



**Secretaría Nacional
de Ciencia y Tecnología**

**CONSEJO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -CONCYT-
SECRETARIA NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -SENACYT-
FONDO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA -FONACYT-
UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA –UVG-**

INFORME FINAL

**“Cocción por extrusión de alimentos complementarios a base
de maíz y leguminosas de grano secas, maduras e inmaduras
sobre su valor tecnológico y nutritivo”**

PROYECTO FODECYT No. 01-2008

**Dr. Ricardo Bressani
Investigador Principal**

GUATEMALA, JUNIO DE 2016



AGRADECIMIENTOS:

La realización de este trabajo, ha sido posible gracias al apoyo financiero dentro del Fondo Nacional de Ciencia y Tecnología, -FONACYT-, otorgado por la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología -SENACYT- y al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología -CONCYT-.

RESUMEN

Los resultados de estudios previos han indicado que ocurre una complementación proteínica entre la proteína de los cereales y la proteína de las leguminosas de grano secas cuando estos alimentos se mezclan en la proporción 70% cereal y 30% leguminosas de grano. La calidad proteínica de esta mezcla está limitada por el contenido de aminoácidos azufrados y de lisina y también por el contenido de proteína total dado principalmente por la proteína de la leguminosa de grano (20 – 25% de proteína) mientras que los cereales en general contienen entre 8 – 11% de proteína. Estas tres limitaciones se superan usando ajonjolí como fuente de aminoácidos azufrados y harina de soya como fuente de proteína de buena calidad. En base a esto se han formulado varios alimentos complementarios con maíz, gandul, haba, arveja dulce seca y arveja común (gandul) seca. Para su consumo estas fórmulas deben ser procesadas para destruir los inhibidores enzimáticos de las leguminosas.

En el presente estudio las formulaciones se procesaron por cocción húmeda convencional y por cocción por extrusión. Además de disponer de fórmulas preparadas de leguminosas secas, se prepararon las fórmulas pero de leguminosas inmaduras, previamente deshidratadas. Estas también fueron procesadas, por el método convencional de cocción/deshidratación y por el método de extrusión. En base a lo anterior se prepararon 4 formulaciones de ingredientes (granos) sazones secos y 4 de ingredientes (leguminosas) inmaduras secas, las cuales se procesaron por cocción/deshidratación convencional y por cocción/extrusión. Las evaluaciones realizadas para las formulaciones fueron la composición química, la presencia de inhibidores enzimáticos, parámetros físico/químicos, aceptabilidad y evaluaciones biológicas de digestibilidad de la proteína y calidad de la misma, además de vida de anaquel.

Palabras Clave: alimento complementario, maíz más leguminosas de grano maduro, grano inmaduro, efecto de cocción convencional, extrusión, sobre valores funcionales y calidad nutritiva.

SUMMARY

Previous studies results from have indicated that a protein complementation between protein- protein cereal and dry grain legumes occurs when these foods are mixed in the ratio 70 % and 30 % cereal grain legumes. The protein quality of the mixture is limited by the content of sulfur amino acid and lysine and the total protein content of the protein occurred mainly because of the grain legume (20 - 25 % protein) while cereals generally contain between 8-11 % protein. These three limitations are overcome using sesame seeds as a source of sulfur amino acids and soybean meal as a source of good quality protein. On this basis have been developed several complementary food with corn, pigeon pea, bean, dry pea and common sweet pea (pigeon pea) dry. These formulas for consumption must be processed to destroy enzyme inhibitors of legumes.

In the present study, the formulations were processed by conventional wet cooking and extrusion cooking. Besides having formulas prepared pulses, but be prepared formulas immature legumes, previously dehydrated. These will also be processed by the conventional method of cooking / dehydration and by the extrusion method. Based on the foregoing formulations have 4 ingredients (grains) and 4 dry seasoning ingredients (legumes) dried immature which will be processed and evaluated by cooking / conventional dehydration and cooking / extrusion . The evaluations of the formulations will be by chemical composition, the presence of enzyme inhibitors, some physical / chemical parameters and biological evaluations acceptability protein digestibility and quality thereof, plus shelf life.

Key Words: complementary food, corn and mature leguminous, immature grain, conventional cook effect, functional values and nutrition quality.

INDICE

Contenido	Página
Resumen	iii
Abstract	iv
Lista de Tablas	
PARTE I	
I.1 INTRODUCCIÓN	01
I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	
I.2.1 Antecedentes	02
I.2.2 Justificación	03
I.2.3 Impacto del proyecto	04
I.2.4 Resultados esperados	04
I.3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS	
I.3.1 Objetivo	
1.3.1.1 Objetivos generales	05
I.3.1.2 Objetivos específicos	05
I.3.2 Hipótesis	05
I.4. METODOLOGÍA	
I.4.1 Localización	06
I.4.2 Variables	06
I.4.1.1 Variable Dependiente	06
I.4.1.2 Variable Independiente	06
I.4.3 Indicadores	06
I.4.4 Metodología	06
I.4.4.1 Población y muestra	06
I.4.5 Método	06
I.4.5.1 Procedimiento	07
I.4.5.1.2 Evaluación sensorial de los productos elaborados por extrusión y secador de rodos.	09
I.4.6 Técnica Estadística	09
PARTE II	
II.1 MARCO TEÓRICO	10
III. RESULTADOS	26

III. 1 DISCUSIÓN DE RESULTADOS	33
PARTE IV	
IV.1 CONCLUSIONES	35
IV.2 RECOMENDACIONES	36
IV.3 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	37
PARTE V	
V. 1 Informe Financiero	41

INDICE DE TABLAS

	Contenido	Página
Tabla No.1	Formulación básica de componentes de la dieta por contenido de proteína y de energía sugerido para alimento complementario.	08
Tabla No. 2	Resultados de análisis proximal de harinas individuales de leguminosas a utilizar en el desarrollo del alimento complementario	26
Tabla No. 3	Preparación de Harinas de leguminosas de grano de materia prima tierna y su caracterización física y química (Materia prima – Haba)	26
Tabla No. 4	Formulación de alimentos complementarios con una distribución proteica de 70% de maíz y 30% de leguminosas, formular con 15% de ajonjolí y 10% de soya (Combinaciones optativas en calidad de la proteína entre Haba)	27
Tabla No. 5	Dietas de trabajo para estudio biológico de complementación de ejote francés y maíz	28
Tabla No. 6	Eficiencia Proteica (PER) y Retención neta de Proteína (NPR) en dietas de Ejote Francés a distinto nivel de incorporación	28
Tabla No. 7	Eficiencia proteica de frijol piloy y gandul a distinto nivel	29
Tabla No. 8	Dietas de trabajo para estudio biológico de dietas a base de piloy entero y maíz nixtamalizado	30
Tabla No. 9	Eficiencia Proteica (PER) y Retención neta de Proteína en dietas de Piloy entero y descascarado	30
Tabla No. 10	Composición de Mezclas para realizar de materia prima	31
Tabla No. 11	Resumen de Análisis proximal de Composición de Dietas	32

PARTE I

I.1 INTRODUCCION

Durante los últimos años mucho interés se le ha dado al desarrollo de alimentos complementarios, principalmente en países en desarrollo, con el objetivo de utilizar esos alimentos en la lucha contra la mala nutrición. Estos alimentos se han desarrollado dándole énfasis al uso de los recursos de producción nacional y se han procesado con tecnologías convencionales para no perder el sabor y la forma de consumo por parte de la población. Además desde el punto de vista nutricional deben estos alimentos ser fortificados con los micronutrientes deficientes en la dieta. En este sentido se ha recomendado que estos alimentos contengan un mínimo de 15% de proteína de buena calidad y no menos de 400 cal/100 g (1).

Con respecto a los ingredientes a ser utilizados, se emplean aquello que son parte de las dietas habituales de la población con problemas nutricionales, como los granos maíz, sorgo, arroz y las leguminosas de grano como los frijoles secos, el garbanzo y otras, aunque es más general encontrar el uso del frijol soya. Estos ingredientes como ya fuera indicado contienen sustancias de acción fisiológica adversa que deben ser eliminadas en el producto antes de su consumo. Esto requiere un proceso de cocción con el material húmedo, a temperatura relativamente alta por diferentes tiempos. Estas condiciones se logran a través de varios procesos de cocción, incluyendo la extrusión.

En muchos países se producen diversas leguminosas de grano como arveja común y dulce, habas tiernas, gandul, ejote francés y otros. Estas se producen principalmente para exportación pero en general quedan excedentes en el país que habría que aprovechar. Inmaduras secas contienen básicamente el mismo contenido de nutrientes, aunque mejores valores en otros nutrientes como Vit. C y carotenos. Por consiguiente son materia prima de bastante potencial que no ha recibido la atención como ingrediente en alimentos complementarios, que también es justificado por la producción no exportada y utilización postcosecha, evitando así pérdidas y fomentando su utilización nacional.

I.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

I.2.1 Antecedentes

Durante los últimos años mucho interés se le ha dado al desarrollo de alimentos complementarios, principalmente en países en desarrollo, con el objetivo de utilizar esos alimentos en la lucha contra la mala nutrición. Estos alimentos se han desarrollado dándole énfasis al uso de los recursos de producción nacional y se han procesado con tecnologías convencionales para no perder el sabor y la forma de consumo por parte de la población. Además desde el punto de vista nutricional deben estos alimentos ser fortificados con los micronutrientes deficientes en la dieta. En este sentido se ha recomendado que estos alimentos contengan un mínimo de 15% de proteína de buena calidad y no menos de 400 cal/100 g (1).

Con respecto a los ingredientes a ser utilizados, se emplean aquellos que son parte de las dietas habituales de la población con problemas nutricionales, como los granos maíz, sorgo, arroz y las leguminosas de grano como los frijoles secos, el garbanzo y otras, aunque es más general encontrar el uso del frijol soya. Estos ingredientes como ya fuera indicado contienen sustancias de acción fisiológica adversa que deben ser eliminadas en el producto antes de su consumo. Esto requiere un proceso de cocción con el material húmedo, a temperatura relativamente alta por diferentes tiempos. Estas condiciones se logran a través de varios procesos de cocción, incluyendo la extrusión.

