

PREGUNTAS Y RESPUESTAS

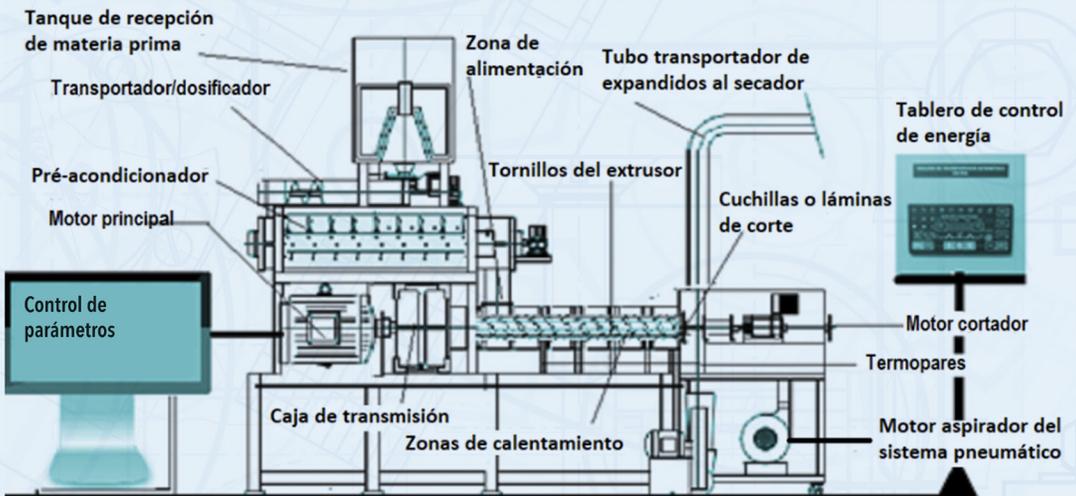
SOBRE

EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA

DE ALIMENTOS

UN ABORDAJE SIMPLIFICADO

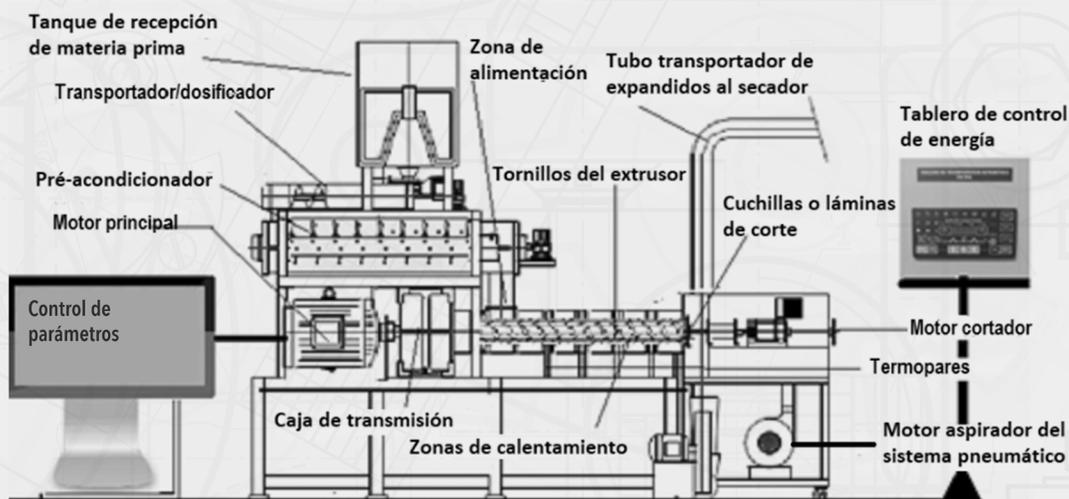
JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI



PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA DE ALIMENTOS

UN ABORDAJE SIMPLIFICADO

JOSÉ LUIS RAMIREZ ASCHERI



Editora chefe

Profª Drª Antonella Carvalho de Oliveira

Editora executiva

Natalia Oliveira

Assistente editorial

Flávia Roberta Barão

Bibliotecária

Janaina Ramos

Projeto gráfico

Bruno Oliveira

Camila Alves de Cremo

Luiza Alves Batista

Imagens da capa

O autor

Edição de arte

Luiza Alves Batista

2023 by Atena Editora

Copyright © Atena Editora

Copyright do texto © 2023 Os autores

Copyright da edição © 2023 Atena

Editora

Direitos para esta edição cedidos à Atena Editora pelos autores.

Open access publication by Atena

Editora



Todo o conteúdo deste livro está licenciado sob uma Licença de Atribuição *Creative Commons*. Atribuição-Não-Comercial-NãoDerivativos 4.0 Internacional (CC BY-NC-ND 4.0).

O conteúdo do texto e seus dados em sua forma, correção e confiabilidade são de responsabilidade exclusiva do autor, inclusive não representam necessariamente a posição oficial da Atena Editora. Permitido o *download* da obra e o compartilhamento desde que sejam atribuídos créditos ao autor, mas sem a possibilidade de alterá-la de nenhuma forma ou utilizá-la para fins comerciais.

Todos os manuscritos foram previamente submetidos à avaliação cega pelos pares, membros do Conselho Editorial desta Editora, tendo sido aprovados para a publicação com base em critérios de neutralidade e imparcialidade acadêmica.

A Atena Editora é comprometida em garantir a integridade editorial em todas as etapas do processo de publicação, evitando plágio, dados ou resultados fraudulentos e impedindo que interesses financeiros comprometam os padrões éticos da publicação. Situações suspeitas de má conduta científica serão investigadas sob o mais alto padrão de rigor acadêmico e ético.

Conselho Editorial

Ciências Agrárias e Multidisciplinar

Prof. Dr. Alexandre Igor Azevedo Pereira – Instituto Federal Goiano

Profª Drª Amanda Vasconcelos Guimarães – Universidade Federal de Lavras

Profª Drª Andrezza Miguel da Silva – Universidade do Estado de Mato Grosso

Prof. Dr. Arinaldo Pereira da Silva – Universidade Federal do Sul e Sudeste do Pará

Prof. Dr. Antonio Pasqualetto – Pontifícia Universidade Católica de Goiás

Profª Drª Carla Cristina Bauermann Brasil – Universidade Federal de Santa Maria

Prof. Dr. Cleberton Correia Santos – Universidade Federal da Grande Dourados
Prof^ª Dr^ª Diocléa Almeida Seabra Silva – Universidade Federal Rural da Amazônia
Prof. Dr. Écio Souza Diniz – Universidade Federal de Viçosa
Prof. Dr. Edevaldo de Castro Monteiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Fábio Steiner – Universidade Estadual de Mato Grosso do Sul
Prof. Dr. Fágner Cavalcante Patrocínio dos Santos – Universidade Federal do Ceará
Prof^ª Dr^ª Girlene Santos de Souza – Universidade Federal do Recôncavo da Bahia
Prof. Dr. Guilherme Renato Gomes – Universidade Norte do Paraná
Prof. Dr. Jael Soares Batista – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Jayme Augusto Peres – Universidade Estadual do Centro-Oeste
Prof. Dr. Júlio César Ribeiro – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof^ª Dr^ª Lina Raquel Santos Araújo – Universidade Estadual do Ceará
Prof. Dr. Pedro Manuel Villa – Universidade Federal de Viçosa
Prof^ª Dr^ª Raissa Rachel Salustriano da Silva Matos – Universidade Federal do Maranhão
Prof. Dr. Renato Jaqueto Goes – Universidade Federal de Goiás
Prof. Dr. Ronilson Freitas de Souza – Universidade do Estado do Pará
Prof^ª Dr^ª Talita de Santos Matos – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Prof. Dr. Tiago da Silva Teófilo – Universidade Federal Rural do Semi-Árido
Prof. Dr. Valdemar Antonio Paffaro Junior – Universidade Federal de Alfenas

Preguntas y respuestas sobre extrusión termoplástica de alimentos - Un abordaje simplificado

Diagramação: Natália Sandrini de Azevedo
Correção: Soellen de Britto
Indexação: Amanda Kelly da Costa Veiga
Revisão: O autor
Autor: José Luis Ramirez Ascheri

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)	
A813	<p>Ascheri, José Luis Ramirez Preguntas y respuestas sobre extrusión termoplástica de alimentos - Un abordaje simplificado / José Luis Ramirez Ascheri. - Ponta Grossa - PR: Atena, 2023.</p> <p>Formato: PDF Requisitos de sistema: Adobe Acrobat Reader Modo de acesso: World Wide Web Inclui bibliografia ISBN 978-65-258-0833-8 DOI: https://doi.org/10.22533/at.ed.338221612</p> <p>1. Alimentos. I. Ascheri, José Luis Ramirez. II. Título. CDD 641.3</p>
Elaborado por Bibliotecária Janaina Ramos – CRB-8/9166	

Atena Editora
 Ponta Grossa – Paraná – Brasil
 Telefone: +55 (42) 3323-5493
www.atenaeditora.com.br
contato@atenaeditora.com.br

DECLARAÇÃO DO AUTOR

O autor desta obra: 1. Atesta não possuir qualquer interesse comercial que constitua um conflito de interesses em relação ao conteúdo publicado; 2. Declara que participou ativamente da construção dos respectivos manuscritos, preferencialmente na: a) Concepção do estudo, e/ou aquisição de dados, e/ou análise e interpretação de dados; b) Elaboração do artigo ou revisão com vistas a tornar o material intelectualmente relevante; c) Aprovação final do manuscrito para submissão.; 3. Certifica que o texto publicado está completamente isento de dados e/ou resultados fraudulentos; 4. Confirma a citação e a referência correta de todos os dados e de interpretações de dados de outras pesquisas; 5. Reconhece ter informado todas as fontes de financiamento recebidas para a consecução da pesquisa; 6. Autoriza a edição da obra, que incluem os registros de ficha catalográfica, ISBN, DOI e demais indexadores, projeto visual e criação de capa, diagramação de miolo, assim como lançamento e divulgação da mesma conforme critérios da Atena Editora.

DECLARAÇÃO DA EDITORA

A Atena Editora declara, para os devidos fins de direito, que: 1. A presente publicação constitui apenas transferência temporária dos direitos autorais, direito sobre a publicação, inclusive não constitui responsabilidade solidária na criação dos manuscritos publicados, nos termos previstos na Lei sobre direitos autorais (Lei 9610/98), no art. 184 do Código Penal e no art. 927 do Código Civil; 2. Autoriza e incentiva os autores a assinarem contratos com repositórios institucionais, com fins exclusivos de divulgação da obra, desde que com o devido reconhecimento de autoria e edição e sem qualquer finalidade comercial; 3. Todos os e-book são *open access*, *desta forma* não os comercializa em seu site, sites parceiros, plataformas de *e-commerce*, ou qualquer outro meio virtual ou físico, portanto, está isenta de repasses de direitos autorais aos autores; 4. Todos os membros do conselho editorial são doutores e vinculados a instituições de ensino superior públicas, conforme recomendação da CAPES para obtenção do Qualis livro; 5. Não cede, comercializa ou autoriza a utilização dos nomes e e-mails dos autores, bem como nenhum outro dado dos mesmos, para qualquer finalidade que não o escopo da divulgação desta obra.

