

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

“PROCESO DE EXTRUSIÓN Y PELLETIZACIÓN DE ALIMENTOS”

Presentado por:

MICHAEL ROMERO GUIA

Lima – Perú

2018

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

TITULACIÓN POR EXAMEN PROFESIONAL

Trabajo Monográfico:

“PROCESO DE EXTRUSIÓN Y PELLETIZACIÓN DE ALIMENTOS”

Presentado por:

MICHAEL ROMERO GUIA

Sustentado y aprobado ante el siguiente jurado:

M. Sc. Walter Francisco Salas Valerio

PRESIDENTE

Mg. Sc. Fanny Ludeña Urquiza

MIEMBRO

Dra. Ana Aguilar Galvez

MIEMBRO

Mg. Sc. Gloria Pascual Chagman

TUTOR

Lima – Perú

2018

ÍNDICE

RESUMEN DEL TRABAJO

ABSTRACT

I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. EXTRUSIÓN.....	2
2.1.1. DEFINICIÓN.....	2
2.1.2. CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES.....	4
2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN	6
2.1.4. EFECTOS DE LA EXTRUSIÓN	8
2.1.6. APLICACIONES DE LA EXTRUSIÓN	19
2.2. PELLETIZADO.....	20
2.2.1. VARIABLES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL ALIMENTO PELLETIZADO	23
2.3. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS.....	23
2.3.1. MOLINO DE MARTILLOS	23
2.3.2. MEZCLADOR DE CINTAS.....	24
2.3.3. ACONDICIONADOR.....	26
2.3.4. ENFRIADOR.....	27
III. DESARROLLO DEL TEMA	29
3.1. ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO EN PELLETS	29
3.2. ELABORACIÓN DE HARINA INTEGRAL DE SOYA	34
IV. CONCLUSIONES	36
V. RECOMENDACIONES.....	37
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	38

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Distribución de los principales componentes del maíz.....	16
--	-----------

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Cortes de un extrusor de un solo tornillo y uno de tornillos gemelos.	6
Figura 2: Proceso representativo de expansión directa en un extrusor (ángulo del tornillo ϕ en grados, densidad del material ρ en g/cm^2 , avance del torillo t en mm, presión del barril P en libras por pulg ² manométricas).	8
Figura 3: Maíz no procesado y maíz extrusionado (mayoría de gránulos están gelatinizados).....	9
Figura 4: Estructura de un grano de Maíz.	15
Figura 5: Pelletizadora.....	21
Figura 6: Formación de pellets.	21
Figura 7: Diagrama de flujo de elaboración de alimento pelletizado.	22
Figura 8: Interior molino de martillos.	24
Figura 9: Mezclador de Cintas.	25
Figura 10: Acondicionador.	27
Figura 11: Enfriador.....	28
Figura 12: Sistema MFS.	33
Figura 13: Alimento pelletizado.	33
Figura 14: Harina integral de soya.....	35

RESUMEN DEL TRABAJO

Los procesos de extrusión y pelletizado pueden provocar diversos cambios sobre los parámetros físicos, químicos y calidad de productos elaborados a partir de diversos cereales. Estos se ven principalmente afectados por las fuerzas de corte, temperaturas generadas durante el proceso, humedad de alimentación, tiempos de residencia, lo cual provoca modificaciones en la calidad de los productos que se deseen obtener. En el presente trabajo se analizarán algunas de estas modificaciones, los factores que afectan la producción, las ventajas de estos procesos y se detallaran los procesos de: extrusión en la producción de harina integral de soya y pelletizado en la producción de alimentos balanceados para pollos y pavos.

Palabras Clave: Alimento balanceado, calidad pellets, harina integral de soya, maíz, molino de martillos, sistema MFS.

ABSTRACT

The processes of extrusion and pelletization can cause diverse changes on the physical parameters, chemists and quality of products elaborated from diverse cereals. These are mainly affected by the cutting forces, temperatures generated during the process, feed humidity, residence times, which causes changes in the quality of the products that one wishes to obtain. In the present work we will analyze some of these modifications, the factors that affect the production, the advantages of these processes and will detail the processes of: extrusion in the production of integral soybean meal and pelletizing in the production of balanced feed for chickens and turkeys.

Keywords: Balanced food, pellets quality, whole soybean flour, corn, hammer mill, MFS system.

I. INTRODUCCIÓN

El sector avícola es el principal proveedor de proteína animal del Perú, pues aporta el 67 por ciento de lo que consume la población y representa el 1,5 por ciento del PBI local.

El Perú y en particular la franja costera es un territorio que ofrece condiciones favorables para la crianza avícola; sin embargo el hecho de tener que importar la mayor parte de los insumos que se usan en la crianza nos reta siempre a mejorar nuestra productividad para ser más competitivos.

Hoy en día si una empresa avícola quiere mejorar sus parámetros productivos y su rentabilidad, tiene que optimizar la utilización del alimento, ya que este representa el 60-70 por ciento del total de costo de producción. Por este motivo, la utilización de alimento pelletizado en la industria, ha tomado mucha importancia en las últimas décadas, pues los estudios indican que lleva a una mejor eficiencia alimentaria.

La extrusión puede modificar distintos materiales alimenticios para producir una diversidad de nuevos productos en distintos sectores (alimentación animal, botanas, cereales para desayuno, productos para confitería, alimentación infantil, análogos de carne, etc.). Asimismo, se trata de una actividad compatible con otras aplicaciones de mejora de los productos existentes (sensoriales, nutricionales, ingredientes funcionales, estabilidad, etc.), o con actividades de valoración de la aptitud de nuevos ingredientes, al procesado mediante extrusión.

El objetivo de este trabajo es describir los procesos de extrusión y pelletización de alimentos y los objetivos específicos son detallar los cambios fisicoquímicos durante los procesos de extrusión y pelletización; y detallar las materias primas y equipos utilizados durante los procesos de extrusión y pelletización.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. EXTRUSIÓN

2.1.1. DEFINICIÓN

Harper (1981) define la extrusión como el moldeo de un material por forzamiento, a través de muchas aberturas de diseño especial, después de haberlo sometido a un previo calentamiento; asimismo menciona que la cocción – extrusión combina el calentamiento con el cocimiento y formación de alimentos húmedos, almidonosos y proteicos.

Durante el proceso de extrusión, el alimento es trabajado y calentado por una combinación de fuentes de calor, incluyendo la energía disipada por fricción al girar el tornillo, o inyección de vapor directo a lo largo de la cámara. La temperatura del producto supera la temperatura de ebullición normal, pero no ocurre evaporación debido a la elevada presión que existe. Durante el paso de los ingredientes alimenticios a lo largo del extrusor, son transformados de un estado granular a una masa continua. Esta transformación, descrito como cocción, involucra la ruptura de los gránulos de almidón, la desnaturalización de las moléculas de proteína, y otras reacciones que pueden modificar las propiedades nutricionales, de textura y organolépticas del producto final.

En la descarga del extrusor, la pasta cocida a alta temperatura y presurizada es forzada a través de una pequeña abertura llamada boquilla, que permite dar forma al producto.

La caída de presión a la salida, ocasiona la expansión y la evaporación de la humedad en el producto (Harper y Hansen, 1988).

La extrusión es un proceso que combina diversas operaciones unitarias como el mezclado, la cocción, el amasado y el moldeo. El objetivo principal de la extrusión consiste en ampliar

la variedad de los alimentos que componen la dieta elaborando a partir de ingredientes básicos, alimentos de distinta forma, textura y color; como harinas instantáneas (Fellows, 1994).

La extrusión, además se caracteriza por ser una técnica eficiente y con múltiples ventajas en la cocción de cereales, por ejemplo: inactivación térmica de inhibidores y factores que alteran la digestibilidad o el gusto; interacción entre proteínas y demás ingredientes, producción de un alimento sanitariamente adecuado, alta estabilidad del almacenaje, posibilidad de dar formas y textura diferentes, agregar diversos sabores, colores. El objetivo general de la extrusión de alimentos puede ser variado: lograr la cocción, pasteurización, expansión, reducción de humedad, homogeneización y/o reestructuración (Apró *et al.*, 2000; González *et al.*, 2002).

La cocción por extrusión es una forma especializada, y única en el procesado de materiales amiláceos debido a que se trata de una cocción a relativamente bajos niveles de humedad, comparado con el horneado convencional o la cocción de masas y pastas. Los niveles normales de humedad utilizados están en el intervalo de 10-40 por ciento y a pesar de estos bajos valores de humedad el material se transforma en un fluido dentro del extrusor. Bajo estas condiciones las características físicas de las materias primas, tales como el tamaño de partícula, la dureza y el grado de plastificación alcanzado durante el proceso de extrusión llegan a ser determinantes para la transformación final del material. Otra característica de la cocción por extrusión, como ya se dijo, es que resulta ser un proceso HTST pero que además, debido a los esfuerzos de corte que se desarrollan durante el transporte del material en el extrusor, la temperatura se eleva rápidamente (conversión de energía mecánica en calor por flujo viscoso) y así la estructura del material sufre transformaciones profundas en pocos segundos. La masa de partículas (harina de cereales y/o legumbres) más o menos hidratada, es convertida en un fluido de muy alta viscosidad. A medida que ese fluido es transportado, los elevados esfuerzos de corte en combinación con la alta temperatura, transforman a los elementos estructurales del material, es decir a los gránulos de almidón y a las estructuras proteicas.

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

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

2.1.2. CLASIFICACIÓN DE EXTRUSORES

Según Sharma (2003) existen fundamentalmente dos extrusores continuos de tornillo que se utilizan en la industria alimentaria y la de los alimento para mascotas: el extrusor de un solo tornillo y el extrusor de tornillos gemelos.

a. EXTRUSORES DE UN SOLO TORNILLO

Es un extrusor monotornillo, la única fuerza que mantiene el material girando con el tornillo y avanzando hacia adelante es la fricción contra la superficie interna del barril o cilindro. Este hecho tiende a limitar las formulaciones que es posible extruir con un extrusor monotornillo; las formulaciones con un contenido alto de humedad y ricas en grasas podrían ser difíciles de extruir con un extrusor de esa clase.