En muchos países se producen diversas leguminosas de grano como arveja común y dulce, habas tiernas, gandul, ejote francés y otros. Estas se producen principalmente para exportación pero en general quedan excedentes en el país que habría que aprovechar. Inmaduras secas contienen básicamente el mismo contenido de nutrientes, aunque mejores valores en otros nutrientes como Vitamina C y carotenos. Por consiguiente son materia prima de bastante potencial que no ha recibido la atención como ingrediente en alimentos complementarios, que también es justificado por la producción no exportada y utilización post-cosecha, evitando así pérdidas y fomentando su utilización nacional.

Para lograr estabilidad en los alimentos durante el proceso de producción, almacenamiento, mercadeo y consumo es muy importante un proceso que ayude a la conservación del alimento y que mantenga su facilidad de preparación, su calidad organoléptica y aceptabilidad y valor nutritivo. Los alimentos complementarios a estudiar en este proyecto serán formulados con leguminosas de grano inmaduras secas que deben ser procesadas en las fórmulas de forma adecuada cabalmente para no dañar su aceptabilidad, su estabilidad en el almacenamiento y libre de factores de acción fisiológica adversa como los inhibidores de tripsina, de amilasa y lectinas, así como conservar su valor nutritivo y de proteína en particular.

Para lograr esto último se utilizará el proceso de extrusión, el cual conducido bajo condiciones controladas de humedad en la materia prima, de temperatura de cocción y tiempo de cocción puede dar origen a un producto instantáneo, de buena estabilidad en el almacenamiento, altamente aceptable y de buen valor nutritivo.

Para fines de obtener información sobre la materia prima en las formulaciones (leguminosas de grano maduras vs. leguminosas de grano inmaduras secas) y los efectos de procesamiento, las fórmulas a estudiar se procesaran por cocción húmeda convencional por un tiempo definido, luego se deshidrataran y serán transformadas en harinas de una granulometría fija. Así mismo, las fórmulas serán procesadas por cocción, extrusión utilizando niveles de humedad entre 16 – 20 %, a temperaturas altas pero por corto tiempo. Estos productos serán molidos y transformados en harinas para su evaluación química, sensorial y nutritiva posterior.

I.2.2 Justificación del trabajo de investigación

El excedente de las leguminosas producidas para exportación, como complemento del harina de maíz, son una fuente rica de Vitamina C, fibra y carotenos, que puede ser aprovechada en la dieta alimentaria de la población guatemalteca, siendo introducida en algún alimento o producto de consumo como los cereales. Se propone dos procesos de cocción de la harina de las leguminosas, para la elaboración del alimento, uno es el proceso de extrusión y el otro por secado de rodos, los cuales

permitirán la cocción de la harina en el menor tiempo, favoreciendo las cualidades de los ingrediente implicados, mejorando las propiedades emulsificantes y favoreciendo capacidad de retención de agua en el producto.

I.2.3 Impacto del proyecto

El hecho de poder formular alimentos complementarios con leguminosas de grano inmaduro pero seco, es ya un logro significativo, ya que se reducen las pérdidas postcosecha de las leguminosas de grano que no fueron exportadas. Así mismo, el proceso de extrusión presenta muchas ventajas en la calidad física y sensorial del alimento y se espera que lo sea también en lo nutricional.

I.2.4 Resultados Esperados

Se espera que las formulaciones de alimentos complementarios contengan los niveles de proteína, de calorías y de calidad proteica adecuada, de acuerdo a los niveles sugeridos para esta clase de productos, utilizando leguminosas de granos biológicamente secos e inmaduros. Así mismo, se espera que los productos sean aceptables al consumidor, tanto los preparados por métodos convencionales como los preparados por el método de extrusión, que se espera no afecte negativamente las características de funcionalidad, de aceptabilidad y nutricionales de los alimentos.

I.3 OBJETIVOS E HIPÓTESIS

I.3.1 Objetivos

I.3.1.1 General

Comparar las características químicas, físicas, organolépticas y nutricionales de alimentos complementarios a base de maíz y de leguminosas de grano secas, maduras o tiernas, obtenidas por cocción extrusión y por procesamiento térmico convencional.

I.3.1.2 Específicos

1. Preparación de harina de maíz y de leguminosas de granos secas (arveja dulce, habas, gandul, ejote francés) y su caracterización física y química.
2. Preparación de harinas de leguminosas de grano de materia prima tierna y su caracterización física y química.
3. Formulación de alimentos complementarios con una distribución proteica de setenta por ciento (70%) de maíz y 30% de leguminosas. Formular con quince por ciento (15%) ajonjolí y diez por ciento (10%) harina de soya.
4. Preparación de lotes de treinta kilogramos (30 kg) de cada formulación, quince kilogramos (15 kg) para el proceso convencional de cocción y quince kilogramos (15 kg) por extrusión.
5. Evaluar la composición química, parámetros fisicoquímicos y calidad de la proteína de los productos de los dos procesos.
6. Aceptabilidad de productos alimenticios.

I.3.2 Hipótesis

Las características de composición química, aceptabilidad y valor nutritivo de mezclas complementarias de maíz con leguminosas de grano secas e inmaduras secas son similares y son afectadas de la misma forma por los procesos de cocción, convencional y extrusión.

I.4 METODOLOGIA

I.4.1 Localización

Los estudios del presente proyecto se llevaron a cabo en los laboratorios de Centro de Ciencia y Tecnología de Alimentos de la Universidad del Valle de Guatemala. Los ensayos de biodisponibilidad en ratas de laboratorio se realizaron en el bioterio del INCAP, Ciudad de Guatemala.

I.4.2 Las Variables

I.4.2.1 Variables Dependientes

El contenido de nutrientes de la muestra, la fracción morfológica, la variedad de la muestra, propiedades organolépticas, variables propias de los métodos utilizados para los análisis fisicoquímicos.

I.4.2.2 Variables Independientes

La humedad de la muestra, las condiciones climáticas y de suelo, las condiciones de proceso, se trataron como variables independientes, variables propias de los métodos utilizados para los análisis.

I.4.3 Indicadores

Propiedades nutritivas del producto, calidad de la proteína de los productos obtenidos por los dos métodos de cocción y la aceptabilidad del producto propuesto.

I.4.4 Metodología

I.4.4.1 Población y Muestra

Se pretende llegar a la población rural de Guatemala donde el maíz y las leguminosas se consumen como alimento. Para el efecto, se seleccionaron diferentes muestras de leguminosas, incluyendo maíz que no es leguminosa.

I.4.5 El Método

Los análisis con tres réplicas como mínimo, se basaron en la aplicación del método científico utilizando como premisa la hipótesis planteada.

La evaluación química de las materias primas y de los productos procesados se obtuvo aplicando los métodos propuestos por la AOAC (24).

Las evaluaciones fisicoquímicas de las harinas de las formulaciones de los alimentos complementarios, tanto de las de origen de procesamiento convencional como las de procesamiento por extrusión, fueron las siguientes:

- Gelatinización del almidón, este se determina por el método de Englyst y col. 1992 (25).
- Inhibidores de tripsina (26), se determinó por el método de Smith y col. (27), modificado por Liu y Markakis (1989) (28). Para lectinas se utilizó el método de Boniglia y col (2003) (29). Índice de absorción de agua y solubilidad de sólidos se valuaran por los métodos de Anderson y col. (1969, 1982) (30).
- Actividad de agua, se estableció utilizando un higrómetro Aqua Lab Modelo (Decagon Devices, Inc. Pullman, Wa. USA).
- Análisis sensorial, se desarrolló como lo indica Witting de Penna (31). Se utilizó por medio de una escala hedónica de seis puntos.
- Calidad de la proteína, por medio del método de PER (Índice de Eficiencia Proteínica) Pellet & Young y por la digestibilidad de la proteína (32).

I.4.5.1 Procedimiento

Estudios anteriores (2,3) han indicado que la proteína de los cereales, maíz inclusive, complementan eficientemente las proteínas de leguminosas de grano (frijol, soya, gandul, etc.) cuando se mezclan en una proporción alrededor del punto 70 cereal/30 leguminosas. La calidad proteica de esta mezcla es superior a la del cereal y al de la leguminosa. Por consiguiente esta relación fue la base de las formulaciones a estudiar en el presente proyecto. Con el fin de ajustar el contenido de nutrientes a los niveles recomendados por FAO/OMS (1) se utiliza harina integral de ajonjolí con 20% de proteína y 60% de aceite y harina de soya (50%) de proteína, para así poder obtener el contenido de proteína y de energía sugerido para los alimentos complementarios.

En base a lo anterior, las formulas básicas son las que se describen a continuación en la tabla No.1.

Tabla No.1- Formulación básica de componentes de la dieta por contenido de proteína y de energía sugerido para alimento complementario.

Ingredientes	1	2	3	4
Harina de maíz	56	56	56	56
Harina de gandul	24	12	12	12
Harina de haba	-	12	-	-
Arveja dulce	-	-	12	-
Ejote francés	-	-	-	12
Harina de ajonjolí	12	12	12	12
Harina de soya	8	8	8	8
Total	100	100	100	100
Calidad de la proteína %	16	16	16	16
Calorías calculadas/100 g	390	390	390	390

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

De estas fórmulas se prepararan dos variaciones, una con semilla seca de leguminosas de grano y la otra de semilla inmadura.

Harina de Maíz

Esta será harina de maíz nixtamalizada adquirida en el mercado.

Harina de Gandul

La semilla seca se someterá a una cocción en agua (relación 3/1) por 30 minutos a ebullición y luego de drenar el agua se someterá a deshidratación en aire a 65°C hasta peso constante menor de 10%.

Harina de Gandul Tierno

La arveja tierna fue sometida a un escaldado por 30 minutos para luego deshidratarla a 65°C hasta peso constante (menor del 10%).

El mismo procesamiento se utilizó, para preparar la harina de habas, de arveja dulce y ejote francés en estado seco y en estado inmaduro.

Las harinas inmaduras se utilizaron a un nivel del 12% como está indicado en la tabla.

Para los productos procesados por extrusión, las harinas de las leguminosas tiernas (inmaduras) fueron solamente escaldadas y deshidratadas. En el caso del procesamiento por extrusión, las harinas de las mezclas secas fueron humedecidas con agua entre 16 y 20% de agua en el acondicionador y luego se pasaron por el extrusor a temperaturas de 150°C con el tornillo a 1200 rpm. La extrusora se alimentara con 30 lbs., de producto, 15 de las cuales serán para lograr estabilidad en la temperatura y las siguientes 15 lbs., serán recolectadas para los análisis fisicoquímicos y biológicos indicados anteriormente. Se utilizara un extrusor 1St. Single-Screw Buhler Lab. Extruder.