Durante mi actividad profesional, como investigador científico en el campo de la extrusión de alimentos, he atendido a un gran número de clientes externos durante más de 30 años de actividad en este ámbito. Precisamente para responder, con las principales respuestas, a las principales dudas de la mayoría de estos clientes, nació la idea de publicar este pequeño tratado, con la intención de aclarar en la medida de lo posible, de forma simplificada, para su mejor comprensión. La mayoría de estos empresarios han oído hablar del tema de la extrusión, y desean elaborar algún tipo de producto, sin embargo, al consultar al fabricante, encuentran que existe una diversidad muy grande de equipos disponibles en el mercado, muchos de ellos con alta presupestos. Surge entonces la cuestión de definir cuál sería el más adecuado, o incluso si sería factible producir un determinado producto.

Por otro lado, cierto productor agroindustrial se da cuenta que tiene grandes volúmenes de coproducto o material residual de una fabricación en particular, y que cree que sería interesante agregar valor a través de la extrusión. Por supuesto, se pueden usar diferentes coproductos, sin embargo, no todo el material puede pasar a través del sistema de extrusión, o no todo lo que está disponible sería viable.

Las características de las materias primas a procesar también pueden orientar el tipo de equipo que se debe considerar, es decir, una extrusora puede ser muy útil para un determinado producto y sin gran efecto para otro tipo de materiales. Esto está relacionado con la configuración del sistema de extrusión.

En este sentido, el objetivo de este libro es intentar dar respuesta, en la medida de lo posible, de forma sencilla, al emprendedor, o al interesado en la técnica, a las principales dudas relacionadas con la tecnología de extrusión. Se espera que, con esta lectura, el lector haya comprendido los diferentes matices presentados, las formas de diferenciar los equipos, parámetros y sus productos, ya que la tecnología de extrusión es una de las más versátiles en la producción industrial de alimentos tanto para consumo humano como de alimentos balanceados para diferentes tipos de animales.

INTRODUCCIÓN	1
¿CÓMO SE DEFINE LA EXTRUSIÓN?.....	2
¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES APLICACIONES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN?	3
¿QUÉ OCURRE CON LOS MATERIALES INTRODUCIDOS EN LA EXTRUSIÓN?	4
¿CUÁLES SON LAS PARTES DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN?	5
¿QUÉ ES CONFIGURACIÓN DEL TORNILLO DEL EXTRUSOR?	11
¿ES POSIBLE UTILIZAR UNA MISMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUCIR ALIMENTOS DIVERSOS?	16
¿QUÉ TIPOS DE MATERIA PRIMA SON SUSCEPTIBLES DE USO POR EXTRUSIÓN?	17
¿DE QUÉ FORMA INFLUENCIAN LAS MATERIAS PRIMAS EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS?	18
¿LA GRANULOMETRÍA Y/O TAMAÑO DE PARTÍCULA TIENE INFLUENCIA EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO?	20
¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN?	22
¿QUÉ ES MATRIZ O DADO?	24
¿CUÁLES SON LAS DIFERENCIAS Y/O VENTAJAS ENTRE UTILIZAR EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE O DE DOBLE TORNILLO?.....	25
¿QUÉ ES CO-EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS?	27
¿QUÉ ES PELETIZACIÓN?	28
¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN Y EL DE PELETIZACIÓN, EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS?	30
¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LA PRODUCCIÓN DE PELLETS?	34
SIENDO EL PROCESO DE EXTRUSIÓN UN MÉTODO DE COCCIÓN, ¿CÓMO PUEDE SER EVALUADO EL GRADO DE COCIMIENTO DE UNA DETERMINADA MUESTRA?	36
SIENDO EL PROCESO DE EXTRUSIÓN UN TRATAMIENTO TÉRMICO, ¿HAY PÉRDIDAS DE NUTRIENTES Y/O MICRONUTRIENTES?.....	40

¿CUÁL ES EL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CARGA MICROBIANA?	41
¿CUÁLES SON LAS CONSIDERACIONES EN LA UTILIZACIÓN DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIALES EN EL PROCESAMIENTO POR EXTRUSIÓN?	42
¿QUÉ ES LA EXTRUSIÓN REACTIVA?	43
CONSIDERACIONES FINALES	44
REFERENCIAS	45
SOBRE LO AUTOR.....	47

INTRODUCCIÓN

La extrusión de termoplásticos es un proceso tecnológico para la precocción o cocción de diversas materias primas derivadas de cereales, granos como leguminosas, legumbres, almidones de diferente procedencia, subproductos agroindustriales, etc. La materia prima previamente preparada de acuerdo a la necesidad de granulometría, envasada con la cantidad de agua suficiente para provocar el grado de cocción esperado, al pasar por un tornillo de configuración definida insertado en un cañón o barril con temperatura suficiente en sus zonas de calentamiento, con el fin de modificar sus características provocadas por el calor y cizallamiento que se produce en el interior del cañón para adquirir nuevas características organolépticas, como textura, sabor, olor y propiedades nutritivas y funcionales. Muchos alimentos disponibles en el mercado se preparan mediante este proceso: snacks, cereales para el desayuno, harinas precocidas o instantáneas, galletas, entre otros alimentos de consumo humano. Por otro lado, en la ganadería se utilizan una gran variedad de raciones para las diferentes especies así como sus etapas de crecimiento de acuerdo a las necesidades nutricionales, de igual manera para las mascotas (*pet food*), alimentos de diferentes tipos de acuerdo a los requerimientos en cada caso. Otro sector con altos valores de producción es el de la acuicultura, con entrega de alimentos para diferentes especies y niveles de crecimiento, que en conjunto implican grandes ingresos para estos sectores.

En ese sentido, surgen empresarios de diferentes áreas con el deseo de utilizar esta tecnología con los recursos disponibles, con el fin de agregar valor y consecuente mejora de ingresos. Debido a la existencia de una gran variedad de extrusoras, desde las más sencillas a las más complejas, de simple o doble tornillo y diferentes accesorios, el empresario deberá evaluar cuál es la más adecuada, tanto desde el punto de vista económico como tecnológico. Una decisión que necesita ser estudiada para garantizar la inversión y el éxito con la productividad de la línea de producción.

Por las razones expuestas, se ha creado este pequeño libro de preguntas y respuestas para aquellos que quieran conocer de forma preliminar las circunstancias que rodean al proceso de extrusión de termoplásticos.

¿CÓMO SE DEFINE LA EXTRUSIÓN?

Existen varias definiciones para la extrusión de alimentos, una de ellas es: La extrusión es un proceso de tratamiento térmico del H.T.S.T. (alta temperatura corto tiempo), es decir, alta temperatura, corto tiempo, que mediante una combinación de calor, humedad y trabajo mecánico, modifica profundamente las materias primas, proporcionando nuevas formas y estructuras con diferentes características funcionales, nutricionales y sensoriales.

¿CUÁLES SON LAS PRINCIPALES APLICACIONES DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN?

La eficiencia en la producción continua, combinada con la capacidad de producir formas que no son fáciles de realizar con otros métodos de producción, ha llevado al uso extensivo de la extrusión en la industria alimentaria. En la Tabla 1 se muestra una indicación de algunas aplicaciones.

Para consumo humano	
Pan rallado (pan rallado)	Degerminación de especias
Encapsulación de sabor	
Descristalización anhidra de azúcares para hacer caramelos	Licuefacción enzimática de almidón para fermentación en etanol
Cobertura de chocolate para pasta de cocción rápida	Tratamiento de semillas oleaginosas para su posterior extracción de aceite
Malta y almidón pretratados para fermentación	Confitería de gel de gelatina
Estabilización de salvado de arroz	Gelificante de proteína vegetal
Elaboración de pasta precocinada	Preparación de alimentos esterilizados para bebés.
Destrucción parcial de aflatoxinas en harina de maní o gosisol en harina de semilla de algodón	Elaboración de papillas esterilizadas (Papillas y papillas)
Caramelos, regaliz, chicles	Eliminación del inhibidor de tripsina de soja en el uso de piensos
Snacks de maíz, arroz, sorgo y patata, etc.	Producción de legumbres texturizadas
Snacks coextruidos con rellenos internos	Harinas precocidas de cereales, pseudocereales, granos en general y nardos
Reestructuración de carne picada	Pan crujiente, galletas, galletas
budines de arroz instantáneos	Modificación de almidones por extrusión reactiva
Para consumo animal	
Alimentos para mascotas (perros, gatos, etc.)	Alimentación del ganado (aves, porcinos, bovinos de leche y carne, caprinos, ovinos, etc.)
alimento para la acuicultura	alimento para caballos
Para uso industrial	
Almidones pregelatinizados para la industria textil	Almidones pregelatinizados para la industria minera
Almidones pregelatinizados para la industria de extracción de aceite	Fabricación de materiales bioplásticos para y envases de utensilios (cubertería a base de materiales almidonados)
Fabricación de papel moneda	Fabricación de material de embalaje biodegradable (reemplazo de espuma de poliestireno)

Tabla 1. Principales aplicaciones del proceso de extrusión

Fuente: Adaptado de James G. Brennan, 2006.

¿QUÉ OCURRE CON LOS MATERIALES INTRODUCIDOS EN LA EXTRUSIÓN?

Durante la extrusión tienen lugar una gran cantidad de funciones, entre las que podemos mencionar: transporte, molienda, hidratación, cizallamiento, homogeneización, mezclado, compresión, eliminación de gases, tratamiento térmico, gelatinización del almidón, desnaturalización de proteínas, destrucción parcial o total de microorganismos y compuestos tóxicos, compactación, aglomeración, bombeo, fusión parcial y plastificación de la mezcla, orientación de moléculas o agregados, moldeo, expansión, formación de poros o estructuras fibrilares, secado parcial, etc.

¿CUÁLES SON LAS PARTES DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN?

En la figura 1, se puede visualizar un típico esquema de un sistema de extrusión.

