D. 1975. "A nutritional characterization of the distiller's grain protein concentrates". MS thesis. Universidad of Nebraska. Lincoln NE.
- RIVERA, J. M. 1995. Técnicas de cultivo de frijol ib y X pelón en el poblado de Conkal- Yucatán. Tesina. Licenciado en Biología Conkal, Yucatán, México, Instituto Tecnológico Agropecuario N° 2.
- ROBB, P., WILLIAMS, D.R Y MCWEENY, D.J. 1986. Predicted chemical speciation of essential metals in digested food. *Inorg Chim. Acta* 125:207-212.
- ROBUTTI, J. L. 1995. "Maize Kernel Hardness Estimation in Breeding by Near-Infrared Transmission Analysis". *Cereal Chemistry*. 72(6):632-636.
- ROBUTTI, J.L.; BORRÁS, F.S.; GONZÁLEZ, R.J.; TORRES, R.L.; DE GREEF, D.M. 2002. "Endosperm properties and Extrusion cooking behaviour of maize cultivars". *Lebensmittel-Wissenschaft und Technologie*. 35: 663-669.

- SÁENZ E. M. 1995. "Técnicas de cultivo de leguminosas (frijol. Ib y Xpelón) en el estado de Yucatán". Tesis Ingeniero Agrónomo. Conkal, Yucatán, México, Instituto Tecnológico Agropecuario N° 2.
- SANDBERG, A. S. Y SVANBERG, U. 1991. "PhytateHydrolysis by Phytase in Cereals;Effects on in Vitro Estimation of Iron Availability" *Journal of Food Science*.56(5):1330-1333.
- SANDHU, K. S.; SINGH, N.; KAUR, M. 2004. "Characteristics of the different corn types and their fractions: Physicochemical, thermal, morphological, and rheological properties of starches".*Journal of Food Engineering*.64:119-127.
- SANTIESTEBAN, R.; ZAMORA, A.; HERNADEZ, L .; ARMELA, E.; GOMEZ, E. 2001. "Densidad de siembra en frijol (Vignaraviata (L)) en dos epocas, en suelos fluviales. Revista Electronica Granma Ciencia (en linea). 5(2) Disponible en: <http://www.gramma.inf.cu/grciencia/vol5/no.2art/20010502a06.pdf>(May o2003).
- SAUNDERS, R.M.;CONNOR, M.A.; BOOTH, A.N.; BICKOFF, E.M.; Y KHOELER,G.O.1973."Measurement of digestibility of alfalfa protein concentrates by in vivo and invitro methods".*Journal Nutr*.103:530.
- SHERMAN, P. J. 1991.Leguminosas forrajeras tropicales, pp. 19-33. Editorial Roma.
- SHEWRY, P. R.; HALFORD, N. G. 2002. "Cereal seed storage proteins: structures,properties and role in grain utilization". *Journal of*

Experimental Botany, Inorganic Nitrogen Assimilation Special Issue.
53(370): 947-958.

- SINGH, N.; SINGH, J.; KAUR, L.; SODHI, N. S.; GILL, B. S. 2003. "Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources". *Food Chemistry*. 81: 219-231.
- SNAPE, W. J. 1987. "Is exact correlation between in vivo and in vitro measurements important?" *Dig. Dis. Sci* 32:547-549.
- SOUTH, P. K.; y MILLER, D. D. 1997. "Iron binding by tannic acid: effects of selected ligands" *Food Chemistry* 63(2) 167-172.
- STROSHINE, R.L; KIRLEIS, A.W.; TUIITE, J.F.; BAUMAN, L.F.; AND EMAM, A. 1986. "Differences in grain quality among selected corn hybrids". *Cereal Food World*. 31: 311.
- SZCZECNIAK, A. S. 1979. "Recent Developments in Solving Consumer Oriented Texture Problems". *Food Technology*, 33(10): 61-66.
- TECSON, M. E., ADACHI, M. 2001. Mugbean *Vigna radiata* (L.) Wilczek globulins: Purification and Characterization. *J. Agric. Food Chem.* 49: 1552-1558.
- WASTKE, J. H. 1998. "Impact of processing on bioavailability examples of minerals in food" *Food Science and Technology* 9: 320-327.
- WATSON, S. A. 1987a. "Structure and composition". En: *Corn: Chemistry and Technology*. S.A. Watson and P.E. Ramstad, eds. AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 53-82.

- WATSON, S. A. 1987b."Measurement and maintenance of quality". En:
Corn: Chemistry and Technology. S.A.Watson and P.E. Ramstad, eds.
AACC. St. Paul, Minnesota, USA. Pp. 125-183.
- WOLFGOR, R.; DRAGO, S. R.; RODRIGUEZ, V.; PELLEGRINO, N.;
VALENCIA, M. 2002. "In vitro measurement of available iron in
fortified foods". *Food Res. Internat.*, 35, 85-90.
- YEOUNG, V. R. 1991."Soy protein in relation to human protein and amino
acid nutrition". *Journal of American Diet Association*. 91(7):828-835.
- ZOBEL, H. F., YOUNG, S. N.; ROCCA, L. A. 1988."Starch gelatinization: an
X-ray diffraction study". *Cereal Chemistry*. 66, 443-446.