I.4.5.1.2 Evaluación sensorial de los productos elaborados por extrusión y secador de rodos

Una prueba de aceptabilidad que se aplicó para el producto obtenido por secador de rodos y para el producto elaborado por el proceso por extrusión, fue la comparación contra otro producto procesado por el mismo método, las propiedades organolépticas no fueron evaluadas para determinar cambio en las propiedades organolépticas de materia prima.

I.4.6 La Técnica Estadística

Las muestras en sus resultados fueron tratadas estadísticamente, obteniéndose promedios y desviaciones estándar. Para el tratamiento entre muestras se utilizó la prueba z para verificación de diferencias entre muestras.

PARTE II

II. 1 MARCO TEÓRICO

Una de las medidas que se han propuesto en la lucha contra el hambre y la mala nutrición es el desarrollo, manufactura y distribución de alimentos complementarios. Estos productos se han definido como alimento de alta calidad nutritiva respecto a su contenido de calorías, micronutrientes, calidad proteínica y aceptabilidad. El porcentaje que deben contener estos productos debe ser no menos de 15% de proteína de alta calidad, no menos de 400 cal/100 g y adicionalmente suplementadas, con vitaminas y minerales (Codex Alimentarios) (1).

En base a lo anterior muchos alimentos complementarios han sido formulados y varios están siendo utilizados en programas nacionales de complementación nutricional. Así mismo varios existen en el mercado libre de producción industrial.

Los resultados de estudios anteriores han indicado que existe una complementación proteínica entre las proteínas de los cereales, deficientes en lisina y las proteínas de las leguminosas del grano de alto contenido de ese aminoácido pero deficiente en aminoácidos azufrados. Esta complementación ocurre cuando el cereal proporciona el 70% de la proteína y la leguminosa del grano, aporta el 30% (2). Esta proporción sin embargo, no aporta lo que se ha sugerido como mínimo por el Codex en lo referente a proteína como se indicó anteriormente (1), por lo que es necesario adicionar un poco más de proteína, una fuente de energía y de aminoácidos azufrados. Esto se ha logrado usando proteína de soya (harina, concentrado y/o aislado de proteína) y ajonjolí por su proteína que aporta metionina (3).

Las leguminosas de grano, son alimentos que contienen alrededor del 23% de proteína, la cual presenta una fuente buena del aminoácido lisina (3), pero es sumamente deficiente en aminoácidos azufrados. Además, las leguminosas son alimentos que contienen niveles variables de factores antifisiológicos como hemaglutinas, inhibidores de tripsina y de amilasa y a veces otros compuestos tóxicos adicionales (3).

Afortunadamente, estas sustancias antifisiológicas, son susceptibles a las temperaturas del procesamiento, para consumo de leguminosas de grano. El proceso adecuado de este tipo de sustancias involucra el contenido de agua, la temperatura de cocción y el tiempo de cocción (3).

Los estudios del desarrollo y evaluación de alimentos complementarios entre cereales y leguminosas de grano, se han llevado a cabo usando estos últimos ya secos o en estado maduro, pero no se ha estudiado extensamente la posibilidad de utilizar leguminosas de grano inmaduro como la arveja, el haba tierna y otros. Estos granos inmaduros pero secos, contienen niveles altos de proteína, presentan un patrón de aminoácidos similar, al del grano sazón y por consiguiente, se esperaría que sean capaces de complementar a la proteína de los cereales y de contener los factores antifisiológicos que deben ser inactivados, como en el caso de las leguminosas de grano maduro. (4). La inactivación en este caso, es también por la aplicación de procesos de cocción.

Proceso de Extrusión

La tecnología de cocción por extrusión es hoy día, es ampliamente aplicada en la producción de cereales de desayuno, listos para consumo (Bailey et al. 1995 (5); Eastman et al. 2001 (6). La extrusión ha sido clasificada como un proceso de cocción de alta temperatura pero de corto tiempo, que combina varias operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y moldeado (Harper 1981 (7); Miller 1994 (8); Rockey 1995 (9) y que además de las aplicaciones indicadas en el párrafo anterior se está utilizando en la manufactura de alimentos complementarios Alarcón-Valdez y col 2005 (10); Masha et al. 2005 (11).

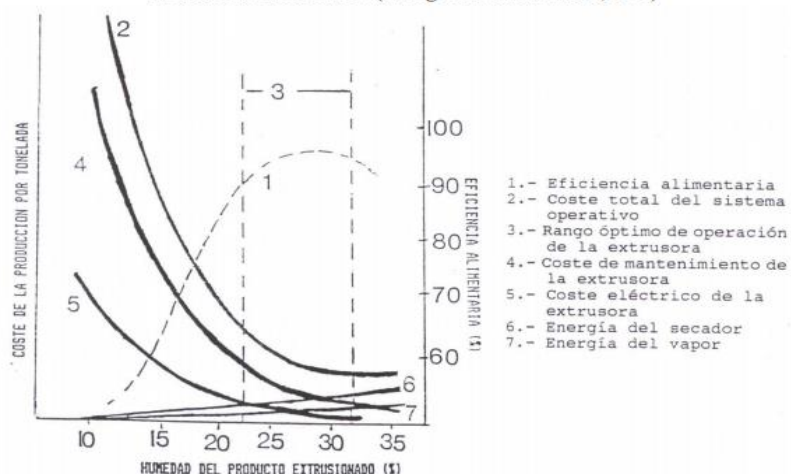
Así mismo, algunos cereales se han procesado por extrusión, para producir harinas procesadas que serán utilizadas en otros alimentos, como tortillas. Un ejemplo de estos cereales procesados por extrusión, es el sorgo (Martínez y Ciacco 1992 (12); y el maíz (Gómez Aldapa y col. 1996 (13); (Martínez Flores y col. 1998 (14); (Martínez Flores y col. 2002 (15).

Los productos obtenidos por extrusión, como los cereales para desayuno laminados, pueden ser directamente expandidos o primero formados y eventualmente expandidos (Bailey et al. 1995 (5); Eastman et al 2001 (6) y Rokey 1995 (9)).

De una forma similar, algunos productos formados, pero no directamente expandidos por extrusión, pueden ser subsecuentemente hinchados por medio de horneado para así producir una textura quebradiza. En este caso la variable importante en extrusión por cocción no es directamente aplicable, para el control de la expansión o de la textura del producto (Williams et al 1977 (11)). En este caso según Singh et al 1994 (17), controlar el contenido de humedad, desde el inicio del proceso y después de la extrusión modifica el grado de expansión y la textura del producto, después del horneado, ya que ocurre una deshidratación en el producto.

Valls (1993), menciona que el grado de expansión, la densidad y los cambios en textura del horneado de los productos, se consideran como atributos de calidad en la caracterización de los materiales extruidos. Otros factores que ayudan a definir la calidad de los productos extruidos son la correcta molturación de la harina, la regulación de la temperatura en las diferentes etapas del proceso de extrusión, para conservar la calidad nutritiva del producto, la cantidad de vapor que sea inyectado a la harina, la presión y la apertura de la matriz (34). Valls 1993 (34), indica que el control de los factores antes mencionados, tiene efecto sobre los costos de producción y de eficiencia alimentaria, los cuales se muestran en la figura No.1.

Figura 1. Efecto de la humedad del producto extrusionado sobre el coste de producción y la eficiencia alimentaria (Wenger Manufacturine, INC)



El proceso de extrusión, se utiliza muy a menudo en la preparación de harinas instantáneas de cereales. Valls 1993 (34) indica, que la harina utilizada en el proceso de extrusión, sufre cambios en el porcentaje de humedad, llegando hasta un 30% de humedad como máximo, en el producto recién extruido, cantidad de agua que debe ser reducido entre un 7% -12% de agua, para lograr un producto de calidad.

Martínez y Ciacco 1992 (12) describen las modificaciones en estructura y composición de las fracciones proteicas (desnaturalización, y formación de enlaces bisulfuros no covalentes) y lipídicas (solubilidad y emulsificación) en los productos elaborados. Por ejemplo, el proceso de extrusión en Sorgo durante el proceso de extrusión y en la elaboración de tortillas. Las harinas de Sorgo fueron una integral y la otra de sorgo decorticado en un 20%. El extrusor usado fue el Brabender GNF/2. Las harinas de sorgo decorticado acusaron menor contenido de nutrientes que las harinas integrales, por lo que las harinas decortizadas contenían más almidón. La adición de alcali (cal) provocó un incremento en el contenido de Ca y cenizas en las harinas instantáneas y tortillas. Los componentes más afectados durante el proceso de extrusión fueron B₁, Ca y los aminoácidos histidina, arginina y leucina. Resultados similares fueron informados por Gómez Aldapa y col (13).

Valls 1993 (34), indica que algunas ventajas del proceso de extrusión para producir alimentos por esta vía, son:

- la mejora o modificación de las propiedades funcionales;
- la formación de complejos lipídicos-carbohidratos, que mejoran la textura y las características sensoriales del producto obtenido;
- se desnaturalizan e inactivan factores antinutricionales, que permiten el mejoramiento en el valor nutritivo.

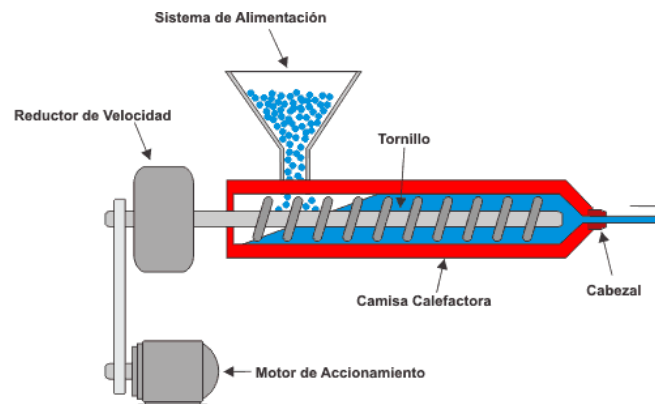
Existen varios tipos de extrusores, que se clasifican según su función y su construcción. Los extrusores, según su función se clasifican en extrusor en caliente o en frío y los extrusores por su construcción, se clasifican en sencillos o de tornillos gemelos (36).