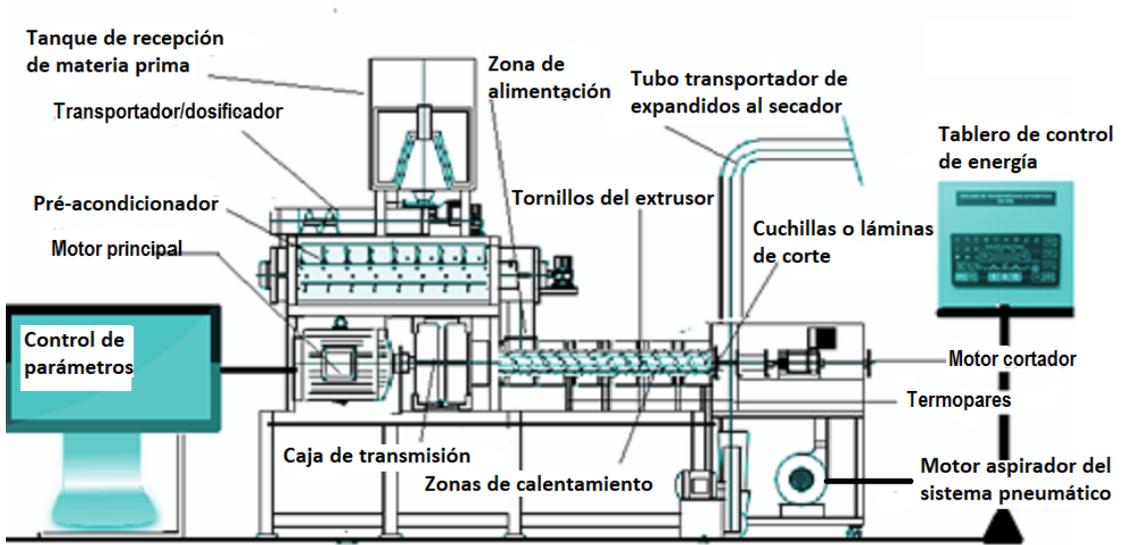


Figura 1.- Esquema de un típico sistema de extrusión.

A continuación se presenta una breve descripción de las diferentes partes del sistema de extrusión.

1. TOLVA DE RECEPCIÓN DE MATERIA PRIMA

Los sistemas de transporte neumáticos o por gravedad vierten la materia prima en un tanque, en el que, por lo general, tienen un sistema giratorio cónico para mejorar la homogeneización de las partículas y proporcionar una alimentación regular a un transportador de tornillo de velocidad ajustable. Desde aquí, el material se alimenta al pré-acondicionador. Para transportar la materia prima seca al barril de la extrusora, generalmente se utilizan alimentadores volumétricos (Fig. 2) y gravimétricos (Fig. 3). Los dispositivos volumétricos cuentan con tornillos simples y dobles, que transportan el material, también existen alimentadores vibratorios y alimentadores de banda. En todos estos mecanismos de alimentación, se supone que la densidad del material de alimentación permanece constante a lo largo del tiempo y, por tanto, un volumen constante de alimentación dará como resultado un caudal másico constante. Los alimentadores gravimétricos son más caros y complejos que los alimentadores volumétricos. Por lo general, están controlados

por un microprocesador para monitorear la tasa de flujo másico y ajustar la velocidad del alimentador según sea necesario.



Figura 2- Alimentador volumétrico da Brabender®

Fuente: <https://www.directindustry.com/pt/prod/brabender-technologie-gmbh-co-kg/product-14639-1892079.html>



Figura 3- Alimentador volumétrico e gravimétrico da Schenck-process®.

Fuente: <https://www.directindustry.com/pt/prod/schenck-process-holding-gmbh/product-14361-1945549.html>

2. PRE-ACONDICIONADOR

Equipo en el que se envasa la materia prima con la cantidad de agua necesaria para su elaboración. Estos pre-acondicionadores son cilindros horizontales cerrados, de uno o dos ejes, provistos de paletas regulables, que permiten variar el ángulo de inclinación para aumentar o disminuir el tiempo de permanencia del producto dentro del acondicionador, permitiendo un mejor control del proceso. Por otro lado, los ejes giran con control de velocidad ajustable, ya sea en sentido horario o anti-horario, para homogeneizar el material con agua, ya sea en forma de vapor o agua líquida o incluso ambas. El tiempo de residencia del material dentro del pre-acondicionador debe ser ideal, para garantizar la homogeneidad de la mezcla y suficiente distribución del agua añadida a las partículas del material y consecuente efecto positivo durante la cocción en la extrusión. Existen diferentes tipos de pre-acondicionadores en el mercado, desde los más sencillos hasta los de alto rendimiento, según las necesidades del proceso y el producto final deseado. Los pre-acondicionadores están sujetos a diferentes factores que pueden mejorar o disminuir su desempeño, tales como el tamaño, forma y densidad de las materias primas;

secuencia y flujo de los ingredientes agregados; configuración de batidores; formato de pre-acondicionador; formato e inclinación de las paletas; velocidad del eje o ejes, ya sea en el sentido horario o anti-horario del diferencial de velocidad de los mismos; tiempo de retención y distribución; distribución de energía; desgaste de componentes; caudal (tasa de alimentación), según las configuraciones de los modelos en los que fueron diseñados. Según la velocidad de rotación del pre-acondicionador podrá mejorar la eficiencia de la mezcla. Con el aumento de la velocidad, mejora la mezcla de los ingredientes con a agua o vapor de acondicionamiento; por otro lado, con el aumento de la velocidad diferencial entre los mezcladores, mejora sensiblemente la mistura e hidratación; de la misma forma, el aumento de la mistura disminuye la formación de aglomerados (pelotas); en contraste, la reducción de velocidad aumenta el tempo de retención. En las figuras 4 y 5 pueden ser visualizados los elementos de pre-acondicionadores.



Fig.4 Pre-acondicionador CLEXTRAL®



Fig. 5. Parte interna del pre-acondicionador CLEXTRAL®
mostrando las paletas y ejes de mezcla.

Fuente: <https://www.clextral.com/technologies-and-lines/equipment/the-preconditioner/>

Modelos de pre-acondicionador: Cilíndrico de un solo eje (SC); Cilíndricos de dos ejes (DC); Cilíndrico de dos diámetros (DDC); pre-acondicionador de mezcla de alta intensidad (HIP); Pre-acondicionador de alto cizallamiento (HSC).

Según la patente número PI 0710500-2 A2, de los inventores Lavon Wenger, Marc Wenger y Galen J. Rokey, publicada en 2012, se trata de la mejora del pre-acondicionador con dos ejes de alta velocidad de accionamiento independiente. Preferiblemente, la diferencia de velocidad entre los ejes es de al menos aproximadamente 5:1. Los mecanismos están acoplados operativamente a un dispositivo de control digital para permitir el control de la velocidad y la dirección de rotación. El pre-acondicionador está respaldado por celdas de carga también acopladas al dispositivo de control para permitir cambios punto a punto en el tiempo de retención del material dentro del pre-acondicionador. Es particularmente útil para el pre-acondicionamiento y la gelatinización parcial de formulaciones con almidón, alcanzando aproximadamente el 50 % de cocción durante el pre-acondicionamiento.

3. TORNILLOS EXTRUSORES, DE UNO O DOS TORNILLOS

La función del tornillo o tornillos de los extrusores consiste en el primer paso de transportar, fundir y homogeneizar la materia prima mediante un movimiento rotatorio. Debido a las propiedades intrínsecas de cada materia prima y/o formulaciones, tales como: dureza superficial de los gránulos, temperatura de fusión, coeficiente de corte, viscosidad del material fundido, entre otras, es necesario desarrollar diferentes construcciones de hilos para lograr mejores resultados y condiciones de cocción. En la práctica, sin embargo, por cuestiones de costos, tanto para extrusoras de uno como de dos tornillos, lo que se nota son tornillos estándar que buscan atender grupos de materiales con comportamiento reológico similar. Geométricamente, estos tornillos, conforman tres zonas diferenciadas (Fig. 6): Zona de alimentación, cuya función es transportar la materia prima a la zona de compresión. En esta zona, por lo general, el paso es mayor, o el núcleo de la rosca tiene el menor diámetro, manteniéndose constante. Esta parte de la rosca debe asegurar una presión de suministro y precalentar el material. (b) Zona de compresión, es la zona donde comienza la pre-cocción, debido a la disminución de la distancia entre los pasos o al aumento constante del núcleo de hilo, que comprimirá y cortará el material.

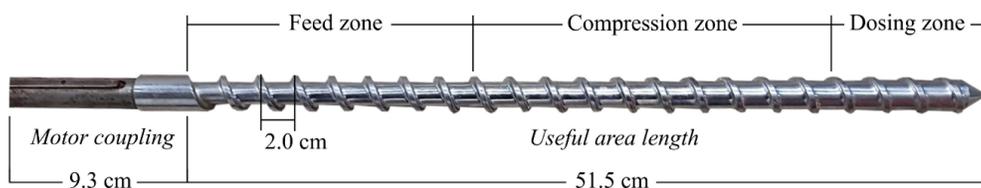


Fig. 6. Tornillo extrusor Brabender® de una pieza, relación de compresión 3:1

Fuente: <https://www.brabender.com/en/food/products/extruder/single-screw-extruder/single-screw-extruder-test-extrusion-properties-of-various-materials/>

La disminución del volumen disponible entre las roscas del tornillo, además de proporcionar compresión y ayudar a la pre-cocción, tiende a homogeneizar la masa que inicia la transformación del material, eliminando el aire transformando inicialmente la materia feculenta y/o proteica en la etapa de pre-cocción -Fusión. (c) Zona de dosificación, en esta zona los tornillos tienen roscas de menor profundidad, esto debido a que el diámetro del núcleo de la rosca ha ido creciendo, alcanzando aquí su mayor dimensión y manteniéndose constante. Es en la zona de dosificación donde se completa la cocción y se realiza la máxima homogeneización, definiendo también el bombeo de la masa fundida a la salida en la matriz.

En tornillos de extrusores (Fig. 7) con la misma profundidad, lo que cambia es la

distancia entre los hilos de las roscas, siendo mucho menor en la zona de dosificación. Otra forma de provocar y/o mejorar la velocidad de corte de la estructura alimentar es colocar elementos con posición inversa, o elementos que tengan un corte horizontal de los filetes, en cada caso estos elementos juegan un papel importante, el de mejorar la fusión y/o cocción del material. .



Elementos del sistema de extrusión con la misma profundidad, baja tasa de corte y diferentes limitadores de flujo.



Restrictores de flujo (o de posición inversa) y elementos de alta tasa de corte



Elementos normalmente utilizados en el montaje de la zona de alimentación, con pasos de baja velocidad de corte

Figura 7. Elementos de tornillos con diferentes configuraciones

Fuente: https://www.promaxx.com.cn/Screw_element.html?gclid=Cj0KCQjwpdqDBhCSARIsAEUJ0hP_7Ckfr6aPNredq-e4A6noBYVlqM49dkcnp1Qww3Pxl1GO2bg46gaAiwBEALw_wcB

¿QUÉ ES CONFIGURACIÓN DEL TORNILLO DEL EXTRUSOR?

Existe una gran variedad de formatos en la fabricación de tornillos para extrusoras, algunos son integrales, es decir, a partir de una sola pieza de acero de aleación específica, en la que se mecanizó. La mayoría de los equipos de una sola rosca se fabrican para productos de expansión directa, en general para hacer chips de maíz, son tornillos sólidos de alta velocidad de corte, como se muestra en la Figura 8 a continuación.



