

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

1.1. ANTECEDENTES

Los cereales son considerados la base de las grandes civilizaciones porque constituyeron una de las primeras actividades agrícolas humanas; las culturas europeas se formaron en torno al trigo, las civilizaciones del extremo oriente alrededor del arroz y las de América cultivaron maíz (Escribano y col, ____), es así que en la actualidad son la fuente más importante de energía para el ser humano, alrededor del 90% del aporte energético total viene de los cereales, pero también son una fuente importante de aporte de proteínas (Dendy, 2004), sin embargo estos deben ser sometidos a un proceso de cocción cuyo tiempo de duración va a depender mucho del tipo de cereal, y del estado del mismo, es decir si está entero, triturado, o pulverizado, por este motivo y tomando en cuenta que en muchos hogares no se cuenta con el tiempo requerido se han desarrollado los cereales listos para ser consumidos, pudiendo ser estos los copos de maíz, copos de trigo, cereales granulados, y desde luego los cereales extruidos.

El maíz, es uno de los cereales de mayor importancia a nivel mundial en producción y consumo, su nombre significa “lo que sustenta la vida”. El cultivo del maíz tuvo su origen, con toda probabilidad en América Central especialmente en México, de donde se difundió hacia el norte hasta Canadá y hacia el sur hasta la Argentina, la evidencia más antigua (7000 años de antigüedad) ha sido encontrada por arqueólogos en el valle de Tehuacán en México; este cereal era un artículo esencial en las civilizaciones maya y azteca y tuvo un importante papel en sus creencias religiosas, festividades y nutrición; a finales del siglo XV, tras el descubrimiento del continente americano, el grano fue introducido en Europa a través de España. Se difundió entonces por los lugares de clima más cálido del mediterráneo y posteriormente a Europa septentrional (FAO, 1993).

Los autores (Mangelsdorf y Reeves, 1939), han hecho notar que el maíz se cultiva en todas las regiones del mundo aptas para actividades agrícolas y que se recoge, en algún lugar del planeta, todos los meses del año, crece desde los 58° de latitud norte, en Canadá y Rusia, hasta los 40° de latitud sur, en el hemisferio meridional.

Se cultiva en regiones por debajo del nivel del mar, en la llanura del Caspio y a más de 4000 metros de altura, en los Andes Peruanos.

Por otra parte, el cultivo del amaranto, cuyo nombre científico es *Amaranthuscaudatus*, fue desarrollado en América, hace más o menos siete mil años atrás; este, al igual que la quinua, eran considerados plantas sagradas, lo cual en un determinado tiempo hizo peligrar su expansión, puesto que los españoles prohibieron su cultivo al ver con malos ojos que fueran utilizados en rituales nativos (Cervantes, 2007). Sin embargo, hoy en día, el amaranto está tomando fuerza debido al descubrimiento de sus propiedades nutricionales, y su cultivo se extiende, no solo en los países tradicionales, sino también en países como China, Estados Unidos y la India. De hecho, el amaranto fue el alimento elegido por la NASA para ser llevado al espacio y ser consumido por los astronautas (Arnau, 2009).

Gracias al desarrollo de la tecnología en el campo alimenticio, ha sido posible el aprovechamiento de estos cereales y otros más, a lo largo de la historia se ha implementado nuevos procesos para transformar los alimentos y facilitar su consumo, así también su transporte y porque no mencionarlo su conservación, es en este sentido, que la utilización de métodos relativamente recientes, como el método de cocción–extrusión ha ampliado su utilización extendiéndose a la producción de cereales de desayuno. Por otro lado el principio básico del extrusor, se remonta a la invención de la rosca sin fin, desarrollada por Arquímedes hacia los 240 AC; posteriormente fue utilizado de manera ingeniosa como transportador, hasta que en 1935, en Suiza e Italia, fue utilizado en la industria de las pastas alimenticias y a finales de los 40, se comenzó a desarrollar el método de cocción–extrusión (Manzaneque, 1992).

1.2. JUSTIFICACIÓN

- Con el presente trabajo, se busca aprovechar las bondades nutritivas de las harinas compuestas; implementando una nueva alternativa como es el uso de harina de amaranto, para enriquecer un alimento destinado al desayuno escolar, como una alternativa para contribuir a la disminución del índice de desnutrición escolar.
- A través de este proyecto, se pretende implementar en el departamento una nueva alternativa de transformación de cereales, mediante el proceso de extrusión de alimentos; ya que es una técnica que ofrece muchas ventajas, una de ellas es la garantía de calidad e inocuidad de los productos obtenidos.
- Así mismo, se desea incentivar el cultivo de amaranto en la zona alta del departamento, al ser un cultivo no tradicional, su producción está en riesgo de extinción; dando valor agregado, para aprovechar sus grandes bondades nutricionales.
- Mediante el proyecto, también se busca incentivar a los productores de maíz en el departamento de Tarija, de tal manera que se pueda mejorar la producción de maíz amarillo; a través de la incorporación de programas agrícolas que garanticen una producción anual y de esta manera se pueda mejorar la vida del sector productivo.

1.3. OBJETIVOS

En la elaboración del presente se plantean los siguientes objetivos.

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

- Elaborar cereal de desayuno, a partir de harinas compuestas de maíz y coime, mediante el proceso de extrusión de alimentos; con el fin de obtener un producto inocuo y de calidad nutricional.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la granulometría adecuada de las materias primas, con la finalidad de obtener un producto de buena textura.
- Determinar la formulación apropiada, a fin de obtener un producto de buenas características nutricionales y organolépticas, que además se pueda trabajar sin ningún contratiempo en el extrusor.
- Determinar las características fisicoquímicas de las materias primas.
- Determinar el efecto del proceso sobre las variables contenido de humedad y proteína, mediante análisis fisicoquímicos.
- Determinar las características organolépticas del producto, a través de una evaluación sensorial.
- Determinar la calidad nutricional del producto final, para verificar la eficacia del proceso.
- Comparar entre dos tipos de materiales de envase y determinar el más apropiados para el envasado del cereal extruido.

1.4. PROBLEMA

¿Cuál será la formulación adecuada de harina de maíz y coime para ser introducidas al proceso de extrusión con el fin de obtener un cereal de desayuno inocuo y de calidad nutricional?

1.5. HIPÓTESIS PLANTEADA

Mediante el proceso de extrusión, para elaborar cereal extruido con una dosificación de 91,8% de harina base compuesta por harina de maíz cruda, harina de maíz pre-cocida y torta de soya; 5,03% de harina de amaranto y 2% de agua, se obtendrá un producto inocuo y de calidad nutricional.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. HISTORIA DE LOS CEREALES DE DESAYUNO

Los cereales de desayuno, se elaboraron a partir de harinas de trigo, maíz, avena o arroz, en el presente trabajo se propone una nueva alternativa de cereal elaborado a partir harina de maíz, enriquecido con harina de amaranto. En la actualidad los cereales de desayuno están presentes como una alternativa agradable y sana, han sido elaborados a principios del siglo XIX en los Estados Unidos, han pasado de ser un medio de curación a un medio de placer, puesto que se crearon como una solución a las personas que padecían de problemas digestivos, cuya causa era el exceso de consumo de carne y poco contenido de fibra (BreakFastCereals, 2007).

A principios del XIX el doctor James Caleb Jackson, elaboró lo que se conoce como el primer tipo de cereales de desayuno llamado “granola” la cual no tuvo buena aceptación, por ser impráctico en su forma de preparación, los mismos necesitaban permanecer en remojo durante la noche anterior para poder ser aptos para el consumo (Lezcano, 2010).

Luego J. H. Kellogg's, inspirado en la idea de la granola desarrolló un cereal de desayuno a base de trigo hervido, en 1894, dejó el trigo hervido en reposo por el lapso de un día, luego procedió a estirar la masa y finalmente coció el trigo como se lo hacía habitualmente, como resultado obtuvo un producto crujiente y de buen sabor, de ahí se desarrollaron los primeros copos de maíz, conocidos como “cornflakes” (Lezcano, 2010). De aquí en adelante se elaboraron varias técnicas en la fabricación de diferentes tipos de cereales.

Hoy en día, los cereales de desayuno han pasado a ser un producto muy popular no solo para los niños, sino también para los adultos; son apreciados por su sabor, valor nutricional y energético. Combinando estas características con un proceso eficiente como es la extrusión, se convierten en una potencial opción alimentaria.

2.2. PROCESO DE EXTRUSIÓN

La extrusión se define como “el proceso que consiste en dar forma a un producto, forzándolo a través de una abertura con diseño específico” así pues, la extrusión, puede o no, implicar simultáneamente un proceso de cocción (Valls, 1993).

El proceso de extrusión, es un procedimiento cada vez más popular en la elaboración de cereales, botanas, procesamiento de granos, harinas, etc; basándose en materias primas que contienen proteínas y almidón. Presenta múltiples ventajas, la principal es que los ingredientes sufren una serie de transformaciones que se llevarían a cabo en varias operaciones unitarias, en un solo paso rápido y eficiente (Durán, 1988).

La extrusión permite la elaboración de formas interesantes de presentación de los productos, que resultan muy atractivas para el consumidor, sobre todo para los niños, quienes necesitan fuentes de energía en su etapa de crecimiento. Con esta tecnología no solo se pueden producir alimentos atractivos para los niños y para el consumidor en general, sino también, mas nutritivos e higiénicos (Arias y col, 2007). Este proceso combina diferentes operaciones unitarias (Ferragut, ____); como ser:

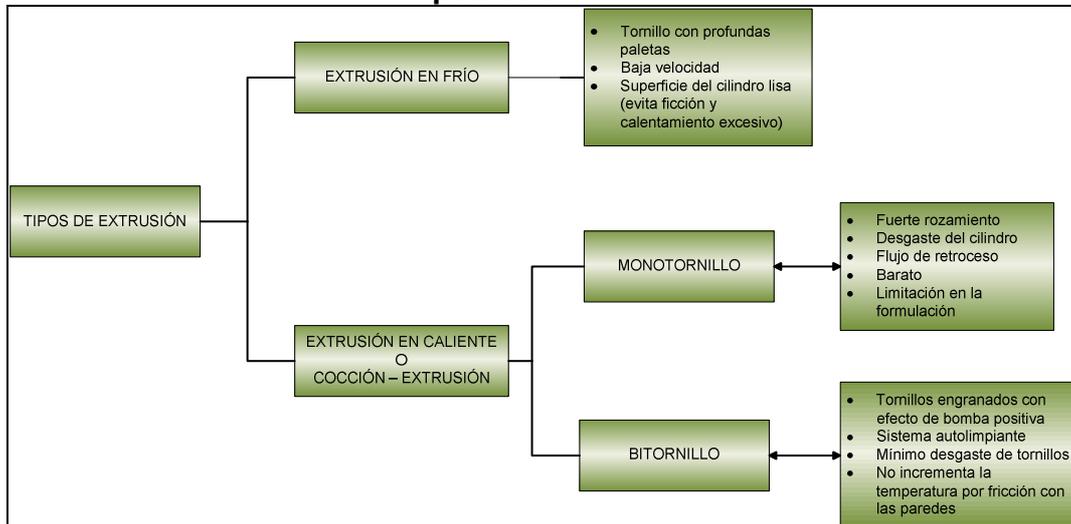
- mezclado
- compresión
- cocción
- amasado
- cizalla y corte
- moldeo

En la figura 2.1, se muestran los tipos de extrusión en alimentos más importantes (Ferragut, ____):

- *Extrusión en frío*: se produce el amasado y cohesión, no hay expansión. Se utiliza en la elaboración de pastas, masas de panadería, salchichas, etc.

- *Extrusión en caliente o cocción–extrusión*: se producen importantes cambios en los componentes, teniendo dos tipos monotornillo y bitornillo.

Figura 2.1
Tipos de extrusión



Fuente: (Ferragut, _____)

2.2.1. VENTAJAS QUE OFRECE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Las ventajas que ofrece el proceso de extrusión según (Apró et al, 2000) son:

- *Flexibilidad de operación*, permitiendo la obtención de una gran diversidad de productos.
- *Posibilidad de procesamiento en diversas formulaciones*, permitiendo adecuar el nivel nutricional según las necesidades.
- *Bajo costo de procesamiento*, las demandas de espacio físico y mano de obra por unidad de producción son menores que aquellas de otros sistemas de cocimiento-moldeo.
- *Tecnología simple*.
- *Mínimo deterioro de nutrientes de los alimentos en el proceso*, el procesamiento en altas temperaturas por periodos cortos (HTST), que minimiza la degradación de nutrientes.
- *Eficiente utilización de la energía*.

- *Ausencia de efluentes*, no es producido ningún efluente o material de riesgo durante o después del procesamiento.
- *Inactivación de enzimas y factores antinutricionales*.
- *Producción de alimentos inocuos*, el sistema de procesamiento (HTST) destruye la mayoría de microorganismos y plagas.

2.2.2. VARIABLES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Los autores (Arias-García et al, 2007), indican como variables más importantes, referidas al extrusor, las siguientes:

- Tipo de extrusor
- Longitud del barril
- Configuración del tornillo
- Configuración del dado o boquilla de salida
- Velocidad del tornillo
- Temperatura del barril

Por su parte (Manzanaque, 1992), hace referencia a otros factores que no están ligados con el equipo, sino más bien con la materia prima, pero son muy importantes a la hora del proceso; estos son:

- Calidad de las materias primas
- Granulometría
- La homogeneidad de la mezcla
- Alimentación constante del extrusor
- Composición de las materias primas (contenido de almidón, proteínas, agua y grasas)

2.2.3. CAMBIOS OCURRIDOS DURANTE EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Antes de llevar a cabo el proceso de extrusión, se humedece la materia prima, una vez hecho esto, se lleva a la tolva de alimentación, la misma ingresa al equipo y alcanza una humedad de entre 22-30% y la temperatura se va incrementando por la transformación de energía mecánica en calor, dentro del cañón del extrusor, que por su diseño, asegura las condiciones de fricción y cizallamiento adecuados. El agua, es sometida a temperaturas muy superiores a las de vaporización; pero permanece en estado líquido por la presión a la que se encuentra sometida. En el momento en que el producto atraviesa la boquilla de salida, el agua que está mezclada con el producto sufre un brusco cambio de presión y se evapora instantáneamente, dando lugar a la expansión, y modificando las cadenas proteicas y de almidón, aumentando su superficie y haciéndolas más vulnerables al ataque de enzimas, con lo el producto final se hace más digerible (Valls, 2009).

2.2.4. EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE PROTEÍNAS, ALMIDONES, FIBRA Y GRASAS

El efecto de la extrusión sobre la proteína es favorable, ya que reduce el factor anti-tripsina, mejorando su digestibilidad al reducir los inhibidores de crecimiento que están contenidos en las materias primas de alto valor proteico, durante la extrusión, estos inhibidores, son suficientemente inactivados para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino. Por otro lado, la extrusión da lugar al desheredamiento de las cadenas proteicas, y muchas veces son desnaturalizadas y rotas por el proceso de extrusión y pierden por tanto sus propiedades funcionales, este efecto depende mucho de la presencia de cantidades importantes de almidón, en los que la proteína queda dentro de la matriz formada por el almidón, con lo que queda enredada y encapsulada y protegida de alguna forma. Sin embargo, las enzimas digestivas del tracto intestinal disuelven la matriz de almidón liberando la proteína (Valls, 1993).

Por su parte, el almidón juega un papel muy importante durante el proceso de extrusión, sufriendo cambios significativos en su estructura como ser: gelatinización, fundido y fragmentación, el factor más influyente en la

gelatinización es la humedad (Khalek y Janssens, 2010); el granulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida del equipo el agua se evapora y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura (Valls, 1993).

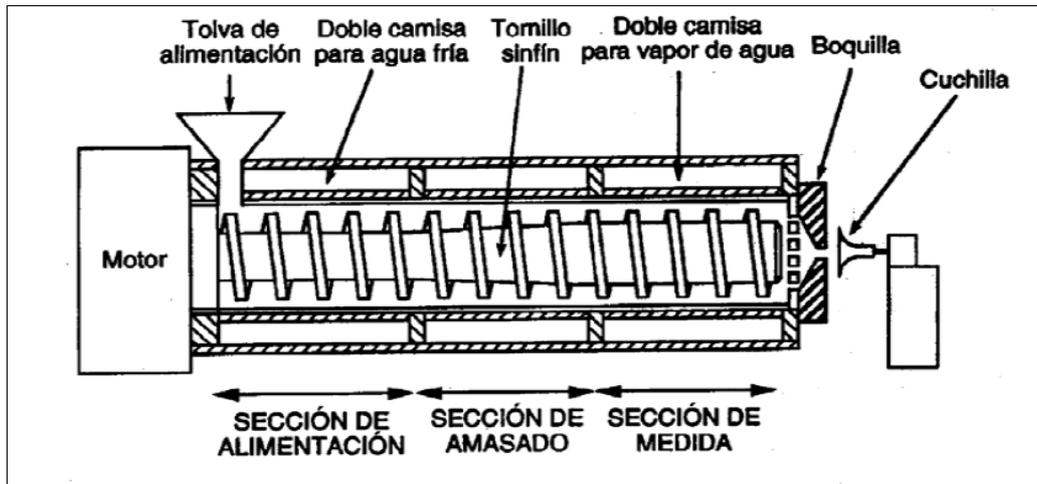
Durante el proceso de extrusión, las grasas se emulsifican debido a la fuerte presión, las finas gotas de grasa son recubiertas por los almidones y proteínas quedando encapsuladas, las lipasas y peroxidasas son inactivadas mejorando la estabilidad posterior del producto (Valls, 1993).

En cuanto a las fibras, puede ocurrir la solubilización, pero para conseguir este efecto hay que procesar los productos bajo condiciones muy severas, cosa que no ocurre en condiciones de trabajo normales (Valls, 1993).

2.3. EL EXTRUSOR

El extrusor, es un equipo de funcionamiento continuo, en el cual la alimentación debe ser constante (Manzaneque, 1992), combina varias operaciones unitarias como ser: transporte, compresión, cocción, amasado, corte o cizalla, moldeo y texturización en una sola (Durán, 1988); basado en la aplicación de presión, está formado por una tolva de alimentación, tornillo de extrusión, cabezal de extrusión, sistema de calentamiento, sistemas de movimiento y sistema de corte (Perry et al, 1984), la parte principal de un extrusor lo conforma un tornillo, que puede o no, ser modular, este tornillo gira a una velocidad constante, más o menos alta, dentro de unos barriles estacionarios y cilíndricos conocidos también como camisas, de diámetro tal, que se adapte al tornillo, el mismo, es montado en un eje que gira accionado por un motor eléctrico (Salas, 2003). En la figura 2.2, se muestra el esquema de un extrusor.

Figura 2.2
Esquema de un extrusor



Fuente: (Ferragut, ____)

2.3.1. CLASIFICACIÓN DE LOS EXTRUSORES

Los extrusores pueden clasificarse por diferentes criterios, siendo los de mayor relevancia según el número de tornillos, por la intensidad de cizalla y por la generación de energía térmica (Mercier et al, 1998).

2.3.1.1. CLASIFICACIÓN DE LOS EXTRUSORES SEGÚN EL NÚMERO DE TORNILLOS

Según el número de tornillos los extrusores, se clasifican en dos formas:

- a) **Extrusores monotornillo.-** Estos extrusores tienen un solo tornillo girando dentro de un barril. Se pueden distinguir las tres secciones: zona de alimentación, zona de compresión, zona de descarga. El tornillo, puede ser diseñado como una sola pieza, o con piezas intercambiables, lo que le permite cambiar su configuración e incrementar su versatilidad y además reducir el costo al cambiar sólo las piezas desgastadas (Mercier et al, 1998).