La extrusión en caliente, se hace a temperaturas elevadas para evitar el trabajo forzado y hacer más fácil el paso de material, la desventaja de este proceso, es el alto costo de la maquinaria, su mantenimiento y limpieza. La extrusión en frío, es realizada a temperatura ambiente o cercana a esta. Este tipo de extrusión tiene como ventaja sobre la extrusión en caliente, los buenos acabados en la superficie del material y la falta de oxidación en el producto. Este tipo de extrusión es utilizada en un 100% para metales como el plomo, estaño, cobre, acero, etc. (36)

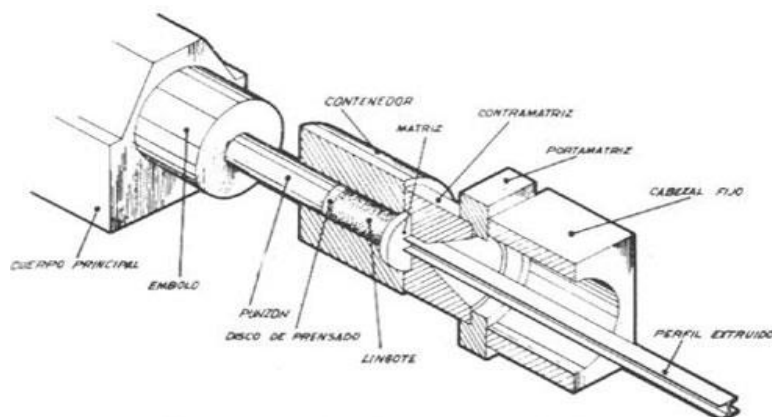
A continuación se presentan los gráficos de los extrusores clasificados por su función y por su construcción.

Extrusores por su función:

Extrusor en caliente



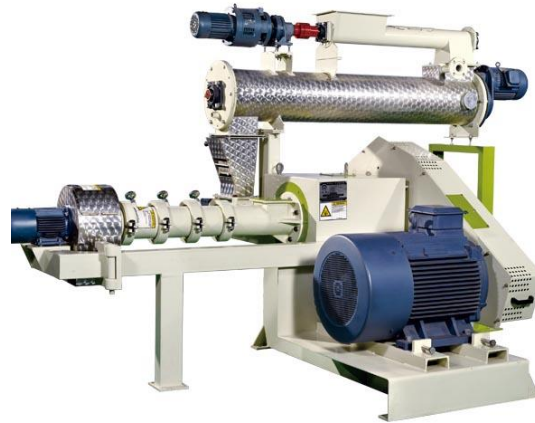
Extrusor en frío



Partes principales de una prensa de extrusión.

Extrusores por su construcción:

Extrusor con tornillo sencillo



Fuente de consulta: Lantai Plastics Machinery (38)

Extrusor con tornillo gemelo o husillo doble



Fuente de consulta: Lantai Plastics Machinery (38)

El principio que utiliza el extrusor, es bastante sencillo, implica el moldeo de un producto por el paso forzado de materiales plastificables a través de dados con orificios. Es decir que se, requerirá una fuente de alimentación o dosificación de materia prima, un cilindro giratorio hidráulico en el cual la materia prima será desplazada, a través del tornillo, para ser procesada. En este punto, se deberá regular la cantidad de agua en forma de vapor que se inyecta a la materia prima, ya que de esto dependerá la fluidez y la formación del producto. La materia prima es desplazada por el tornillo helicoidal, el cual tiene una velocidad que debe ser contralada, no tan rápido que no permita al harina humedecerse, pero no tan lento que provoque que el harina (materia prima) se haga una pasta. La velocidad regulada del tornillo, permitirá que la masa que se está formando en el interior del tornillo, tenga la consistencia y apariencia adecuada para que pueda ser agradable y consumible. Luego de que el producto sale del tornillo, este contiene un porcentaje de agua, el cual debe ser reducido, por lo que es necesario que el producto ya cortado, pase a un horno, para reducir la humedad del producto, y evitar que este tenga una consistencia hulosa (36).

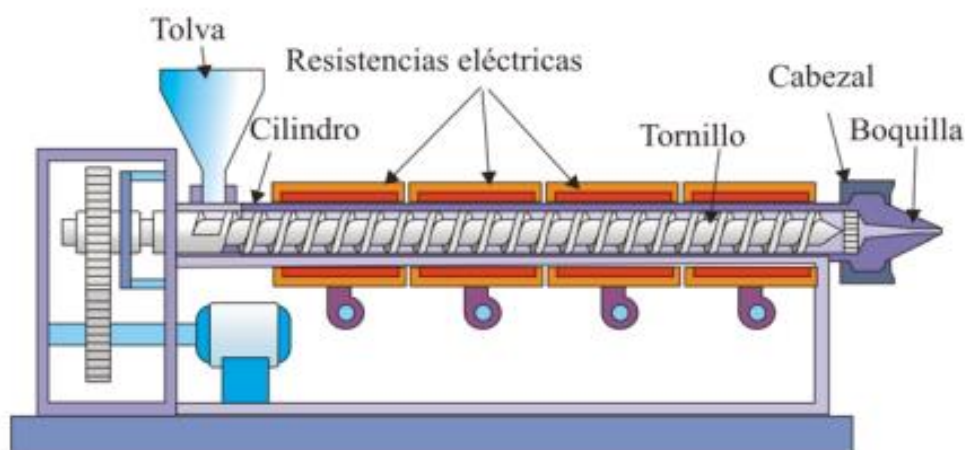








Figura 2. Representación esquemática de una extrusora de husillo sencillo.

Fuente de consulta: Beltrán y Mancilla 1998 (36).

Ya que la velocidad del tornillo helicoidal, la forma del tornillo y la fricción del tornillo con la materia prima es una parte importante y delicada

para obtener un buen producto, es necesario conocer los tipos de tornillo que se pueden utilizar en este proceso. Los tipos de tornillo se presentan a continuación en el siguiente cuadro.

Características del tornillo	Diseño adecuado	Diseño defectuoso
Número de filetes	Sencillo 	Doble 
Ángulo del filete	Grande 	Pequeño 
Radio del flanco del filete	Grande 	Pequeño 

Fuente de consulta: Beltrán y Mancilla 1998 (36)

Existen varios tipos de extrusores los cuales varían en la cantidad de tornillos giratorios internos. Uno de los más utilizados, es el extrusor de dos tornillos ya que tiene una buena capacidad de mezclado y desgasificación, y un buen control del tiempo de residencia y la distribución. La sección de paso de materia prima en el tornillo, no es constante sino que en la zona de alimentación es mayor que en el resto del tornillo. El proceso por extrusión de doble tornillo permite generar 5 líneas de procesamiento los cuales se mencionan a continuación:

- a) Sostenibilidad: esta línea de procesamiento se caracteriza por ser un procesamiento intensificado, en donde hay cocción continua (Alta temperatura-Corta duración), alta productividad, baja pérdida de materia prima, ahorro de energía y agua, y reducción de la huella de carbono.

- b) Altamente flexibles: la misma línea de procesamiento, trabaja varios tipos de materias primas o mezclas así como una gama de productos finales en comparación con el proceso convencional de cocción de cereales.
- c) Totalmente automatizadas: funcionamiento estable que permite la calidad en el proceso.
- d) Perfectamente adaptadas para obtener productos innovadores: posibilidad de lograr los 4 atributos básicos de calidad: gusto, sabor, textura y nutrición, en la elaboración de nuevos productos.
- e) Económicas y rentables: se caracteriza por la reducción en el gasto de capital y de mantenimiento, debido al procesamiento intensificado de la tecnología.

Las condiciones de procesado de los productos es importante tenerla en cuenta ya que dependiendo de la materia prima utilizada y el tipo de producto requerido, se deberá regular la temperatura y la velocidad del tornillo. A continuación se presentan las condiciones de procesado para los cereales para el desayuno, tomando en cuenta la velocidad del tornillo la temperatura y la energía por kg procesado.

Condiciones de procesado (DEEC)

Producto	Velocidad del husillo (rpm)	Temperatura (°C)	EME (kJ/kg)
Bolas (maíz)	300-450	130-150	400-450
Arroz crujiente	300 - 400	160 - 180	380- 450
Copa(trigo)	250 - 350	110 - 130	620 - 700
Barra de salvado	200 - 300	115 - 135	550 - 620

Fuente consultada: Departamento de Ingeniería y Procesos Industriales “ainia” (37)

Aunque el proceso de extrusión, como ya hemos mencionada con anterioridad para la industria en la producción de cereales, no es el único que permite obtener productos de consumo con propiedades químicas y nutricionales favorables para el organismo y que se aplican en la industria. El secado por rodos, es otra opción que permite obtener productos parecidos a las hojuelas de los cereales que ofrece el mercado, en donde el impacto térmico de secado de la harina, produce un producto parecido, en cuanto a las propiedades químicas, al producto obtenido por extrusión. Este proceso, térmico, permite obtener productos de diferente grosor, con una humedad relativa de 4%-7%, La masa de las hojuelas logradas, tiene una apariencia quebradiza y las hojuelas son tienen una forma ni tamaño definido.

Al comparar este método de obtención de producto seco con el de extrusión, es importante hacer mención de que, por el método de secado por rodos no se puede regular la cantidad de agua que debe tener la masa, ya que la masa previo a ser pasada por el secador de rodos, ya ha sido inyectada con una cantidad de agua establecida. En el método por extrusión, si es posible ir modificando la cantidad de agua que se inyecta en la harina, para obtener la masa acorde para el proceso.

El proceso de extrusión, no los se trata del control de humedad en la harina, sino del tipo de componentes que también contiene esta, para lograr la expansión, unión y cocción de la harina, en un breve tiempo, logrando productos con algún valor nutricional todavía aprovechable para el organismo, durante la ingesta. Para lograr la expansión de la harina y la cocción, se ha explicado en párrafos anteriores del importante papel que juegan el agua y la temperatura, dentro del proceso, hace falta explicar, el papel que juega el polisacárido, que se encuentra contenido en la harina y que juega el papel principal en la unión del harina que formó el producto (34).