Figura 8.- Tornillo de una extrusora de cilindro corto de una sola pieza de alta velocidad de cizallamiento, normalmente utilizada en la extrusión de sémola de maíz.

Por otro lado, las extrusoras de mayor rendimiento cuentan con elementos intercambiables, como se muestra en la figura elaborada por WENGER®, el tornillo tiene un eje central, en el cual se encajan los diferentes elementos que forman parte del tornillo. Tanto para extrusoras de doble tornillo (Fig. 9) como del simple (Fig. 10).



Figura 9. Esquema de un sistema de extrusión de doble tornillo de alimentación de tres secciones de Wenger® Manufacturing, Inc.

Fuente: Curso de Extrusión FPR&D Center-TA&MU y Wenger Manufacturing, Inc.

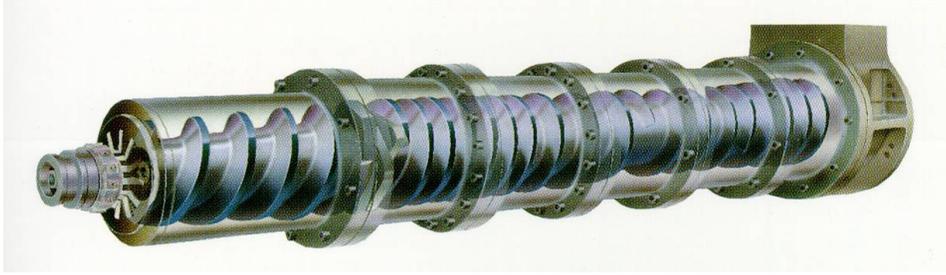


Figura 10. Esquema de un sistema de extrusión de tornillo simple con seis secciones
Fuente: Curso de Extrusión FPR&D Center-TA&MU y Wenger Manufacturing, Inc.

Dependiendo de la configuración en el encaje de los elementos, la extrusora puede estar preparada para baja, media o alta velocidad de cizallamiento.

La figura 11 muestra elementos en sección de un cilindro extrusor de doble tornillo.

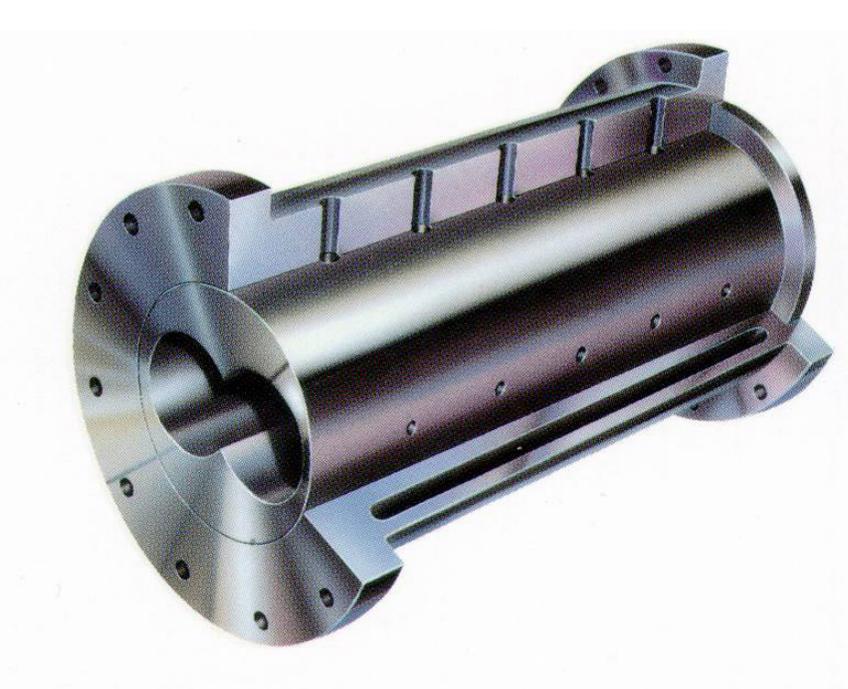


Figura 11. Elemento seccional de un sistema de barril o también llamado elementos encamisados de una extrusora de doble tornillo.

Fuente: Wenger® Manufacturing Co.

La Figura 12 muestra diferentes elementos de un sistema de extrusión de doble tornillo BRABENDER®.

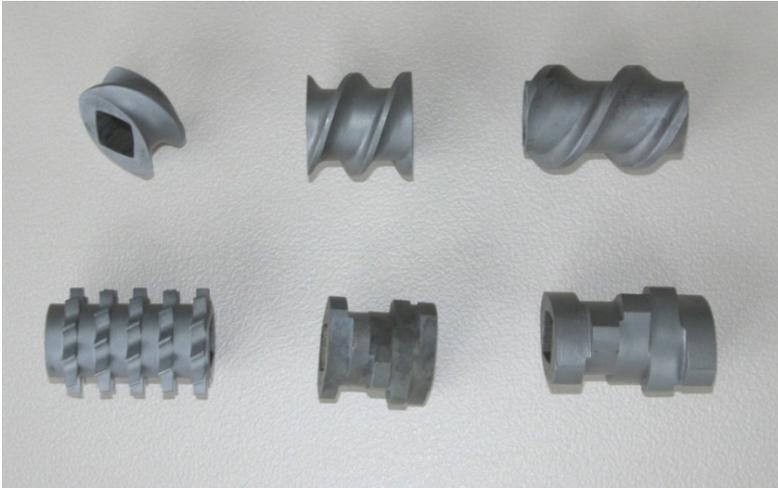


Figura 12. Elementos seccionales que componen un tornillo de un sistema de extrusión de doble tornillo. Fuente: Brabender® GmbH & Co.

La figura 13 muestra los diferentes ya ensamblados, conteniendo elementos de diferentes hélices, incluyendo una de contraflujo (a), o de hélices cortadas (b) para favorecer una mejor mezcla del material.

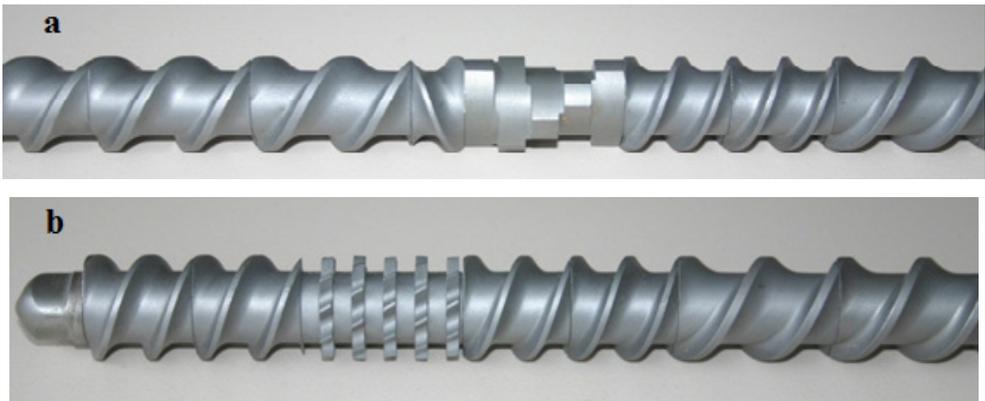


Figura 13. Elementos ensamblados de una extrusora de doble tornillo
Fuente: Brabender® GmbH & Co.

4. SISTEMAS DE EXTRUSIÓN

Existe una gran variedad de tipos de extrusoras para el procesamiento de alimentos, ya sea para consumo humano o para la fabricación de alimentos para animales. En los últimos años se ha producido una importante evolución en la modernización de los equipos

disponibles para el mercado industrial, facilitando la producción de nuevos alimentos con materias primas cada vez más complejas y productos finales innovadores.

Un sistema de extrusión está compuesto básicamente por un barril de una sola pieza o unido por módulos formando secciones según la longitud prevista en el proyecto de la extrusora. Las características de la barrica pueden diferir según los matices esperados. Algunos están equipados con camisas para que se pueda agregar vapor o aceite caliente para calentar. Asimismo, según proyecto, los tramos encamisados pueden tener un sistema helicoidal, ya sea en sentido horario o anti-horario al giro del tornillo. Provocando así una fricción adicional a la fuerza de extrusión. También existen extrusoras que cuentan con sistemas de inyección directa de vapor o agua en el barril, por lo que habrá diferencias en el grado de cocción, según el manejo de los parámetros de extrusión.

El tornillo, o tornillos, según se construya la extrusora, es uno de los elementos más importantes del sistema de extrusión. Según el formato, sea de una sola pieza, o formado por elementos intercambiables, de tamaño corto, medio o largo, la realización de los mismos será acorde a los fines asignados.

Por ejemplo, una extrusora de doble tornillo, con elementos intercambiables, podrá trabajar en condiciones de velocidad de corte baja, media o alta. De esta forma, se pueden desarrollar tanto productos de alta expansión como productos intermedios, o granulados, sin expansión, pero con un grado de cocción adecuado al producto. Las extrusoras utilizadas en investigación cuentan con sistemas de control de temperatura en las diferentes secciones del cilindro de la extrusora, logrando grados de cocción adecuados, de acuerdo a las necesidades de la formulación utilizada. Asimismo, se pueden agregar accesorios que permitan un proceso diferenciado, como la coextrusión y/o aplicación de CO₂ supercrítico, entre otros accesorios como los de fibrilación/texturizado del material.

Por otro lado, están las extrusoras de un tornillo corto, generalmente producidas para la fabricación de derivados del maíz, principalmente grits, utilizados para productos expandidos, snacks. Estos equipos pueden ser más limitados. La mayoría de estos equipos tienen velocidad de tornillo fija, es decir, no cuentan con un sistema de regulación de velocidad, lo que se puede mejorar con la incorporación de un variador de frecuencia, que permita controlar la velocidad del tornillo. En estas extrusoras, la temperatura del cilindro puede ser con o sin resistencia eléctrica, generalmente sin camisa de recirculación de agua de enfriamiento, lo que dificulta el control del calentamiento en el cilindro. Las que cuentan con sistema de enfriamiento, éste se realiza únicamente a través de la circulación de agua corriente. Sin embargo, las extrusoras de mayor rendimiento cuentan con un sistema de enfriamiento con circulación de agua fría en las diferentes zonas del cilindro de la extrusora,

controlado por un Chiller¹, con el fin de promover una mayor eficiencia en la distribución del calor necesario a cada zona del sistema de extrusión. En estos sistemas, cada zona está encamisada, es decir, permite el paso de agua fría, controlada por la acción de electroválvulas, previamente ajustadas al momento de determinar el perfil de temperatura a utilizar en un determinado proceso.