Las aletas del tornillo transportan al material a través del cilindro a una velocidad que es directamente proporcional a la velocidad del tornillo; las estrías de la pared interna del barril, previenen que el material resbale y gire junto con el tornillo. A este tipo de flujo se le llama "arrastre". El flujo al interior de un extrusor monotornillo, es del tipo laminar. Además del arrastre, se da un flujo inducido por la diferencia de presión existente entre la zona de descarga (alta presión) y la zona de alimentación, la dirección del flujo, es consecuentemente contraria y puede reducir en pequeño grado el rendimiento neto del proceso (Mercier et al, 1998).

b) Extrusores de doble tornillo.- Consiste en dos tornillos paralelos rotando dentro de un barril. Según giren éstos en el mismo sentido o en sentido opuesto, se subdividen en: co-rotacionales y contra-rotacionales cuyas características (Cisneros, 2000), se especifican a continuación:

- *Co-rotacionales:* Estos extrusores permiten la alimentación de ingredientes sólidos o fluidos por separado. La relación de compresión es 1:1; es decir que la profundidad de aleta es constante. Estos son los más populares puesto que trabajan a mayor capacidad.
- *Contra-rotacionales:* Estos operan a bajas velocidades de giro puesto que se genera gran fricción entre los tornillos. En general los extrusores de doble tornillo, por su configuración, logran una mayor eficiencia en el transporte y mezclado del material. Además el engranaje de los tornillos genera la auto limpieza de los mismos.

2.3.1.2. CLASIFICACIÓN DE LOS EXTRUSORES SEGÚN LA INTENSIDAD DE CIZALLA

Según la intensidad de cizalla, los extrusores se clasifican en dos tipos, los de baja cizalla y los de alta cizalla:

a) Extrusores de baja cizalla.- Este tipo de extrusores trabaja con materiales de alta humedad, a bajas velocidades de giro del tornillo. Otra característica

es que las aletas del tornillo son profundas. Las operaciones básicas que se realizan con estos equipos son el mezclado y moldeado del material. Un ejemplo de éstos son los extrusores de pasta (López-Michael, 2004).

b) Extrusores de alta cizalla.- Estos extrusores por el contrario, trabajan con masas de baja humedad, y altas velocidades de giro del tornillo. En este caso las aletas del tornillo son cortas y de esta manera se genera una mayor fricción, lo que origina una mayor temperatura por disipación viscosa de la energía mecánica, esto trae como consecuencia la cocción del material. También, se genera una mayor presión al interior del barril, lo que se traduce en una mayor expansión del material a la salida del dado. Un ejemplo de estos extrusores son aquellos para producir bocadillos o cereales instantáneos (López-Michael, 2004).

2.3.1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS EXTRUSORES SEGÚN LA GENERACIÓN DE ENERGÍA TÉRMICA

De acuerdo al criterio de generación térmica, los extrusores se clasifican en:

a) Extrusores autógenos.- La energía térmica es generada únicamente por conversión de energía mecánica. La energía mecánica, es generada por la fuerza de fricción entre las capas en movimiento del producto. La energía resultante en el producto, es mayor cuanto mayor es la viscosidad del mismo, el diámetro del tornillo, la velocidad del tornillo y cuanto menor sea la profundidad de las aletas (Riaz, 2000).

b) Extrusores isotérmicos.- En estos la energía calorífica es proporcionada por una fuente externa, la cual puede transmitirse (Riaz, 2000):

1.- Por conducción a través del barril, es decir mediante calentadores eléctricos o chaquetas de vapor.

2.- Por convección, mediante la aplicación directa de vapor en el producto sea directamente en el barril o en un pre-acondicionador antes que entre al extrusor.

2.4. MATERIAS PRIMAS

Como materia prima se utiliza “harina compuesta” básicamente de una mezcla de harina de maíz cruda y precocida, torta de soya (rica en proteína); así también se utiliza harina de amaranto para el enriquecimiento del producto.

2.4.1. DEFINICIÓN DE HARINA COMPUESTA

El término harina compuesta, fue creado en 1964 por la Organización para la Agricultura y la Alimentación (FAO), cuando se reconoció la necesidad de buscar una solución para los países que no producen trigo. La definición de harinas compuesta de acuerdo al concepto expresado en un principio por la FAO, se refiere a mezclas elaboradas para producir alimentos a base de trigo, como pan, pastas y galletas; sin embargo las harinas compuestas pueden prepararse también a base de otros cereales que no sea el trigo y de otras fuentes de origen vegetal. La formulación conocida como harina de trigo diluida, en la cual la harina de trigo se sustituye por otras harinas hasta en 40%; y puede contener otros componentes. Por otro lado la adición de una proteína suplementaria es opcional. En 1975 el Instituto de Nutrición de Centro América y Panamá (INCAP), propuso extender el concepto de harinas compuestas para cubrir también otro tipo de harinas que no fuera necesariamente solo a base de cereales y tubérculos, o usada únicamente para la preparación de productos de panadería, como es el caso de harinas compuestas desarrolladas para la preparación de alimentos de alto valor nutritivo a base de harinas de cereales, leguminosas, oleaginosas y otras. Se considera así, incluir dentro del concepto de harinas compuestas dos grupos adicionales (Elias, 1999).

- * Aquel representado por la adición de proteína suplementaria a los cereales en general.
- * El que estaría formado por harinas compuestas a base de cereales, oleaginosas u otras.

Para el presente trabajo, se formuló la harina compuesta del segundo tipo utilizando: cereal (**maíz**) + oleaginosa (**soya**) + pseudocereal(**amaranto**).

La harina de maíz, es el componente mayoritario y se utilizó en sus dos formas, harina de maíz cruda, procedente de la molienda directa del grano de maíz seco, y harina de maíz pre-cocida, procedente de la molienda de los “pellets” de maíz extruido.

2.4.2. EL MAÍZ

El maíz, es el segundo cereal de mayor producción mundial, superado solamente por el trigo (*Triticumaestivum L.*). Es producido para consumo humano y también, es utilizado como recurso energético en los sistemas de producción pecuarios (Mora y Scapim, 2006).

Botánicamente, el maíz (*Zea mays L.*) pertenece a la familia de las gramíneas; esta especie se reproduce por polinización cruzada entre la flor femenina (espiga) y la masculina (espiguilla), los granos de maíz se desarrollan mediante la acumulación de los productos de la fotosíntesis, la absorción a través de las raíces y el metabolismo de la planta de maíz en la inflorescencia femenina, la estructura resultante denominada mazorca, puede contener de (300 a 1000) granos según el número de hileras y el diámetro; y longitud de la mazorca, el peso del grano puede variar mucho, de (19 a 30)g/100granos, el peso del maíz constituye aproximadamente el 42% del peso en seco de la planta (Rimache, 2008).

El componente químico principal del grano de maíz, es el almidón (que es la forma en la que los cereales almacenan energía en el grano), al que corresponde hasta

el (72 o 73)% del peso total del grano. Otros hidratos de carbono son azúcares sencillos en forma de glucosa, sacarosa y fructosa, en cantidades que varían del (1 al 3)% del grano. Las proteínas constituyen el componente químico del grano por orden de importancia. En las variedades comunes, el contenido de proteínas puede oscilar entre el (8 y 11)% del peso del grano; y en su mayor parte se encuentran en el endospermo (FAO, 1993). En la tabla 2.1, se compara la calidad de la proteína de maíz con la de otros cereales.

Tabla 2.1
Calidad de las proteínas del maíz y otros cereales

Cereales	Calidad de las proteínas (%)
Maíz común	32,1
Maíz opaco 2	96,8
MPC	82,1
Arroz	79,3
Trigo	38,7
Avena	59,0
Sorgo	32,5
Cebada	58,0
Mijo perla	46,4
Centeno	64,8

Fuente: FAO, 1993

En el caso de las proteínas del maíz hay un desequilibrio muy marcado; ya que existe un exceso de leucina con respecto a isoleucina, como se observa en la tabla 2.2, lo que reduce la utilización de esta última. Otras proteínas contienen concentraciones muy altas de prolina con respecto a lisina y arginina, razón por la cual, algunos cereales tienen un valor nutritivo muy bajo. La toxicidad, se puede presentar cuando los alimentos contienen un porcentaje alto de metionina; ya que es el aminoácido más tóxico, estos factores se deben tener en cuenta cuando se trata de fortificar los alimentos con aminoácidos, ya que la relación óptima entre ellos requiere ser estudiada con cuidado, puesto que un exceso del aminoácido fortificante puede reducir el valor nutritivo de la proteína original, o bien, puede llegar a ser tóxico (FAO, 1993).

Tabla 2.2
Contenido de aminoácidos esenciales de las proteínas del germen y el endospermo del maíz

Aminoácidos	Endospermo ^a		Germen ^b		Modelo FAO/OMS
	mg	mg/g N	mg	mg/g N	
Triptófano	48	38	144	62	60
Treonina	315	249	622	268	250
Isoleucina	365	289	578	249	250
Leucina	1024	810	1030	444	440
Lisina	228	180	791	341	340
Total azufrados	249	197	362	156	220
Fenilalanina	359	284	483	208	380
Tirosina	483	382	343	148	380
Valina	403	319	789	340	310

Fuente: Orr y Watt, 1957; ^a1,26% de N; ^b2,32% de N

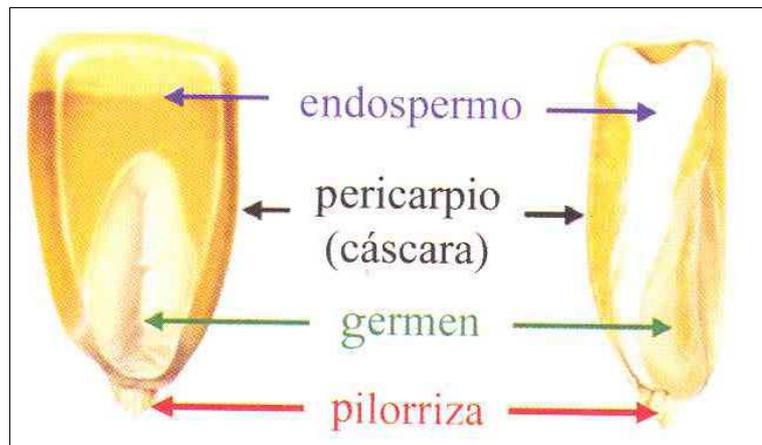
2.4.2.1. ESTRUCTURA DEL GRANO DE MAÍZ

Según (Rimache, 2008), el fruto de la planta del maíz se llama comercialmente grano; botánicamente es un cariósipide y agrícolamente, se conoce como semilla.

Los granos de maíz, están constituidos principalmente por tres partes:

- * **El Pericarpio:** llamado también cascarilla, es la piel externa o cubierta del grano que sirve como elemento protector.
- * **El Endospermos:** donde se halla la reserva energética del grano que alimenta al embrión durante la germinación y representa hasta el 80% del peso del grano, contiene aproximadamente el 90% de almidón, el 9% de proteína y pequeñas cantidades de aceites, minerales y elementos trazas.
- * **El Germen:** contiene una pequeña planta en miniatura con la estructura para originar una nueva planta la germinar la semilla, además de grandes cantidades de energía en forma de aceite, el cual tiene la función de nutrir a la planta cuando comienza el periodo de crecimiento. En la figura 2.3, se muestra el esquema de la morfología del grano de maíz.

Figura 2.3
Esquema de la morfología del grano de maíz



Fuente: Benítez y Pfeiffer, 2006

2.4.2.2. HARINA DE MAÍZ

La harina de maíz, es el polvo más o menos fino que se obtiene de la molienda del grano seco de maíz, puede ser integral, por lo que presenta un color amarillo, o refinada en cuyo caso es de color blanco. Está formada fundamentalmente por almidón y zeína, un tipo de proteína (Departamento Nacional de Planeación, 2005).

Dentro de los tipos de harinas de maíz, se hace mención de la harina de maíz precocida, en la cual se tiene en cuenta la absorción de agua y solubilidad o dispersibilidad en agua la cuales están inversamente relacionadas (Gonzales 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 gránulos (o restos de gránulos hinchados) que determinan las características reológicas de la dispersión de harina precocida (Ramírez y col, 2009).

Un número considerable de trabajos 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 (Ramírez y col, 2009).

2.4.3. EL AMARANTO

En las épocas precolombinas, hace más de 500 años, una semilla conocida como Huautli, actualmente amaranto o alegría, era uno de los alimentos básicos en América, existe una amplia variabilidad en las diferentes especies del género. Solo tres de ellas son cultivadas: *Amaranthushipochondriacus*, originaria de México, *Amaranthuscruentus*, originaria de Guatemala y el sureste de México y *Amaranthuscaudatus*, cuyo origen es América del Sur (Cervantes, 2007). En la tabla 2.3, se muestra la clasificación taxonómica del amaranto.

Tabla 2.3
Clasificación taxonómica del amaranto

Reino	Plantae (vegetal)
Sub-reino	Antofita (fanerógamas)
División	Spermatofhyta (espermatofita)
Sub-división	Angiospermas
Clase	Dicotiledónea
Orden	Centrospermales
Familia	Amarantaceae
Genero	Amaranthus
Especie	Sp
Nombre científico	<i>Amaranthussp</i>
Nombre vulgar	Coime, amaranto, alegría

Fuente: Peralta, 1985

El amaranto, es considerado un pseudocereal, denominado así porque sus semillas son como las de los cereales, ricos en materiales harinosos y aptos para la panificación, pero pertenecen a las dicotiledóneas que son plantas con hojas embrionarias o cotiledones en sus semillas estas no contiene gluten y son fácilmente digeribles, además ofrecen la ventaja de que su crecimiento es rústico y son adaptables a varios ambientes, además son resistentes a las bajas temperaturas (De La Cruz–García, ____).

Por otra parte contiene mayor proteínas que los demás cereales entre (14 y 18%). En la tabla 2.4, se realiza una comparación de la composición nutricional del amaranto y de algunos cereales. La proteína del amaranto presenta un buen balance de aminoácidos esenciales, el contenido de lisina es superior a 5g/100g de proteína; y es considerado el aminoácido esencial que limita la calidad proteica de la mayoría de los cereales que es equivalente a la leche de vaca y de la yema de huevo (La Prensa, 2004).

Tabla 2.4
Composición aproximada del grano de amaranto y de algunos cereales

Composición	Amaranto	Trigo	Maíz	Sorgo	Arroz
Humedad	8,0	12,5	13,8	11,0	11,7
Proteína cruda	15,8 ^c	14,0 ^d	10,3 ^e	12,3 ^f	8,5^e
Grasa	6,2	2,1	4,5	3,7	2,1
Fibra	4,9	2,6	2,3	1,9	0,9
Cenizas	3,4	1,9	1,4	1,9	1,4
Calorías/100 g	366	343	352	359	353

Fuente: Cervantes, 2007; ^cNx5,85; ^dNx5,7; ^eNx6,25; ^fNx5,8

2.4.3.1. HARINA DE AMARANTO

La harina de amaranto es aquella que se obtiene del grano de amaranto, es una harina integral que se caracteriza por su alto contenido de nutrientes (proteínas, vitaminas y minerales), por su olor y sabor agradable (Guzmán, 2002).

La molienda del grano de amaranto producen tres fracciones de productos, como se muestra en la tabla 2.5; los cuales tienen diferente composición química debido a que los componentes nutricionales se encuentran distribuidos en mayor o menor concentración en las diferentes fracciones (Zamora, 1991).

Tabla 2.5
Composición aproximada de las fracciones del grano de amaranto

Componentes	Endospermo	Cáscara + germen
Humedad	9,3	8,5
Proteína	9,4	36,0
Grasa	5,2	19,1
Ceniza	1,7	6,0
Fibra	4,5	9,5
Carbohidratos	69,5	20,9

Fuente: Zamora, 1991

Considerando que la semilla de amaranto contiene 26% de afrecho y germen, el 74% es harina. Cuando el grano entero es molido, su proteína, grasas, vitaminas y minerales están concentradas en la fracción afrecho-germen; por esto en la molienda, se disminuye la proteína disponible al separarse la harina del germen y el afrecho (Zamora, 1991).

2.4.4. LA SOYA

El frijol soya, es uno de los pocos alimentos de origen vegetal que contiene todos los aminoácidos esenciales que el cuerpo necesita además de aportar una gran cantidad de vitaminas, minerales y compuestos fotoquímicos (isoflavinas), que en conjunto dan como resultado numerosos beneficios a la salud. Adicionalmente los alimentos de soya no contienen colesterol y generalmente son ricos en fibra (Gilbert, 2003). En la tabla 2.6, se muestra la composición química de la soya.

Tabla 2.6
Composición química de la soya

Componentes	Porcentaje (%)
Proteína (N*6,25)	37,2
Lípidos	18,6
Carbohidratos	28,0
Cenizas	4,6
Cascarilla (fibra)	4,6
Humedad	7,0

Fuente: Gilbert, 2003

2.4.4.1. TORTA DE SOYA

La torta de soya, es un subproducto de la molienda del grano de soya, de la extracción del aceite. Siendo obtenida del proceso mecánico del cual los frijoles de soya descascarillados y cocidos son molidos hasta obtener un polvo fino, este proceso remueve alrededor del 70% del aceite; se obtiene la torta de oleaginosas, soya en este caso, son los residuos obtenidos de las semillas de la soya una vez extraído el aceite, es muy utilizada en la alimentación debido a su alto contenido en proteína, pueden ser de distintos niveles: 44%, 46%, 48% y 50% en función de su contenido en proteína bruta (Balear, 1999).

La torta de soya boliviana tiene entre 0,0-0,5% de grasas, en cuanto a proteínas están en el rango de 46,0% la solubilidad de su proteína está alrededor del 75,0%; con un nivel de fibra de 4,8%; en cuanto al contenido de minerales se mencionan: calcio 0,35%, fósforo 0,71%, potasio 2,30%, magnesio 0,32%, hierro 181%, cobre 18% y manganeso 36%, zinc 56%, aluminio 88% y sodio 97% (FINO, 2010). En la tabla 2.7, se muestran las especificaciones técnicas de la torta de soya.

Tabla 2.7
Especificaciones técnicas de la torta de soya

Parámetros	Requisitos
Humedad	13,0% máximo
Materia grasa	3,0% máximo
Proteína	Base de 46,5%
Solubilidad	78,0% mínimo
Actividad ureásica	0,2% máximo
Fibra	5,0% máximo

Fuente: ADM-SAO, 2008

2.5. INSUMOS PARA LA ELABORACIÓN DE CEREALES EXTRUÍDOS

Los insumos utilizados para la elaboración de cereales extruidos a partir de harinas compuestas los siguientes:

2.5.1. EDULCORANTE (ELUDIET)

El edulcorante utilizado es el eludiet, es un endulzante balanceado por la mezcla de sacarina y ciclamato, es un polvo de color marfil, soluble a altas temperaturas, con cuya aplicación se tiene la garantía y la obtención de un producto con óptimo rendimiento, respecto al dulzor que éste necesita, además de la estabilidad durante su almacenamiento. Tiene un elevado poder edulcorante, 1g de edulcorante reemplaza a 100g de azúcar (Muller, 2001).

Se busca disminuir la cantidad de azúcar con la utilización de edulcorante, con el fin de elaborar un producto más saludable.

2.5.2. AGUA

El contenido de agua es la variable más importante del proceso, al iniciar y al finalizar el proceso de extrusión. Es fundamental adicionar agua a la harina, el agua plastifica el gluten indisoluble haciéndolo más dúctil para el proceso de extrusión, por otro lado la distribución uniforme del agua en la harina hace que la expansión sea más regular, lo cual se observa cuando el producto pasa a través de las boquillas de salida: la humedad se transforma en vapor por la tensión y el producto adquiere una estructura porosa y esponjosa (Manzaneque, 1992).

2.5.3. AZÚCAR

El azúcar es un endulzante de origen natural, sólido, cristalizado, constituido esencialmente por cristales sueltos de [sacarosa](#), obtenidos a partir de la [caña](#) de

azúcar (*Saccharum officinarum* L); mediante procedimientos industriales apropiados. La caña de azúcar contiene entre (8 y 15)% de sacarosa. El jugo obtenido de la molienda de la caña, se concentra y cristaliza al evaporarse el agua por calentamiento. Los cristales formados son el azúcar crudo o, de ser lavados, el azúcar blanco. El azúcar, es [sacarosa](#) un carbohidrato compuesto por carbono, oxígeno e hidrógeno (Perafán, 2009).