El almidón, es un polímero natural, presente en las harinas, que estructuralmente está ordenado por capas y su composición, cantidad y forma varían, según la fuente de la que provenga la molécula (35). Las capas que conforman el

almidón, son amilopectina (capa externa) y amilosa (capa interna) ambas estructuras, están clasificadas como glúcidos ya que los monómeros que conforman la estructura son glucosa y el tipo de enlace que mantiene unidos a los monómeros, es el enlace glucosídico. En la figura No.3 y 4, se muestran las estructuras de ambas estructuras que conforman el almidón (35).

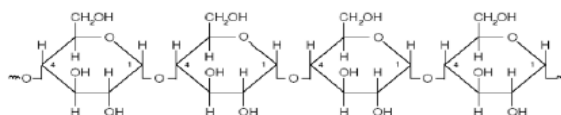


Figura 3. Estructura de molécula de amilosa

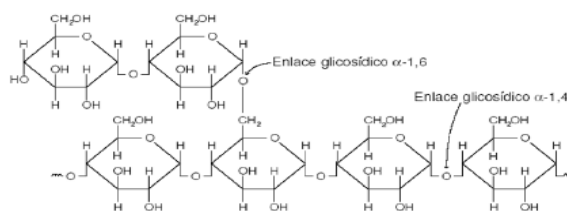


Figura 4. Estructura de molécula de amilopectina

Fuente: Revista EIA. Esc. Ing. Antioq No.8 (35)

Entre las propiedades que hacen especial a este polisacárido, se encuentra la semicristalización, característica que sobre sale por la presencia de la amilopectina como componente dominante. Meneses et al. (35), indica que existen otras propiedades que presenta el almidón se mencionan a continuación:

A) Gelatinización

Esta propiedad, está definida como la perdida de semicristalidad de los gránulos de almidón en presencia de calor y de agua, con poca o nula presencia de despolimerización (35). La gelatinización ocurre en un rango de temperaturas, que dependerá de la fuente de procedencia de la materia prima, además del hinchamiento de las moléculas de almidón en la harina, la cristalización va disminuyendo por el rompimiento de dobles enlaces que se encuentran presentes en la estructura, la amilos comienza a formar un gel que contendrá amilopectina (35).

B) Retrogradación

Esta propiedad del almidón se define como la reorganización de los puentes de hidrógeno y está relacionada con la viscosidad, la cual se evidencia en el momento en el que el almidón comienza a enfriarse, luego que ha pasado por un calentamiento (35).

C) Transición vítrea

Esta propiedad se refiere al cambio inducido por el calor sobre las características de un polímero, el cual pasa de sólido frágil a flexible (35).

D) Desestructuración

Esta propiedad del almidón consiste en la transformación de los granos de almidón cristalino a un polímero amorfo. Esta característica se presenta por la aplicación de energía al almidón (35).

E) Biodegradabilidad

Al hablar de biodegradabilidad, se hace referencia a la capacidad, que en este caso presenta el almidón, de descomponerse en dióxido de carbono, metano, agua y componentes orgánicos o biomasa, en donde la acción enzimática tiene lugar. Existen varios factores que permiten que el proceso de biodegradabilidad se presente, los cuales se mencionan a continuación:

- Este proceso se presenta en almidones de harinas que se encuentran en contacto natural con microorganismos como los hongos, las bacterias, etc.
- La presencia de aires.
- La presencia de humedad y minerales.
- La temperatura.
- El pH (entre 5-8).

Los cambios producidos en el almidón, durante el proceso de extrusión combinado con la cantidad de humedad presente, la temperatura la que se está llevando a cabo el proceso, la morfología, el tamaño de la partícula de la harina y del polisacárido, afectan la textura y porosidad del producto extruido. Así también, la

relación amilosa/amilopectina son factores determinantes para obtener el producto final. Las modificaciones, que sufre el almidón en este proceso son la fusión, gelatinización, fragmentación y dextrinización (Pérez-Navarrete et al 2007 (34)).

El efecto de la gelatinización del almidón sobre las propiedades físicas de productos de trigo y de maíz extruido ha recibido atención (18,19) y los estudios han sugerido que el uso de la medición de la gelatinización y de densidad de la masa pueden ser buenos estándares de medición para la comparación de almidones de diferentes especies y también para diferentes extrusores.

Varios estudios sobre la extrusión del grano de amaranto se han informado (Mendoza & Bressani 1987 (20) y (Chávez – Jaurequi y col 2000 (21). En ambos estudios el proceso de extrusión se tradujo en productos de buen valor nutritivo y calidad fisicoquímica produciendo “snacks” de alto valor nutritivo.

El proceso de extrusión debido a su versatilidad se ha utilizado para producir alimentos infantiles, alimentos complementarios instantáneos de diversos ingredientes (21a), como maíz y garbanzos (10) y maíz/frijol/sardina, sorgo/frijol/sardina y arroz/frijol/sardina (11) obteniéndose resultados muy prometedores ya que se logran altas tasa de gelatinización del almidón e inactivación de inhibidores enzimáticas así como mayor digestibilidad de los productos. Finalmente el proceso de extrusión ha sido útil en reducir la fumonisina, aflatoxinas y zearalenona en cereales (22,23).

Algunas razones por las que la extrusión, como operación unitaria, está ganando terreno se mencionan a continuación:

- a) Versatilidad: combina la proporción de ingredientes de manera flexible, acomodando las demandas del consumidor, permitiendo obtener una gran variedad de productos.
- b) Economía: este proceso es más barato y productivo que los procesos de cocción o moldeo.

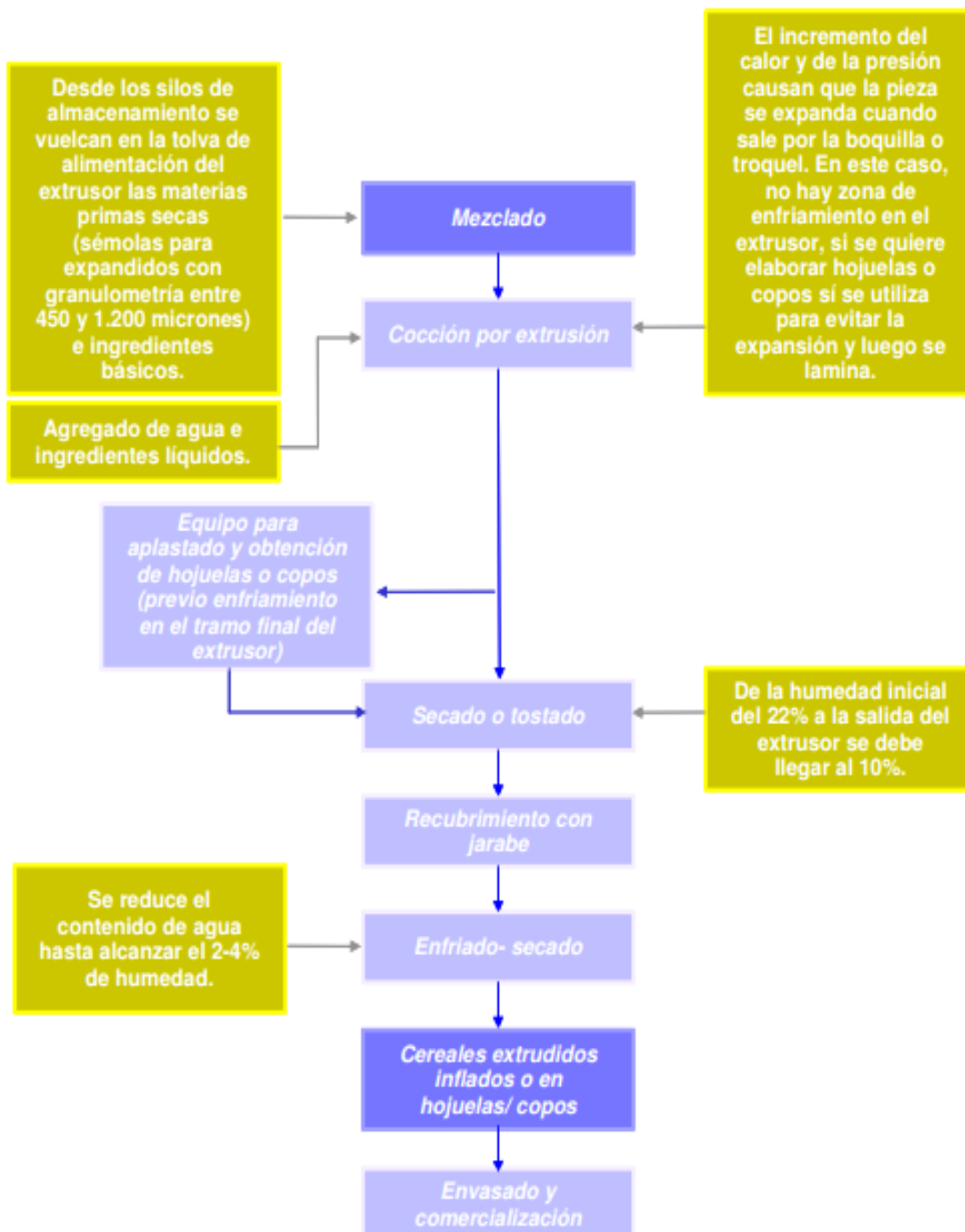
- c) Proceso Automático: este proceso es capaz de producir entre 300-315 kg de snacks o cereales de baja densidad.
- d) No hay generación de efluentes: es decir que el tamaño del producto se puede regular fácilmente, no dejando material de desperdicio. Todo el producto, es obtenido con las mismas medidas y proporciones alimenticias.

Con respecto a las proteínas de la materia prima, el proceso de extrusión inactiva los inhibidores de crecimiento para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino. Este proceso favorece la disponibilidad de lisina y reduce el contenido de factores antitripsicos en el producto (35).

Las grasas, en el proceso de extrusión se emulsifican, debido a la presión inyectada con el agua, esto causa un efecto encapsulador de la grasa en el alimento. Por lo que si se requiere determinar el porcentaje de grasa en los productos obtenidos por extrusión, será necesario utilizar el método de hidrólisis ácida y extraer la grasa por medio de un solvente etéreo (35).

A continuación se presenta el diagrama general del proceso de extrusión por expansión directa en la industria. En este diagrama se observan los procesos claves en color lila y los cuadros amarillos explican algunos factores que se tienen que tener en cuenta o que se producen durante el proceso de la materia prima.