1. Los chillers son básicamente enfriadores de agua. El agua refrigerada producida por ellos se utiliza con el fin de bajar la temperatura, cuando necesario, en las camisas de las secciones del cañón de la extrusora, cuya potencia se mide en toneladas de refrigeración (TR), son capaces de trabajar con una amplia variación de temperatura, que puede ser incluso negativa cuando se utilizan aditivos.

¿ES POSIBLE UTILIZAR UNA MISMA MÁQUINA EXTRUSORA PARA PRODUCIR ALIMENTOS DIVERSOS?

Sí, siempre y cuando el extrusor tenga suficientes características y accesorios para lograr diferentes configuraciones. Preferiblemente si el equipo es de doble tornillo co-rotatorio con posibilidad de intercambiar elementos para determinar la tasa de corte requerida. Este tipo de máquinas se utilizan normalmente para el desarrollo de productos, ya que cuentan con los accesorios necesarios para las variaciones que requiere el nuevo producto. Todo está relacionado con las necesidades del productor. Si hay altos volúmenes de producción, por ejemplo trabajando en tres turnos, de un producto en particular, en este caso el equipo estará configurado solo para esa condición de fábrica, por lo que el hecho de que la extrusora tenga diferentes configuraciones intercambiables no sería útil. Por otro lado, con la posibilidad de diferentes configuraciones en el sistema de extrusión, se puede justificar, para casos específicos, volúmenes de producción de alto valor agregado, lo que justifica el montaje y desmontaje y las consecuentes paradas para tal fin. De ahí la importancia de dimensionar los equipos de acuerdo a la producción deseada. Parte de este problema se puede solucionar comprando tornillos adicionales con configuraciones específicas para determinados productos, de esta forma se puede agilizar el cambio de los mismos.

Se consideran varios parámetros de procesamiento de extrusión, estos se pueden clasificar en tres categorías: (a) parámetros independientes o parámetros de entrada, como propiedades de la materia prima, parámetros operativos, como velocidad de avance, velocidad y configuración del tornillo, tipo, dimensiones del troquel, perfil de temperatura de las diferentes zonas de la pistola, etc. (b) parámetros del sistema o parámetros dependientes, tiempos de residencia, energía mecánica específica, torque del motor, presión del sistema, viscosidad del fundido y (c) propiedades del producto o parámetros de salida, tales como propiedades físicas (expansión, densidad) y químicas (perfil de aminoácidos), contenido de lípidos, etc.), propiedades sensoriales (textura, crocancia), etc.

¿QUÉ TIPOS DE MATERIA PRIMA SON SUSCEPTIBLES DE USO POR EXTRUSIÓN?

Una de las ventajas del sistema de extrusión está relacionada con la posibilidad de utilizar una gran cantidad de materias primas. Entre los de origen vegetal: todos los tipos de granos y cereales, pseudocereales (quínoa, amaranto, kiwicha, etc.) disponibles, y sus versiones de harina integral o no, y sus respectivos almidones. Derivados amiláceos de raíces y tubérculos (patata, yuca, malanga, ñame, etc.), subproductos (coproductos de la extracción de oleaginosas como torta de soja, chocho o altramuza), salvado de maíz, trigo, arroz, bagazo de la extracción de jugos de frutas, etc.), entre otros, provenientes de la agroindustria, estos, dependiendo del tipo de producto final, deben ser sometidos a deshidratación y/o estabilización enzimática para mejores condiciones de higiene/sanitización y conservación para futuras aplicaciones. Materiales de origen animal: carne, harina de carne y huesos, harina de crustáceos, harina de insectos, etc.

¿DE QUÉ FORMA INFLUENCIAN LAS MATERIAS PRIMAS EN LA CALIDAD DE LOS PRODUCTOS?

Ciertamente, cada ingrediente, solo o en conjunto, en una formulación tendrá sus diferencias típicas inherentes, generando un grado de cocción, textura y propiedades sensoriales relacionadas con esa composición. Es decir, las proporciones de proteínas, carbohidratos, lípidos, fibras totales, solubles e insolubles, entre otros componentes secundarios, que le darán al producto final su propiedad sensorial única. El desarrollador de productos alimenticios, ya sea para consumo humano o para alimentación animal, que logre administrar la proporcionalidad de ingredientes de diferentes fuentes, tendrá entonces grandes resultados de aceptabilidad por parte del consumidor.

El valor nutricional de una materia prima no se limita a su composición química (valores proteicos, energéticos, de fibra y minerales). Hay materias primas que son más o menos digeribles (más o menos fácilmente descompuestas por sus constituyentes) y también la presencia de compuestos antinutricionales (compuestos naturalmente presentes en los alimentos que dificultarán su digestibilidad, por ejemplo, los taninos en los granos de algunas variedades de sorgo, gossipol en harina de semilla de algodón, el inhibidor de tripsina de soja, etc.). Esta digestibilidad relativa de cada materia prima también puede variar según la especie de animal (por ejemplo, el sistema digestivo de las aves es diferente al sistema digestivo del ganado). Los propios factores antinutricionales son sustancias que, aun en estado vestigial, reducen o impiden totalmente la utilización por parte del animal de un elemento nutritivo (tanto a nivel digestivo como a nivel metabólico). Factores antinutricionales más conocidos: antivitaminas, ácidos orgánicos quelantes de cationes minerales, antienzimas (como la antitripsina de soja), taninos condensados (presentes en los granos de sorgo), lectinas, saponinas (quinua), como descrito por Marcos Duarte: <https://www.infoescola.com/zootecnia/materias-primas-da-nutricao-animal/>.

Considerando el caso del procesamiento de sémolas de maíz para obtener alimentos expandidos o snacks, estas sémolas generalmente obedecen a un estándar de calidad, provenientes de una variedad de granos duros o semiduros, característica fundamental para ejercer ese efecto crocante y crocante resultante durante la extrusión. , por lo tanto la textura esperada.

Por otro lado, en la elaboración de raciones existe el interés de entregar un alimento lo más completo posible desde el punto de vista nutricional. Es decir, el balance adecuado de proteínas, carbohidratos, lípidos, minerales, vitaminas, bioactivos, atrayentes, entre otros. En este sentido, existe una importante demanda de formulaciones e ingredientes de alta calidad. Sin embargo, un aspecto fundamental está relacionado con el costo de

los ingredientes, especialmente con las fuentes proteicas. Un ejemplo particular se puede colocar en la formulación de alimentos para peces, en países donde la harina y el aceite de pescado de alta calidad son de alto precio, se busca reemplazar con proteínas de origen vegetal como la harina de soya como principal ingrediente proteico, bajo estas condiciones, los demás ingredientes añadidos como fuentes de hidratos de carbono deben tener propiedades que faciliten la unión de los gránulos producidos. Además de la calidad nutricional, se deben considerar varias propiedades físicas como requisitos de calidad del pellet, como textura, densidad, tamaño, etc. Los altos contenidos de fibra pueden causar productos quebradizos, perjudicando la calidad física, la flotabilidad, la integridad en el tiempo adecuado en el agua, entre otros factores. La cantidad de almidón presente en la formulación puede mejorar las características de unión/cohesión de los ingredientes, puede formar complejos de almidón-lípido-proteína, que además también pueden aumentar la susceptibilidad a la hidrólisis enzimática.

En este sentido, las proteínas derivadas de fuentes vegetales como la soja, legumbres, gluten de trigo, gluten de maíz, entre otros cereales, presentan buenas propiedades funcionales, en la formación de estructuras cohesivas. Estos son de bajo costo con un perfil de aminoácidos adecuado. Entre las fuentes proteicas de origen animal, tales como carne, pescado, pollo, harina de sangre, gelatina, harina de carne y huesos, estas no brindan una propiedad funcional estructural adecuada, evidentemente, el costo de estos ingredientes es mayor y brinda un excelente perfil de aminoácidos.

¿LA GRANULOMETRÍA Y/O TAMAÑO DE PARTÍCULA TIENE INFLUENCIA EN LA CALIDAD FINAL DEL PRODUCTO?

Dependiendo del producto final deseado, el tamaño y la homogeneidad de las partículas que ingresan al sistema de extrusión son de gran importancia. Considerando, por ejemplo, una extrusora de barril corto, preparada para la expansión de productos derivados de la sémola (grits) de maíz, el tamaño de las partículas o su distribución entre ellas será de gran importancia, ya que de ello dependerá la textura y formación de poros del producto expandido. Para este caso del ejemplo, las empresas que fabrican sémolas, denominados de grits, han puesto a disposición para su comercialización diferentes tipos.

Las Tablas 2, 3 y 4 siguientes muestran las variaciones granulométricas de tres productos vendidos a fabricantes de snacks (snacks de maíz): SnackMix 400, SnackMix 300 y SnackMix 200, (Empresa: Milhão-Indústria Alimentícia, S.A.)

Granulometría	<i>SnackMix 400/Grits de Maíz</i>	
% Retención en los tamices (ABNT):		Patrón
	14 (1,410 mm)	Máx. 15,0
	16 (1,180 mm)	Máx. 40,0
	20 (0,850 mm)	Máx. 40,0
	25 (0,710 mm)	Máx. 10,0
	Fondo	Máx. 1,0
Humedad		Máx. 13,0 %
Aceite		Máx. 0,8 %
Acidez (ml NaOH 1N/100g)		Máx. 3,0 %
OGM		Ausente
Desoxinivalenol		Máx. 750 ppb
Fumonisinias (B1 e B2)		Máx. 1000 ppb
Zearalenona		Máx. 150 ppb
Ocratoxina A		Máx. 10 ppb
Aflatoxina (B e G)		Máx. 20 ppb

Tabla 2. Características granulométricas y fisicoquímicas de grits de maíz SnackMix 400 de la Empresa: Milhão-Indústria Alimentícia, S.A.

Granulometría	<i>SnackMix 300</i> /Grits de Maíz	
% Retención en los tamices (ABNT):		Patrón
	16 (1,18 mm)	Máx. 1,0
	20 (0,850 mm)	Mín. 60,0
	25 (0,710 mm)	Máx. 30,0
	40 (0,425 mm)	Máx. 10,0
	Fondo	Máx. 2,0
Humedad		Máx. 13,0 %
Aceite		Máx. 0,8 %
Acidez (ml sol. 1N de NaOH/100g)		Máx. 3,0 %
Peso específico		650 a 750g /L
GMO		Ausente
Aflatoxinas		Ausente

Tabla 3. Características granulométricas y físico-químicas de grits de maíz *SnackMix 300* de la Empresa: *Milhão-Indústria Alimentícia, S.A.*

Granulometría	<i>SnackMix 200</i> / Grits de Maíz	
% Retención en los tamices (ABNT):		Padrão
	20 (0,850 mm)	Máx. 2,0
	25 (0,710 mm)	20,0 - 40,0
	40 (0,425 mm)	Mín. 50,0
	50 (0,300 mm)	Máx. 10,0
	Fondo	Máx. 3,0
Humedad		Máx. 13,5 %
Aceite		Máx. 0,8 %
Acidez (ml sol. 1N de NaOH/100g)		Máx. 3,0 %
GMO		Ausente
Desoxinivalenol		Máx. 750 ppb
Fumonisinias (B1, B2)		Máx. 1000 ppb
Zearalenona		Máx. 150 ppb
Ocratoxina A		Máx. 10 ppb
Aflatoxina (B e G)		Máx. 20 ppb

Tabla 4. Características granulométricas y físico-químicas de grits de maíz *SnackMix 200* Empresa: *Milhão-Indústria Alimentícia, S.A.*

Fuente: <https://milhao.net/industria-alimenticia/grits-de-milho-snack200/>

¿CUÁLES SON LOS PRINCIPALES PARÁMETROS DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN?