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. INTRODUCCIÓN

Las pruebas se realizaron en instalaciones de la Carrera de Ingeniería de Alimentos, en el Laboratorio de Secado y el Laboratorio Taller de Alimentos, de la Facultad de Ciencias y Tecnología de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho.

3.2. EQUIPOS Y MATERIALES NECESARIOS

En el Anexo A, se muestran las imágenes de los equipos utilizados, a continuación se detallan las especificaciones técnicas de los mismos.

3.2.1. EXTRUSOR DE ALIMENTOS

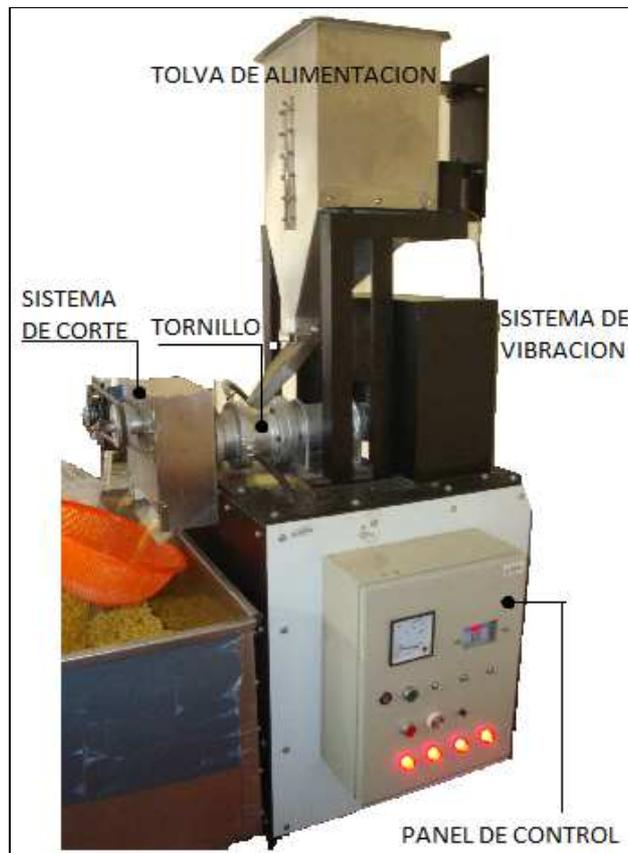
Para el desarrollo del presente trabajo, se utilizó un extrusor de monotornillo o también conocido como extrusor de un solo husillo, adquirido con el proyecto “Elaboración de Cereales de Desayuno”, a través de la Universidad Juan Misael Saracho obtenidos de la ciudad de Santa Cruz, construido y diseñado por la Empresa TexBol, 2009; cuyas características técnicas son:

1. Capacidad: 30-35 kg.

2. Modelo: STE-30-40, 2009. Serie: 0022.
3. Estructura sólida en hierro, revestida en los laterales con planchas de acero inoxidable.
4. Tolva o dosificador fabricado con acero inoxidable viene con vibrador compacto instalado en la parte de atrás facilitando la caída exacta sin desperdicios.
5. Motor Central Importado CERTIFICADO ISO (Brasil), de 10Hp en Baja.
6. Brazo extrusor cilíndrico fabricado con acero templado de alta resistencia.
7. Tornillos sinfín interno de TRIPLE SALIDA. Última tecnología Alemana templado de alta resistencia y durabilidad certificado por IBNORCA. Año 2008.
8. Industria: Bolivia-Santa Cruz.
9. Corriente eléctrica 380V; 50 Hez.

Es un equipo que consta de cuatro motores, que trabajan simultáneamente cumpliendo diferentes funciones; en la figura 3.1, se muestra el equipo y sus partes más importantes.

Figura 3.1
Extrusor de un tornillo y sus partes



La tolva de alimentación cumple la función de contener la materia prima; mientras se lleva a cabo el proceso, esta tolva está conectada al sistema de vibración que cumple la función de generar pulsos vibratorios, para que la materia prima no se atasque y la alimentación sea constante. El sistema de corte trabaja con un motor, conectado por una correa a las cuchillas de corte, ubicadas en la parte superior de la abrazadera que sujeta la boquilla de salida, estas cuchillas giran a velocidad constante que puede ser regulada a través del panel de control. Por su parte el panel de control activa los cuatro motores por separado; primero se activa el motor del sistema de corte, luego el sistema de vibración, seguidamente la bomba de agua y finalmente el motor conectado al tornillo.

3.2.2. MOLINO VERTICAL DE MARTILLOS

Se utilizó el molino de martillos para efectuar la molienda del grano de amaranto y así obtener la harina de amaranto, el equipo fue adquirido de la ciudad de Santa

Cruz, construido y diseñado por la Empresa TexBol, 2009; cuyas características técnicas son:

1. Capacidad: 50-60 kg/h
2. Modelo: STE: 60. Serie 0015
3. Estructura de soporte fabricado en acero sólido, revestido con pintura epoxi de alta durabilidad y resistencia.
4. Estructura central (CUERPO INTERNO DE MOLINO) fabricado en acero inoxidable
5. Motor principal: 5 Hp
6. Cuenta con 1 zaranda específica
7. Modelo 2009
8. Corriente eléctrica: 380V; 50 Hez

3.2.3. QUEMADOR DE LLAMA DIRECTA A GAS

Se utilizó un equipo denominado quemador de llama a gas; el mismo funciona con GLP, para realizar el calentamiento del gusano y cabezal del extrusor. Sus especificaciones técnicas son:

1. Marca: TexBol
2. Material: Hierro dulce
3. Tipo de quemador: a G.L.P.
4. Llaves de seguridad: Doble apertura
5. Soporte: Metálico con base de disco
6. Altura: 1,20 cm
7. Industria: Bolivia

3.2.4. SELLADOR ELÉCTRICO MANUAL

Se utilizó el sellador eléctrico manual para realizar el sellado de los envases de polietileno de alta densidad y polipropileno para el producto terminado, con la finalidad de determinar el material de envase más adecuado para la conservación

de este producto. El equipo pertenece al Laboratorio Taller de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Las especificaciones técnicas son:

1. Modelo: VH 2001
2. Marca: Electrónica VH 2001
3. Estructura metálica sólida, revestida con pintura de alta resistencia.
4. Panel control manual electromecánico
5. Consumo energía: 220 V; 50 Hez
6. Potencia: 250 wat, 5 A
7. Sellado en bolsa máximo de 30 centímetros
8. Industria: Boliviana

3.2.5. ENVASADORA AL VACÍO

Para elaborar las pruebas de envasado en condiciones de vacío, se utilizó la envasadora al vacío del Laboratorio Taller de Alimentos L.T.A.; cuyas características técnicas son:

1. Modelo: VP 430-10A
2. Marca: Ramón
3. Medidas exteriores: 490x580x470mm
4. Dimensiones de cámara: 430x450x180mm
5. Longitud de soldadura: 420mm
6. Bomba: 10m³/h
7. Potencia: 0,55KW

8. Peso neto: 60Kg
9. Panel de control digital, control de vacío por tiempo, control de entrada de gas por tiempo.
10. Industria: española
11. Entrada de atmósfera progresiva (soft-air)
12. Tapa transparente.

3.2.6. BALANZA ELECTRÓNICA DE PLATAFORMA

Se utilizó una balanza electrónica de plataforma para pesar las materias primas en la dosificación; también se pesó la cantidad de producto terminado para calcular el rendimiento, este equipo pertenece al Laboratorio Taller de Alimentos L.T.A. Sus especificaciones técnicas son:

1. Modelo: LPWN-7515
2. Marca: JADEVER
3. Capacidad: 15Kg
4. Precisión: 0,5g
5. Tipo de medición: digital

3.2.7. TOLVA DE RECOLECCIÓN

Para la recolección del producto terminado, se recurrió al uso de una tolva de recolección móvil; fabricada con planchas de acero inoxidable y previsto de ruedas que facilitan su movilidad y traslado.

3.2.8. EQUIPOS DE LABORATORIO

Se utilizaron los siguientes equipos de laboratorio.

3.2.8.1. TAMIZADOR VIBRATORIO (RO-TAP)

El tamizador vibratorio (Ro-Tap), fue utilizado para determinar la granulometría de las harinas, este equipo pertenece al Laboratorio de Operaciones Unitarias de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones técnicas son:

1. Modelo: Vibro
2. Marca: Orto Alresa
3. Frecuencia: 50–60Hz
4. Velocidad: hasta 2500 RPM
5. Tensión: 220V
6. Consumo: 1000W
7. Medidas: An/Fo/Al: 30/32/80cm
8. Peso: 17Kg
9. Programación de varianza de tiempo: de 5 a 60min.
10. Año: 2002

3.2.8.2. BALANZA ANALÍTICA

Se utilizó una balanza analítica digital para:

- ✓ Pesar los insumos de la harina compuesta en la parte de dosificación, antes de que entre al proceso de extrusión.
- ✓ Controlar el peso de las muestras del producto terminado y así desarrollar la parte experimental de envasado.

El equipo pertenece al Laboratorio Taller de Alimentos de la Facultad de Ciencias y Tecnología. Sus especificaciones técnicas son:

1. Modelo: PB-1502
2. Marca: Mettler Toledo
3. Capacidad: 1510g
4. Precisión: 0,01g
5. Tipo de medición: Digital
6. Industria: Switzerland
7. Año: 2002

3.2.8.3. TERMÓMETRO DIGITAL INFRARROJO

Para realizar la medición de temperaturas durante el proceso de extrusión, se hizo uso del termómetro digital infrarrojo. Este equipo fue adquirido mediante el proyecto “Elaboración de Cereales de Desayuno”. Sus especificaciones técnicas son:

1. Marca: Fluke
2. Modelo: FLUKE 62
3. Rango de temperatura: -30°C a 500°C
4. Resolución: 0,2°C
5. Exactitud: $\pm 1,5\%$ de lectura ó $\pm 1,5^\circ\text{C}$

6. Resolución óptica: 10:1
7. Corriente eléctrica: 9V
8. Industria: USA

3.2.8.4. MATERIAL DE LABORATORIO

En el cuadro 3.1, se muestra el material de laboratorio utilizado en la realización del presente trabajo.

Cuadro 3.1
Detalle de material de laboratorio

Detalle	Capacidad	Material	Cantidad
Probeta	100 ml	vidrio pyrex	1
Erlenmeyer	250 ml	vidrio pyrex	4
Piseta	500 ml	Plástico	1

Fuente: Elaboración propia

3.2.8.5. UTENSILIOS AUXILIARES

Para la elaboración de este trabajo, se utilizó el material auxiliar descrito en el cuadro 3.2.

Cuadro 3.2
Detalle de utensilios auxiliares

Detalle	Capacidad	Material	Cantidad
Paleta	Grande	Madera	1
Fuente	Mediana	Acero inoxidable	2
Tamiz	Grande	Plástico	1
Recipientes pequeños con tapa	500ml/160ml	Plástico	4/8
Atomizador	250 ml	Plástico	1
Tachos con tapa	60 litros	Plástico	3
Esponja de limpieza	Pequeña	desechable	2
Rejilla de limpieza	Pequeña	Algodón	3
Repasador	Mediano	Algodón	3
Cepillo de acero	Mediano	Mango de madera con cerdas de acero	1

Lija	Lamina	Nº 10	1
Alicate	Grande	Metal	1
Juego de desarmadores	5 piezas	Metal	1
Guantes		Cuero	Un par

Fuente: Elaboración propia

3.3. MATERIAS PRIMAS E INSUMOS

Las harinas de maíz crudas y pre-cocida, fueron adquiridas de la ciudad de Santa Cruz; la harina pre-cocida fue adquirida de la empresa TexBol, esta harina se obtiene mediante cocción por extrusión. La variedad de maíz amarillo con la que se trabajó fue *Zea mays L.*

La torta de soya, igualmente, se adquirió de la ciudad de Santa Cruz de la Industria Aceitera (I.A.S.A).

Para la obtención de harina de amaranto, se adquirió la semilla de amaranto del mercado local; producido en la comunidad El Monte de la provincia Cercado del departamento de Tarija. La variedad con la que se trabajó fue el *Amaranthus caudatus*, la molienda se realizó en el molino de martillos adquirido por el proyecto “Elaboración de Cereales de Desayuno” luego de algunas pruebas, se determinó que la granulometría adecuada es menor de 0,5mm, ya que una granulometría mayor trae consigo problemas al momento de la salida del extrusor. Debido a que la criba con la que se cuenta, es demasiado grande y se tuvo que repetir la molienda cuatro veces, con el fin de obtener la granulometría adecuada de la harina de coime. Posteriormente, el producto de la molienda fue sometido a un tamizado, para ello se utilizó una tamiz de plástico cuya abertura de malla es aproximadamente de 0,5mm.

Los demás insumos fueron adquiridos del mercado local, se trabajó con azúcar refinada proveniente del Ingenio Azucarero de Bermejo (I.A.B.S.A); el edulcorante

Eludiet compuesto por 60% sacarina y 40% ciclamato comprado en Distribuidora Sur.

3.3.1. ANÁLISIS FISICOQUÍMICO EN LA HARINA COMPUESTA

Los análisis fisicoquímicos fueron realizados en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID, unidad de servicio dependiente de la Universidad Autónoma Juan Misael Saracho. En el cuadro 3.3, se muestran las técnicas de análisis y parámetros tomados en cuenta.

Cuadro 3.3
Técnicas de análisis para la materia prima

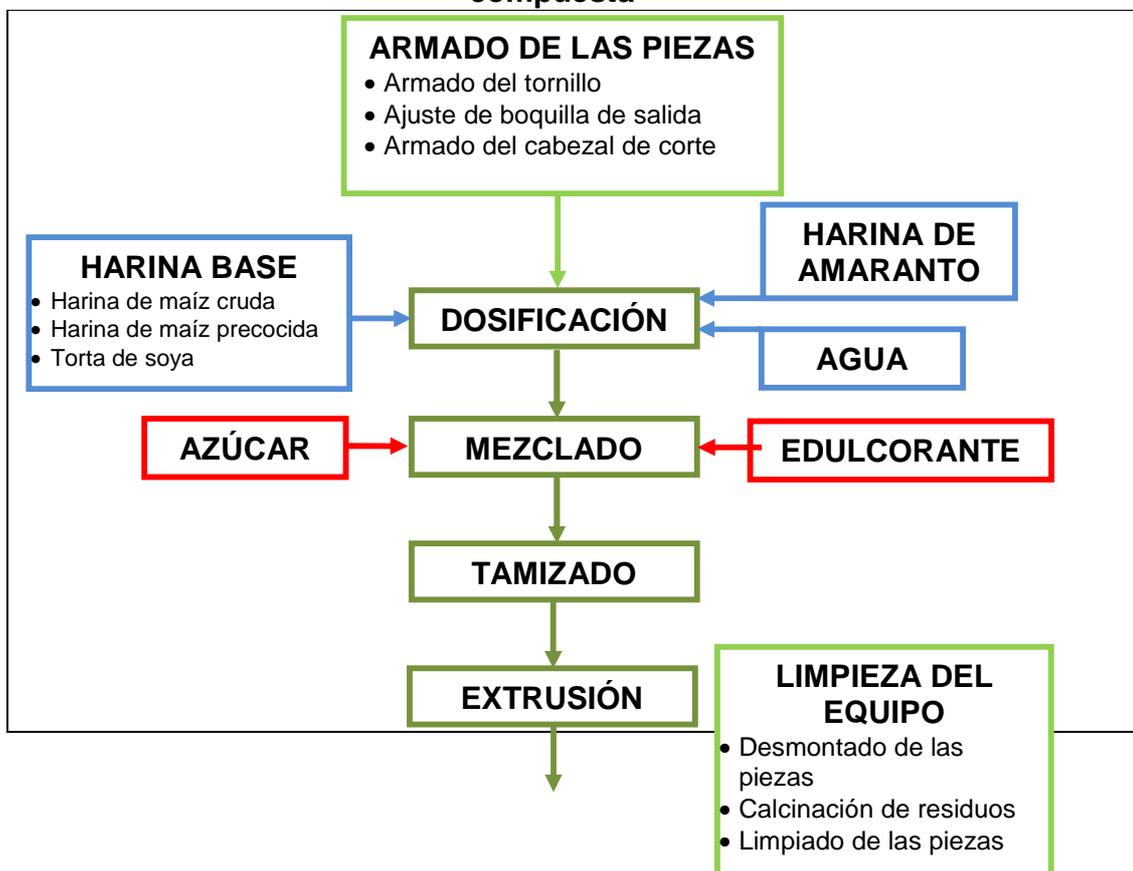
Parámetros	Técnica
Proteína total	NB 204-77
Humedad	NB 028-88
Azúcares totales	AOAC 923-09
Cenizas	NB 075-74
Fibra	Manual técnico CEANID
Hidratos de carbono	Cálculo
Materia grasa	NB 103-75
Rancidez	NB 204-77
Valor energético	Cálculo

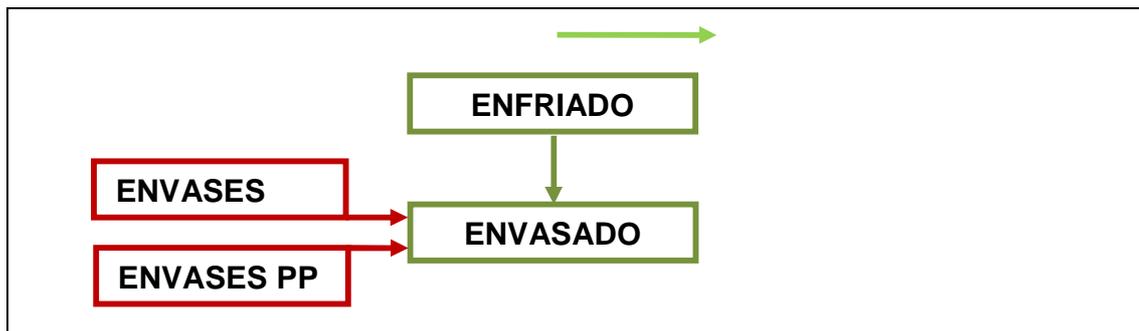
Fuente: CEANID, 2009

3.4. PROCESO DE ELABORACIÓN DE CEREAL EXTRUIDO A PARTIR DE HARINA COMPUESTA

En la figura 3.2, se muestra el proceso de elaboración de cereal extruido.

Figura 3.2
Diagrama del proceso de elaboración de cereal extruido a partir de harina compuesta





Fuente: Elaboración propia

3.4.1. ARMADO DE LAS PIEZAS

Antes de iniciar el proceso de extrusión, se realiza el armado de las piezas del extrusor de alimentos; cuyas etapas se detallan a continuación.

3.4.1.1. ARMADO DEL TORNILLO

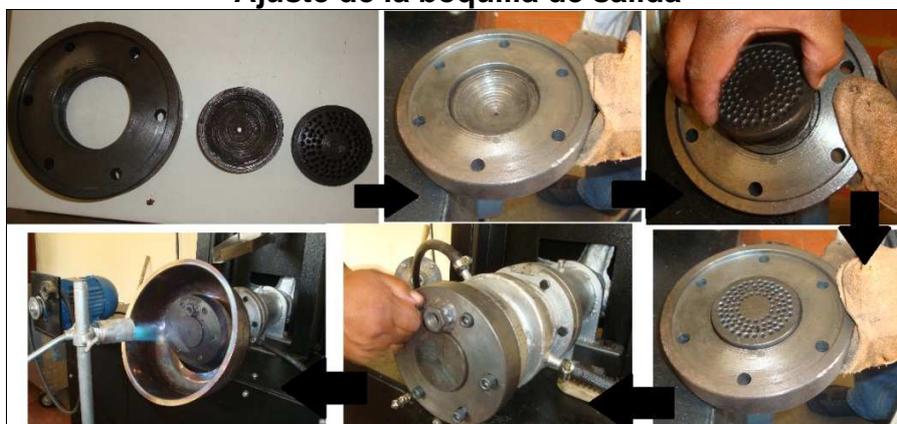
En la figura 3.3, se muestra el armado del tornillo; el barril se encuentra fijo y centrado en el cuerpo del equipo, dentro de este se coloca la camisa, acanalada la parte interna, que se mantiene inerte durante el proceso, la misma contiene en su interior el tornillo sin fin que gira y transporta la materia prima hacia la salida, y en el cual por efectos de presión y temperatura se producen los cambios característicos del proceso de extrusión de las harinas.