El flujo en un extrusor monotornillo es una combinación de flujo viscoso (arrastre) y por presión. El flujo viscoso resulta del arrastre viscoso y es proporcional a la velocidad del tornillo. El flujo por presión en la dirección contraria es causado por una presión mayor en el extremo del dado del extrusor. La mezcla de los ingredientes dentro del canal del monotornillo también es limitada porque, por lo general, existen condiciones de flujo laminar. Dichas limitaciones pueden superarse empleando barriles con superficies internas estriadas y un diseño de tornillo de vueltas cortadas. La contrapresión incrementada detrás del dado también puede ayudar a mejorar el rendimiento en cuanto a mezcla. Los extrusores monotornillo parecen ser el modelo preferido para producir alimentos para peces, alimentos para mascotas y pastas.

b. EXTRUSORES DE TORNILLOS GEMELOS

Como su nombre indica, consisten en dos tornillos que se endentan. Según la dirección relativa de la rotación del tornillo, se dividen en los que giran en mismo sentido y los que giran en sentido contrario. Por lo general, los tornillos que giran en dirección contraria funcionan como una bomba de desplazamiento positivo debido a una cámara cerrada en forma de C formada por los dos tornillos, que progresa desde la alimentación al extremo del dado y evita la filtración de material de un tornillo a otro. Sin embargo, esto también disminuye el grado de mezcla y acorta la distribución del tiempo de residencia, de modo que se aproxima al flujo pistón. El endentamiento de los tornillos y su perfil de presión también determina velocidades del tornillo bastante bajas y, correspondientemente, velocidades de corte bajas. Por lo tanto, estos extrusores se emplean para materiales sensibles a la temperatura que requieren procesamiento uniforme a bajas velocidades de corte totales y con una estrecha distribución de tiempo de residencia. Este tipo de extrusores son particularmente útiles para procesar materiales de baja viscosidad, suspensiones o azúcares y gomas de rápida solubilización en los que la presión alta es útil. A menudo se citan como la máquina preferida para los tipos de procesos que incluyen “biorreactores” y se utilizan para la producción de dulce de regaliz (licorice).

En los extrusores de tornillos gemelos que giran en el mismo sentido, no se forman cámaras cerradas y las vueltas de tornillo combinadas producen pasajes que permiten que el material se mueva de un canal de tornillo a otro. En consecuencia, no se crea una presión tangencial, y cuando la presión es alta en un tornillo, es baja en el otro. Así, los tornillos que giran en el mismo sentido forman canales axialmente abiertos y permiten el intercambio de material a lo largo de la máquina. No hay puntos de presión localizados y los pequeños claros entre los tornillos les dan a estos una acción autolimpiadora. Tienen un grado más bajo de acción conductora positiva, pero mejores capacidades de mezcla. Los tornillos que giran en el mismo sentido pueden operarse a velocidades más altas en comparación con los extrusores de tornillos que giran en dirección contraria y, por lo tanto, resultan apropiados para los procesos de cocimiento por extrusión de esfuerzos cortantes altos. En conjunto, los extrusores cogitatorios se consideran como los más útiles para los fabricantes que producen una

variedad de productos. Sus buenas características de mezcla, velocidades de tornillos altas y velocidades de producción aceptables han hecho de los extrusores de tornillos gemelos una opción popular para las industrias de las botanas y los cereales para el desayuno. En la figura 1 se muestran los cortes de un extrusor de un solo tornillo y uno de tornillos gemelos.

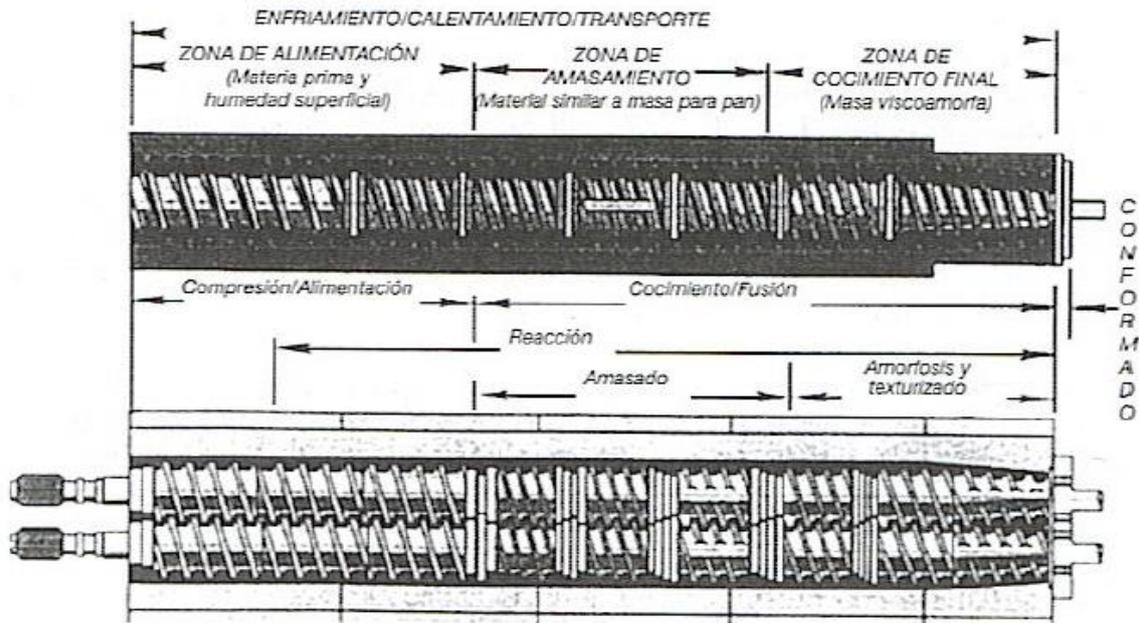


Figura 1: Cortes de un extrusor de un solo tornillo y uno de tornillos gemelos.

FUENTE: Sharma (2003).

2.1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN

Un sistema de extrusión consta de varios subcomponentes. Una tolva proporciona una zona de amortiguamiento a la materia prima en la entrada, de modo que el extrusor opere de manera continua sin interrupción. Se utiliza un tornillo de alimentación de velocidad variable para descargar material uniforme y continuamente a partir de la tolva y llevarla al extrusor. Algunas veces se utiliza un cilindro preconditionador para mezclar con anticipación vapor y/o agua con la alimentación no elaborada. De manera ideal, el tiempo de retención aquí es suficiente, de modo que cada partícula de cereal alcanza el equilibrio en temperatura y humedad. El barril mismo del extrusor consta de cabezas encamisadas que tienen los tornillos giratorios. Las cabezas se calientan mediante cartucho eléctrico, vapor,

agua caliente o aceite térmico y se enfrían por agua o un medio de enfriamiento.

Las varias operaciones de calentamiento, enfriamiento, transporte, alimentación, compresión, reacción, mezcla, homogeneización, fusión, cocimiento, texturización y conformación se llevan a cabo en las distintas zonas de procesamiento de un extrusor. Los principales componentes de un extrusor son como sigue:

Zona de alimentación. En esta área introducen materiales crudos de baja densidad global de masa en el cilindro del extrusor. La velocidad de alimentación total es limitada por la capacidad de los tornillos de esta sección para transportar la alimentación seca. Si se utiliza calentamiento del barril, es común que se inyecte agua corriente debajo de la zona de alimentación a fin de hidratar los biopolímeros y posiblemente aumentar la transferencia conductiva de calor.

Zona de amasamiento. En esta zona continua la compresión, y los tornillos del extrusor empiezan a alcanzar un mayor grado de llenado conforme disminuye el paso del tornillo. La materia prima pierde su textura de identidad granular y su densidad empieza a aumentar conforme lo hace la presión en el interior del cilindro. El corte empieza a adquirir importancia conforme el tornillo se llena. Para contribuir al cocimiento, también se puede inyectar vapor. La zona de amasamiento es básicamente una zona de transición entre la materia prima particulada y el material viscoelástico homogéneo encontrado en la zona de efusión.

Zona de cocimiento final. En esta área, comúnmente la temperatura y la presión aumentan de manera muy rápida debido a la presencia del dado y al paso pequeño del tornillo. La transformación final de la materia prima también ocurre aquí, lo que afecta de manera importante la densidad, el color y las propiedades funcionales del producto final.

Dado. El producto realmente se forma al pasar a través de un dado o matriz y posiblemente un mecanismo de corte fijado directamente al extrusor. Para fijar la longitud y forma finales del producto se utilizan dispositivos adicionales de post-extrusión. El dado también tiene una función importante en los productos esponjados al promover una repentina evaporación

de humedad en forma de vapor. Algunas propiedades importantes de los productos inflados son la densidad global de masa y de partícula, la textura y la porosidad. En la figura 2 se muestra un proceso representativo de expansión directa en un extrusor.