Dependiendo de la configuración del tornillo o tornillos, los parámetros principales incluyen: humedad, temperatura, velocidad del tornillo, diámetro y tipo de matriz, velocidad de alimentación.

La humedad, en la que se colocó la materia prima para iniciar el proceso, es uno de los factores más importantes para la conversión del material procesado en el producto final listo para el consumo. La cantidad de agua añadida definirá el grado de cizallamiento dentro del sistema de extrusión. De esta forma, si queremos un producto expandido, por ejemplo utilizando sémola (grits) de maíz, la humedad puede estar entre un 14 y un 18% aproximadamente, pudiendo variar según el tipo de ingrediente colocado así como la configuración del tornillo o tornillos. Si el objetivo son los pellets, o también llamados productos intermediarios, la humedad a utilizar puede variar entre 28 a 32% dependiendo de la calidad y tipo de harina a utilizar.

El diámetro y tipo de matriz son los que restringen y dan forma al producto a la salida de la extrusora. Cuanto menor sea el diámetro, más restringida será la salida del producto (esto obviamente aumenta la presión del sistema) lo que debe estar de acuerdo con los demás parámetros (principalmente humedad y temperatura). Hay troqueles muy pequeños, en torno a 1 mm de diámetro, otros pueden ser de 2, 4, 6 u 8 mm, según el tipo de producto y según las condiciones de configuración del extrusor. En la elaboración de snacks es importante el formato, en este caso para lograr la figura correcta también se debe considerar el ajuste adecuado en la velocidad de la cuchilla de corte del producto a la salida de la extrusora.

La temperatura es otro factor importante en el proceso de extrusión. Dependiendo de la longitud del cañón, se debe controlar cuidadosamente el perfil de temperatura, en sus diferentes zonas disponibles, para evitar la sobre-cocción y/o incluso la quema del producto. Consideremos una extrusora de barril corto, es decir, con tres zonas de calentamiento, para productos expandidos, en este caso las temperaturas podrían ser de aproximadamente 90, 100, 140°C; o 100, 120, 160°C, dependiendo del tipo de materia prima, velocidad y configuración del husillo de la extrusora. Si la extrusora tiene 10 zonas de calentamiento, el perfil de temperatura para cereales expandidos puede ser aproximadamente: 80, 90, 90, 100, 120, 120, 130, 130, 140 y 140 °C, este perfil es obviamente tentativo y sujeto a modificaciones según el tipo de materia prima y/o formulaciones que se introdujeron en la extrusora.

Velocidad del(de los) tornillo(s), dependiendo del extrusor, de simple a doble

tornillo. A medida que aumenta la velocidad, cuanto mayor es la tasa de cizallamiento, en consecuencia mayor es la tasa de conversión del material en grado de cocción y la consiguiente expansión. Esto ocurre hasta un límite, ya que esta velocidad no implica una progresión lineal de la expansión. Llega un momento en que, a un cierto valor de velocidad, el material ya no se expande, y por el contrario se reduce. En estas condiciones, el producto sufre una degradación mucho mayor, rompiendo estructuras responsables de la textura, formato, sabor, color y olor del producto e incluso perjudicando la calidad nutricional.

La velocidad de alimentación también influye en la calidad de expansión de un producto determinado. A medida que aumenta, puede haber un aumento en la expansión, hasta un límite donde ocurre lo contrario, disminuyendo los niveles de expansión. Esto se debe a que existe un valor de velocidad de alimentación ideal, que debe ajustarse de acuerdo con la granulometría y el tipo de materia prima, densidad, peso específico y/o formulación a insertar en la extrusora.

La cuchilla, cortadora de los extruidos, importante accesorio que va conectado a un motor de velocidad regulable, pues con la velocidad ajustada podrá cortar los expandidos o pellets a la salida de la matriz, en la medida justa dejando el tamaño y forma deseado. La figura 14 muestra el rodamiento de un sistema de corte, que contiene varias cuchillas de acero.

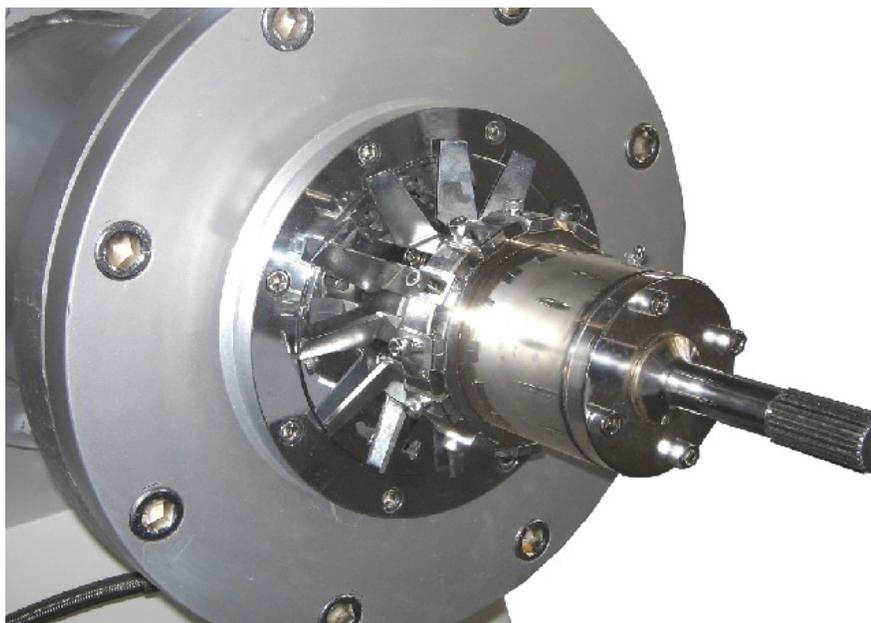


Figura 14. – Mancal de un sistema de corte, de la marca Ferraz, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Fuente: <http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/mancal-suporte-facas-extrusora.html>

¿QUÉ ES MATRIZ O DADO?

Una matriz o dado es una pieza ubicada a la salida de la extrusora con una o más aberturas por donde pasa a presión el material a procesar. El orificio, o los orificios, del troquel o matriz son para modelar productos en diferentes tamaños y estructuras. Se pueden diseñar de forma diferente y según las características del producto a procesar. Su apertura determina la presión de salida del material, por lo que cuanto más cerrada esté la matriz, mayor será la presión ejercida por el sistema, en la figura 15 a, b y c. se presentan diferentes tipos de matriz.

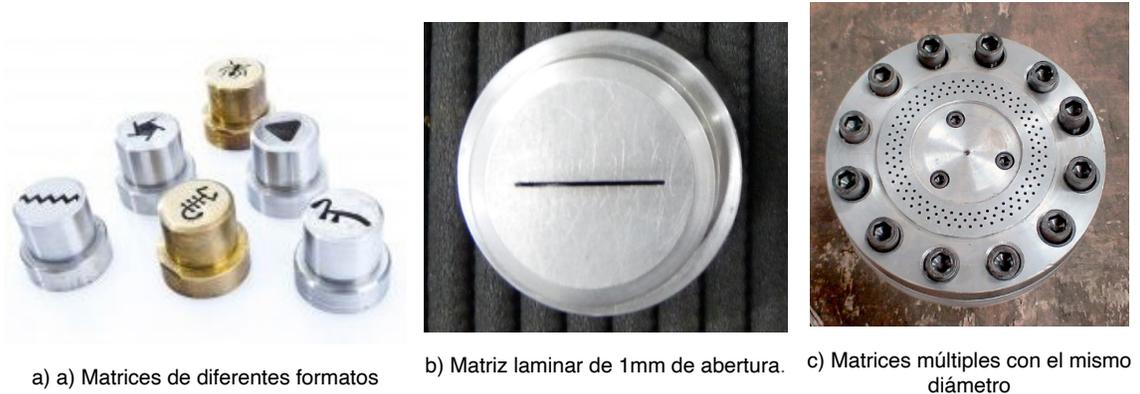


Figura 15. Diferentes tipos de matrices a) formas de figuras de animales y objetos; b) matriz laminar, para que el producto salga en forma de cinta; c) múltiples troqueles con el mismo diámetro, típico en el uso de procesamiento de gránulos.

¿CUÁLES SON LAS DIFERENCIAS Y/O VENTAJAS ENTRE UTILIZAR EXTRUSORA DE TORNILLO SIMPLE O DE DOBLE TORNILLO?

En términos generales, es importante señalar que cada equipo, ya sean extrusoras de uno o dos tornillos, puede ser suficiente para fabricar un producto en particular. La cuestión es cuando se quiere fabricar un determinado producto adicional y que, por razones de categoría de la materia prima, el producto final no tenga la calidad esperada, ya que la extrusora puede no ser la adecuada, o los costes de producción no son compatibles con las expectativas del productor.

Cualquiera que sea la configuración de un solo tornillo, el flujo de producto es directamente proporcional a la velocidad del tornillo, ya que la extrusora debe estar llena de masa para realizar su función. Esto implica que el caudal de la extrusora y la velocidad del alimentador están completamente vinculados.

La extrusora de tornillo único funciona conceptualmente por fricción (entre la masa y el módulo, es decir, la masa se adhiere a la pared del módulo). Esto genera un “flujo de arrastre” debido a la rotación del tornillo dentro de un módulo estático. Cada partícula de fluido tiene una velocidad diferente según su posición en el módulo: cuanto más cerca del centro, más rápido va, lo que implica una dispersión relativamente importante del tiempo de residencia de cada partícula dentro de la extrusora. En este sentido, existen algunos factores limitantes para las extrusoras de un solo tornillo, por ejemplo, una interacción considerable de las variables del proceso, es decir, una dependencia entre la velocidad de alimentación y la velocidad del tornillo; pobre capacidad de mezclado, generación de energía mecánica ineficiente, esto implica la necesidad de utilizar entre dos a cuatro porcentajes más de humedad para gelatinizar el almidón, el cual luego tiene que ser removido en el proceso de secado, implicando costos energéticos en esta operación.