Figura 3.3
Armado del tornillo del extrusor



Una vez armado el tornillo, se procede a colocar y ajustar la boquilla de salida que posteriormente; se calienta con llama directa utilizando el quemador a gas, como se muestra en la figura 3.4; el calor se expande, por conduccion, a lo largo del tornillo sin fin y la camisa; y para evitar que la temperatura se eleve por efecto de la fricción de las partículas de harina compuesta, se hace fluir agua a temperatura ambiente, con la ayuda de una bomba conectada al barril, que es una especie de camisa.

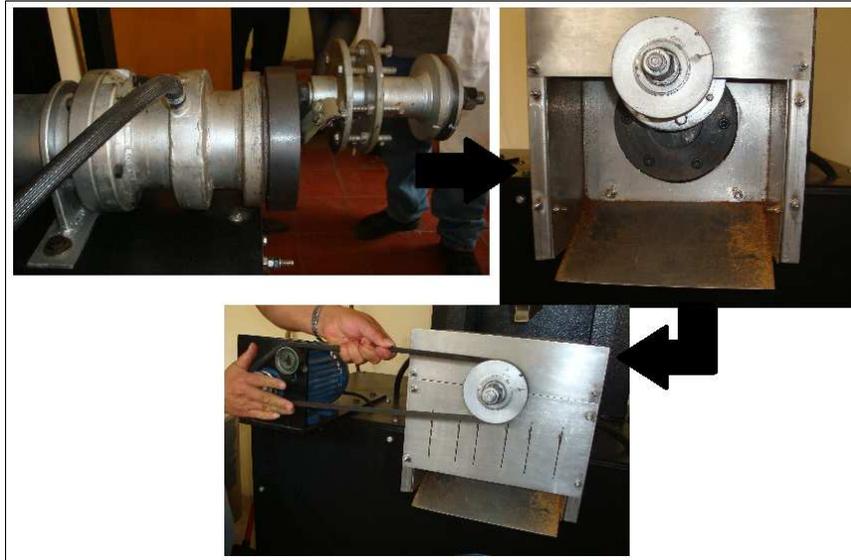
Figura 3.4
Ajuste de la boquilla de salida



3.4.1.2. ARMADO DEL CABEZAL DE CORTE DEL EXTRUSOR

En la figura 3.5, se muestra el armado del cabezal de corte del cereal a la salida de la boquilla del extrusor.

Figura 3.5
Armado del cabezal de corte del extrusor



3.4.2. DOSIFICACIÓN

Esta es la etapa inicial de proceso, previamente se reciben las materias primas haciendo un control de contenido de humedad y una inspección visual.

Una vez armado el equipo, se da comienzo al proceso propiamente dicho que inicia con la dosificación de las harinas en seco.

La dosificación, se realizó en un recipiente de 60 litros de capacidad; donde se agrega la harina de maíz precocida, la torta de soya y se realiza un previo mezclado con la ayuda de una paleta de madera; mientras se mezcla se agrega agua con la ayuda de un atomizador, para evitar la formación de grumos y

garantizar que la humectación sea homogénea, luego se agregó la harina de maíz cruda, y finalmente la harina de amaranto.

Es importante respetar el orden de agregado de los ingredientes; ya que el no hacerlo ocasiona problemas como aglomeración del almidón de la harina de maíz cruda provocada por el efecto del agua, y esto conlleva a la disminución de la humedad requerida dentro del equipo.

3.4.3. MEZCLADO

En esta etapa, se procedió a mezclar la harina compuesta, y se agregó el azúcar y el edulcorante que son las constantes en el proceso. El mezclado es discontinuo, se lo realiza con la ayuda de una paleta de madera, mezclando por cinco minutos, y destruyendo cualquier formación de grumos en la mezcla.

3.4.4. TAMIZADO

El tamizado, se realiza con el fin de tener una granulometría no mayor a la establecida, para tal efecto se utilizó un tamiz plástico de 2mm de luz, es importante trabajar con una granulometría gruesa de la harina de maíz, tanto cruda como precocida, para facilitar la salida del producto; ya que una granulometría demasiado fina provoca atascamiento en el extrusor por efecto de la mala operación de tamizado de la harina.

3.4.5. EXTRUSIÓN

Es el proceso propiamente dicho, en esta etapa ocurre la cocción-extrusión, a través del intercambio de energía térmica y las condiciones de presión dentro del tornillo, así también se da la forma al producto, al forzarlo a salir por la boquilla de salida que tiene una abertura definida.

Previamente se calienta el equipo con llama directa exponiéndolo por un lapso de 15 minutos, la temperatura alcanzó los 329°C en la boquilla de salida, el calor se propagó hasta la zona de alimentación donde la temperatura se elevó hasta los 52,4°C, creando un gradiente de temperatura.

Una vez hecho esto se procedió a poner en marcha el extrusor, primero se enciende el motor que controla el sistema de corte, se regula la velocidad de giro de las cuchillas de las cuales depende en gran medida la forma del producto; luego se activa el sistema vibratorio de la tolva de descarga, para luego encender la bomba de agua conectada al barril, esto evitar el sobrecalentamiento, posteriormente se enciende el motor que pone en marcha el tornillo del extrusor, una vez puesto en marcha el equipo con sus cuatro motores se procede al quemado de torta de soya con el fin de limpiar y lubricar los canales tanto del tornillo como de la camisa, finalmente se carga la tolva de alimentación y se regula la abertura de salida con de fin mantener una alimentación constante para tener un producto uniforme.

3.4.6. ENFRIADO

El producto obtenido, se recibe en una tolva de acero inoxidable (figura A7 del anexo A), de amplia superficie para darle mayor contacto con el medio y así pueda evaporar el agua aun atrapada dentro del cereal, y enfriar en la figura 3.6, se observa como continua evaporando agua pasado 10 minutos de salido el producto del equipo.

Figura 3.6
Evaporación de agua del cereal obtenido



Una vez terminado el proceso se realiza la limpieza del equipo

3.4.6.1. LIMPIEZA DEL EQUIPO

Luego de concluido el proceso, se procede a desarmar el equipo para realizar la limpieza. En la figura 3.7, se muestran las piezas desmontadas, con los residuos.

Figura 3.7
Residuos sólidos para limpiar



La limpieza del equipo se realiza por calcinación de los residuos que quedan dentro del tornillo, estos residuos son restos de harina y torta de soya; lo que se hace después de concluido el proceso, es la quema de torta de soya, alta en proteína, que se plastifica y facilita el deslizamiento de la camisa y el tornillo, para ser sometido a llama directa hasta calcinarla por completo y así facilitar su limpieza, como lo muestra la figura 3.8.

Figura 3.8
Limpieza de las partes del equipo



Con la calcinación completa, los residuos se transforman en carbón y el retirado es más fácil, ya que se reducen prácticamente a cenizas.

3.4.7. ENVASADO

Los envases de polipropileno fueron adquiridos en el mercado local, para obtener los envases de polietileno de alta densidad se adquirió una manga de medio kilo, del material y se cortó para sellar la parte inferior y armar el envase.

Finalmente, una vez enfriado el producto obtenido se procedió a envasarlo, se tomaron 18 muestras de aproximadamente 150 g cada una, esto para realizar las pruebas y controles pertinentes.

3.5. DISEÑO EXPERIMENTAL

El diseño estadístico de experimentos contempla una amplia variedad de estrategias experimentales que son óptimas para generar la información que se busca (Ferré, ____). Para el presente trabajo, se plantea el **diseño factorial completo 2^k** . Éste describe los experimentos más adecuados para conocer simultáneamente qué efecto tienen k factores sobre una respuesta y descubrir si interaccionan entre ellos; se plantea el experimento de forma que varíe simultáneamente, Además, se complementan de tal modo que la información buscada se obtiene combinando las respuestas de todos ellos. Esto permite obtener la información con el mínimo número de experimentos (y por tanto, con el menor coste) y con la menor incertidumbre posible, porque los errores aleatorios de las respuestas se promedian (Ferré, ____).

3.5.1. DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN

Para realizar el presente trabajo se aplicó un diseño factorial 2^3 en la etapa de dosificación donde se tomaron en cuenta las siguientes variables:

- 🍏 **A**, esta la variable representa la cantidad de agua a utilizarse, al ser la humedad un parámetro importantísimo en el proceso de extrusión.
- 🍏 **HA**, que es la segunda y representa la harina de amaranto, este es un pseudocereal importante en el sentido del aporte nutricional, básicamente aporte proteico al producto final.
- 🍏 **HB**, que es la harina base, compuesta por una mezcla de harina de maíz cruda, harina de maíz pre-cocida y torta de soya.

$$2^3 = 2 \times 2 \times 2 = 8 \text{ tratamientos}$$

Donde 2 representa los niveles y 3 el número de variables a combinar. En el cuadro 3.4, se muestran los niveles de variación en para la variables consideradas.

Cuadro 3.4
Niveles de variación en la etapa de dosificación

Variables	Nivel inferior (g)	Nivel superior (g)
A	-1	+1
HA	-1	+1
HB	-1	+1

Fuente: Elaboración propia

A continuación en el cuadro 3.5, se muestra la matriz del diseño factorial planteado para la etapa de dosificación.

Cuadro 3.5
Matriz del diseño factorial en la etapa de dosificación

Corridas	Combinaciones	Factores			Interacción de los efectos				Respuesta	
		A	HA	HB	A*HA	A*HB	HA*HB	A*HA*HB	Y _i	Y _j
1	(1)	-1	-1	-1	+1	+1	+1	-1	Y ₁	Y _{j1}
2	A	+1	-1	-1	-1	-1	+1	+1	Y ₂	Y _{j2}
3	B	-1	+1	-1	-1	+1	-1	+1	Y ₃	Y _{j3}
4	Ab	+1	+1	-1	+1	-1	-1	-1	Y ₄	Y _{j4}
5	C	-1	-1	+1	+1	-1	-1	+1	Y ₅	Y _{j5}
6	Ac	+1	-1	+1	-1	+1	-1	-1	Y ₆	Y _{j6}
7	Bc	-1	+1	+1	-1	-1	+1	-1	Y ₇	Y _{j7}
8	Abc	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	Y ₈	Y _{j8}

Fuente: Elaboración propia

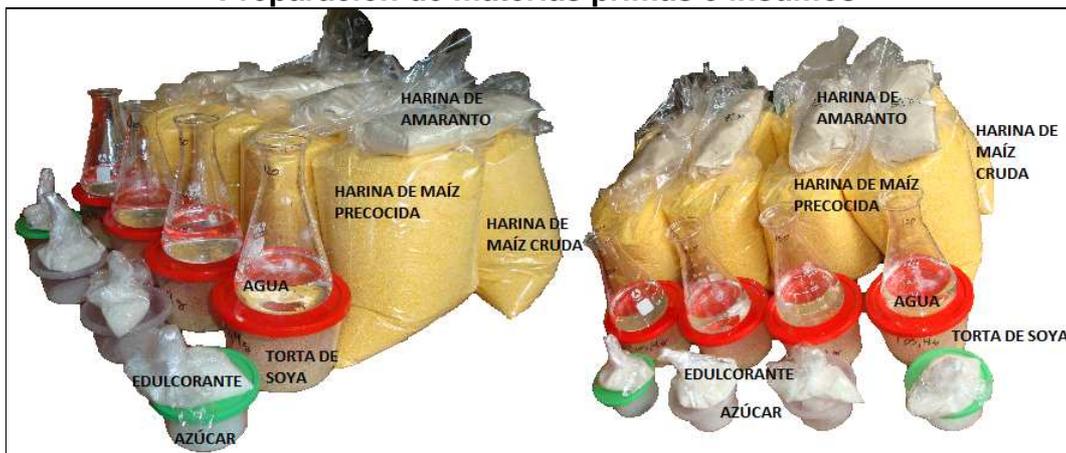
Dónde:

Y_i es el contenido de proteína

Y_j es el contenido de humedad

Por el objetivo principal planteado y el diseño experimental propuesto se considera como variable respuesta el contenido de proteína; por otro lado al ser tan importante el factor humedad en el proceso de extrusión se decidió hacer un seguimiento al mismo. En la figura 3.9, se observan las combinaciones de materias primas e insumos.

Figura 3.9
Preparación de materias primas e insumos



3.5.2. DISEÑO EXPERIMENTAL EN LA ETAPA DE ENVASADO

En la etapa de envasado se optó por realizar pruebas de conservación, con la finalidad de verificar si existe o no diferencia entre dos materiales muy comunes en el mercado local, polietileno de alta densidad (PEAD) y polipropileno (PP) para este experimento se plantea un diseño factorial 2^2 , siendo las variables a considerar las siguientes:

- Material del envase (ME)

🍏 Condiciones de envasado (CE)

$$2^2 = 2 \times 2 = 4 \text{ pruebas/repeticiones}$$

Dentro de la variable *material de envase* tenemos dos tipos, polipropileno (PP) y polietileno de alta densidad (PEAD); y en la variable *condiciones de envasado* están condiciones normales o sin vacío (SV) y condiciones de vacío (CV). En el cuadro 3.6, se observan las variables y los niveles de variación.

Cuadro 3.6
Niveles de variación en la etapa de envasado

Variables	Nivel inferior	Nivel superior
ME	-1	+1
CM	-1	+1

Fuente: Elaboración propia

En el cuadro 3.7, se muestra la matriz del diseño factorial en la etapa de envasado.

Cuadro 3.7
Matriz del diseño factorial en la etapa de envasado

Corridas	Combinación	Factor		Interacción de los efectos	Y _i
		ME	CE		
1	(1)	-1	-1	+1	Y ₁
2	A	+1	-1	-1	Y ₂
3	B	-1	+1	-1	Y ₃
4	Ab	+1	+1	+1	Y ₄

Fuente: Elaboración propia

Donde: Y_i representa el índice de rancidez

En el cuadro 3.8, se muestra el plan de experimentación durante el envasado, y la simbología utilizada para las muestras envasados.

Cuadro 3.8
Simbología de las muestras en el envasado para el cereal extruido

Muestras	Simbología	Descripción
1	PESV	Polietileno sin vacío
2	PECV	Polietileno al vacío

3	PPSV	Polipropileno sin vacío
4	PPCV	Polipropileno al vacío

Fuente: Elaboración propia

3.6. EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial tuvo como finalidad determinar la mezcla de harina más adecuada para elaborar el producto; y a la vez determinar cuál de las variaciones de harina de amaranto, en la formulación, refleja un mejor producto que fuese más aceptable para el consumidor.

El test de evaluación sensorial se llevó a cabo por medio de una escala hedónica estructurada del 1 al 9, a través del cual se evaluaron los parámetros: color, aspecto, textura, sabor y aceptación general, en donde se calificó el nivel de agrado de cada producto. Dicho test y escala se muestran en el Anexo C.

Se analizaron el total de muestras obtenidas, según el diseño experimental en la dosificación, que suma un total de ocho tratamientos de los cuales el que tenga mayor aceptación será sometido a las pruebas de envasado.

Para obtener confiabilidad en los resultados se evaluó una población de 65 jueces no entrenados (consumidores), de ambos sexos, de entre 16 a 23 años de edad, siendo estudiantes de 4^{to} de secundaria y universitarios. En el test se incluyó un párrafo para observaciones, con lo cual se pretende conocer sugerencias por parte del público, para mejorar el producto en caso de lanzarse al mercado. En la figura 3.10, se muestra el panel de degustación.

Figura 3.10
Panel de degustación y evaluación sensorial



3.7. PRUEBAS DE ENVASADO

Una vez seleccionada la muestra de mayor aceptación, se procedió a realizar las pruebas de envasado, para lo cual se trabajó con 18 muestras de aproximadamente 150g cada una, distribuidas de la siguiente forma:

- ✓ 8 muestras de aproximadamente 150g envasadas en bolsas de polietileno de alta densidad de 25cmx35cm, cuatro de ellas selladas en condiciones normales y las otras 4 en condiciones de vacío.
- ✓ 10 muestras de aproximadamente 150g envasadas en bolsas de polipropileno de 25cmx35cm, cinco selladas en condiciones normales y cinco en condiciones de vacío.

Se controló el peso hasta la estabilización del mismo, haciendo análisis fisicoquímicos y microbiológicos periódicos, para determinar cuáles son las mejores condiciones de envasado del producto. En el cuadro 3.9, se muestran las técnicas de análisis utilizadas.

Cuadro 3.9
Técnicas de análisis para el cereal extruido

Parámetros	Técnica de análisis
Azúcares totales	AOAC 923-09
Cenizas	NB 075-74
Fibra	Manual técnico CEANID
Hidratos de carbono	Cálculo
Humedad	NB 028-88
Materia grasa	NB 103-75
Proteína total	NB 466-81
Rancidez	NB 204-77
Valor energético	Cálculo
Coliformes totales	NB 32005
Mohos y levaduras	NB 32006

Fuente: CEANID, 2010

CAPÍTULO IV

CÁLCULOS Y RESULTADOS

4.1. GRANULOMETRÍA DE LAS MATERIAS PRIMAS

Como se indicó en el capítulo dos, una de las variables más importantes para el proceso de extrusión, es la granulometría de las materias primas, es por este motivo que se realizaron las siguientes pruebas:

4.1.1. GRANULOMETRÍA DE LA MEZCLA DE HARINAS DE MAÍZ (CRUDA Y PRECOCIDA)

Se preparó una muestra en proporción de 1/1, con 250g harina de maíz cruda y 250g harina de maíz precocida; obteniendo un total de 500g de muestra de la mezcla, se llevó al tamizador vibratorio (Ro-Tap), como se muestra en la figura 4.1.

Figura 4.1
Pruebas de granulometría de la mezcla de harinas de maíz (cruda y precocida)



Una vez programado el tamizador vibratorio por un lapso de 10 minutos, se pesó el contenido retenido en cada tamiz, los resultados se muestran en el cuadro 4.1.

Cuadro 4.1
Granulometría de la mezcla de harinas de maíz

Abertura de malla	Cantidad retenida g	Porcentaje%
malla 1mm	53,20	10,64
malla 0,5mm	209,95	41,99
malla 0,25mm	154,80	30,96
malla 0,63mm	81,35	16,27
bandeja de recepción	0,65	0,13
Total	499,95	99,99

Fuente: Elaboración propia

4.1.2. GRANULOMETRÍA DE LA TORTA DE SOYA

Para determinar la granulometría de la torta de soya, se trabajó con una muestra de 500g. En la figura 4.2, se muestran las imágenes del procedimiento.

Figura 4.2
Pruebas de granulometría de la torta de soya



En el cuadro 4.2, se muestran los resultados obtenidos de la prueba de granulometría de la torta de soya

Cuadro 4.2
Granulometría de la torta de soya

Abertura de malla	Cantidad retenida g	Porcentaje %
malla 2mm	0,55	0,11
malla 1mm	203,70	40,74
malla 0,5mm	200,15	40,03
malla 0,25mm	67,60	13,52
malla 0,63mm	27,85	5,57
bandeja de recepción	0,10	0,02
Total	499,95	99,99

Fuente: Elaboración propia

4.1.3. GRANULOMETRÍA DE LA HARINA DE AMARANTO

Para determinar la granulometría de la harina de amaranto, se tomó 150g de muestra y los resultados se muestran en el cuadro 4.3.