Diagrama general del proceso de extrusión por expansión directa en la industria.



Fuente consultada: Dir. Nal. de Transformación y Comercialización de Prod. Agrícolas y Forestales- MAGyP (39)

A continuación se presenta el resumen económico financiero de una planta de extrusión de alimentos para consumo humano y consumo animal (40).

RESUMEN ECONOMICO FINANCIERO DE UNA PLANTA DE EXTRUSION		
	Opción 1	Opción 2
Tamaño de la planta (Kg./hora)	2400	4800
Producto	Maíz, Soja.	Maíz, Soja.
Inversión Inicial (\$) en equipamiento	203.410	353.816
Tasa Interna de Retorno	26.3 a 38.9%	47.9 a 72.3%



Fuente consultada: Poster Industrialización de Alimentos, Innovación Tecnológica

PARTE III

III.1 RESULTADOS

Tabla No.2: **Resultados de análisis proximal de harinas individuales de leguminosas a utilizar en el desarrollo del alimento complementario**

Muestra	Humedad (%)	Cenizas (%)	Proteína (%)	Grasa (%)	Fibra Cruda (%)
Haba	7.28 ± 0.20	4.94 ± 0.11	27.75 ± 0.64	1.37 ± 0.03	12.73 ± 0.27
Ejote Francés	7.64 ± 0.25	9.42 ± 0.42	21.26 ± 0.41	1.39 ± 0.23	10.75 ± 0.27
Arveja China (escaldada)	7.47 ± 0.51	6.09 ± 0.07	27.98 ± 0.41	1.85 ± 0.03	10.85 ± 0.09
Frijol Piloy	10.36 ± 0.88	5.61 ± 0.24	21.45 ± 0.83	0.89 ± 0.01	5.06 ± 0.62
Arveja Común	7.47 ± 0.51	3.91 ± 0.04	28.95 ± 0.42	1.12 ± 0.16	7.71 ± 0.19
Brócoli	7.47 ± 0.51	3.91 ± 0.04	28.95 ± 0.42	1.12 ± 0.16	7.71 ± 0.19
Ajonjolí	7.47 ± 0.51	3.91 ± 0.04	28.95 ± 0.42	1.12 ± 0.16	7.71 ± 0.19

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La tabla No. 2, presenta los resultados del análisis físico-químico de la materia prima *análisis proximal*- obtenido para las harinas de las leguminosas propuestas, para el estudio, utilizando los métodos de análisis sugeridos por el AOAC. Se incluyó en la tabla, el resultado del análisis proximal para el brócoli y el ajonjolí, los cuales servirán como alimentos complementarios, en algunas de las dietas propuestas, para el estudio biológico.

Tabla No. 3: **Preparación de Harinas de leguminosas de grano de materia prima tierna y su caracterización física y química (Materia prima – Haba)**

Análisis realizado	Haba Inmadura	Haba Sazona	Haba Tostada
Humedad	59.18 ± 0.00	15.37 ± 0.00	1.88 ± 0.00
Ceniza	3.77 ± 0.24	3.15 ± 0.04	-
Proteína	27.09 ± 0.30	27.83 ± 0.45	26.34 ± 0.98
Grasa	1.98 ± 0.00	1.62 ± 0.00	7.36 ± 0.00
Fibra Cruda	7.78 ± 0.00	5.55 ± 0.00	-

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La Tabla No. 3, presenta los resultados del análisis proximal del haba con diferentes procesos de maduración tales como el estado inmaduro, el sazonado y el tostado. Este análisis se realizó para determinar si el porcentaje de las características fisicoquímicas variaron con el estado de maduración y de tratamiento. Como se puede observar con el haba tostada, a pesar que se mantiene alto el porcentaje de proteína el contenido de grasas es muy alto en comparación del estado de maduración de las otras dos muestras. Por tal razón, a pesar que el porcentaje de proteína es alto en este tipo de muestra, el hecho que presente mayor porcentaje de materia grasa, hace a esta materia prima, poco utilizable para el desarrollo de un producto por el proceso de extrusión.

Tabla No. 4: Formulación de alimentos complementarios con una distribución proteica de 70% de maíz y 30% de leguminosas, formular con 15% de ajonjolí y 10% de soya (Combinaciones optativas en calidad de la proteína entre Haba)

Mezcla		Alimento Ingerido (g)	PER
Haba tostada	Harina de maíz		
40	0	247.7	1.40
33	23	335.1	1.92
24	46	366.7	2.16
20	58	374.4	2.21
16	68	363.0	2.09
8	82	396.5	2.02
0	90	270.5	1.25
Caseína		427.1	2.82

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La Tabla No.4, presenta el resultado del índice de calidad proteica para las formulaciones de las dietas que contenían un 70% de harina de maíz 30% de leguminosas, 15% de harina de ajonjolí y 10% de harina de soya. Como se puede observar en los resultados la mezcla de 16%-23% de harina de haba y del 46-68% de harina de maíz, fueron las formulación que presentaron un mejor índice de calidad proteica.

Evaluación de la Composición química, parámetros fisicoquímicos y calidad de la proteína de los productos de dos procesos.

III.1.4.1 Proceso Convencional de Cocción

III.1.4.1.1 Evaluación de la Calidad Proteica

Tabla No. 5: **Dietas de trabajo para estudio biológico de complementación de ejote francés y maíz**

Ingrediente	1	2	3	4	5
Maíz	1800	1360	890	444	-
Ejote Francés	-	164	350	512	666
Minerales	80	80	80	80	80
Vitaminas	20	20	20	20	20
Aceite	100	100	100	100	100
Almidón	-	276	560	844	1134
Total	2000	2000	2000	2000	2000

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La Tabla No. 5, presenta el listado de materia prima con la que se elaboraron las dietas para el estudio biológico. Fueron 5 preparaciones, con diferentes proporciones de masa de cada ingrediente. Como se puede observar en la tabla, la totalidad en gramos de cada dieta fue de 2000 gramos.

Tabla No. 6: **Eficiencia Proteica (PER) y Retención neta de Proteína (NPR) en dietas de Ejote Francés a distinto nivel de incorporación.**

Dieta	Aumento en Peso, (g)	Alimento Ingerido, (g)	Proteína en Dieta, (g)	Proteína Ingerida, (g)	NPR	PER
Control Maíz	22.80 ± 3.96	204.13 ± 30.61	6.75 ± 0.25	13.76 ± 2.06	2.91 ± 0.44	1.65 ± 0.32
Ejote Francés 8 %	21.75 ± 2.43	195.13 ± 22.28	7.07 ± 0.25	13.80 ± 1.57	2.83 ± 0.31	1.59 ± 0.22
Ejote Francés 16%	28.25 ± 3.28	211.25 ± 19.29	7.27 ± 0.47	15.36 ± 1.40	2.96 ± 0.18	1.84 ± 0.13
Ejote Francés 25 %	24.50 ± 9.10	192.00 ± 29.25	7.50 ± 0.24	14.40 ± 2.19	2.86 ± 0.27	1.66 ± 0.40
Ejote Francés 33 %	3.75 ± 5.15	135.50 ± 16.85	8.25 ± 0.27	11.18 ± 1.39	1.84 ± 0.31	0.30 ± 0.45
Caseína	112.63 ± 23.24	367.50 ± 40.54	10.60 ± 0.00	24.77 ± 2.73	4.81 ± 0.54	4.51 ± 0.51
DLN	-14.25 ± 3.11	89.63 ± 6.63	0.55 ± 0.25	0.49 ± 0.04	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

En la tabla No. 6, se presenta el índice de calidad de la proteína para diferentes proporciones de harina de ejote francés, los cuales corresponden a la harina de ejote francés, agregado a cada dieta, presentado en la tabla No. 4, sobre los 2000 gramos de la dieta completa. Los resultados obtenidos son muy bajos al compararlos con el valor de la caseína (control). Este resultado indica que una formulación con harina de ejote y harina de maíz, no serían las mejores opciones a proponer para elaborar un producto.

Tabla No. 7: **Eficiencia proteica de frijol piloy y gandul a distinto nivel**

Dieta	Aumento en peso, (g)	Alimento ingerido, (g)	Proteína en dieta, (g)	Proteína ingerida, (g)	NPR	PER
Piloy 48 %	32.88 ± 9.25	228.50 ± 37.49	13.07 ± 0.61	29.89 ± 4.90	1.59 ± 0.25	1.10 ± 0.39
Piloy 36 %	46.00 ± 6.76	253.25 ± 39.19	11.62 ± 0.29	29.40 ± 4.55	1.96 ± 0.16	1.47 ± 0.09
Piloy 24 %	47.75 ± 6.58	269.38 ± 26.24	10.66 ± 0.52	28.72 ± 2.80	2.16 ± 0.12	1.66 ± 0.13
Piloy 11 %	49.50 ± 6.46	292.13 ± 20.89	9.47 ± 0.41	27.66 ± 1.98	2.31 ± 0.23	1.79 ± 0.19
Maíz Control	24.00 ± 4.28	232.88 ± 26.81	8.14 ± 0.12	18.96 ± 2.18	2.05 ± 2.35	1.29 ± 0.28
Gandul 43 %	40.75 ± 8.14	285.13 ± 50.75	9.96 ± 0.14	23.21 ± 4.13	2.41 ± 0.39	1.78 ± 0.35
Gandul 33 %	45.88 ± 9.17	272.75 ± 43.88	11.46 ± 0.17	22.20 ± 3.57	2.75 ± 0.51	2.10 ± 0.41
Gandul 22 %	56.25 ± 7.46	303.88 ± 52.02	11.93 ± 0.40	24.74 ± 4.23	2.90 ± 0.37	2.30 ± 0.30
Gandul 10 %	45.00 ± 4.31	275.50 ± 24.86	9.86 ± 0.03	22.43 ± 2.02	2.66 ± 0.28	2.02 ± 0.24
Control (leche)	120.75 ± 19.51	399.00 ± 30.42	12.58 ± 0.00	46.32 ± 3.53	2.91 ± 0.24	2.39 ± 0.13
DLN	-14.25 ± 3.11	89.63 ± 6.63	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La tabla No. 7 muestra la eficiencia protéica con las diferentes proporciones de la materia prima de piloy, y de gandul. En este caso los mejores resultados obtenidos de las proporciones fueron los realizados con gandul, con los porcentajes de 33%, 22% y 10 %.