Dado que la extrusora mono-tornillo no funciona como bomba positiva, debe ser monitoreada en el procesamiento de materias primas y/o formulaciones con alto contenido de lípidos, ya que, debido a la acción lubricante de los ácidos grasos, el grado de cocción puede estar comprometido. Lo mismo puede ocurrir cuando se trabaja con altos contenidos de humedad.

Con el tiempo de uso, el espacio (denominado también de luz) entre la parte superior del tornillo y la pared del módulo aumenta, debido al desgaste del tornillo generado por la abrasión y corrosión de la masa. Esto genera fugas de caudales cada vez más importantes, con un fuerte impacto en la calidad del producto: puede llegar a una pérdida del 10 al 20% del caudal a lo largo de la vida del tornillo.

Es importante tener en cuenta que al usar extrusoras de un solo tornillo, la interrupción intermitente del flujo de alimentación de la materia prima puede provocar la obstrucción de la matriz o matrices. Esto se debe a que, dependiendo del tipo de material, principalmente almidonado, puede retrogradarse rápidamente, pasando rápidamente del estado fundido al estado de solidificación. El resultado es que la máquina deja de girar y hay que quitar el tornillo para limpiarlo, así como los troqueles.

Por otro lado, una extrusora co-rotacional (es decir, los dos ejes giran en la misma dirección y están juntos) con un doble tornillo funciona como una bomba de desplazamiento positivo, lo que permite procesar material viscoso, aceitoso, pegajoso o muy húmedo con la misma eficiencia de bombeo. Esta capacidad de bombeo (con mezclado eficiente) permite la adición continua de elementos (vapor, grasas, colorantes, ingredientes, etc.) a los módulos extrusores. Se produce una mezcla muy intensa en las zonas de co-penetración de los tornillos (macro y micro-mezcla). De esta capacidad de mezcla proviene su poder de incorporar energía mecánica y alta tasa de transferencia de calor. Esto permite obtener una cocción homogénea de la masa, con un excelente grado de gelatinización del almidón, desnaturalización proteica y cohesión lipídica. La expansión a nivel de la matriz se realiza de forma consistente, dando como resultado un producto con densidad, textura, forma y color uniformes. Es evidente que existe la necesidad de considerar que para alcanzar este nivel, factores como velocidad de alimentación, tamaño de partícula y homogeneidad del material y/o mezcla formulada, grado de hidratación/precocción en el preacondicionador, configuración del tornillo, el perfil de temperatura del cilindro o cañón, la velocidad de rotación de los tornillos, el diámetro/forma del troquel, la velocidad de corte de la cuchilla deben estar completamente ajustados.

¿QUÉ ES CO-EXTRUSIÓN DE ALIMENTOS?

La co-extrusión es un proceso de extrusión utilizado para obtener un producto que combina dos texturas: un material se extruye y se llena continuamente con otro para formar un solo producto. En la figura 16 se puede observar que la componente azul corresponde a la extrusión de un material que puede ser por ejemplo cereal expandido, en la parte final de la matriz, indicada en color rojo, corresponde a un conducto que sirve para alimentar el segundo componente, que puede ser, por ejemplo, un tipo de mermelada o una salsa salada. De esta forma, un dado expandido en forma de cilindro tendría el relleno de mermelada en la parte central.

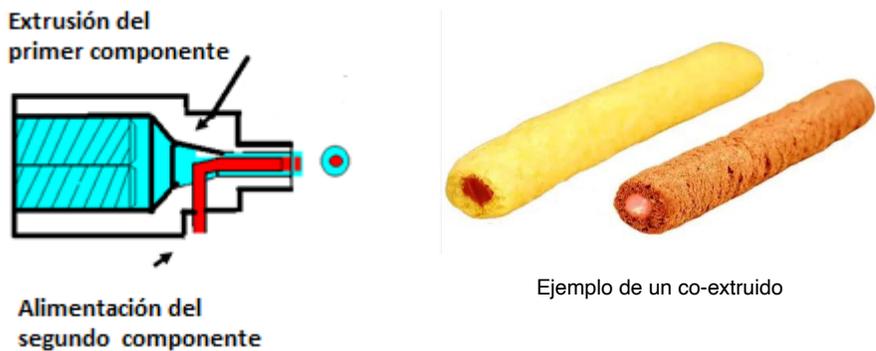


Figura 16.- Esquema de un sistema de co-extrusión y el producto resultante.

Fuente: https://pt.made-in-china.com/co_saibainuochina/product_Core-Filling-Snack-Food-Processing-Line-CO-EXTRUDED-SNACK-FOOD-MACHINE-_hhyerygu.html

¿QUÉ ES PELETIZACIÓN?

El peletizado consiste en transformar formulaciones y/o materias primas harinosas sometidas a tratamientos térmicos (temperatura y humedad) y alta presión en pellets (Pellets) mediante una peletizadora o extrusora. Esto quiere decir ambos procesos producen pellets. En la figura 17 se pueden observar diferentes tipos de pellets.



Figura 17.- Diferentes tipos de pellets.

Fuente: <https://www.portaldoagronegocio.com.br/agroindustria/nutricao-animal/noticias/conheca-os-fatores-que-impactam-a-durabilidade-do-pelete-e-a-eficiencia-productiva-no-processo-de-peletizacao-de-racoes>

Este proceso tiene como objetivo compactar los ingredientes de la masa formulada, lo cual se realiza a través de múltiples troqueles o matrices, que a la salida son cortados de acuerdo al tamaño requerido. Debe tenerse en cuenta que la peletización se puede realizar mediante equipos de extrusión o peletización. Una peletizadora consiste básicamente en un sistema que cuenta con un émbolo que tiene la función de comprimir la porción formulada desmenuzada, previamente envasada con la humedad adecuada, la cual, con la temperatura adecuada, es capaz de compactar y formatear los pellets. El uso de estos dos sistemas de extrusión y/o peletización tiene sus ventajas y desventajas, como se describe en la Tabla 5.

El proceso de granulación o peletización se puede definir como la transformación

del pienso inicialmente en forma de harina en pienso granulado o peletizado, mediante un proceso mecánico e físico-químico. Esto ocurre al agregar vapor a la alimentación del macerado y exponerlo a rangos específicos de temperatura, humedad y presión durante un tiempo determinado, que luego al atravesar una matriz simple o múltiple se convierte en un pellets.

Independientemente del proceso de elaboración, se sabe que las raciones balanceadas presentan numerosas ventajas frente a los tradicionales masas formuladas y/o mezclas de semillas granuladas, tales como: estandarización y adecuado balance de nutrientes, eliminación de la selección de alimentos, mayor digestibilidad de los mismos y destrucción parcial o total de organismos patógenos, según el método de peletización adoptado.

Los procesos más utilizados en la fabricación de alimentos para animales son la extrusión y la peletización. Ambos procesos dan como resultado alimentos balanceados, pero existen diferencias considerables entre los productos. El proceso de extrusión se caracteriza por la cocción de los ingredientes a alta presión, humedad y temperatura, en poco tiempo. Este proceso proporciona mayor digestibilidad del alimento, además de mejorar la palatabilidad del alimento. Otra ventaja es la versatilidad en cuanto al control de la textura, la densidad (relacionada con el grado de expansión) y el formato de los alimentos. Los productos extruidos se pueden ofrecer en diferentes formas y tamaños, lo que también aporta ventajas en términos de atractivo. Este conjunto de factores destaca el proceso de extrusión como ventajoso, en relación a procesos más tradicionales en la fabricación de alimentos para animales. Todas las raciones, peletizadas o en sticks, son producidas por extrusión, ya que permite ofrecer a los animales la mejor nutrición y, en consecuencia, aún más salud y bienestar.

Por lo tanto, en resumen, la peletización es la compactación de los ingredientes, formando pequeñas unidades llamadas pellets. En esta transformación intervienen también la humedad, la presión y la temperatura, pero en menor medida, lo que redundaría en un grado de cocción reducido. Este proceso se utiliza en la fabricación de aproximadamente dos tercios de los alimentos para animales en el mundo, debido al bajo costo de producción y la facilidad de manejo de los equipos. Frente al proceso de extrusión, el peletizado presenta desventajas en cuanto a digestibilidad y palatabilidad.

Fuente: <https://racoespassaroforte.com.br/2019/09/06/post3/>

¿CUÁLES SON LAS VENTAJAS DE UN SISTEMA DE EXTRUSIÓN Y EL DE PELETIZACIÓN, EN LA ELABORACIÓN DE ALIMENTOS BALANCEADOS?

En la tabla 5. Son presentados las principales comparaciones entre los procesos de extrusión y peletización na elaboración de alimentos balanceados.

Extrusión	Peletización
Versatilidad de los equipos de extrusión - permite la producción de piensos con diferentes densidades (inmersión flotante, rápida o lenta)	El equipo de granulación/peletización permite la producción de una gama limitada de pellets y son de hundimiento rápido
Flexibilidad: muchas fórmulas se pueden convertir en alimentos aceptables para pescado, camarones, cerdo, pollo, mascotas, etc.	Las formulaciones están restringidas a algunos tipos de alimentos (pollo y cerdo incluidos)
Alta digestibilidad de las materias primas, principalmente la fracción de almidón (granos de cereales), por lo tanto, alta tasa de conversión alimenticia	Mejor digestibilidad de los ingredientes crudos, pero no tan eficientemente como los extruidos, y menor tasa de conversión alimenticia
Contenido máximo de humedad hasta 55%. Puede usar ingredientes húmedos	Contenido máximo de humedad de 16 a 17%
Tasa de cocimiento $\geq 90\%$	Tasa de cocimiento de alrededor del 50% usando varios pre-acondicionadores

Riesgo mínimo de contaminación bacteriana debido a la alta temperatura y presión	Riesgo de contaminación bacteriana en el producto final. La temperatura de cocción es demasiado baja para ser adecuada para la destrucción de factores antinutricionales, organismos patógenos y virus en el alimento.
Se pueden obtener fácilmente gránulos con alta estabilidad en agua	Los gránulos de estabilidad del agua requieren aditivos aglutinantes y buenas habilidades del operador
Alta durabilidad del producto, alimenta con matriz interna uniforme	Los ingredientes se comprimen y pueden descomponerse, generando finos. El contenido de nutrientes puede diferir en los gránulos.
Se pueden aumentar las proporciones de ingredientes derivados de plantas, mientras que se pueden reducir la harina de pescado y otras materias primas caras.	Es difícil aumentar la cantidad de ingredientes derivados de plantas en las formulaciones, por lo que se deben emplear materias primas caras como la harina de pescado.
La alta presión y la temperatura aumentan la gelatinización del almidón, generando productos uniformes y de alta calidad casi sin finos.	Los alimentos se preparan a temperaturas y presiones más bajas, por lo que a menudo hay finos en los alimentos.
Formulaciones de bajo costo	Formulaciones limitadas por el diseño de la máquina, que requieren harinas de pescado costosas para cumplir con los requisitos de proteínas.