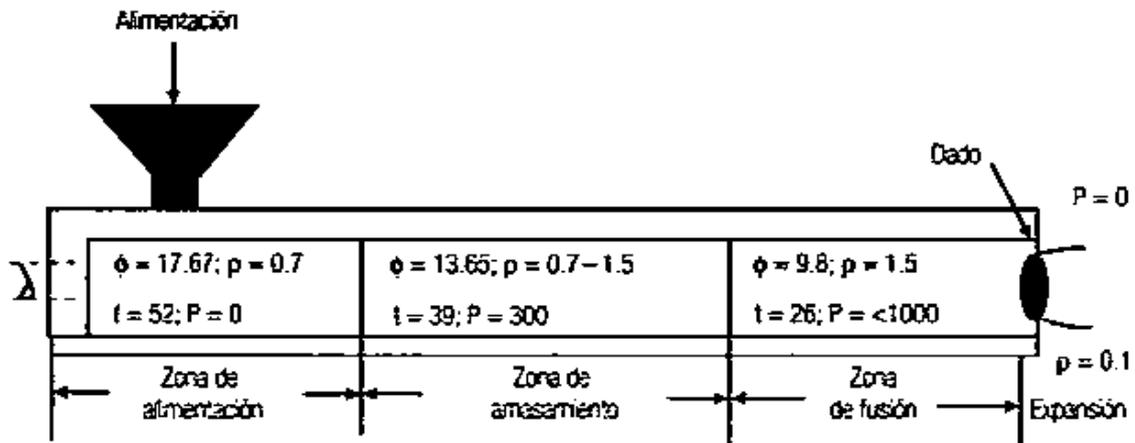


Figura 2: Proceso representativo de expansión directa en un extrusor (ángulo del tornillo ϕ en grados, densidad del material ρ en g/cm³, avance del torillo t en mm, presión del barril P en libras por pulg² manométricas).

FUENTE: Sharma (2003).

2.1.4. EFECTOS DE LA EXTRUSIÓN

a. EFECTO EN EL ALMIDÓN

Los cambios producidos en el almidón, durante el proceso de extrusión combinado con la cantidad de humedad presente, la temperatura la que se está llevando a cabo el proceso, la morfología, el tamaño de la partícula de la harina y del polisacárido, afectan la textura y porosidad del producto extruido. Así también, la relación amilosa/amilopectina son factores determinantes para obtener el producto final. Las modificaciones, que sufre el almidón en este proceso son la fusión, gelatinización, fragmentación y dextrinización (Pérez-Navarrete *et al* 2007).

Fellows (1994) sostiene que durante la extrusión en caliente de los alimentos almidonosos, su humedad se incrementa por acción del agua y el almidón se somete

a elevadas temperaturas e intensas fuerzas de cizalla. Como consecuencia los gránulos de almidón se hinchan absorben agua y se gelatinizan, y su estructura macromolecular se abre dando lugar a una masa viscosa y plástica. Ello hace que el almidón, sin apenas degradarse, se haga más soluble. Los cambios que se producen en su solubilidad en diferentes condiciones de temperatura e intensidad de fuerza de cizalla necesaria se mide mediante “el índice de absorción de agua (WAI)” y “la solubilidad en agua característica (WSI)”. El WAI de los cereales y sus derivados generalmente aumenta, a medida que aumenta la intensidad del proceso alcanzando su máximo a 180-200 °C, pero en cambio el WSI descende.

En el proceso de extrusión, el gránulo de almidón absorbe agua y en el instante de salida de la matriz de la extrusora, el agua sometida a presión pasa a la forma de vapor y el almidón sufre un proceso de alineamiento, rizado y rotura tal como se muestra en las fotografías siguientes. En la figura 3 se muestra la fotografía del almidón de un maíz no procesado y uno extrusionado.

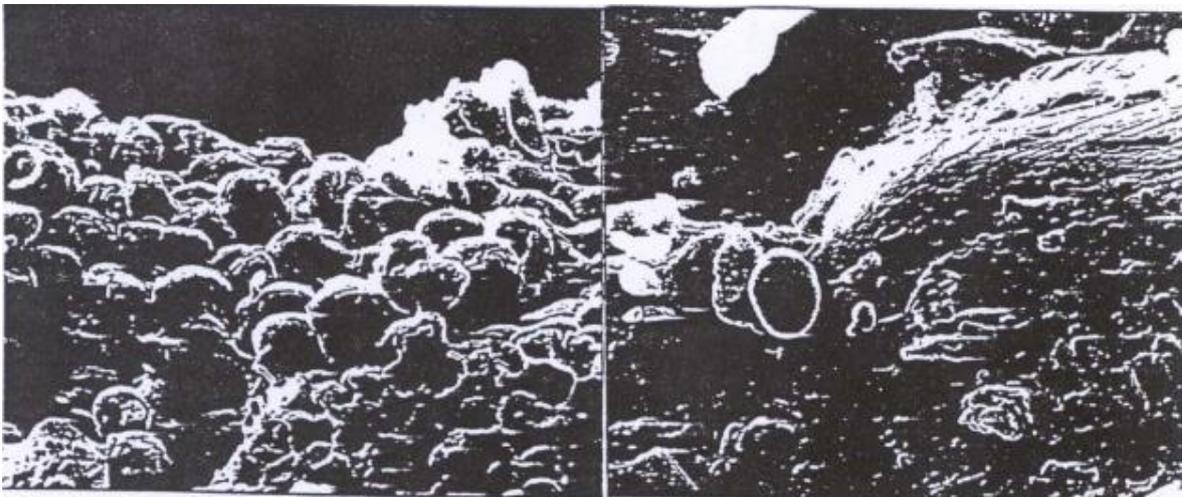


Figura 3: Maíz no procesado y maíz extrusionado (mayoría de gránulos están gelatinizados).

FUENTE: Valls, A. (1993).

Según Cisneros (2000) las modificaciones del almidón durante el proceso de extrusión son las siguientes:

- Desintegración del granulo (formación del fluido viscoelástico)
- Gelatinización/fusión de regiones cristalinas (formación del fluido viscoelástico)
- Fragmentación de la molécula (afecta la textura: menos pegajoso)
- Interacción almidón proteína.

b. EFECTO EN LAS PROTEÍNAS

Cisneros (2000) nos indica que durante la extrusión se realiza diversas reacciones con las proteínas como: la reacción de Maillard por la presencia de azúcares reductores, desnaturalización de proteínas, ruptura y formación de enlaces químicos intermoleculares (peptídicos y disulfuro) y formación de complejos proteína-carbohidrato y proteína-lípidos.

Según Cisneros (2000) indica que la extrusión tiende a mejorar la digestibilidad de proteínas de origen vegetal por dos razones: inactivación de inhibidores de proteasas y desnaturalización de proteínas. Existe pérdida del aminoácido lisina pero que está en función a dos factores: las condiciones de extrusión (ejemplo: extrusión con tiempo de residencia más cortos de 20 a 40 s la pérdida de lisina es del 3% durante el preacondicionado si se da de 2 a 8 minutos y a temperaturas elevadas mayores a 116 °C la pérdida es de 13% de lisina) y a la reacción de Maillard por la presencia de azúcares reductores.

Con respecto a las proteínas de la materia prima, el proceso de extrusión inactiva los inhibidores de crecimiento para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino. Este proceso favorece la disponibilidad de lisina y reduce el contenido de factores antitróficos en el producto (Meneses *et al.*, 2007).

c. EFECTO EN LOS LÍPIDOS

Cisneros (2000) indica que algunos lípidos forman complejo con la amilosa lo cual reduce el carácter pegajoso del extruido caliente a base de almidón (mucho más fácil

de manipular). Asimismo manifiesta lo siguiente:

- Niveles de 0,5 a 1 por ciento da lubricidad al producto evita que el almidón se degrade a humedades menores a 25 por ciento y que se vuelva pegajoso y que aumente la posibilidad de bloqueo del flujo.
- Reduce la expansión del pellet (conserva la estructura celular a niveles de grasa altos cuando la humedad es de 30-35 por ciento).
- Decrece la cantidad de grasa extraíble (se extrae 40-55 por ciento de la materia prima original y existe formación de complejos amilosa - lípidos, proteínas - lípidos).
- Da estabilidad al producto aunque el resultado es contradictorio ya que inactiva lipasas, se producen productos de la reacción de Maillard, existe auto oxidación y destrucción de antioxidantes naturales.

Las grasas, en el proceso de extrusión se emulsifican, debido a la presión inyectada con el agua, esto causa un efecto encapsulador de la grasa en el alimento. Por lo que si se requiere determinar el porcentaje de grasa en los productos obtenidos por extrusión, será necesario utilizar el método de hidrólisis ácida y extraer la grasa por medio de un solvente etéreo (Meneses *et al.* 2007).

d. EFECTO EN LAS VITAMINAS

Cisneros (2000) menciona que los carotenoides (vitamina A), la vitamina D y la vitamina E son significativamente afectados en su estabilidad durante el proceso de extrusión. Asimismo manifiesta que el contenido de humedad tiene un gran efecto sobre la estabilidad de las vitaminas durante el proceso de extrusión, por lo general a mayor humedad la pérdida de vitaminas es menor.

Las pérdidas de vitamina C pueden ser de hasta el 50 por ciento de acuerdo con las condiciones de la extrusión.

Las pérdidas vitamínicas de los elementos extruidos dependen del tipo de alimento,

de su contenido de agua y del tiempo de la temperatura de tratamiento. Sin embargo, por lo general, en la extrusión en caliente y el enfriamiento rápido del producto a la salida de la boquilla, hacen que las pérdidas vitamínicas, y en aminoácidos esenciales sean relativamente pequeñas.

e. EFECTO EN LAS FIBRAS

Existen pocos datos publicados del efecto de la extrusión sobre la fibra, aunque se haya estudiado. Así por ejemplo para el caso del trigo se puede decir que la fibra del producto se solubiliza, incrementando la disponibilidad para su fermentación. Así por ejemplo cuando se extrusiona salvado el contenido en fibra soluble se incrementa significativamente. Varias observaciones indican que las paredes de las celulosas del producto extrusionado se adelgazaron y la superficie era más rugosa que la inicialmente de partida. Para conseguir efectos significativos sobre la fibra hay que procesar los productos bajo condiciones muy severas, cosa que no ocurre en condiciones de trabajo normales (Valls, 1993).

f. EFECTO EN LOS FACTORES ANTI-NUTRICIONALES

El término factores anti-nutricionales se utiliza para calificar a aquellos compuestos que afectan el valor nutricional de algunos alimentos, especialmente semillas, pues dificultan o inhiben la asimilación de nutrientes que provienen de alimentos generalmente de origen vegetal (proteínas y minerales). Son sustancias naturales no fibrosas, generadas por el metabolismo secundario de las plantas como mecanismo de defensa a situaciones estresantes o contra el ataque de mohos, insectos, bacterias y aves (Elizalde *et al.*, 2009).