Tabla No. 8: **Dietas de trabajo para estudio biológico de dietas a base de piloy entero y maíz nixtamalizado**

Ingredientes	1	2	3	4
Piloy Entero	900	750	900	750
Maíz Nixtamalizado	700	1050	700	1050
Ajonjolí	-	-	250	250
Minerales	100	100	100	100
Vitaminas	25	25	25	25
Aceite	125	125	125	125
Almidón	650	450	400	200
Total	2500	2500	2500	2500

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La tabla No. 8, presentan las diferentes cantidades de masa utilizado para elaborar 4 dietas con la harina de piloy. La selección de esta materia prima, se deriva de los resultados obtenidos en la tabla No.7.

Tabla No. 9: **Eficiencia Proteica (PER) y Retención neta de Proteína en dietas de Piloy entero y descascarado**

Dieta	Aumento en Peso (g)	Alimento Ingerido (g)	Proteína en Dieta (g)	Proteína Ingerida (g)	NPR	PER
Piloy Entero	61.75 ± 9.78	304.25 ± 25.18	10.90 ± 1.83	33.15 ± 2.74	2.29 ± 0.25	1.10 ± 0.39
Piloy Entero	77.00 ± 10.76	337.88 ± 24.67	11.23 ± 0.28	37.94 ± 2.77	2.40 ± 0.16	1.47 ± 0.09
Piloy Entero	95.25 ± 19.04	344.13 ± 30.79	13.30 ± 0.01	45.75 ± 4.1	2.38 ± 0.26	2.27 ± 0.13
Piloy Entero	101.00 ± 16.37	347.13 ± 30.11	13.49 ± 0.23	46.81 ± 4.06	2.46 ± 0.19	1.79 ± 0.19
Piloy Descascarado	42.13 ± 6.15	248.75 ± 26.81	11.12 ± 0.10	27.66 ± 2.98	2.05 ± 0.19	1.29 ± 0.28
Piloy Descascarado	53.75 ± 7.70	274.13 ± 12.81	11.02 ± 0.04	30.48 ± 1.42	2.23 ± 0.17	1.78 ± 0.35
Piloy Descascarado	71.63 ± 11.59	275.88 ± 29.1	13.92 ± 0.55	30.68 ± 3.24	2.81 ± 0.36	2.10 ± 0.41
Piloy Descascarado	86.25 ± 9.74	304.25 ± 23.01	13.27 ± 0.04	33.83 ± 2.56	2.97 ± 0.21	2.30 ± 0.30
Control	125.88 ± 19.40	410.75 ± 34.13	13.32 ± 0.83	46.13 ± 3.83	3.04 ± 0.29	2.39 ± 0.13
DLN	-14.25 ± 3.11	89.63 ± 6.63	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

La Tabla No. 9 presenta el índice proteico (PER) de dietas elaboradas con frijol piloy en algunas ocasiones incluyendo la cáscara y en otro se utilizó el frijol piloy sin cáscara. Los resultados para la dieta propuesta con harina de frijol piloy no son concluyentes ya que los valores más altos de PER son los obtenidos con harina de frijol piloy con cascara (entero) 2.27% y harina de frijol piloy descascarado 2.30%.

Tabla No. 10: **Composición de Mezclas para realizar de materia prima**

Ingrediente	Mezcla #					
	1	2	3	4	4 modificada	5
Harina de Haba	20	0	0	10	20	20
Cereal (Maíz)	58	50	30	50	20	0
Soya	12	15	10	0	0	0
Ejote Francés	0	25	0	0	0	0
Arveja China	0	0	50	0	0	30
Frijol Piloy	0	0	0	30	50	0
Brócoli	0	0	0	0	0	30
Arveja Dulce	0	0	0	0	0	10
Ajonjolí	10	10	10	10	10	10
Total	100	100	100	100	100	100

Fuente: Proyecto FODECYT 01-2008

Para la formulación de alimentos complementarios con las harinas de los ingredientes inmaduros secos, se prepararon 5 dietas de prueba, que contenían en diferentes proporciones las harinas de los alimentos complementarios propuestos. Las proporciones asignadas a cada dieta pueden verse en la Tabla No. 10 de la sección de resultados. Estas dietas fueron preparadas para realizar el estudio biológico, de digestibilidad de la proteína, en la formulación propuesta. La formulación de la dieta 4, fue reformulada, ya que las proporciones asignadas al inicio, presentaron porcentajes de proteína deficientes alrededor de 13.87%, que en comparación de la nueva reformulación el porcentaje de incremento a 20%.

Tabla No. 11: **Resumen de Análisis proximal de Composición de Dietas**

Dietas	Humedad %	Ceniza %	Proteína %	Grasa %	Fibra Cruda %
Dieta 1	5.82 ± 0.02	2.83 ± 0.13	18.50 ± 0.12	9.02 ± 0.01	2.93 ± 0.03
Dieta 2	7.52 ± 0.37	4.13 ± 0.02	19.79 ± 0.01	7.90 ± 0.62	4.41 ± 0.12
Dieta 3	6.74 ± 0.15	4.38 ± 0.03	24.51 ± 0.93	6.28 ± 0.33	5.46 ± 0.51
Dieta 4	0.47 ± 0.07	3.04 ± 0.00	13.87 ± 0.17	7.80 ± 0.19	3.76 ± 0.13
Dieta 4 modificada	5.81 ± 0.01	3.99 ± 0.05	16.03 ± 0.57	7.62 ± 0.03	5.37 ± 0.32
Dieta 5	6.40 ± 0.14	7.11 ± 0.07	24.00 ± 0.42	4.75 ± 0.35	9.91 ± 0.12

En la tabla No. 11, se presentan los resultados del análisis proximal de las dietas de las formulaciones propuestas. Los mejores resultados en cuanto a contenido proteico se pueden observar en las dietas 3 y 5 las cuales la harina de la arveja china, es el ingrediente en común y los diferentes componentes en cada una de estas dietas, le dan una característica única en las otras características físico-químicas.

III.2 DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Discusión

Las muestras de materia prima fueron preparadas luego de determinar las mejores proporciones en composición de la materia prima en las dietas. Aunque las preparaciones de materia prima, fueron posibles, no se pudo preparar la cantidad necesaria, el proceso de extrusión tiene como desventaja la utilización de grandes cantidades de materia para trabajar, por lo que para el proceso de extrusión no fue posible preparar suficiente materia como se requería. Por tal razón, se procedió a determinar la cantidad de agua necesaria que debía tener la masa de las harinas para lograr obtener hojuelas de un grosor de 1 mm, por medio del proceso de secado por rodos. Como uno de los objetivos fue el de preparar una muestra aplicando la técnica de secado por rodos, se procedió a determinar, la cantidad de agua líquida, necesaria para elaborar una masa con la materia prima, de tal forma que quedara una masa moldeable pero adherible a la superficie de secador de rodos. Para tratar la muestra con el proceso de extrusión, no se determinó la cantidad de humedad necesaria para la obtención del producto, ya que no se realizó prueba alguna con este proceso. Una de las razones por la cual no se realizó la prueba para el proceso de extrusión, con las harinas de leguminosas, se debió a que las cantidades de harina requeridas para realizar una prueba no podían ser cubiertas con la materia prima disponible en el momento. Aunado este factor de limitación, una vez se obtuvo un primer producto de la extrusión, fue necesario realizar las pruebas de humedad, consistencia y análisis sensorial de este producto, y de no cumplir satisfactoriamente los requisitos se debía realizar una nueva prueba, cambiando la cantidad de agua suministrada a la harina de las leguminosas a extruir.

Para probar la técnica del secado por rodos, se determinó previamente la cantidad de humedad que necesitaban las harinas para poder pasar por el rodo como una pasta. La cantidad de agua que se debía agregar a la harina varía desde 50%-70%. Este rango se generó debido a que no todas las harinas fueron homogéneas en

consistencia. Una vez determinada la cantidad de agua, para preparar las masas de las harinas de las leguminosas y ser secadas por el secador de rodos, se observaron los siguientes resultados, el primero fue que las harinas al estar húmedas y secadas con el calor del rodo, quedaron adheridas completamente en el rodo, por lo que no fue posible obtener una especie de hojuela seca y la otra fue que algunas de las harinas, que no eran completamente polvo, es decir que presentaban granos amorfos, no se adhirieron al rodo, por lo que no se pudo secar la muestra.

PARTE IV

IV. 1 CONCLUSIONES

1. Se preparó la harina de maíz y las harinas de leguminosas de granos secas arveja dulce, habas, gandul y ejote francés para realizar la caracterización física y química.
2. Se preparó la harina de las leguminosas de grano de materia prima tierna y se realizó la caracterización física y química.
3. Se formularon las dietas de alimentos complementarios con una distribución proteica de 70% de maíz, 30% de leguminosas, 15% ajonjolí y 10% harina de soya, presentando un PER de 2.21, la proporción de harinas de haba y harina de maíz 20:58.
4. La preparación del lote de treinta kilogramos (30kg) de cada formulación de materia seca, no se logró completar. Los kilogramos de materia seca preparado estuvo entre 5kg y 10kg.
5. Esto se debió a que ya que la demanda de materia seca, para realizar las pruebas sobre pasó la
6. No se evaluó la composición fisicoquímica y la calidad de la proteína de las harinas para el proceso convencional de cocción ni para el proceso de extrusión. Esto se debió a que la cantidad de harina seca, no fue suficiente para hacer una prueba, para los dos procesos propuestos.
7. Al no elaborar ningún producto por los procesos propuestos, no se evaluó la aceptabilidad de productos.

IV.2 RECOMENDACIONES

1. Se recomienda considerar para las harinas de las dietas elaboradas, un aditivo lipídico que no afecte la calidad nutricional del alimento extruido o secado por rodos. Esto facilitaría en el secador de rodos, el desprendimiento con las cuchillas que posee el aparato.
2. Las mezclas de las dietas elaboradas deben molerse para homogenizar las proporciones de la materia prima en la mezcla.
3. Se recomienda conseguir un extrusor de menor capacidad para alimentación del tornillo, para realizar pruebas piloto, ya que esto permitirá desarrollar más pruebas para obtener el producto final extruido con la apariencia deseada. Esto se recomienda porque el extrusor del que se disponía para las pruebas demandaba mucha harina de las mezclas, como materia prima, siendo uno de los limitantes para realizar varios de los objetivos específicos relacionados con el producto final.