Cuadro 4.3
Granulometría de la harina de amaranto

Abertura de malla	Cantidad retenida g	Porcentaje%
malla 0,25mm	107,04	71,36
malla 0,63mm	40,13	26,75
bandeja de recepción	2,82	1,88
Total	149,99	99,99

Fuente: Elaboración propia

En la figura 4.3, observamos la harina de amaranto retenida en cada tamiz.

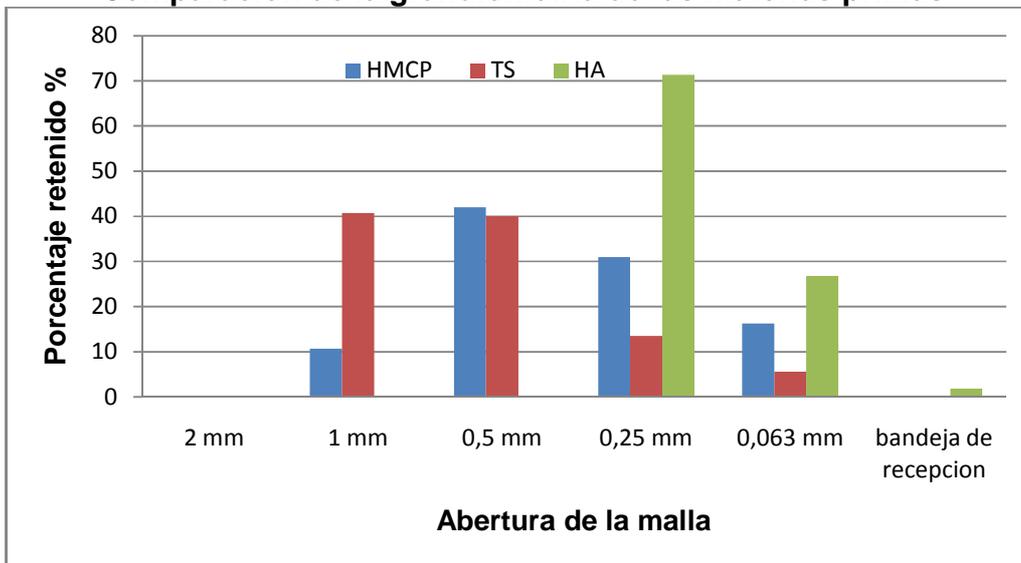
Figura 4.3

Pruebas de granulometría de la harina de amaranto



En el gráfico 4.1, se muestra el resultado general de la granulometría de las harinas.

Gráfico 4.1
Comparación de la granulometría de las materias primas



Fuente: Elaboración propia

Donde:

HMCP representa la mezcla de harinas de maíz, cruda y precocida en una proporción de 1/1

TS es la torta de soya

HA representa la harina de amaranto.

Se observa en el gráfico 4.1, que el 42% de las partículas de HMCP comprenden un tamaño entre 1,0 a 0,5mm, el siguiente valor notable es entre 0,5 y 0,25mm con un 30% de retención; por su parte el 81% de las partículas de TS están entre

2 a 0,5mm, mientras que HA tiene la granulometría más fina (< 0,5mm), estando el 71% de las partículas entre 0,5 y 0,25mm. Cabe notar que el 2% logra pasar el tamiz 0,063mm; llegando a la bandeja de recepción cosa que no ocurrió con HMCP y TS.

4.1.4. COMPOSICIÓN FÍSICOQUÍMICA DE LA HARINA COMPUESTA

Los análisis fisicoquímicos, se realizaron en el Centro de Análisis, Investigación y Desarrollo CEANID (Anexo D). En el cuadro 4.4, se detallan los resultados del análisis fisicoquímico de la harina compuesta.

Cuadro 4.4
Composición fisicoquímica de la harina compuesta

Parámetro	Unidad	Resultado
Azúcares totales	%	4,11
Cenizas	%	0,48
Fibra	%	1,08
Hidratos de carbono	%	75,47
Humedad	%	12,45
Materia grasa	%	3,05
Proteína total (Nx6,25)	%	7,47
Rancidez	Pos/Neg	Negativo
Valor energético	Kcal/100g	359,21

Fuente: CEANID, 2010

Como se puede observar en el cuadro 4.4, el porcentaje de hidratos de carbono es de 75,47%; humedad del 12,45% y proteína total del 7,47%.

4.2. CONDICIONES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

El proceso de inició bajo las siguientes condiciones para la extrusión de las harinas:

- Tiempo de calentamiento (exposición a llama directa): 15 min
- Temperatura en la zona de alimentación: 52,4°C
- Temperatura en la zona de salida: 329,0°C
- Temperatura inicial del agua de enfriamiento: 16,2°C

Al finalizar el proceso las condiciones fueron las siguientes:

- Tiempo de proceso: 40 minutos
- Temperatura en la zona de alimentación: 42,8°C
- Temperatura en la zona de salida: 116,2°C
- Temperatura final del agua de enfriamiento: 34,0°C

Se midieron las condiciones de materia prima y cereal extruido que son las siguientes:

- Temperatura de la mezcla de harinas: 32,4°C
- Temperatura del cereal extruido a la salida: 61,0°C

4.3. EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LAS VARIABLES RESPUESTA (CONTENIDO DE HUMEDAD Y PROTEÍNA)

Para verificar el efecto que tiene el proceso de extrusión sobre las variables respuesta, se realizaron análisis de contenido porcentual de proteína y contenido de humedad (Anexo D); tanto de la harina compuesta como del cereal extruido para los ocho tratamientos; según el diseño experimental planteado (cuadro 3.5) y en el cuadro 4.5, se muestran los resultados obtenidos.

Cuadro 4.5
Resultados de la variable respuesta del contenido de proteína y humedad en el proceso de extrusión

Nº	A	HA	HB	Harina compuesta		Cereal extruido	
				Proteína %	Humedad %	Proteína %	Humedad %
1	-	-	-	7,81	10,63	8,45	6,99
2	+	-	-	8,17	10,46	8,45	7,21
3	-	+	-	7,76	10,42	8,22	6,75
4	+	+	-	7,29	10,70	8,22	7,73

5	-	-	+	7,93	10,39	7,75	6,43
6	+	-	+	8,11	10,65	7,72	6,84
7	-	+	+	8,17	9,65	7,71	7,21
8	+	+	+	7,93	10,73	9,05	7,18

Fuente: CEANID, 2010

Como se observan en el cuadro 4.5, el contenido de humedad se reduce en todos los tratamientos, esto ocurre por efecto de la evaporación y el contenido de proteína se incrementa por efecto del concentrado de la misma.

4.3.1. PLAN DE EXPERIMENTACIÓN EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN PARA EL CONTENIDO DE PROTEÍNA

Para verificar la influencia de las variables en el contenido de proteína, se plantea un diseño factorial 2^3 y en el cuadro 4.6, se muestran los resultados obtenidos en laboratorio (Anexo D) en la etapa de dosificación.

Cuadro 4.6
Resultados del contenido de proteína para la etapa de dosificación

Corridas	Variables			Réplicas		Total
	A	HA	HB	Y ₁	Y ₂	
1	-	-	-	8,45	8,49	16,94
2	+	-	-	8,45	8,41	16,86
3	-	+	-	8,22	8,18	16,40
4	+	+	-	8,22	8,26	16,48
5	-	-	+	7,75	7,80	15,55
6	+	-	+	7,72	7,68	15,40
7	-	+	+	7,71	7,70	15,41
8	+	+	+	9,05	8,98	18,03

Fuente: Elaboración propia

4.3.1.1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE PROTEÍNA EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN

El análisis de varianza para el contenido de proteína, se realizó tomando en cuenta los niveles de variación de las variables planteadas en el diseño experimental y en la tabla 4.1, se muestran los resultados; extraídos del cuadro B.2 (Anexo B).

Tabla 4.1.
Análisis de varianza para el contenido de proteína

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados	Grados libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	(F _{cal})	(F _{tabl})
-------------------------	-------------------	----------------------	-----------------------	---------------------	----------------------

	(SC)				
Total	1086,458	15			
A	0,381	1	0,381	0,00286	5,32
HA	0,154	1	0,154	0,00116	5,32
HB	0,328	1	0,328	0,00246	5,32
A*HA	0,537	1	0,537	0,00403	5,32
A*HB	0,381	1	0,381	0,00286	5,32
HA*HB	0,727	1	0,727	0,00546	5,32
A*HA*HB	0,426	1	0,426	0,00320	5,32
Error	1065,524	8	133,19		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.1, se observa que para todos los factores $F_{cal} \leq F_{tab}$; por lo tanto, decimos que no existe diferencias significativas entre las variables analizadas (A-agua, HA-harina de amaranto y HB-harina base) en etapa de dosificación, ni menos entre las interacciones de las mismas para una $p < 0,05$.

4.3.2. PLAN DE EXPERIMENTACIÓN EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD

Para verificar la influencia de las variables en el contenido de humedad, se plantea un diseño factorial 2^3 , y en el cuadro 4.7, se muestran los resultados obtenidos en laboratorio (Anexo D) en la etapa de dosificación.

Cuadro 4.7
Resultados del contenido de humedad para la etapa de dosificación

Corridas	Variables			Réplicas		Total
	A	HA	HB	Y ₁	Y ₂	
1	-	-	-	6,99	5,50	12,49
2	+	-	-	7,21	6,83	14,04
3	-	+	-	6,75	4,75	11,50
4	+	+	-	6,73	7,20	13,93
5	-	-	+	6,43	7,02	13,45
6	+	-	+	6,85	7,12	13,97
7	-	+	+	7,21	7,83	15,04
8	+	+	+	7,18	7,95	15,13

Fuente: Elaboración propia

4.3.2.1. ANÁLISIS DE VARIANZA PARA EL CONTENIDO DE HUMEDAD EN LA ETAPA DE DOSIFICACIÓN

El análisis de varianza para el contenido de humedad, se realizó tomando en cuenta los niveles de variación de las variables planteadas en el diseño experimental y en la tabla 4.2, se muestran los resultados; extraídos del cuadro B.4 (Anexo B).

Tabla 4.2
Análisis de varianza para el contenido de humedad

Fuente de varianza (FV)	Suma de cuadrados (SC)	Grados libertad (GL)	Cuadrados medios (CM)	(F _{cal})	(F _{tab})
Total	752,44	15			
A	1,317	1	1,317	0,0141	5,32
HA	0,170	1	0,170	0,0018	5,32
HB	1,981	1	1,981	0,0212	5,32
A*HA	0,013	1	0,013	0,0001	5,32
A*HB	0,710	1	0,710	0,0076	5,32
HA*HB	0,926	1	0,926	0,0099	5,32
A*HA*HB	0,107	1	0,107	0,0011	5,32
Error	747,216	8	9,402		

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.2, se observa que para todos los factores $F_{cal} \leq F_{tab}$; por lo tanto, decimos que no existe diferencias significativas entre las variables analizadas (A-agua, HA-harina de amaranto y HB-harina base) en etapa de dosificación, ni menos entre las interacciones de las mismas para una $p < 0,05$.

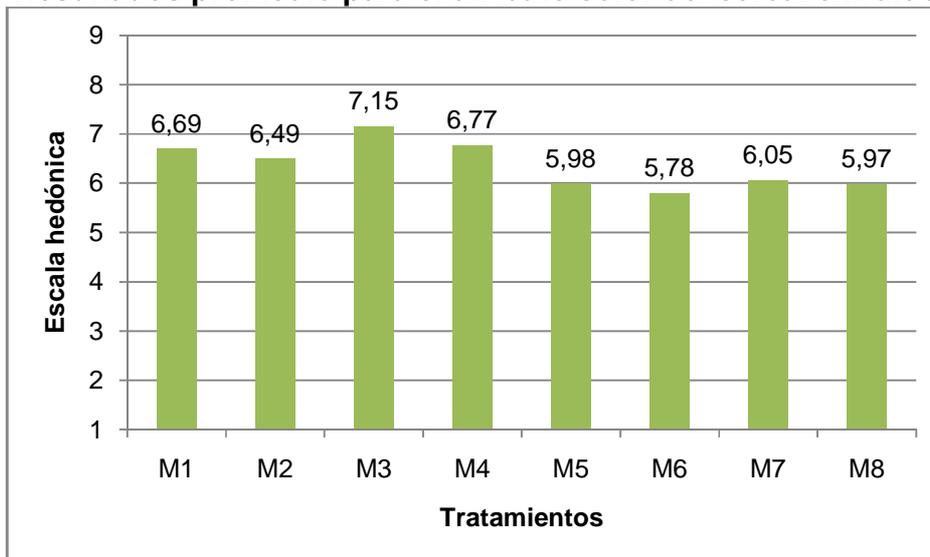
4.4. EVALUACIÓN SENSORIAL PARA EL CEREAL EXTRUIDO

Una vez obtenido el cereal extruido, se procedió a realizar la evaluación sensorial por el método de Duncan y Fisher, para saber cuál de las muestras o tratamientos tiene mayor aceptación entre los jueces evaluadores, como ser:

4.4.1. ATRIBUTO COLOR DEL CEREAL EXTRUIDO

En el gráfico 4.2, se muestran los resultados promedios en escala hedónica de los jueces para el atributo color del cereal extruido.

Gráfico 4.2
Resultados promedio para el atributo color del cereal extruido



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.2, se observa que el tratamiento de mayor aceptación para los jueces es M3=7,15 en la escala hedónica; en comparación a los tratamientos M1=6,69; M2=6,49; M4=6,77; M5=5,98; M6=5,78; M7=6,05 y M8=5,97, que son menores

4.4.1.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE DUNCAN PARA EL ATRIBUTO COLOR DEL CEREAL EXTRUIDO

En la tabla 4.3, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de datos extraídos (Anexo C1) para el atributo color.

Tabla 4.3

Tabla de comparación entre medias para el atributo color del cereal extruido

Tratamientos	Análisis de valores	Efecto
M3-M4	7,15-6,78= 0,37 < 0,447	No hay diferencia significativa
M3-M1	7,15-6,69= 0,46 < 0,471	No hay diferencia significativa
M3-M2	7,15-6,48= 0,67 > 0,487	Si hay diferencia significativa
M3-M7	7,15-6,05= 1,10 > 0,499	Si hay diferencia significativa
M3-M5	7,15-5,98= 1,17 > 0,508	Si hay diferencia significativa
M3-M8	7,15-5,97= 1,18 > 0,516	Si hay diferencia significativa
M3-M6	7,15-5,78= 1,37 > 0,522	Si hay diferencia significativa
M4-M1	6,78-6,69= 0,09 < 0,447	No hay diferencia significativa
M4-M2	6,78-6,48= 0,30 < 0,471	No hay diferencia significativa
M4-M7	6,78-6,05= 0,73 > 0,487	Si hay diferencia significativa
M4-M5	6,78-5,98= 0,80 > 0,499	Si hay diferencia significativa
M4-M8	6,78-5,97= 0,81 > 0,508	Si hay diferencia significativa
M4-M6	6,78-5,78= 1,00 > 0,516	Si hay diferencia significativa
M1-M2	6,69-6,48= 0,21 < 0,447	No hay diferencia significativa
M1-M7	6,69-6,05= 0,64 > 0,471	Si hay diferencia significativa
M1-M5	6,69-5,98= 0,71 > 0,487	Si hay diferencia significativa

M1-M8	6,69-5,97= 0,72 > 0,499	Si hay diferencia significativa
M1-M6	6,69-5,78= 0,91 > 0,508	Si hay diferencia significativa
M2-M7	6,48-6,05= 0,43 < 0,447	No hay diferencia significativa
M2-M5	6,48-5,98= 0,50 > 0,471	Si hay diferencia significativa
M2-M8	6,48-5,97= 0,51 > 0,487	Si hay diferencia significativa
M2-M6	6,48-5,78= 0,70 > 0,499	Si hay diferencia significativa
M7-M5	6,05-5,98= 0,07 < 0,447	No hay diferencia significativa
M7-M8	6,05-5,97= 0,08 < 0,471	No hay diferencia significativa
M7-M6	6,05-5,78= 0,27 < 0,487	No hay diferencia significativa
M5-M8	5,98-5,97= 0,01 < 0,447	No hay diferencia significativa
M5-M6	5,98-5,78= 0,20 < 0,471	No hay diferencia significativa
M8-M6	5,97-5,78=0,19 < 0,447	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar en la tabla 4.3, existe diferencia significativa entre los tratamientos (M3-M2), (M3-M7), (M3-M5), (M3-M8), (M3-M6); (M4-M7), (M4-M5), (M4-M8), (M4-M6); (M1-M7), (M1-M5), (M1-M8), (M1-M6); (M2-M5), (M2-M8), (M2-M6); y no así entre los tratamientos (M3-M4), (M3-M1); (M4-M1), (M4-M2); (M1-M2); (M2-M7); (M7-M5), (M7-M8), (M7-M6); (M5-M8), (M5-M6); (M8-M6). Para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por el tratamiento M3 (7,15) con mayor puntaje en la escala hedónica, se toma como la mejor opción para el atributo color.

En el cuadro 4.8, se resume las comparaciones entre medias para el atributo color del cereal extruido, del análisis de Duncan.

Cuadro 4.8

Cuadro de comparación entre medias para el atributo color del cereal extruido

	M6	M8	M5	M7	M2	M1	M4	M3	ALS (D)
M6	0	0,19	0,20	0,27	0,70*	0,91*	1*	1,37*	
M8		0	0,01	0,08	0,51*	0,72*	0,81*	1,18*	0,522
M5			0	0,007	0,50	0,71*	0,80*	1,17*	0,516
M7				0	0,43	0,64*	0,73*	1,10*	0,508
M2					0	0,21	0,30	0,67*	0,499

M1						0	0,09	0,46	0,487
M4							0	0,37	0,471
M3								0	0,447

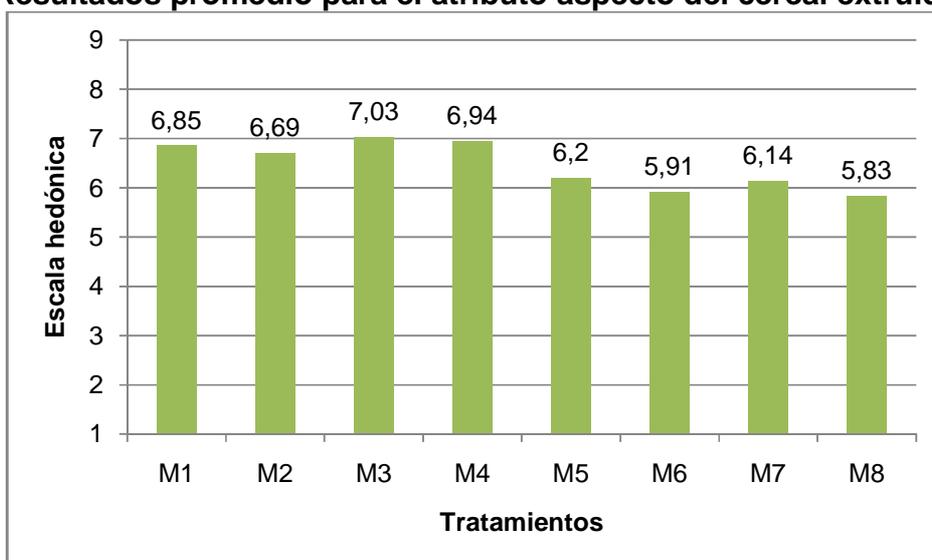
Fuente: Elaboración propia * Diferencias significativas

Como se puede observar en el cuadro 4.8, existen diferencias significativas entre los tratamientos, en base a las comparaciones diagonales de los valores promedio analizados para el atributo color; para una $p < 0,05$.

4.4.2. ATRIBUTO ASPECTO DEL CEREAL EXTRUIDO

En el gráfico 4.3, se muestran los resultados promedio en escala hedónica de los jueces para el atributo aspecto del cereal extruido.