Las leguminosas contienen inhibidores de enzimas digestivas, lo cual implica una menor disponibilidad de los aminoácidos y un detrimento en el valor nutricional en las semillas crudas o sin procesamiento térmico apropiado (Davila *et al.*, 2003).

2.1.5. MATERIAS PRIMAS PARA LA COCCIÓN POR EXTRUSIÓN

Las tecnología de cocción por extrusión se utilizan en el procesado de cereales y proteínas en los sectores de alimentación y, sectores relacionados estrechamente, alimentación para animales domésticos y piensos.

Los alimentos extrusionados y piensos se producen a partir de una amplia y diversas gamas de alimentos crudos. Contienen materiales con papeles funcionales diferentes en la formación y estabilización de los productos extrusionados, y proporcionan color, aromas y cualidades nutricionales encontradas en tipos de productos diferentes.

Todos los productos alimentarios y piensos tienen estructuras básicas que se forman mediante ciertos elementos en las materias primas tales como biopolímeros de almidón y proteínas en los productos horneados, o grasa y azúcar en confitería. Los elementos estructurales forman jaulas tridimensionales o nidos de vigas maestras en que los otros materiales se sujetan para formar la textura del producto. Los productos extrusionados se forman a partir de biopolímeros naturales de las materias primas tales como harinas de cereales y tubérculos que son ricos en almidón, o legumbres de semillas oleaginosas y otras fuentes ricas en proteínas. Los materiales más comúnmente utilizados son harinas de trigo y maíz, pero también se pueden utilizar muchos otros materiales tales como harina de arroz, patata, centeno, cebada, avenas, sorgo, yuca, tapioca, alforfón, harina de guisante y otros materiales relacionados.

a. SOYA

La soya es la principal fuente de proteína vegetal y un componente importante de los alimentos balanceados que se usan en la nutrición animal en el mundo (Tobía *et al.*, citado por Moretto, 2015).

El grano de soya consiste de dos cotiledones, los cuales representan el 90 por ciento del peso, una cubierta de la semilla o cáscara (8% del peso) y dos estructuras mucho más pequeñas y livianas, el hipocótilo y la plúmula.

Los cotiledones contienen las proteínas y lípidos (aceites) que constituyen el principal componente nutricional de los productos obtenidos del grano de soya. También son la principal área de almacenamiento para los carbohidratos y varios otros componentes de importancia, en particular las enzimas (lipoxigenasa, ureasa) y los factores anti-nutricionales (estaquiosa, rafinosa, inhibidores de tripsina, lectinas, saponinas) (Van Eys, citado por Moretto, 2015).

El grano de soya posee un contenido promedio en los últimos años de 38.7 por ciento de proteína y 22.7 por ciento de lípidos (Cuniberti *et al.*, citado por Moretto, 2015).

En cuanto a su rendimiento industrial, el grano de soya rinde aproximadamente 19 por ciento de aceite, 73 por ciento de harina, 7 por ciento de cáscara y 1 por ciento de otros (cenizas, etc.) (Giancola *et al.*, citado por Moretto, 2015).

b. MAÍZ

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

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

La estructura anatómica de los cereales es básicamente similar, diferenciándose un cereal de otro solamente en ciertos detalles. Los granos de trigo, centeno y maíz están

compuestos por una cubierta llamada pericarpio, un germen localizado en un extremo y un endospermo localizado en el centro de la semilla o grano. Los granos de avena, cebada y arroz contienen además, la envoltura del fruto o semilla denominada gluma, que constituye la cáscara.

Se destacan entre ellas: el Pericarpio que es la cubierta externa de la semilla, fruto ó grano; la Aleurona que es una capa de células que corresponde al endospermo; el Endospermo que es el sitio en donde se encuentran las reservas de la semilla cuyos componentes principales son los gránulos de almidón y las proteínas; el germen o embrión donde se encuentra especialmente la materia grasa y la maquinaria biológica para la germinación y el pedicelo que es el tejido remanente por donde se conecta el grano con el marlo. En la figura 4 se muestra la estructura de un grano de maíz.

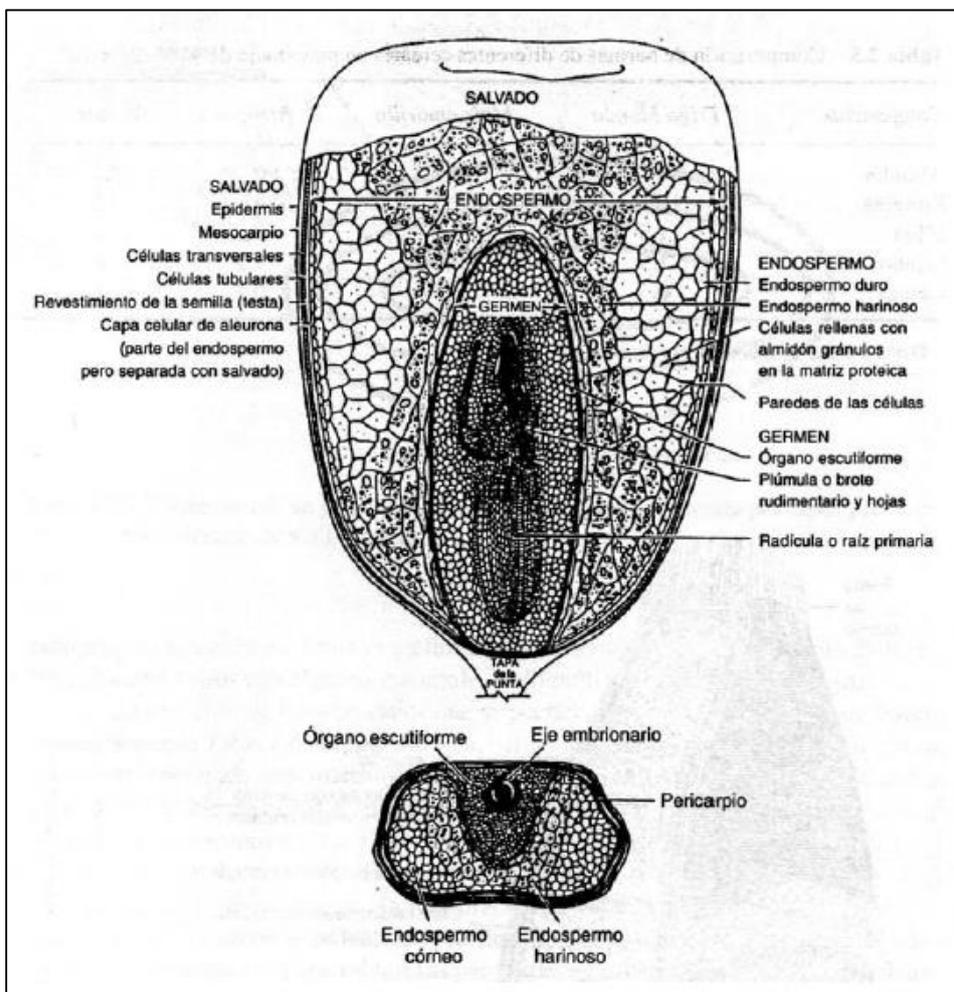


Figura 4: Estructura de un grano de Maíz.

FUENTE: Percibaldi (2003).

La composición química promedio de estas partes principales se muestra en el Cuadro 1. El endospermo contiene la mayor parte del almidón, el germen, los lípidos, y el pericarpio y el pedicelo están constituidos fundamentalmente por carbohidratos estructurales y no digeribles.

Cuadro 1: Distribución de los principales componentes del maíz

COMPONENTES	%	COMPOSICIÓN CENTESIMAL EN BASE SECA			
		ENDOSPERMO	GERMEN	PERICARPIO	PEDICELO
Almidón	62,0	87,0	8,3	7,3	5,3
Proteína	7,8	8,0	18,4	3,7	9,1
Lípidos	3,8	0,8	33,2	1,0	3,8
Cenizas	1,2	0,3	10,5	0,8	1,6
Otros*	10,2	3,9	29,6	87,2	80,2
Agua	15,0	-	-	-	-

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

FUENTE: Cheryan y Shukla (2001).

c. TRIGO

El trigo (*Triticum vulgare*) es el cereal más ampliamente cultivado en el mundo y es característico de la dieta mediterránea, se usa generalmente en forma de harina fina para la fabricación de productos extruidos. El trigo tiene muchas variedades que varían en función de la textura del endospermo, según sea blando o duro.

Los gránulos de almidón dentro de la familia del trigo se clasifican en dos categorías: granos largos tipo A (20-40 micras). y granos cortos tipo B (1-10 micras).

Nutricionalmente el trigo aporta un 61 por ciento de hidratos de carbono, (8-15%) de proteínas, 10 por ciento de fibra y solo un 2 por ciento de lípidos.

El trigo contiene vitaminas, principalmente del grupo B (B1, B2, B3, B6, ácido fólico) y vitamina E. Y entre los minerales que posee, los de mayor contenido son:

potasio, fósforo, magnesio y calcio. El aporte energético del trigo es de 249 kcal por cada 100 g.