IV.2. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

1. **FAO/WHO** – Food and Agricultural Organization of the United Nations/World Health Organization 1994. Codex Alimentarius: Foods for special dietary uses (including foods for infants and children), Joint FAO/WHO Food Standards Program, Codex Alimentarius Commission. Vol. 4 2nd. Ed. Rome, FAO Publications.
2. **Bressani, R.** 1983. World needs for improved nutrition and the role of vegetable and legumes. Asian Vegetables Research and Development Center, 10th. Ann. Monograph Series, Shan Hua, Taiwan Republic of China. AVRDE Pub. 83-185.
3. **Bressani, R.** 1993. Grain Quality of Common Beans. Food Revs. Intl. 9:237 – 297.
4. **Bressani, R.;** L.G. Elías y R. Gómez Brenes, 1977. Efecto suplementario del gandul tierno o maduro al arroz, maíz tierno y maduro y al maicillo INCAP Informe Anual.
5. **Bailey, L.N.;** B.W. Hauckh; E.S. Sevaton & R.E. Singer, 1995. Ready to eat cereal production Food Tech Intl. Europe 127 – 132.
6. **Eastman, J.;** F. Orthofer & S. Solorio, 2001. Using extrusion to create breakfast cereal products. Cereal Foods World 46:468 – 471.
7. **Harper, J.M.** 1981. Extrusion of food. Vol. 2 CRC Press Boca Raton, FL. USA.
8. **Miller, R.C.** 1994. Breakfast cereal extrusion technology. In: The Technology of Extrusion Cooking Ed. WD Frame P. 73 – 109 London Blackie Academic.
9. **Rokey, G.J** 1995. RTE breakfast cereal flake extrusion. Cereal Foods World 40:422 – 426.
10. **Alarcon – Valdez, C.;** J. Milan – Carrillo; O.G. Cardenas – Valenzuela; R. Mora – Escobedo; L. A. Bello – Pérez & C. Reyes – Moreno, 2005. Infant food from quality protein maize and chick pea: optimization for preparing and nutritional properties. Intl. J. Food Science & Nutrition 56:273 – 285.
11. **Mosha, T.C.E.;** M.R. Bennick and P.K.W. NG 2005. Nutritional quality of drum processed and extruded composite supplementary foods. J. Food Sci. 70:C138 – C144.

12. **Martínez B. F.** & C. F. Ciacco 1992. Modificaciones químicas en sorgo durante el proceso de extrusión y elaboración de tortillas. *Arch. Lat. Amer. Nut.* 42:52 – 58.
13. **Gómez Aldafa, C.A.**; F. Martínez Bustos, J. de D. Figueroa Cárdenas, C.A. Ordorica Falomir & J. González Hernández 1996. Cambios en algunos componentes químicos y nutricionales durante la preparación de tortillas de maíz elaboradas con harinas instantáneas obtenidas por extrusión continua. *Arch. Lat. Amer. Nut.* 46:315 – 319.
14. **Martínez Flores, H.E.**; F. Martínez Bustos; C.J.D. Figueroa and J. González – Hernández 1998. Tortillas from extruded masa as related to corn genotype and milling process. *J. Food Sci.* 63:130 – 133.
15. **Martínez – Flores, H.E.**; F. Martínez Bustos J.D.C. Figueroa and J. González – Hernández 2002. Studies and biological assays in corn tortillas made from fresh masa prepared by extrusion and nixtamalization processes. *J. Food Sci.* 67:1196 – 1199.
16. **Williams, M.A.**, R.E. Horn and R.P. Rugala 1977. Extrusion an indepth look in a versatile process. *Food Eng. Intal.* 2: 23 – 25 y 57 – 62.
17. **Singh, J.**; R.C. Hoseney & J.M. Faubion 1994. Effect of dough properties on extrusion – formed and baked snacks. *Cereal Chem.* 71:417 – 422.
18. **Case, S.E.**; D.D. Hamann & S.J. Schwartz 1992. Effect of starch gelatinization on physical properties of extruded wheat and corn based products. *Cereal Chem.* 69:401 – 404.
19. **Sacchetti, G.**; P. Pittia and G.G. Pinna-Vaia 2005. The effect of extrusion temperature and drying tempering on both the kinetics of hydration and the texture changes in extruded ready to eat breakfast cereals during soaking in semi – skinned milk. *Intal. J. Food Science & Tech.* 40:655 – 663.
20. **Mendoza, C.** & R. Bressani, 1987. Nutritional and functional characteristics of extrusion cooked amaranth flour. *Cereal Chem.* 64:218 – 222.
21. **R.N. Chávez – Jauregui, M.E.M.** P. Silva and J.A.G. Areas 2000. Extrusion cooking process for amaranth (*Amaranthus caudatus* L.) *J. Food Sci.* 65:1009 – 1015.

22. **Harper, J.M.**; G.R. Jansesn 1985. Production of nutritious pre-cooked foods in developing countries by low – cost extrusion technology. *Food Rev. Intl.* 1(1) 27 – 97.
23. **Castells, S., M.**; M.V. Sanchis & A.J. Ramos 2005. Fate of mycotoxins in cereals during extrusion cooking: A review *Food Additions & Contaminants* 22: 150 – 157.
24. **Castells, M. S.** Hann, V. Sanchis and A.J. Ramos 2006. Reduction of aflatoxins by extrusion – cooking of rice meal. *J. Food Sci.* 71:C369 – C377.
25. **AOAC** Official Methods of Analysis Association of Official Analytical Chemists 14th. Ed. 1984.
26. **Englyst, H.N.**; Kingman, S.M. and J.H. Cummings 1992. Classification and measurement of nutritionally important starch fraction. *Eur. J. Clin. Nutr.* 46 (Supple 2) 533 – 550.
27. **Lajolo, F.M.**; M.I. Genovene 2002. Nutritional significance of lectins and enzyme inhibitors from legumes. *J. Agric. Food Chem.* 50:6592 – 6596.
28. **Smith, C., W.** Van Megen, I. Twaalhoven and C. Hitchcock C 1980. The determination of trypsin inhibitors levels in food stuffs. *J. Sci. Food Agric.* 31:341 – 350.
29. **Liu, K., P.** Markakis 1989. Trypsin inhibition assay as related to limited hydrolysis of inhibitors. *Anal. Biochem.* 178: 159 – 1565.
30. **Boniglia, C., E.** Fedele, E. Sanzini 2003. Measurement by ELISA of active lectin in dietary supplements containing kidney bean protein. *J. Food Sci.* 68:1283 – 1286.
31. **Anderson, R.A.**, H.R. Conway, V.E. Pfeifer, E.L. Jr. Griffin 1969. Gelatinization of corn grits by roll and extrusion cooking. *Cereal Sci. Today* 14:4 – 7 & 11 – 12.
32. **E. Witting de Penna.** Evaluación sensorial, una metodología actual para tecnología de alimentos. Santiago, Chile, Universidad.
33. **Pellet, P.L.** & U.K. Young (Ed) 1980. Nutritional evaluation of protein foods. United Nations University Food and Nutrition Bulletin Supplement 4.
34. **Valls, A.** 1993. El proceso de extrusión en cereales y haba de soja. XI Curso de Especialización FEDNA. Barcelona, 8 y 9 de Noviembre.

35. **Meneses, J., Corrales, C., Valencia, M.** 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. Revista EIA. Escuela de Ingeniería, Antioquia. No.8, julio/diciembre.
36. **Rauwendal, C.** 1998. Understanding Extrusion. Hanser Publishers, Munich.
37. **Duran de Bauzúa, Ma.** 2015. Aplicación de los extrusores en la industria de los alimentos.
38. **Lantai Plastics Machinery.** (disponible en : <http://www.extruder.es/index.html>)
39. **Lezcano, E.** 2010. Análisis de producto Cereales para el desayuno. MinAgri.

PARTE V

ANEXOS

V.1 INFORME FINANCIERO

DÉCIMA SÉPTIMA CONVOCATORIA								AD-R-0013
LINEA FODECYT								
<i>Nombre del Proyecto:</i>		<i>"Cocción por extrusión de alimentos complementarios a base de maíz y leguminosas de grano secas, maduras e inmaduras sobre su valor tecnológico y nutritivo"</i>						
<i>Numero del Proyecto:</i>		001-2008						
<i>Investigador Principal y/o Responsable del Proyecto:</i>		DR. RICARDO BRESSANI						
<i>Monto Autorizado:</i>		Q308,880.00						
<i>Plazo en meses</i>		24 meses						
<i>Fecha de Inicio y Finalización:</i>		05/04/2010 al 31/03/2012						
Grupo	Renglon	Nombre del Gasto	Asignacion Presupuestaria	TRANSFERENCIA		En Ejecución		2011
				Menos (-)	Mas (+)	Ejecutado	Pendiente de Ejecutar	
1		Servicios no personales						
	181	Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad	Q 154,800.00			Q 41,400.00	Q 113,400.00	Q 41,400.00
	181	Estudios, investigaciones y proyectos de factibilidad (Evaluación Externa de Impacto)	Q 8,000.00				Q 8,000.00	
	161	Mantenimiento y reparación de maquinaria y equipo de producción	Q 15,000.00				Q 15,000.00	
	196	Servicios de atención y protocolo	Q 14,000.00				Q 14,000.00	
2		MATERIALES Y SUMINISTROS						
	212	Alimentos para animales	Q 15,000.00				Q 15,000.00	
	261	Elementos y compuestos químicos	Q 50,000.00				Q 50,000.00	
3		PROPIEDAD, PLANTA, EQUIPO E INTANGIBLES						
	321	Maquinaria y equipo de producción	Q 24,000.00				Q 24,000.00	
		GASTOS DE ADMÓN. (10%)	Q 28,080.00			Q 28,080.00	Q -	
			Q 308,880.00			Q 69,480.00	Q 239,400.00	
		MONTO AUTORIZADO	Q 308,880.00			Disponibilidad	Q 237,900.00	
	(-)	EJECUTADO	Q 69,480.00					
		SUBTOTAL	Q 239,400.00					
	(-)	CAJA CHICA	Q 1,500.00				Q 20,080.00	
		TOTAL POR EJECUTAR	Q 237,900.00					