Gráfico 4.3
Resultados promedio para el atributo aspecto del cereal extruido



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.3, se observa que el tratamiento de mayor aceptación para los jueces es M3=7,03 en la escala hedónica; en comparación a los tratamientos M1=6,85; M2=6,69; M4=6,94; M5=6,20; M6=5,91; M7=6,14 y M8=5,83, que son menores

4.4.2.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE DUNCAN PARA EL ATRIBUTO ASPECTO DEL CEREAL EXTRUIDO

En la tabla 4.4, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de datos extraídos (Anexo C2) para el atributo aspecto.

Tabla 4.4
Tabla de comparación entre medias para el atributo aspecto del cereal extruido

Tratamientos	Análisis de valores	Efecto
M3-M4	$7,03-6,94= 0,09 < 0,414$	No hay diferencia significativa
M3-M1	$7,03-6,85= 0,18 < 0,436$	No hay diferencia significativa
M3-M2	$7,03-6,69= 0,34 < 0,451$	No hay diferencia significativa
M3-M5	$7,03-6,20= 0,83 > 0,462$	Si hay diferencia significativa
M3-M7	$7,03-6,14= 0,89 > 0,470$	Si hay diferencia significativa
M3-M6	$7,03-5,91= 1,12 > 0,477$	Si hay diferencia significativa
M3-M8	$7,03-5,83= 1,20 > 0,483$	Si hay diferencia significativa
M4-M1	$6,94-6,85= 0,09 < 0,414$	No hay diferencia significativa
M4-M2	$6,94-6,69= 0,25 < 0,436$	No hay diferencia significativa
M4-M5	$6,94-6,20= 0,74 > 0,451$	Si hay diferencia significativa
M4-M7	$6,94-6,14= 0,80 > 0,462$	Si hay diferencia significativa
M4-M6	$6,94-5,91= 1,03 > 0,470$	Si hay diferencia significativa
M4-M8	$6,94-5,83= 1,11 > 0,477$	Si hay diferencia significativa
M1-M2	$6,85-6,69= 0,16 < 0,414$	No hay diferencia significativa
M1-M5	$6,85-6,20= 0,65 > 0,436$	Si hay diferencia significativa
M1-M7	$6,85-6,14= 0,71 > 0,451$	Si hay diferencia significativa
M1-M6	$6,85-5,91= 0,94 > 0,462$	Si hay diferencia significativa
M1-M8	$6,85-5,83= 1,02 > 0,470$	Si hay diferencia significativa
M2-M5	$6,69-6,20= 0,49 > 0,414$	Si hay diferencia significativa
M2-M7	$6,69-6,14= 0,55 > 0,436$	Si hay diferencia significativa

M2-M6	6,69-5,91= 0,78 > 0,451	Si hay diferencia significativa
M2-M8	6,69-5,83= 0,86 > 0,462	Si hay diferencia significativa
M5-M7	6,20-6,14= 0,06 < 0,414	No hay diferencia significativa
M5-M6	6,20-5,91= 0,29 < 0,436	No hay diferencia significativa
M5-M8	6,20-5,83= 0,37 < 0,451	No hay diferencia significativa
M7-M6	6,14-5,91= 0,23 < 0,414	No hay diferencia significativa
M7-M8	6,14-5,83= 0,31 < 0,436	No hay diferencia significativa
M6-M8	5,91-5,83= 0,08 < 0,414	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

Como se observa en la tabla 4.4, si existe diferencia significativa para el atributo aspecto entre los tratamientos: (M3-M5), (M3-M7), (M3-M6), (M3-M8); (M4-M5), (M4-M7), (M4-M6), (M4-M8); (M1-M5), (M1-M7), (M1-M6), (M1-M8); (M2-M5), (M2-M7), (M2-M6), (M2-M8); y no así entre los tratamientos: (M3-M4), (M3-M1), (M3-M2); (M4-M1), (M4-M2); (M1-M2); (M5-M7), (M5-M6), (M5-M8); (M7-M6), (M7-M8); (M6-M8). Para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por el tratamiento M3 (7,03) con mayor puntaje en la escala hedónica, se toma como la mejor opción para el atributo aspecto.

En el cuadro 4.9, se resume las comparaciones entre medias para el atributo aspecto del cereal extruido, del análisis de Duncan.

Cuadro 4.9
Cuadro de comparación entre medias para el atributo aspecto del cereal extruido

	M8	M6	M7	M5	M2	M1	M4	M3	ALS (D)
M8	0	0,08	0,31	0,37	0,86*	1,02*	1,11*	1,20*	
M6		0	0,23	0,29	0,78*	0,94*	1,03*	1,12*	0,483
M7			0	0,06	0,55*	0,71*	0,80*	0,89*	0,477
M5				0	0,49	0,65*	0,74*	0,83*	0,470
M2					0	0,16	0,25	0,34	0,462
M1						0	0,09	0,18	0,451
M4							0	0,09	0,436

M3									0,414
----	--	--	--	--	--	--	--	--	-------

Fuente: Elaboración propia

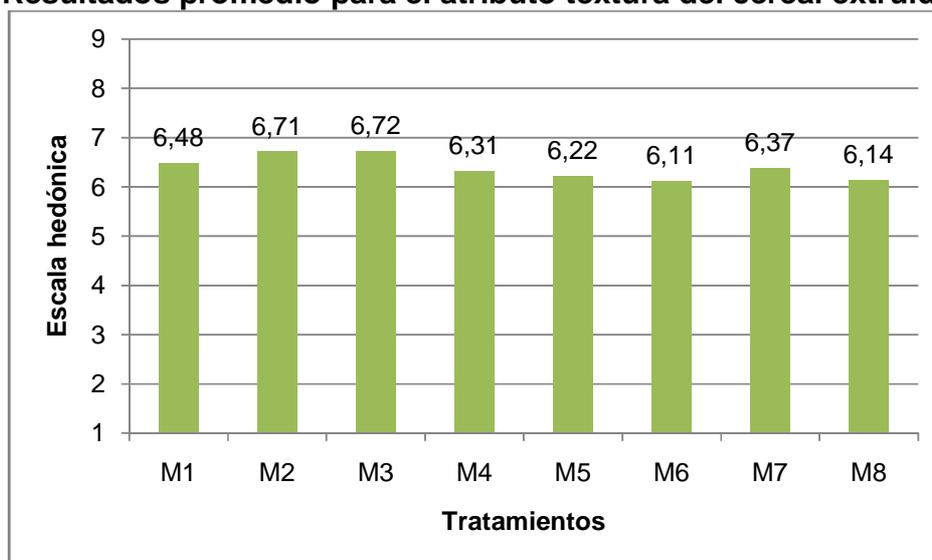
* Diferencias significativas

Como se puede observar en el cuadro 4.9, existe diferencias significativas entre los tratamientos, en base a las comparaciones diagonales de los valores promedio analizados para el atributo aspecto; para una $p < 0,05$.

4.4.3. ATRIBUTO TEXTURA DEL CEREAL EXTRUIDO

En el gráfico 4.4, se muestran los resultados promedios en escala hedónica de los jueces para el atributo textura del cereal extruido.

Gráfico 4.4
Resultados promedio para el atributo textura del cereal extruido



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.4, se observa que el tratamiento de mayor aceptación para los jueces es M3=6,72 en la escala hedónica; en comparación a los tratamientos M1=6,48; M2=6,71; M4=6,31; M5=6,22; M6=6,11; M7=6,37 y M8=6,14, que son menores.

4.4.3.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE DUNCAN PARA EL ATRIBUTO TEXTURA DEL CEREAL EXTRUIDO

En la tabla 4.5, se muestran los resultados del análisis estadístico de la prueba de Duncan de datos extraídos (Anexo C3) para el atributo textura.

Tabla 4.5
Tabla de comparación entre medias para el atributo textura del cereal extruido

Tratamientos	Análisis de valores	Efecto
M3-M2	$6,72-6,71= 0,01 < 0,420$	No hay diferencia significativa
M3-M1	$6,72-6,48= 0,24 < 0,442$	No hay diferencia significativa
M3-M7	$6,72-6,37= 0,35 < 0,457$	No hay diferencia significativa
M3-M4	$6,72-6,31= 0,41 < 0,468$	No hay diferencia significativa
M3-M5	$6,72-6,22= 0,50 > 0,477$	Si hay diferencia significativa
M3-M8	$6,72-6,14= 0,58 > 0,484$	Si hay diferencia significativa
M3-M6	$6,72-6,11= 0,61 > 0,490$	Si hay diferencia significativa
M2-M1	$6,71-6,48= 0,23 < 0,420$	No hay diferencia significativa
M2-M7	$6,71-6,37= 0,34 < 0,442$	No hay diferencia significativa
M2-M4	$6,71-6,31= 0,40 < 0,457$	No hay diferencia significativa
M2-M5	$6,71-6,22= 0,49 > 0,468$	Si hay diferencia significativa
M2-M8	$6,71-6,14= 0,57 > 0,477$	Si hay diferencia significativa
M2-M6	$6,71-6,11= 0,60 > 0,484$	Si hay diferencia significativa
M1-M7	$6,48-6,37= 0,11 < 0,420$	No hay diferencia significativa
M1-M4	$6,48-6,31= 0,17 < 0,442$	No hay diferencia significativa
M1-M5	$6,48-6,22= 0,26 < 0,457$	No hay diferencia significativa
M1-M8	$6,48-6,14= 0,34 < 0,468$	No hay diferencia significativa
M1-M6	$6,48-6,11= 0,37 < 0,477$	No hay diferencia significativa
M7-M4	$6,37-6,31= 0,06 < 0,420$	No hay diferencia significativa
M7-M5	$6,37-6,22= 0,15 < 0,442$	No hay diferencia significativa
M7-M8	$6,37-6,14= 0,23 < 0,457$	No hay diferencia significativa
M7-M6	$6,37-6,11= 0,26 < 0,468$	No hay diferencia significativa
M4-M5	$6,31-6,22= 0,09 < 0,420$	No hay diferencia significativa
M4-M8	$6,31-6,14= 0,17 < 0,442$	No hay diferencia significativa
M4-M6	$6,31-6,11= 0,20 < 0,457$	No hay diferencia significativa
M5-M8	$6,22-6,14= 0,08 < 0,420$	No hay diferencia significativa

M5-M6	6,22-6,14= 0,11 < 0,442	No hay diferencia significativa
M8-M6	6,14-6,11= 0,03 < 0,420	No hay diferencia significativa

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.5, se observa que existe diferencia significativa entre los tratamientos: (M3 y M5), (M3 y M8), (M3 y M6); (M2 y M5), (M2 y M8), (M2 y M6); y no así entre los tratamientos (M3 y M2), (M3 y M1), (M3 y M7), (M3 y M4); (M2 y M1), (M2 y M7), (M2 y M4); (M1 y M7), (M1 y M4), (M1 y M5), (M1 y M8), (M1 y M6); (M7 y M4), (M7 y M5), (M7 y M8), (M7 y M6); (M4 y M5), (M4 y M8), (M4 y M6); (M5 y M8), (M5 y M6); (M8 y M6). Para un límite de confianza del 95%. Pero analizando la preferencia de los jueces por el tratamiento M3 (6,72) con mayor puntaje en la escala hedónica, se toma como la mejor opción para el atributo textura.

En el cuadro 4.10, se resume las comparaciones entre medias para el atributo textura del cereal extruido, del análisis de Duncan.

Cuadro 4.10
Cuadro de comparación entre medias para el atributo textura del cereal extruido

	M6	M8	M5	M4	M7	M1	M2	M3	ALS (D)
M6	0	0,03	0,11	0,20	0,26	0,37	0,60*	0,61*	
M8		0	0,08	0,17	0,23	0,34	0,57*	0,58*	0,490
M5			0	0,09	0,15	0,26	0,49*	0,50*	0,484
M4				0	0,06	0,17	0,40	0,41	0,477
M7					0	0,11	0,34	0,35	0,468
M1						0	0,23	0,24	0,457
M2							0	0,01	0,442
M3								0	0,420

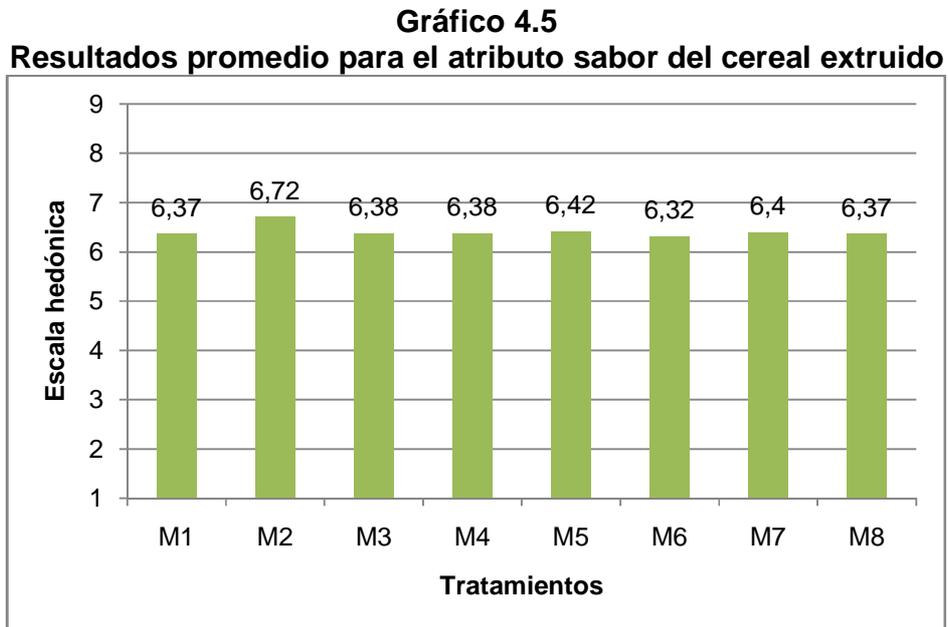
Fuente: Elaboración propia

* Diferencias significativas

Como se puede observar en el cuadro 4.10, existe diferencias significativas entre los tratamientos, en base a las comparaciones diagonales de los valores promedio analizados para el atributo textura; para una $p < 0,05$.

4.4.4. ATRIBUTO SABOR DEL CEREAL EXTRUIDO

En el gráfico 4.5, se muestran los resultados promedios en escala hedónica de los jueces para el atributo sabor del cereal extruido.



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.5, se observa que el tratamiento de mayor aceptación para los jueces es M2=6,72 en escala hedónica; en comparación a los tratamientos M1=6,37; M3=6,38; M4=6,38; M5=6,42; M6=6,32; M7=6,40 y M8=6,37, que son menores

4.4.4.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE FISHER PARA EL ATRIBUTO SABOR DEL CEREAL EXTRUIDO

En la tabla 4.6, se muestra la tabla de análisis de varianza de la prueba estadística de Fisher de datos extraídos (Anexo C4) para el atributo sabor.

Tabla 4.6
Tabla de análisis de varianza para el atributo sabor del cereal extruido

Fuente de varianza	SC	GL	CM	F _{CAL}	F _{TAB}
Total	1200,77	519			
Tratamientos	7,11	7	0,944	0,514	2,0327
Jueces	371,14	64	5,799	3,155	1,3512
Error	823,51	448	1,838		

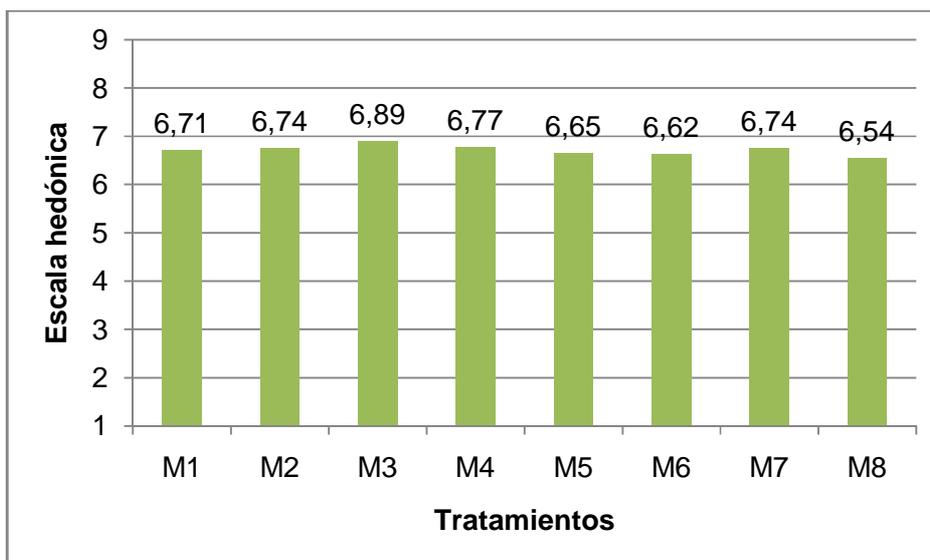
Fuente: Elaboración propia

En la tabla 4.6 de análisis de varianza (ANVA), se muestra que el $F_{cal} < F_{tab}$, para los tratamientos, por tanto se concluye que no existe diferencia mínima significativa entre los tratamientos para el atributo sabor y se acepta la puntuación promedio que da como tratamiento de mayor aceptación a M2 (6,72).

4.4.5. ACEPTACIÓN GENERAL DEL CEREAL EXTRUIDO

En el gráfico 4.6, se muestran los resultados promedios en escala hedónica de los jueces para aceptación general del cereal extruido.

Gráfico 4.6
Resultados promedio para aceptación general del cereal extruido



Fuente: Elaboración propia

En el gráfico 4.6, se observa que el tratamiento de mayor aceptación para los jueces es M3=6,89 en escala hedónica; en comparación a los tratamientos M1=6,71; M2=6,74; M4=6,77; M5=6,65; M6=6,62; M7=6,74 y M8=6,54, que son menores.

4.4.5.1. PRUEBA ESTADÍSTICA DE FISHER PARA ACEPTACIÓN GENERAL DEL CEREAL EXTRUIDO

En la tabla 4.7, se muestra la tabla de análisis de varianza de la prueba estadística de Fisher de datos extraídos (Anexo C5) para aceptación general.

Tabla 4.7

Tabla de análisis de varianza para aceptación general del cereal extruido

Fuente de varianza	SC	GL	CM	F _{CAL}	F _{TAB}
Total	939,98	519			
Tratamientos	5,24	7	0,749	0,542	2,0327
Jueces	315,86	64	4,935	3,573	1,3512
Error	618,88	448	1,381		

Fuente: Elaboración propia

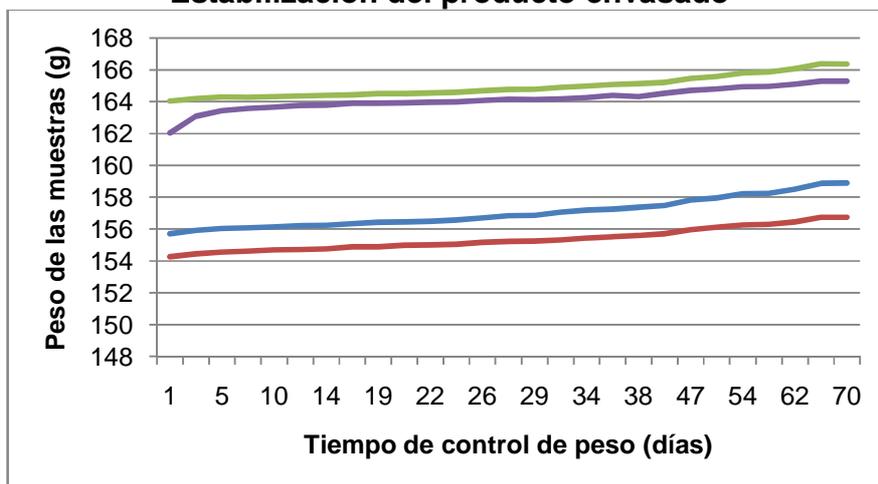
Como observamos en la tabla 4.5, $F_{cal} < F_{tab}$, para los tratamientos, concluyendo con esto que no existe diferencia mínima significativa entre los tratamientos, refiriéndose a la aceptación general, por lo tanto se acepta la puntuación promedio del gráfico 4.5, tomando como tratamiento de mayor aceptación a M3 (6,89).