Dentro de los cereales, el trigo es el que tiene una concentración relativa más alta en proteínas (8-15%) sin embargo esta concentración puede ser modificada durante la operación de molienda por técnica de separación. Las proteínas son principalmente gluteninas y gliadinas insolubles en agua con una proporción pequeña de albúminas y globulinas. El gluten, que se forma cuando el cereal sufre un proceso de desnaturalización por alta temperatura puede sufrir reacciones químicas con otros componentes como azúcares reductores. Estas reacciones darán lugar a una pérdida aminoácidos esenciales. (Robles, 2013).

d. ARROZ

El arroz (*Oriza, sp*) después del trigo es el cereal más consumido en el mundo por el ser humano y es el primero en Asia. El arroz tiene muchas variedades que se distinguen por la morfología del grano y la textura del endospermo. En términos generales la mayoría de los granos tienen un endospermo de textura dura. Esta región muestra una fuerte unión entre la superficie del almidón y las proteínas, hay una pequeña zona donde se producen entradas de aire.

El gránulo de almidón es de tamaño muy pequeño de 2 a 8 μm y tiene forma poligonal, tienden a presentarse en pequeños grupos de 5 a 8 gránulos unidos.

El componente mayoritario, como en todos los cereales, son los hidratos de carbono (87%). Contiene un 8 por ciento de proteínas y un 1,4 por ciento de fibra. El contenido proteico es inferior al de otros cereales, aunque de calidad superior, la grasa es prácticamente inexistente (0,6%).

La mayor parte de las vitaminas (principalmente del grupo B, como el ácido fólico) y minerales como el potasio, fósforo magnesio y calcio, se encuentran en las capas externas. El arroz aporta 361 kcal por cada 100 g (Robles, 2013).

e. AVENA

La avena (*Avena sativa*) posee un grano con gran interés nutricional por su contenido en fibra soluble, posee un 66,3 por ciento de hidratos de carbono, pero además es un cereal muy valorado por su riqueza en proteínas (16,9%) y aminoácidos esenciales. Tiene menor representatividad que el resto de los cereales existiendo sin embargo un cierto número de variedades disponibles. Se diferencian por la morfología del grano y la composición del endospermo.

La molturación de la avena se lleva a cabo mediante un proceso especial que implica la vaporización del grano para inactiva determinadas enzimas como las lipasas, que se encuentran en las capas exteriores del grano, y un secado posterior para reducir la humedad hasta un 6-8 por ciento.

La textura del endospermo es similar a la del trigo blando por lo que se rompe fácilmente liberando el almidón. El nivel de aceite en la avena es excepcionalmente alto (7-9%) comparado con el 1-2 por ciento que poseen el resto de cereales, Este aceite compuesto principalmente por ácido oleico (característico en el aceite de oliva) y linoléico, aporta una calidad nutricional buena para determinados productos, pero presenta también problemas de oxidación (rancidez).

En el proceso de extrusión, supone un problema ya que el aceite actúa como lubricante y a niveles del 7 al 9 por ciento ocasiona efectos importantes en procesos en los que se opera a baja humedad.

La avena contiene un 10,6 por ciento de fibra y se caracteriza por su contenido en beta - glucano, que es un tipo de fibra soluble. En cuanto a su contenido vitamínico, la avena posee vitaminas del grupo B, como el ácido fólico y vitamina E. Con respecto al contenido mineral, la avena posee mayor cantidad de calcio, hierro y zinc que el resto de los cereales. Por último, el aporte energético de la avena es de 378 kcal por 100 g (Robles, 2013).

2.1.6. APLICACIONES DE LA EXTRUSIÓN

El proceso de extrusión ofrece muchas ventajas sobre un amplio rango de aplicaciones; las que se podrían dividir en tres áreas:

a. ALIMENTOS PARA CONSUMO HUMANO

Muchos alimentos para consumo humano, precocidos y/o preformados, son elaborados hoy en día en extrusores para alimento. Cereales listos para comer, snack expandidos, sustitutos de empanados, salsas sopas, harinas de soya y proteína vegetal texturizada. Todos son ejemplos de alimentos procesados por extrusión.

b. ALIMENTOS PARA CONSUMO ANIMAL

Los alimentos para consumo animal y/o mascotas fueron las primeras aplicaciones que se realizaron en los extrusores cocinadores.

Hoy en día existe una diversidad de productos semi húmedas, expandidos secos, expandidos húmedos para mascotas.

El proceso de extrusión de los ingredientes para alimentos de consumo animal aumenta la digestibilidad y capacidad nutricional de los cereales y semillas oleaginosas proteicas. Además, la cocción por extrusión destruye el desarrollo de inhibidores enzimáticos y microorganismos sensibles al calor y por ende produce un alimento estable.

c. USO INDUSTRIAL

Estos productos incluyen almidones gelatinizados empleados en papel adhesivo, pasta para pegado de papel pared, adhesivos para fundiciones, etc.

2.2. PELLETIZADO

La pelletización es un proceso de extrusión forzada (presión) de una mezcla previamente acondicionada (humedad y temperatura) a través de un molde o matriz con orificios que le da la forma, comúnmente cilíndrica o *pellet*, y la densidad. Este proceso proporciona un pellet denso y sumergible que representa una fórmula completa con todos sus nutrientes listos para ser consumidos.

Por lo general la pelletizadora se compone del alimentador, la cámara de acondicionamiento o preacondicionado, y la misma pelletizadora con sus otros componentes: los rodillos, el dado, motor y carcasa. El trabajo real se produce en la cámara de pelletización, que está compuesta por los rodillos, y el dado o matriz de pelletización.

En el proceso de pelletización se menciona la palabra extrusión. En el proceso de pelletización, al igual que en el de extrusión se extrude una mezcla de ingredientes a través de los orificios del dado. A diferencia de la pelletización el proceso de extrusión incluye un proceso de cocción a alta temperatura y presión, en corto tiempo (5-10 segundos) producido por la disipación de la energía mecánica la cual es transferida a la mezcla por medio de los elementos (sinfín o gusanos, las paredes del barril) del extrusor. Durante el proceso la mezcla que se alimenta al extrusor es en forma de harina; a medida que se somete a alta presión y temperatura, y a las fuerzas de corte de los elementos actúan, esta cambia hasta formar en este caso). Por eso también se le conoce como un proceso de cocción termoplástico una masa visco-elástica con características similares a un plástico derretido (fluido no newtoniano). En la figura 5 se muestra una pelletizadora, en la figura 6 la formación de *pellets* y en la figura 7 un diagrama de flujo de elaboración de alimento pelletizado.

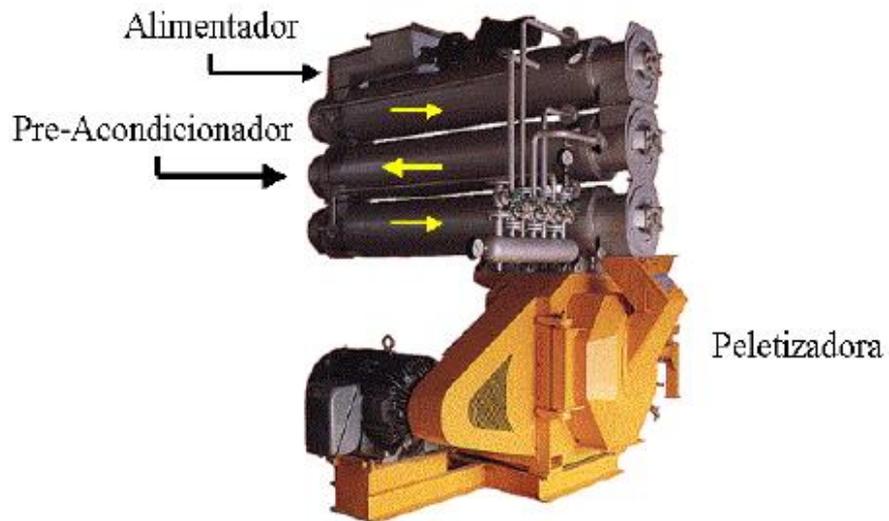


Figura 5: Pelletizadora.

FUENTE: Bortone, E. (2002).



Figura 6: Formación de pellets.

FUENTE: www.nutriciónanimal.info.