En conclusión, respecto a la evaluación sensorial, observando los gráficos expuestos anteriormente, se concluye: que para los atributos: color, aspecto, textura y aceptación general el tratamiento más aceptado es **M3**; respecto a los atributos color, aspecto y textura **si existe diferencia** entre este tratamiento y los otros; por otra parte para aceptación general, se concluyó que **no existe diferencia** significativa con los otros tratamientos, para el atributo sabor el tratamiento más aceptado es M2, pero al aceptar la hipótesis de que no existe diferencia significativa entre los tratamientos, es irrelevante y finalmente concluimos que la muestra de mayor aceptación es **M3** con 6,74 y se toma como la mejor opción para el envasado del producto terminado.

4.5. ENVASADO DEL CEREAL EXTRUIDO

Se realizó un control de tiempo de estabilización de peso del producto, para saber cuál de los envases y que condiciones ofrecen una mayor protección, en el gráfico 4.7, se muestran el comportamiento de las muestras.

Gráfico 4.7
Estabilización del producto envasado



Fuente: Elaboración propia

Donde:

- Polietileno en condiciones normales (PESV)
- Polietileno al vacío (PECV)

- Polipropileno en condiciones normales (PPSV)
- Polipropileno al vacío (PPCV)

Como se observa en el gráfico 4.7, las muestras envasadas al vacío registraron una brusca elevación de peso en la primera semana, este efecto es mucho más evidente en las muestras envasadas en polietileno. Por otro lado observamos que el comportamiento más estable es el de la muestra envasada en polipropileno en condiciones normales, lo cual significa que ofrece mayor resistencia a la transferencia de humedad del medio ambiente. Sin embargo cabe destacar que las cuatro muestras tardaron demasiado tiempo en alcanzar la estabilidad.

También se debe hacer notar que no es recomendable envasar este producto en condiciones de vacío, ya que por la superficie rugosa del cereal extruido, el vacío se pierde al perforar levemente el material de envase, esto permite el paso del aire aumentando así el riesgo de contaminación microbiana.

El envasado al vacío presenta también otro inconveniente, que es el desmenuzamiento del producto, por efecto de la succión de aire que realiza la máquina, lo cual le da un mal aspecto. En la figura 4.4, se observa este efecto.

Figura 4.4
Defecto producido en el cereal extruido por el envasado al vacío



Observando la figura 4.4, se concluye que las condiciones normales de envasado son las más recomendables para este tipo de producto, esto debido a que no ocurren cambios negativos en la presentación. En cuanto a la protección que

ofrecen ambos materiales de envase, no hay diferencia entre ellos, sin embargo el polipropileno es más atractivo a la vista por su claridad y brillo.

4.5.1. CONTROL DEL ÍNDICE DE RANCIDEZ DURANTE EL ALMACENAMIENTO

Como parámetro de control en la etapa de envasado, se tomó el índice de rancidez, esto para corroborar que los envases protegen al producto de la agresión del oxígeno del medio ambiente, dando resultado negativo durante 60 días de almacenamiento, en condiciones normales de temperatura. En el cuadro 4.11, se muestran los resultados extraídos del (Anexo D).

Cuadro 4.11
Índice de rancidez del cereal extruido durante el almacenamiento

Producto	Unidad	T ₀	T ₁	T ₂	T ₃
PECV	pos/neg	Negativo	negativo	negativo	
PESV	pos/neg	Negativo	negativo	negativo	Negativo
PPCV	pos/neg	Negativo	negativo	negativo	
PPSV	pos/neg	Negativo	negativo	negativo	Negativo

Fuente: CEANID, 2009

Donde:

T₀= Tiempo inicial (al salir el producto del extrusor).

T₁= Tiempo de dos semanas de almacenamiento.

T₂= Tiempo de cuatro semanas de almacenamiento.

T₃= Tiempo de ocho semanas de almacenamiento.

En el cuadro 4.11, se observa que para T₃ solo se realizaron pruebas a las muestras envasadas en condiciones normales (sin vacío); ya que las muestras envasadas al vacío fueron descartadas por la pérdida de la condición de vacío.

4.6. VALOR NUTRITIVO DEL PRODUCTO FINAL

En el cuadro 4.12, se muestran los resultados obtenidos del análisis fisicoquímico (Anexo D) del cereal extruido; para determinar el valor nutritivo, realizado al producto terminado.

Cuadro 4.12
Composición fisicoquímica del producto final

Parámetros	Unidad	Cereal extruido
Azúcares totales	%	2,99
Cenizas	%	0,6
Fibra	%	0,84
Hidratos de carbono	%	83,44
Humedad	%	5,75
Materia grasa	%	2,05
Proteína total (Nx6,25)	%	8,20
Valor energético	Kcal/100g	384,93

Fuente: CEANID, 2010

Como se observa en el cuadro 4.12, el porcentaje de azúcares es de 3,99%, cenizas 0,6%, una bajo porcentaje de fibra de 0,84%, un muy buen aporte de hidratos de carbono con 83,44%, un contenido de humedad del 5,75%, que es bajo, lo cual ayuda en la conservación del producto final, bajo contenido de grasas 2,05%, muy buen aporte de proteína de 8,20% y un valor energético de 384,93Kcal/100g, por los datos analizados concluimos que es un producto de buena calidad nutricional.

A continuación en el cuadro 4.13, se muestran algunos requisitos de macro-nutrientes para cereales extruidos expandidos; según la Norma Técnica Colombiana.

Cuadro 4.13
Requisitos de macro-nutrientes para cereales extruidos expandidos, según norma colombiana

Parámetros	Porcentaje (%)
------------	----------------

Humedad (%) máximo	6,0
Proteína (Nx6.25), (%) mínimo	3,0
Carbohidratos (%) máximo	95
Grasas (%) máximo	30

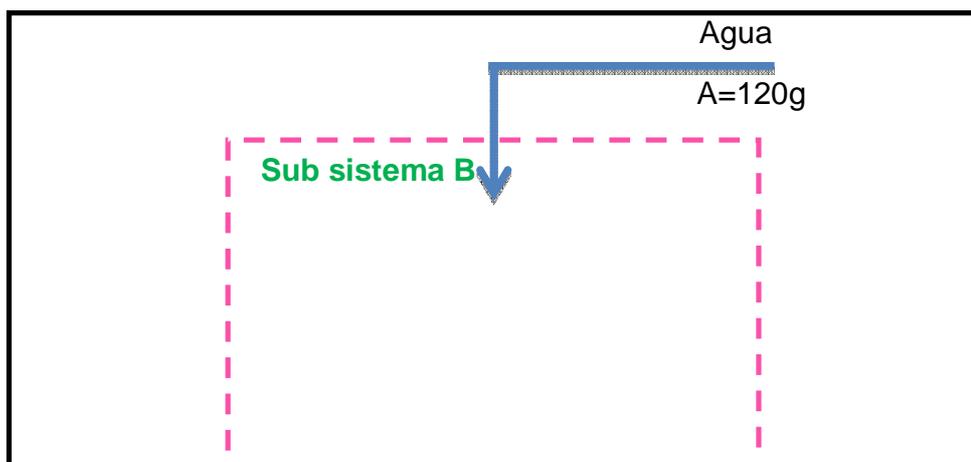
Fuente: Norma Técnica Colombiana 3659, 2006

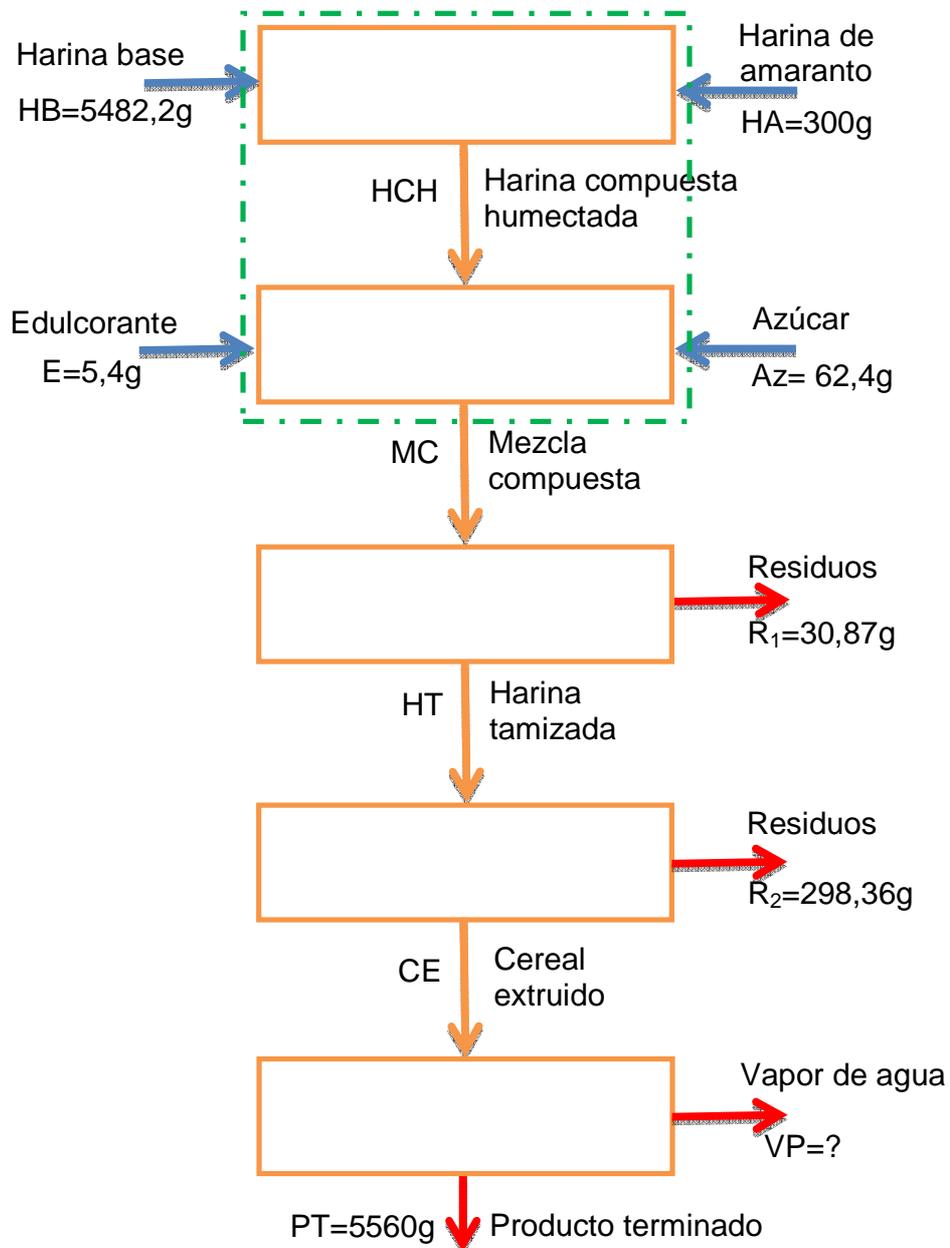
Realizando una comparación entre el cuadro 4.12 y cuadro 4.13, se observa que el cereal extruido cumple con los parámetros según la norma colombiana; siendo el porcentaje máximo del contenido de humedad 6,0%, el cereal elaborado está por debajo con 5,75%; el contenido mínimo de proteína es 3,0%, para el cereal extruido presenta un valor superior al 8,20%; hablando de carbohidratos el máximo permitido es 95%, el cereal extruido contiene 83,44%. Finalmente, la norma colombiana exige que el porcentaje de grasas no sobrepase el 30%, y el cereal extruido presenta un 2,05%. Lo que quiere decir, que el cereal extruido presenta mayor contenido de proteína y menor contenido de grasa según la norma colombiana.

4.7. BALANCE DE MATERIA PARA EL CEREAL EXTRUIDO

En la figura 4.5, se muestra el diagrama de flujo utilizado para realizar los cálculos del balance de materia.

Figura 4.5
Diagrama de flujo para el balance de materia del cereal extruido





Fuente: Elaboración propia

A continuación, se realiza el desarrollo del balance de materia en el proceso:

- **Balance global de materia en el sistema A**

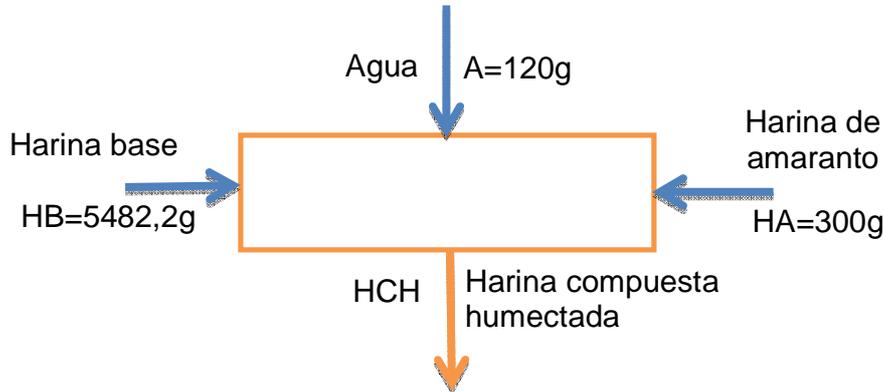
$$HB + HA + A + E + Az = R_1 + R_2 + VA + PT$$

$$5482,2g + 120g + 300g + 5,4g + 62,4g = 30,87g + 298,36g + VA + 5560g$$

$$5970g = 5889,23g + VA$$

$\Rightarrow VA = 5970g - 5889,23g = 80,77g$ de vapor de agua eliminado durante el enfriado.

Balance de materia en la etapa de dosificación



- **Balance global de materia en la dosificación**

$$HB + HA + A = HCH$$

$5482,2g + 300g + 120g = 5902,2g$ de harina compuesta humectada saliente de la dosificación

- **Balance parcial de materia para HB en la dosificación**

$$HB \times X_{HB}^{HB} + HA \times X_{HB}^{HA} + A \times X_{HB}^A = HCH \times X_{HB}^{HCH}$$

$$\Rightarrow X_{HB}^{HCH} = \frac{[(HB \times X_{HB}^{HB}) + (HA \times X_{HB}^{HA}) + (A \times X_{HB}^A)]}{HCH}$$

$$\Rightarrow X_{HB}^{HCH} = \frac{[(5482,2g \times 1) + (300g \times 0) + (120g \times 0)]}{5902,2g}$$

$X_{HB}^{HCH} = 0,9288$ fracción de harina base HB en la harina compuesta humectada

- **Balance parcial de materia para HA en la dosificación**

$$HB \times X_{HA}^{HB} + HA \times X_{HA}^{HA} + A \times X_{HA}^A = HCH \times X_{HA}^{HCH}$$

$$\Rightarrow X_{HA}^{HCH} = \frac{[(HB \times X_{HA}^{HB}) + (HA \times X_{HA}^{HA}) + (A \times X_{HA}^A)]}{HCH}$$

$$\Rightarrow X_{HA}^{HCH} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 1) + (120g \times 0)]}{5902,2g}$$

$X_{HA}^{HCH} = 0,0508$ fracción de harina de amaranto HA en la harina compuesta humectada HCH

- **Balance parcial de materia para A en la dosificación**

$$HB \times X_A^{HB} + HA \times X_A^{HA} + A \times X_A^A = HCH \times X_A^{HCH}$$

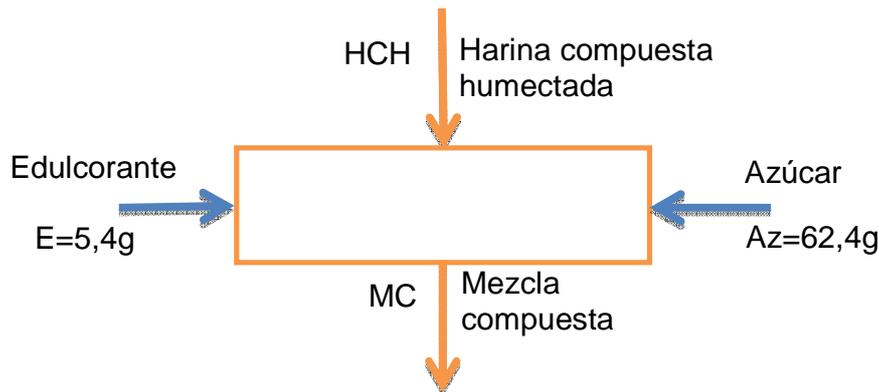
$$\Rightarrow X_A^{HCH} = \frac{[(HB \times X_A^{HB}) + (HA \times X_A^{HA}) + (A \times X_A^A)]}{HCH}$$

$$\Rightarrow X_{HA}^{HCH} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 0) + (120g \times 1)]}{5902.2g}$$

$X_{HA}^{HCH} = 0,0203$ fracción de agua agregada en el sistema A para la harina compuesta humectada HCH.

Se registran pérdidas en una fracción de 0,0001 en la etapa de dosificación.

Balance de materia en la etapa de mezclado



- **Balance global de materia en el mezclado**

$$HCH + Az + E = MC$$

$5902,2g + 62,4g + 5,4g = 5970g$ de mezcla compuesta saliente de la etapa de mezclado

- **Balance parcial de materia para HCH en el mezclado**

$$HCH \times X_{HCH}^{HCH} + Az \times X_{HCH}^{Az} + E \times X_{HCH}^E = MC \times X_{HCH}^{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HCH}^{MC} = \frac{[(HCH \times X_{HCH}^{HCH}) + (Az \times X_{HCH}^{Az}) + (E \times X_{HCH}^E)]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HCH}^{MC} = \frac{[(5902,2g \times 1) + (62,4g \times 0) + (5,4g \times 0)]}{5970g}$$

$X_{HCH}^{MC} = 0,9886$ fracción de harina compuesta humectada HCH en la mezcla compuesta MC

- **Balance parcial de materia para Az en el mezclado**

$$HCH \times X_{AZ}^{HCH} + Az \times X_{AZ}^{AZ} + E \times X_{AZ}^E = MC \times X_{AZ}^{MC}$$

$$\Rightarrow X_{AZ}^{MC} = \frac{[(HCH \times X_{AZ}^{HCH}) + (Az \times X_{AZ}^{AZ}) + (E \times X_{AZ}^E)]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HCH}^{MC} = \frac{[(5902,2g \times 1) + (62,4g \times 1) + (5,4g \times 0)]}{5970g}$$

$X_{AZ}^{MC} = 1,01045$ fracción de azúcar Az en la mezcla compuesta MC

- **Balance parcial de materia para E en el mezclado**

$$HCH \times X_E^{HCH} + Az \times X_E^{AZ} + E \times X_E^E = MC \times X_E^{MC}$$

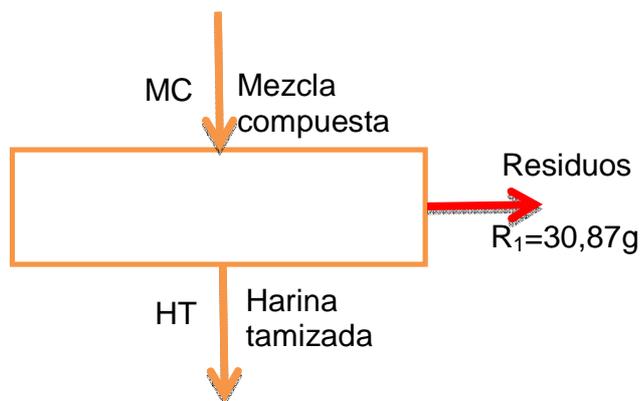
$$\Rightarrow X_E^{MC} = \frac{[(HCH \times X_E^{HCH}) + (Az \times X_E^{AZ}) + (E \times X_E^E)]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_E^{MC} = \frac{[(5902,2g \times 0) + (62,4g \times 0) + (5,4g \times 1)]}{5970g}$$

$X_E^{MC} = 1,01045$ fracción de edulcorante E en la mezcla compuesta MC.