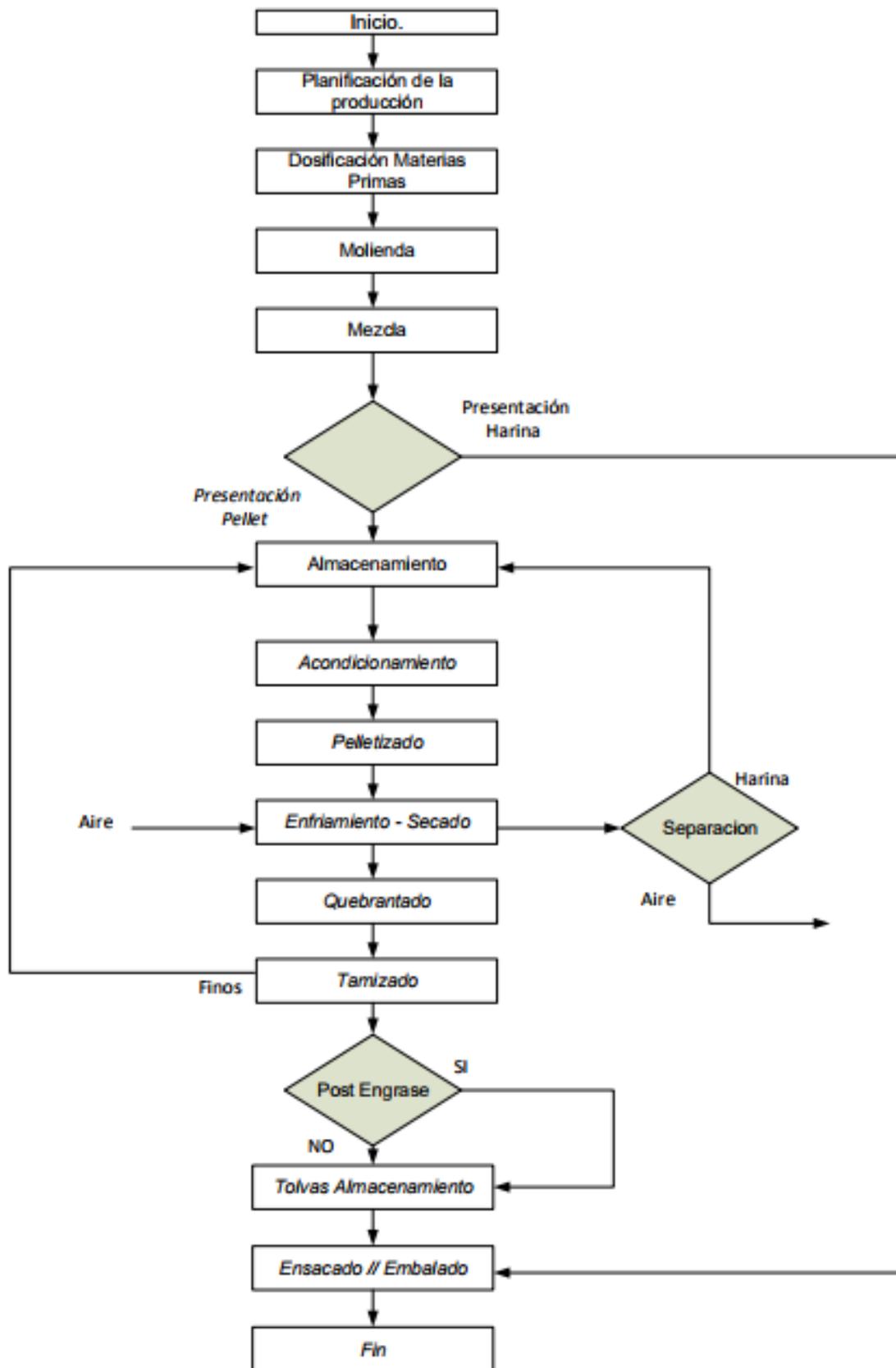


Figura 7: Diagrama de flujo de elaboración de alimento pelletizado.

FUENTE: Gonzáles S. (2015).

2.2.1. VARIABLES QUE DETERMINAN LA CALIDAD DEL ALIMENTO PELLETIZADO

a. DURABILIDAD

Capacidad relativa de los pellets para resistir la rotura durante el transporte, almacenamiento y descargue; su valor normal está dado para alimento de pollo de engorde en un rango de 91–94 por ciento. Es un valor comercial muy importante del alimento paletizado, ya que se requiere que este llegue entero desde la planta al galpón.

b. PORCENTAJE DE FINOS

Los finos corresponden a la cantidad de material que queda sin ser pelletizada y que tienen un tamaño de partícula inferior a 600 micras. Entre mayor cantidad de finos haya en el alimento, mayor será la cantidad de producto que se desperdicia en los comederos de los galpones lo que resulta una pérdida económica para los productores de pollo.

2.3. EQUIPOS UTILIZADOS EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS

2.3.1. MOLINO DE MARTILLOS

Según Niño de Guzmán (2006) Consiste en piezas (martillos) que pueden ser fijos u oscilantes, montados en un eje de rotación y disponen de una criba o malla a través de la cual pasa el producto.

La reducción de tamaño se debe a las siguientes causas:

- Explosión debido al impacto de los martillos.

- Corte por los bordes de los martillos.
- Acción de frotamiento o rozadura.

A medida que el producto pasa a través de la malla una corriente de aire suministrada por un ventilador lo coge y lo lleva al separador de donde pasa al silo o al ensacado. En la figura 8 se muestra el interior de un molino de martillos.

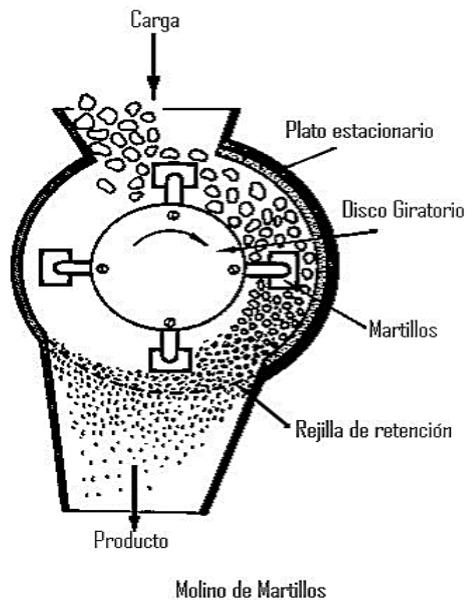


Figura 8: Interior molino de martillos.

FUENTE: Niño de Guzmán (2006).

2.3.2. MEZCLADOR DE CINTAS

Según Borbor y Crespo (2012) consiste en un tambor horizontal con un eje axial de soporte y un agitador de cintas. La rotación alrededor del eje de una sola cinta produce un movimiento radial alrededor de la parte interna del mezclador, al mismo tiempo otra cinta curvada produce un movimiento axial alrededor de la parte interna del mezclador. En la figura 9 se muestra un mezclador de cintas.



Figura 9: Mezclador de Cintas.

FUENTE: Borbor y Crespo (2012).

Bortone (2002) recomienda la siguiente la secuencia para la adición de ingredientes en el mezclado:

- **Ingredientes Mayores:** se añaden primero los de mayor cantidad (trigo, maíz, soya, etc.) y por último los de menor cantidad (afrecho, harinas de sangre, harina de pescado, etc.)

- **Ingredientes Menores:** se añaden por ultimo comenzando por el de mayor cantidad (premezclas de minerales, carbonato de calcio, etc.) y terminando con el de menor cantidad (pigmentantes, aglutinantes, premezclas vitamínicas, medicamentos).

- **Ingredientes Líquidos:** Estos ingredientes deben ser rociados en forma de cortina sobre la mayor parte de mezcla y no en chorros. La adición de líquidos como un chorro directo produce apelmazamiento de la mezcla (grumos), que a su vez pueden atrapar ingredientes menores y no permitan su distribución homogénea en la mezcla. Por eso es imprescindible que los líquidos sean rociados utilizando el número de boquillas de aspersion necesarias para lograr la su distribución en toda la mezcla. Los líquidos como los aceites, lecitina, y solubles deben tener su propio sistema de adición separado de la línea de agua.

Bortone (2002) comenta los factores que pueden afectar la calidad “homogeneidad” de la mezcla:

- Llenado excesivo de la mezcladora. Las paletas, o cintas deben sobresalir por lo menos 5 cm de la superficie de la mezcla.
- La velocidad o rpm (3-40) que giran las paletas o cinta.
- Excesiva adición de líquidos (máx. 10%) que causen adherencias de material en la cinta, paletas, y apelotonamiento de material.
- Secuencia de adición de los ingredientes
- Desgaste de las paletas o cintas
- Compuertas que no cierran bien permitiendo el escape de los ingredientes.

2.3.3. ACONDICIONADOR

El acondicionador juega un papel extremadamente importante en la estabilidad final del pellet. Un acondicionador enchaquetado con inyección de vapor vivo en la mezcla aumenta la gelatinización de los almidones de la mezcla, y ayuda en el desarrollo de las propiedades funcionales de los ingredientes proteicos, como por ejemplo el gluten. La combinación de humedad, tiempo de residencia y temperatura son factores determinantes para alcanzar alta estabilidad de los pellets. El acondicionador también se puede utilizar para activar aglutinantes comerciales.

Es más común utilizar acondicionadores enchaquetados cuando las mezclas ya contienen un alto contenido de agua, bien sea porque se adiciona agua directamente en el mezclado o porque se incluyen en la fórmula ingredientes crudos como trozos de pescado, calamares, o vísceras molidas de pescado. Esta práctica es común en Asia en donde el propósito del acondicionador enchaquetado es también el de remover exceso de humedad. De no removerse por evaporación, es muy probable que la pelletizadora se tranque. Esto se produce porque los rodillos patinan en la pista del dado sin poder extrudir la mezcla húmeda que se acumula al punto de causar la tranca de la máquina. En la figura 10 se muestra un acondicionador.

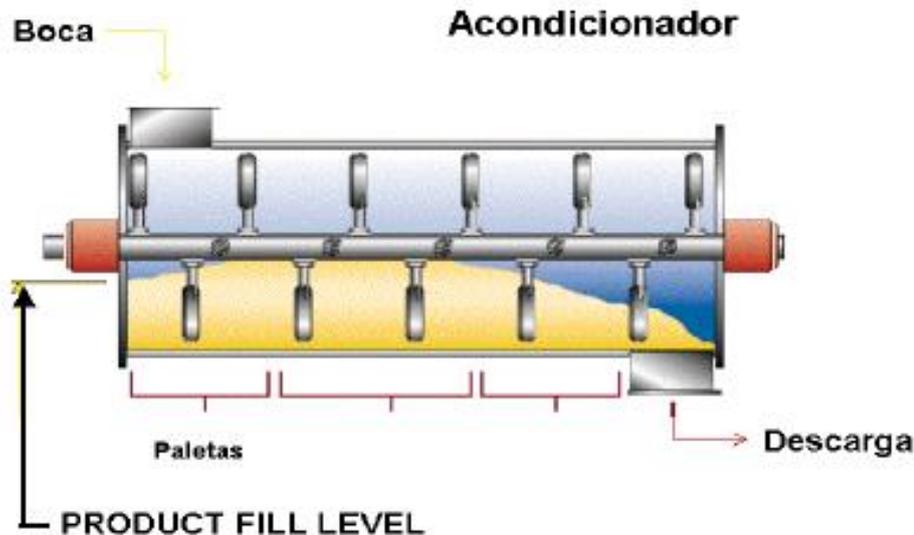


Figura 10: Acondicionador.

FUENTE: Bortone (2002).

2.3.4. ENFRIADOR

En este tipo de secadores, el pellet ingresa por una esclusa rotatoria desde la superficie del secador para entrar en contacto con aire que es canalizado desde orificios en un fondo móvil, en su interior se presentan los fenómenos de transferencia de masa y energía. El secado se realiza a contraflujo al exponer el producto procesado a un flujo ascendente de aire ambiental. Este aire recoge humedad de la superficie del pellet donde esta con mayor disponibilidad. La humedad en el sólido se evapora lo que causa el enfriamiento del pellet. El calor recogido por el aire incrementa su capacidad de absorber agua. Como el producto entra por la parte superior de la cámara de enfriamiento, se expone al aire más caliente disponible dentro del equipo, minimizando el choque térmico. El pellet sale por la parte inferior del secador a una temperatura entre 30 y 40 °C. La transferencia paulatina de calor aumenta considerablemente la calidad del producto y disminuye la deformación y producción de finos (Andersson y Johansson, citado por Gonzáles 2015)

Los factores que afectan el proceso de secado son: Composición del pellets, porosidad, tamaño de partículas, entre otros. Este proceso se puede dividir en tres periodos, en el primer periodo la velocidad de secado es constante en el cual se retira la humedad libre presente en la superficie de los pellets. El segundo periodo comienza cuando comienza aparecer zonas

secas en la superficie del pellet, y la velocidad de secado comienza a decaer. El tercer periodo comienza cuando la superficie del pellets está completamente seca y continua hasta llegar al equilibrio con la humedad relativa del aire. En la figura 11 se muestra un enfriador.

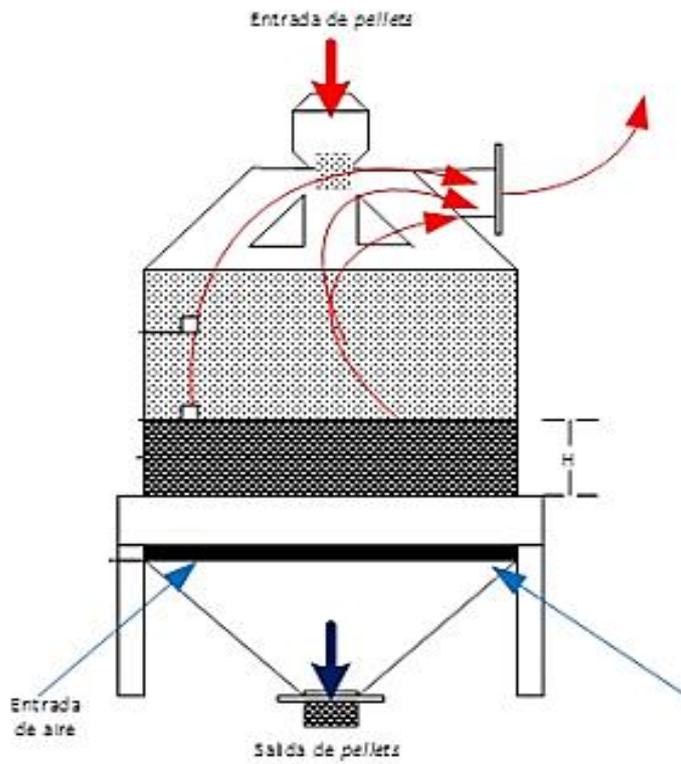


Figura 11: Enfriador.

FUENTE: Gonzáles (2015).

III. DESARROLLO DEL TEMA

3.1. ELABORACIÓN DE ALIMENTO BALANCEADO EN PELLETS

En la industria se utiliza el pelletizado para la fabricación de alimentos balanceado para consumo de pollos y pavos.

Se prefiere el alimento pelletizado debido a También, se sabe que al pelletizar las raciones de las aves de engorda, aumenta la ganancia de peso y mejora la eficiencia alimenticia, comparada con dietas en forma de harina, no procesadas (Moran, 1989 y Jensen, 2000). Al pelletizar, se asegura que los ingredientes mezclados se compacten para formar un comprimido con tamaño y dureza variable de acuerdo al animal que se desee alimentar, facilitando su manejo, mejorando la aceptación y aprovechamiento por el animal (Juarez *et al.*, 2010).

Meinerz *et al.* (2001) menciona que las principales ventajas de tener un alimento pelletizado son: Se produce un grado de gelatinización de los almidones, mejorando la conversión del alimento; se evita la selección de alimento o ingredientes favoritos para los pollos; evita la segregación de ingredientes en el manejo y/o transporte y se aumenta la densidad del producto, esto es útil para el almacenaje y el transporte.

Molienda de Ingredientes. El molido se da en un molino de martillos, donde los granos son fragmentados transformándolos en harina, reduciendo el tamaño de las partículas según las cribas que utilice para la molienda. Se van almacenando en tolvas. Las materias primas que se muelen son el maíz, la soya, el arroz y el sorgo.

Respecto a los efectos de la molienda en los otros procesos Bortone (2002) comenta que al considerar la molienda también debemos tomar en cuenta su impacto en el mezclado ya que

esta afecta directamente la homogeneidad de la mezcla y del producto final (pellet o producto extrusado).

Otra relación importante entre la molienda y la pelletización es el efecto de compactación. A medida que el tamaño de partícula es menor existen más puntos de contactos. A medida que aumentemos los puntos de contacto obtendremos mejor enlace entre los componentes de la mezcla – proteínas (gluten) y las moléculas de almidón, formando una estructura más sólida, compacta y resistente.

Esto va a permitir que el vapor se condense en más partículas, y al hacer esto transfiera su calor y el agua sea absorbida o internalizada más rápidamente. Partículas más grandes requerirán de mayor tiempo de residencia en el pre acondicionador para lograr la gelatinización de los almidones.

Pesado y Mezclado. En esta etapa se dosifican los distintos ingredientes (macroinsumos, insumos intermedios) según lo formulado y la cantidad a producir en una tolva pulmón que luego descarga en la mezcladora de cintas, donde se realiza inicialmente la mezcla seca adicionando los premix y luego son inyectados los insumos líquidos como aceites, aminoácidos y pigmentantes continuando con el mezclado por 5 minutos.

Bortone (2002) comenta que los ingredientes menores deben añadirse al final para evitar que terminen en el fondo de la mezcladora o cualquier otro punto muerto que no permite su distribución homogénea en la mezcla. Este no es el único problema, también pueden generarse contaminaciones a causa del arrastre de ingredientes entre una fórmula y otra. Las contaminaciones cruzadas son de particular preocupación cuando se están haciendo mezclas con medicamentos.

El tiempo de mezclado va a depender del tipo de mezcladora que se está utilizando. Por eso es importante que se inspeccione el estado de la mezcladora cada seis meses y se realicen pruebas de mezclador con micros trazadores, o marcadores analíticos con amino ácidos, vitaminas, o sal para determinar el coeficiente de variación para cada periodo de mezclado (2, 4, 6, 8, 10 minutos etc.). El coeficiente de variación debe ser menor del 10 por ciento o

de lo contrario la mezcla no se considera homogénea. Por lo general bajos coeficientes de variación, cuando ya se ha determinado el tiempo de mezclado, indican que algo está sucediendo con el funcionamiento de la mezcladora como por ejemplo: desgaste de las paletas, o cinta, acumulaciones de material en las paletas o cinta que afectan el movimiento correcto de la mezcla, o derrames causados por compuertas que no cierran bien.

Acondicionado. La harina es sometida a la acción de humedad y calor (vapor) que es inyectado de un caldero durante un tiempo de 25-30 s llegando a una humedad de 16-17 por ciento, ocasionando la gelatinización de los componentes amiláceos. Por acción de las paletas del acondicionador el alimento fluye hacia la prensa del pelletizado.

Bortone (2002) recomienda para la producción de alimentos balanceados:

- Aplicar vapor saturado de 1-2 bar (15-30 psi) de presión. Los puntos de inyección de vapor deben ser a la parte inicial del acondicionador para permitir más tiempo de contacto con la mezcla.
- La temperatura de la mezcla acondicionada debe ser no menor a 90 grados centígrados.
- El tiempo de residencia se puede ajustar cambiando el ángulo de las paletas y/o disminuyendo la velocidad del acondicionador.
- La humedad de la mezcla a la salida del acondicionador debe estar entre 16-18 por ciento. A medida que la humedad incrementa se corre el riesgo de causar atascaduras en el dado.

Pelletizado. Consiste en unir por compresión las partículas del alimento, con el fin de formar un granulo o pellet de mayor tamaño, aquí el alimento en harina pasa a una matriz que contiene unos orificios con la forma del pellet, luego unos rodillos (rollers) ejercen presión sobre la harina expulsándola por los orificios donde se forma el pellet gracias a la presión y gravedad ejercida, Los 35 pellets generalmente formados tienen diámetros aproximadamente de 0,4 a 1,9 cm. y la longitud de 1 a 3 cm.

Bortone (2002) comenta que el aspecto más importante de los rodillos es su relación con el dado. Cualquier cosa que le suceda al rodillo también afectara al dado. La función del rodillo es proporcionar la fuerza de compresión entre el alimento y el dado. El dado ofrece la fuerza de resistencia que depende de su espesor (área de trabajo efectivo), coeficiente de fricción, y diámetro del orificio. Para una eficiencia y vida máxima del dado, se recomienda, como regla general, utilizar un juego de rodillos nuevos siempre que se coloca un dado nuevo.