Se registran pérdidas en una fracción de 0,00005 en la etapa de mezclado

Balance de materia en la etapa de tamizado



- **Balance global de materia en el tamizado**

$$MC = R_1 + HT$$

$$\Rightarrow HT = MC - R_1$$

$$\Rightarrow HT = 5970g - 30,87g$$

HT = 5939,13g de harina tamizada saliente de la etapa de tamizado

- **Balance parcial de materia para R₁ en el tamizado**

$$MC \times X_{R_1}^{MC} = R_1 \times X_{R_1}^{R_1} + HT \times X_{R_1}^{HT}$$

$$\Rightarrow X_{R_1}^{MC} = \frac{[(R_1 \times X_{R_1}^{R_1}) + (HT \times X_{R_1}^{HT})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{R_1}^{MC} = \frac{[(30,87g \times 1) + (5939,13g \times 0)]}{5970g}$$

$X_{R_1}^{MC} = 0,00516$ fracción de residuos R₁ en la mezcla compuesta MC

- **Balance parcial de materia para HT en el tamizado**

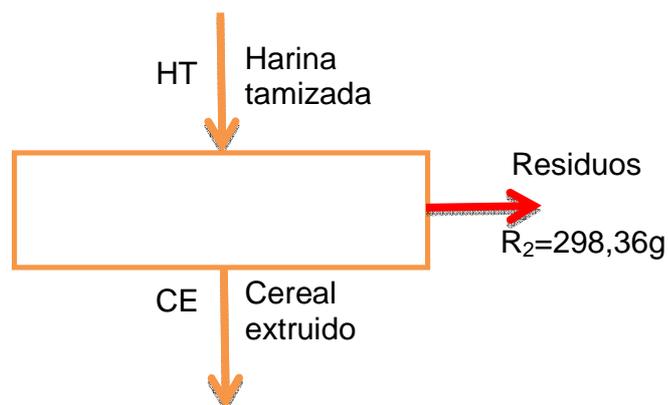
$$MC \times X_{HT}^{MC} = R_1 \times X_{HT}^{R_1} + HT \times X_{HT}^{HT}$$

$$\Rightarrow X_{HT}^{MC} = \frac{[(R_1 \times X_{HT}^{R_1}) + (HT \times X_{HT}^{HT})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HT}^{MC} = \frac{[(30,87g \times 0) + (5939,13g \times 1)]}{5970g}$$

$X_{HT}^{MC} = 0,9948$ fracción de harina tamizada HT en la mezcla compuesta MC

Balance global de materia en la etapa de extrusión



- **Balance global de materia en la extrusión**

$$HT = R_2 + CE$$

$$\Rightarrow CE = HT - R_2$$

$$\Rightarrow CE = 5939,13g - 298,36g$$

CE = 5640,77g de cereal extruido saliente de la etapa de extrusion.

- **Balance parcial de materia para R₂ en la extrusión**

$$HT \times X_{R_2}^{HT} = R_2 \times X_{R_2}^{R_2} + CT \times X_{R_2}^{CT}$$

$$\Rightarrow X_{R_2}^{HT} = \frac{[(R_2 \times X_{R_2}^{R_2}) + (CT \times X_{R_2}^{CT})]}{HT}$$

$$\Rightarrow X_{R_2}^{HT} = \frac{[(298,36g \times 1) + (5640,77g \times 0)]}{5939,13g}$$

$X_{R_2}^{HT} = 0,0502$ fracción de residuos R₂ en la harina tamizada

- **Balance parcial de materia para CE en la extrusión**

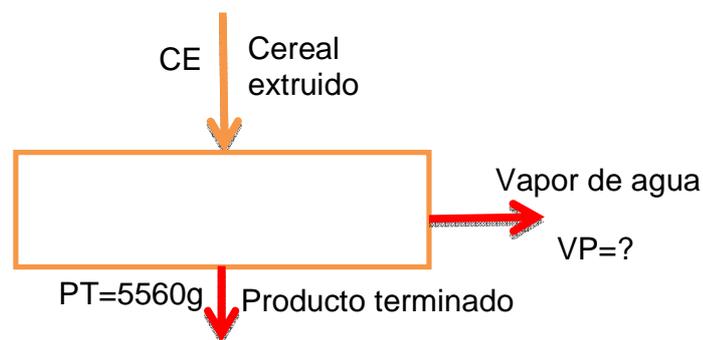
$$HT \times X_{CE}^{HT} = R_2 \times X_{CE}^{R_2} + CT \times X_{CE}^{CT}$$

$$\Rightarrow X_{CE}^{HT} = \frac{[(R_2 \times X_{CE}^{R_2}) + (CT \times X_{CE}^{CT})]}{HT}$$

$$\Rightarrow X_{CE}^{HT} = \frac{[(298,36g \times 0) + (5640,77g \times 1)]}{5939,13g}$$

$X_{CE}^{HT} = 0,9498$ fracción de cereal extruido CE en la harina tamizada HT

Balance global de materia en la etapa de enfriado



- **Balance global de materia en el enfriado**

$$CE = VA + PT$$

$$\Rightarrow VA = CE - PT$$

$$\Rightarrow VA = 5640,77g - 5560g$$

VA = 80,77g de agua evaporada durante el enfriado

• **Balance parcial de materia para VA en el enfriado**

$$CE \times X_{VA}^{CE} = VA \times X_{VA}^{VA} + PT \times X_{VA}^{PT}$$

$$\Rightarrow X_{VA}^{CE} = \frac{[(VA \times X_{VA}^{VA}) + (PT \times X_{VA}^{PT})]}{CE}$$

$$\Rightarrow X_{VA}^{CE} = \frac{[(80,77g \times 1) + (5560g \times 0)]}{5640,77g}$$

$X_{VA}^{CE} = 0,0143$ fracción de vapor de agua VA eliminada del cereal CE

• **Balance parcial de materia para PT en el enfriado**

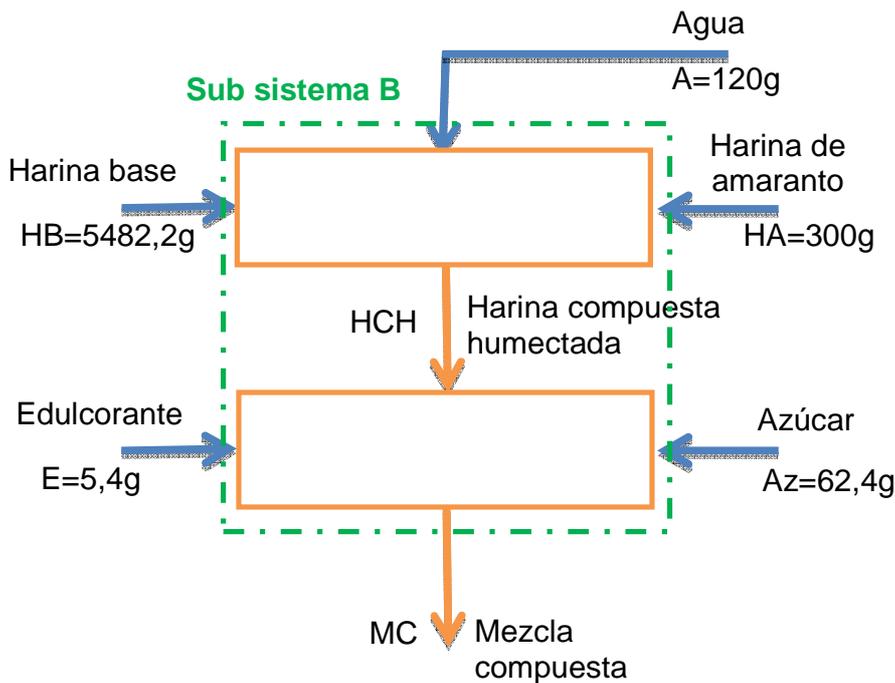
$$CE \times X_{PT}^{CE} = VA \times X_{PT}^{VA} + PT \times X_{PT}^{PT}$$

$$\Rightarrow X_{PT}^{CE} = \frac{[(VA \times X_{PT}^{VA}) + (PT \times X_{PT}^{PT})]}{CE}$$

$$\Rightarrow X_{PT}^{CE} = \frac{[(80,77g \times 0) + (5560g \times 1)]}{5640,77g}$$

$X_{PT}^{CE} = 0,9857$ fracción de producto terminado PT en el cereal extruido CE

Balance de materia en el sub sistema B



- **Balance de materia en el sub-sistema B**

$$HB + HA + A + E + Az = MC$$

$$5482,2g + 300g + 120g + 5,40g + 62,4g = MC$$

$$\Rightarrow MC = 5970g \text{ de mezcla compuesta saliente del sub-sistema B}$$

- **Balance parcial para HB en el sub-sistema B**

$$HB \times X_{HB}^{HB} + HA \times X_{HB}^{HA} + A \times X_{HB}^A + E \times X_{HB}^E + Az \times X_{HB}^{Az} = MC \times X_{HB}^{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HB}^{MC} = \frac{[(HB \times X_{HB}^{HB}) + (HA \times X_{HB}^{HA}) + (A \times X_{HB}^A) + (E \times X_{HB}^E) + (Az \times X_{HB}^{Az})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HB}^{MC} = \frac{[(5482,2g \times 1) + (300g \times 0) + (120g \times 0) + (5,4g \times 0) + (62,4g \times 0)]}{5970g}$$

$$X_{HB}^{MC} = 0,9183 \text{ fracción de harina base HB en la mezcla compuesta MC}$$

- **Balance parcial para HA en el sub-sistema B**

$$HB \times X_{HA}^{HB} + HA \times X_{HA}^{HA} + A \times X_{HA}^A + E \times X_{HA}^E + Az \times X_{HA}^{Az} = MC \times X_{HA}^{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HA}^{MC} = \frac{[(HB \times X_{HA}^{HB}) + (HA \times X_{HA}^{HA}) + (A \times X_{HA}^A) + (E \times X_{HA}^E) + (Az \times X_{HA}^{Az})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{HA}^{MC} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 1) + (120g \times 0) + (5,4g \times 0) + (62,4g \times 0)]}{5970g}$$

$$X_{HA}^{MC} = 0,5025 \text{ fracción de harina de amaranto HA en la mezcla compuesta MC}$$

- **Balance parcial para A en el sub-sistema B**

$$HB \times X_A^{HB} + HA \times X_A^{HA} + A \times X_A^A + E \times X_A^E + Az \times X_A^{Az} = MC \times X_A^{MC}$$

$$\Rightarrow X_A^{MC} = \frac{[(HB \times X_A^{HB}) + (HA \times X_A^{HA}) + (A \times X_A^A) + (E \times X_A^E) + (Az \times X_A^{Az})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_A^{MC} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 0) + (120g \times 1) + (5,4g \times 0) + (62,4g \times 0)]}{5970g}$$

$$X_A^{MC} = 0,0201 \text{ fracción de agua agregada A en la mezcla compuesta MC}$$

- **Balance parcial para E en el sub-sistema B**

$$HB \times X_E^{HB} + HA \times X_E^{HA} + A \times X_E^A + E \times X_E^E + Az \times X_E^{Az} = MC \times X_E^{MC}$$

$$\Rightarrow X_E^{MC} = \frac{[(HB \times X_E^{HB}) + (HA \times X_E^{HA}) + (A \times X_E^A) + (E \times X_E^E) + (Az \times X_E^{Az})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_E^{MC} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 0) + (120g \times 0) + (5,4g \times 1) + (62,4g \times 0)]}{5970g}$$

$X_E^{MC} = 9,04 \times 10^{-4}$ fracción de edulcorante E en la mezcla compuesta MC

- **Balance parcial para Az en el sub-sistema B**

$$HB \times X_{Az}^{HB} + HA \times X_{Az}^{HA} + A \times X_{Az}^A + E \times X_{Az}^E + Az \times X_{Az}^{Az} = MC \times X_{Az}^{MC}$$

$$\Rightarrow X_{Az}^{MC} = \frac{[(HB \times X_{Az}^{HB}) + (HA \times X_{Az}^{HA}) + (A \times X_{Az}^A) + (E \times X_{Az}^E) + (Az \times X_{Az}^{Az})]}{MC}$$

$$\Rightarrow X_{Az}^{MC} = \frac{[(5482,2g \times 0) + (300g \times 0) + (120g \times 0) + (5,4g \times 0) + (62,4g \times 1)]}{5970g}$$

$X_{Az}^{MC} = 0,01045$ fracción de azúcar en Az en la mezcla compuesta MC

4.7.1. RENDIMIENTO EN EL PROCESO DE EXTRUSIÓN

De acuerdo a los resultados obtenidos el rendimiento del proceso completo, es del 93,13% registrando pérdidas en las etapas de tamizado donde se obtuvo un rendimiento del 99,48%, en el proceso de extrusión, se registraron mayor cantidad de pérdidas teniendo un rendimiento del 94,98% y en el proceso de enfriado fue del 98,57%. Limitando un sub-sistema denominado B, se determinó la composición de la harina dosificada y mezclada entrante a la etapa de tamizado; cuyos resultados son harina base HB 91,83%; harina de amaranto HA 5,025%; agua agregada A 2,010%, azúcar Az 1,045% y edulcorante E 0,090%.

4.8. ANÁLISIS MICROBIOLÓGICO DEL PRODUCTO FINAL

Siendo el análisis microbiológico de suma importancia en el producto terminado, para tal efecto se procedió a realizar el ensayo de presencia de coliformes totales, mohos y levaduras al cereal extruido. Después de quince días de ser envasado el producto, es decir durante el almacenamiento. Los resultados, se muestran en el cuadro 4.14, extraídos del (Anexo D).

Cuadro 4.14
Análisis microbiológico del producto final

Parámetros	Unidad	Valor
Coliformes totales	NMP/g	0
Mohos y levaduras	NMP/g	1

Fuente: CEANID, 2010

Al observar el cuadro 4.14, se concluye que durante el proceso no hubo contaminación fecal, siendo el factor de mayor riesgo e importancia a tomarse en cuenta. Analizando los resultados de presencia de mohos y levaduras se observa que el resultado es 1NMP/g; existiendo diversos criterios de inocuidad de este parámetro, por ejemplo según norma *Coguanor NGO34196* para cereales de desayuno preparados; cuyos valores están en el límite de $<1 \times 10^3$ ufc/g. Según la norma microbiología para cereales en copos o expandidos para desayuno posee un límite de 10^2 ufc/g. Por lo tanto, se obtuvo un producto inocuo durante el tiempo de almacenamiento.

Por otro lado, para comparar el desempeño del envase como barrera de protección, se realizó la prueba de presencia de mohos y levaduras pasadas las ocho semanas de almacenamiento del producto; únicamente para muestras envasadas en condiciones normales (sin vacío) y los resultados se muestran en el cuadro 4.15, extraídos del (Anexo D).

Cuadro 4.15
Ensayo de presencia de mohos y levaduras en el almacenamiento del producto final

Parámetro	Unidad	PESV	PPSV
Mohos y levaduras	ufc/g	1	1

Fuente: CEANID, 2010

En el cuadro 4.15, se observa que los datos obtenidos son 1ufc/g en el producto envasado en polietileno y 1ufc/g en polipropileno, estos datos entran dentro de los límites permitidos por norma.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos planteados en este trabajo, se pudo concluir lo siguiente:

- Se evidenció que la granulometría óptima de las materia primas es: para la mezcla de harinas de maíz cruda y precocida el 72,95% está comprendida entre 1 y 25mm, el 80,77% de la granulometría de la torta de soya está comprendida entre 2 y 0,5mm y la granulometría más fina es de la harina de amaranto cuyo porcentaje del 71,36% está comprendida entre 0,5 y 0,25mm.
- Se estandarizaron las condiciones de operación del extrusor de un solo tornillo, siendo estas, tiempo de calentamiento 15 minutos a llama directa, temperatura en la zona de salida 329°C, temperatura en la zona de alimentación 52,4°C y temperatura del agua de enfriamiento menos de 20°C. se evidencio que bajo estas condiciones el equipo trabaja muy bien y sin contratiempos.
- Se evidenció la inexistencia de diferencias estadísticas entre las variables agua (A), harina de amaranto (HA) y harina base (HB), y la combinación de las mismas para los niveles 120g y 150g para la variable agua; 180g y 300g para la harina de amaranto y para la harina base 5482,2 y 5632,3g.
- Se logró elaborar el cereal extruido a partir de harinas compuestas conformada por 94,81% de harina base y 5,19% de harina de amaranto, mediante el proceso de extrusión, evidenciando que la mezcla de maíz amaranto no afecta de manera negativa las características organolépticas del producto terminado, por el contrario se verificó que la muestra de mayor aceptación es la que tiene mayor cantidad de harina de amaranto con un porcentaje de 5,03%.

- Se evidenció que la granulometría de la harina de amaranto es una de las variables más importantes a tomar en cuenta durante el proceso, esta no debe ser mayor a 0,5mm, ya que si es mayor, obstruye la salida del producto, provocando el embotamiento, este efecto es muy contraproducente. En un incidente se observó la ruptura de los tornillos que sujetan la boquilla de salida, esto debido al exceso de presión dentro de la camisa que contiene al tornillo.
- Se realizaron análisis fisicoquímicos a fin de conocer la influencia del proceso sobre la composición, tanto del producto como de la materia prima, evidenciando que el proceso no es agresivo, se observa el aumento de carbohidratos del 75,74% en la materia prima a un 83,44% del cereal extruido, así también hay un incremento de proteína de 7,47% en la harina compuesta, a 8,20% en el cereal extruido, también se observa el aumento del porcentaje de cenizas de 0,48% en la harina compuesta al 0,60% en el cereal extruido.
- Mediante un panel de evaluación sensorial presentado a 65 jueces no entrenados (preuniversitarios y universitarios), se determinó que la muestra de mayor aceptación es M3 para los atributos color con 7,15 puntos de aceptación sobre una escala hedónica de 1 a 9; aspecto con 7,03; textura con 6,72 y aceptación general con 6,89. Sin embargo para el atributo sabor la muestra que obtuvo mayor puntuación fue M2 con 6,72, pero al realizar las pruebas estadísticas se determinó que no existen diferencias significativas, por lo tanto es indistinto que muestra se elige.
- Se obtuvo un producto de buena calidad nutricional, con un aporte proteico superior al 8%, la ventaja es que se trata de proteína 100% vegetal, y un aporte energético de 385Kcal por cada 100g de producto, además de ser bajo en azúcar.

- Se concluye que el envase más adecuado es el polipropileno en condiciones normales, ya que esta muestra tuvo un comportamiento más estable con respecto a las otras, a lo largo del periodo de estabilización.
- No es recomendable el envasado en condiciones de vacío debido a que la succión de la maquina provoca el desmenuzamiento dándole mal aspecto. Además la porosidad de la superficie del producto provoca la ruptura del envase y esto lleva a la perdida de vacío y aumento de riesgo de contaminación microbiana.
- Se realizaron análisis microbiológicos, para determinar presencia de coliformes totales obteniendo 0 NMP/g (número más probable por gramo), también se analizó presencia de levaduras y mohos donde el resultado fue 1NMP/g. Estos parámetros entran dentro de los permitidos según norma *Coguanor NGO34196* para Cereales de Desayuno Preparados Listos para Servir cuyo límite es $< 1 \times 10^3$ ufc/g, y según la Norma Microbiología para Cereales en Copos o Expandidos para Desayuno el cual tiene como límite 10^2 ufc/g

5.2. RECOMENDACIONES

Por el grado de aceptación que tuvo el producto final, y las recomendaciones obtenidas por parte de los jueces por medio de los test de evaluación sensorial, se recomienda la implementación de una planta piloto procesadora de cereales extruidos para desayuno escolar en el departamento de Tarija.

Se recomienda también la elaboración de cereal extruido para desayuno utilizando otras materias primas como ser la utilización de harina compuesta de arroz, quinua, haba, cebada, etc.; como otras opciones para enriquecer las harinas compuestas.

Por otra parte, se recomienda la implementación de programas de cultivo para incentivar la producción de amaranto o coime, sobre todo en la zona alta; con el fin de disponer de este tipo de cereal tan completo y rico en nutrientes. Para ser implementado en la dieta alimentaria de niños en etapa escolar.