Los rodillos pueden tener muchas configuraciones, pero siempre hay que buscar el que tenga mejor tracción. Por eso se recomienda usar rodillos con el mayor número de corrugaciones (canales) y que estos estén cerrados. Los de canales abiertos permiten que la mezcla se escurra por los lados impidiendo ser comprimida en los agujeros del dado.

Enfriado. El producto pelletizado cae al enfriador donde se almacena 15 minutos y se hace una descarga del producto cada 45 segundos, en este tiempo se reduce la temperatura y humedad por medio de inyección de aire hasta alcanzar una temperatura ambiente y reducir la humedad.

Bortone (2002) comenta que el tipo de secador / enfriador que se debe utilizar debe ser de tipo horizontal. Esto se debe a que los pellets son suaves y pueden compactarse en los secadores o enfriadores verticales.

La reducción de la humedad en el producto que se somete al enfriador se produce por el efecto de enfriamiento evaporativo, en el cual la humedad emigra en forma de vapor al aire que su vez es calentado. Este aire más caliente tiene mayor capacidad de contener humedad lo que hace que el producto se enfríe. Lo mismo sucede con el proceso de secado solo que en este caso el aire caliente es forzado a través del producto para así remover la humedad que contiene.

Tamizado. Después del enfriador los pellets se pasan por un tamiz para remover los finos los cuales son reciclados a la pelletizadora.

No se recomienda reciclar más del 5 por ciento de finos ya que puede afectar la estabilidad del agua del pellet debido a que los aglutinantes naturales o sintéticos ya han perdido sus propiedades de cohesión. Si en el proceso se produce más de 5 por ciento de finos puede ser indicativo de que existe un problema en el proceso.

Post Pellet. Se utiliza un sistema de microfluidos (MFS) donde se pulveriza continuamente el aceite de soya a los pellets ya formados. En la figura 12 se muestra el sistema MFS y en la figura 13 el alimento pelletizado.



Figura 12: Sistema MFS.

FUENTE: www.andritz.com.



Figura 13: Alimento pelletizado.

FUENTE: www.razasporcinas.com.

3.2. ELABORACIÓN DE HARINA INTEGRAL DE SOYA

Molienda. Realizada con criba fina (1 mm) a fin de asegurar la homogeneidad de las partículas.

Preacondicionado. Donde se añade vapor de a la masa hasta alcanzar un 24-28 por ciento de humedad y 80-90 °C de temperatura.

Extrusado. La masa pre acondicionada es llevada al extrusor de un solo tornillo donde se alcanzan presiones de 30 atm. A la salida del extrusor la mezcla sufre una caída brusca de presión que provoca una rápida evaporación de agua y la “expansión” del producto. Como consecuencia la célula oleosa se rompe y el aceite se libera, pero se absorbe según se enfría permaneciendo embebido dentro de la masa.

Secado. La humedad se reduce a 14-16 por ciento

La extrusión húmeda conlleva acondicionado previo e inyección de vapor caliente en el cuerpo del extrusor, por lo que se precisa secar al final del proceso. Por ello, las instalaciones son más caras para la extrusión húmeda que para la seca. Por el contrario, la capacidad de producción es superior (hasta 5 y 9.000 t/h; Thomason, 1987) y es más efectivo en cuanto a la desnaturalización de los factores antinutricionales (Harper, citado por Mateos, 2002).

La fricción producida por el cizallamiento conjuntamente con la extrusión es un proceso muy efectivo para mejorar el valor energético del haba en monogástricos ya que rompe la estructura celular de los cotiledones y consecuentemente libera casi por completo la grasa contenida en las esferosomas haciéndola más disponible para el animal (Mateos, 2002).

El tratamiento mecánico modifica la estructura y la solubilidad de la fracción fibra facilitando el acceso y la acción de los enzimas endógenos digestivos y de los enzimas exógenos producidos por los microorganismos del tubo digestivo o adicionados con la dieta, lo que puede influir en la disponibilidad de la fracción proteica del haba (Mateos, 2002).

En este sentido, el procesado térmico del grano de soja puede permitir la desnaturalización parcial de factores anti-nutritivos termolábiles, y podría implicar una mayor insolubilidad y degradabilidad de la proteína (Rebollar y Blas, citado por Moretto, 2015).

Durante el proceso de extrusión, estos inhibidores son suficientemente inactivados para evitar bloquear la actividad enzimática en el intestino. Se intenta en estos procesos conseguir por un lado el mínimo contenido en factores anti-tripsínicos y por otro la máxima lisina disponible en el producto. La extrusión produce el desenredo de las cadenas proteicas vegetales (Valls Porta, citado por Moretto, 2015).

El producto más problemático de los compuestos anti-nutricionales del grano de soja son los inhibidores de la tripsina que producen efectos negativos en los rendimientos de los animales como son una reducción en la retención de Nitrógeno, el crecimiento de los animales y una disminución en la conversión alimenticia. El inhibidor de tripsina residual en productos de soja se combina con la tripsina en el intestino delgado y forma un complejo inactivo, reduciendo la digestibilidad de la proteína (Campabadal, citado por Moretto, 2015). En la figura 14 se muestra la harina integral de soya.



Figura 14: Harina integral de soya.

FUENTE: www.exportabolivia.com.bo.

IV. CONCLUSIONES

- En el proceso de elaboración de harina integral de soya a partir de la extrusión de soya lo que se busca es reducir los factores antitripsicos, liberar su aceite y facilitar la acción de las enzimas.
- En el proceso de elaboración de alimentos balanceados en pellet es fundamental la evaluación y seguimiento a la granulometría de los macroinsumos, ya que este parámetro luego será decisivo en las operaciones de acondicionado y pelletizado para asegurar un *pellet* con los valores de durabilidad y porcentaje de finos adecuado.
- El uso de alimentos en pellet en la industria avícola se debe a que aumenta la conversión.

V. RECOMENDACIONES

- Para la formulación de alimentos balanceados en pellet no solo se debería formular en base a los costos de los insumos sino también considerando la productividad que se tendrá por la mezcla de estos durante el pelletizado.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Apró, N; Rodriguez, J; Gornatti, C. 2000. La extrusión como tecnología flexible de procesamiento de alimentos. Jornadas de Desarrollo e innovación 2000.
- Borbor, A; Crespo A. 2012. Diseño de una línea de producción de fertilizantes pulverizados usando molino de pines. Tesis de Ing. Guayaquil, Ecuador, Escuela superior politécnica del litoral.
- Bortone, E. 2002. Interacción de ingredientes y procesos en la producción de alimentos hidrostables para camarones. *In* Cruz-Suárez, L. E., Ricque-Marie, D., Tapia-Salazar, M., Gaxiola-Cortés, M. G., Simoes, N. (Eds.). Avances en Nutrición Acuícola VI. Memorias del VI Simposium Internacional de Nutrición Acuícola. 3-6 set. 2002. Cancún, Mexico.
- Cisneros. 2000. Curso de Extrusión. Perú. Universidad Privada San Ignacio de Loyola.
- Cheryan, M; Shukla, R. 2001. Zein: the industrial protein from corn. *Industrial Crops and Products* 13:171-192.
- Fellows, P. 1994. Tecnología del procesado de los alimentos. Principios y prácticas. Zaragoza, España, Acribia.
- González, RJ; Torres, RL; De greef. 2002. Extrusión–cocción de cereales. *Boletín da sociedade brasileira de ciencia e tec de alimentos (sbCTA)*, Campinas 36 (2): 83-136.

- González, S. 2015. Modelamiento del secado de pellets en el enfriador a contraflujo de la planta de producción de Solla SA en la regional de Cundinamarca. Tesis Mg. Sc. Bogotá, Colombia, Universidad Nacional de Colombia.
- Guy, R. 2002. Extrusión de alimentos tecnología y aplicaciones. (Traducido de Dr. Alberto Ibarz Ribas). Zaragoza, España, Acribia.
- Harper, J. 1981. Food extruder and their applications, in "Extrusion Cooking". St. Paul MN, USA, American Associates Cereal Chemical.
- Juarez, A; Sarmiento, L; Segura, J. 2010. Efecto de la relación pellet:harina en la dieta sobre el rendimiento productivo de gallinas de postura. *Tropical and subtropical agroecosystems* 12:35-138.
- Mateos, G. *et al.* 2002. Procesamiento del haba de soja. American soybean association.
- Meinerz, C; Ribeiro, A; Penz, Jr; Kessier, A. 2001. Níveis de energia e pelletização no desempenho e rendimento de carcaça de frangos de corte com oferta alimentar equalizada. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30:2026-2032
- Meneses, J; Corrales, C; Valencia, M. 2007. Síntesis y caracterización de un polímero biodegradable a partir del almidón de yuca. *Revista EIA* (8)
- Morán, E. 1989. Effect of pellet quality on the performance of meat birds. *In Recent Advances in Animal Nutrition*. London. p. 87-108.
- Moretto, F. 2015. Efecto de la temperatura de extrusión del grano de soja sobre la degradación rumial de la proteína del *expeller*. Tesis Ing. Córdoba, Argentina, Universidad Nacional de Villa María

- Niño de Guzman, D. 2006. Diseño de un molino de martillo de doble eje. Tesis Ing. Lima, Perú, UNI.
- Percibaldi, N. M. 2003. Variación de la composición lipídica en germen y endospermo de variedades de maíz argentino y su asociación con el proceso de extrusión. Tesis Mg. Sc.
- Robles, A. 2013. Elaboración de cereales de desayuno fortificados con harina de amaranto y frutas deshidratadas. Tesis Mg. Sc. Madrid, España, Centro de estudios superiores de la industria farmacéutica.
- Sharma, S. *et al.* 2003. Ingeniería de Alimentos operaciones unitarias y prácticas de laboratorio. México, Limusa.
- Valls, A. 1993. El proceso de extrusión en cereales y haba de soya. *In* XI Curso de especialización FEDNA. Barcelona, España 8-9 nov.