La formulación puede contener niveles de grasa de hasta un 22%	Los niveles de grasa se limitan al 4-5 %; de lo contrario, la producción de gránulos no es práctica
Requiere triturar la materia prima con un tamaño de malla de 20	Requiere una molienda más finas de la materia prima, tamaño de malla de 60
Alta inversión de capital	Menor inversión de capital
Uso prolongado del equipo	Uso de equipos con tiempo más corto

Tabla 5. Comparación entre tecnologías de procesamiento de raciones.

Fuente: Arturo Melendez Arevalo, Jose Luis Ramirez Ascheri, Eliana Monteiro Soares de Oliveira, Jose De Jesus Berrios, Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality, *Journal of Food, Agriculture and Environment*, Issue 3&4, Pages 10-17. (<https://www.wfpublisher.com/Abstract/5530>). DOI:10.1234/4.2018.5530.

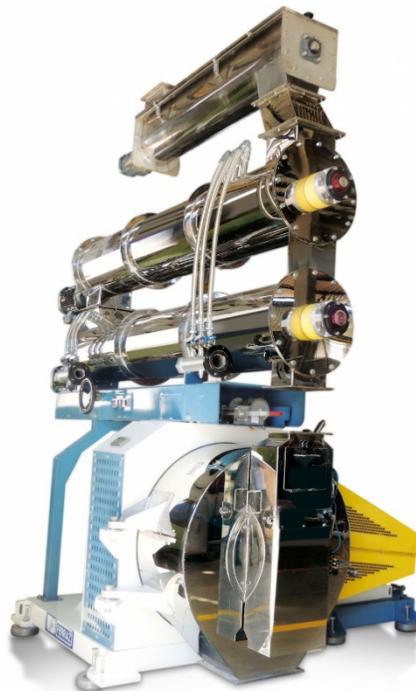


Figura 18.- Peletizadora de la marca Ferraz, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Fuente: <http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/peletizadoras-de-racao.html>



Figura 19.- Sistema de extrusión de doble tornillo de la marca Ferraz®, Ribeirão Preto, SP, Brasil.

Fuente: <http://www.ferrazmaquinas.com.br/conteudo/extrusoras-dupla-rosca.html>

¿CUÁL ES LA IMPORTANCIA DE LA GRANULOMETRÍA EN LA PRODUCCIÓN DE PELLETES?

El tamaño de partícula, dependiendo del uso de la formulación, es significativamente importante, especialmente en la producción de gránulos para alimentación animal, ya que es responsable de la calidad de los gránulos en diferentes aspectos. Las partículas más finas en la formulación permiten una mayor penetración del calor y la humedad en las partículas del ingrediente, debido a la mayor superficie de exposición. Esto está relacionado con el principio de difusividad del agua, donde las partículas más pequeñas tienden a absorber más agua y más rápido que las partículas más grandes. De ahí la necesidad de considerar, en la medida de lo posible, la homogeneidad de las partículas en la formulación.

Sin embargo, siempre se debe tener en cuenta la mejor granulometría para la especie a la que se destina el alimento.

Con partículas más gruesas, puede resultar en la producción de gránulos quebradizos, ya que una partícula más grande dentro o en la superficie de los gránulos puede formar una región frágil, funcionando como un punto de ruptura. Además, existe un mayor porcentaje de finos cuando se trabaja con granulometrías mayores.

Los resultados de un tamaño de partícula adecuado pueden conducir a: una mejor apariencia del producto; reducción de la incidencia de taponamiento en los agujeros de los troqueles; facilidad de cocción de los ingredientes; reducción de polvos finos y reducción de rotura de gránulos; mayor estabilidad en el agua; mejor retención de fluidos durante el recubrimiento debido a la estructura de celdas pequeñas.

En general, la partícula de la mezcla formulada debe tener alrededor de $1/3$ de la abertura de la matriz, sin exceder los 1.5 mm. La Figura 20 muestra el efecto del tamaño de partícula en raciones elaboradas con partículas de 800 y 1.5 micras.



Figura 20.- Pellets elaborados con formulaciones con tamaño de partículas de $800\ \mu\text{m}$ y $1.5\ \mu\text{m}$, respectivamente.

Fuente: Curso de Extrusión FPR&D Center-TA&MU y Wenger Manufacturing, Inc.

SIENDO EL PROCESO DE EXTRUSIÓN UN MÉTODO DE COCCIÓN, ¿CÓMO PUEDE SER EVALUADO EL GRADO DE COCIMIENTO DE UNA DETERMINADA MUESTRA?

Teniendo en cuenta que los principales ingredientes a procesar tienen altas cantidades de almidón o mezclas de almidón-proteína-lípido, algunas formas de determinar los cambios que se han producido son:

Índices de absorción (IAA) y solubilidad en agua (ISA).- Suponiendo que el almidón nativo es insoluble en agua, y su contribución a la viscosidad es prácticamente nula. Sin embargo, el almidón extruido absorbe agua rápidamente, formando una pasta a temperatura ambiente, sin ningún tipo de calentamiento. Esta pasta está formada por las macromoléculas solubilizadas y también incluye partículas hinchadas con agua (gel). Estas propiedades están fuertemente influenciadas por el tamaño de las partículas: cuanto más pequeña son las partículas, mayor es la velocidad y el grado de solubilización. El Índice de Absorción de Agua (IAA) es el peso del gel obtenido por gramo de muestra seca, y generalmente se determina por el método de Anderson et al. (1969). El valor de IAA se correlaciona bien con la viscosidad de la pasta fría porque solo los gránulos de almidón dañados absorben agua y se hinchan a temperatura ambiente, lo que aumenta la viscosidad. Después de alcanzar un máximo, con respecto al grado de almidón dañado, el IAA disminuye con el inicio de la dextrinización. Por otro lado, el Índice de Solubilidade em Água (ISA) expressa a porcentagem da matéria seca recuperada após evaporação do sobrenadante da determinação de absorção de água (ANDERSON et al., 1969). El ISA está relacionado con la cantidad de moléculas solubles en la muestra seca y mide la dextrinización. La solubilidad en agua del almidón también está relacionada con la expansión y sigue las mismas variaciones con las condiciones de extrusión. La característica “pegajosa” de algunos productos de almidón extruido está relacionada con su alta solubilidad. Este problema se puede reducir complejando la amilosa soluble con ácidos grasos o monoglicéridos, que actúan simultáneamente para retrasar la retrogradación del material extruido.

Método de la viscosidad de la pasta.- El comportamiento de la pasta de los productos a base de almidón generalmente se caracteriza por mediciones de consistencia y viscosidad. La consistencia se puede medir utilizando, por ejemplo, el consistómetro de Botwick, que mide la longitud del flujo de una suspensión hidratada sobre un plano horizontal. Sin embargo, actualmente el método más común está relacionado con el uso del Rapid Visco Analyzer (RVA), o analizador rápido de viscosidad, cuyas ventajas en la

determinación de la consistencia son significativas, tanto en términos del menor tiempo de análisis (aproximadamente 10-14 min.) para la pequeña cantidad de muestra (1-3 g) requerida (WALKER et al., 1988).

El comportamiento de los almidones extruidos durante el calentamiento, en exceso de agua, como se puede observar con el Rapid Visco-Analyser (RVA), se caracteriza por la ausencia de un pico de gelatinización durante el calentamiento, por la alta viscosidad en frío (antes del calentamiento), por la disminución continua de la viscosidad de 50 a 96°C, y por la fuerte disminución de la viscosidad en el rango de 90-96°C con punto de inflexión (Figura 21). La viscosidad de la pasta fría depende principalmente del grado de gelatinización de los gránulos de almidón y del grado de descomposición molecular durante el proceso de extrusión. La viscosidad de la pasta fría se refiere a la viscosidad de la suspensión de agua y almidón a temperatura ambiente, sin necesidad de calentamiento. Se observó que la viscosidad inicial en frío aumentó hasta alcanzar un valor máximo, y luego disminuyó con el aumento de la severidad de la extrusión.

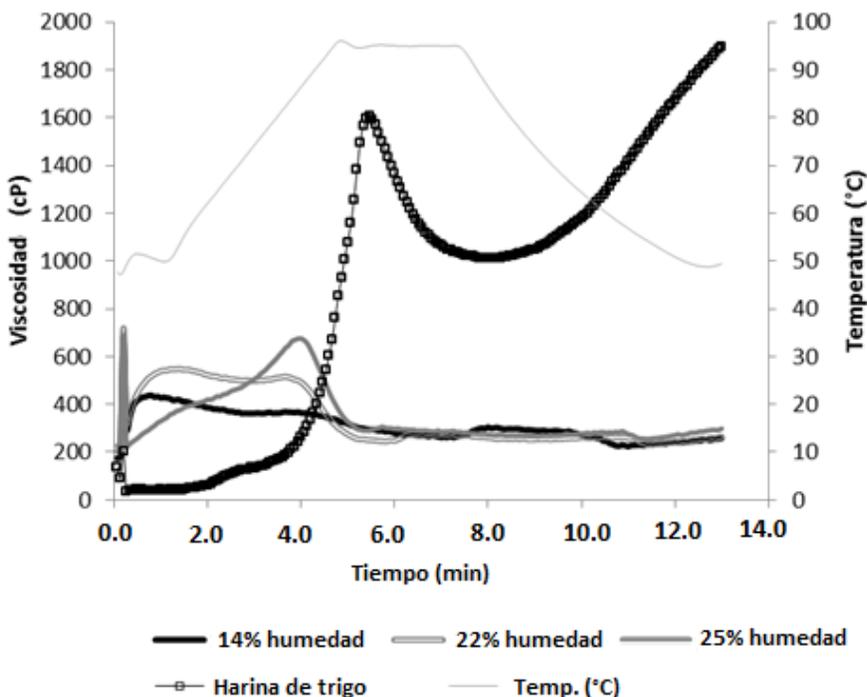


Figura 21. Influencia de las condiciones de extrusión en los viscoamilogramas de harina de trigo y extruidos de harina de trigo a 14, 22 y 26% de humedad en la misma condición de procesamiento (velocidad de rotación del tornillo a 300 rpm, velocidad de alimentación de sólidos a 11 kg/h y temperatura de la última zona de calentamiento a 170°C).

Fuente: Carvalho (2001).

Calorimetría Diferencial de Barrido –DSC.- ¿Qué es DSC? La técnica difundida como DSC (Differential Scanning Calorimetry), en portugués Calorimetría Diferencial de Barrido, se puede definir como una técnica que mide las temperaturas y el flujo de calor asociado a las transiciones de los materiales en función de la temperatura y el tiempo. Tales mediciones brindan información cualitativa y cuantitativa sobre cambios físicos y químicos que involucran cambios endotérmicos (absorción de calor), exotérmicos (liberación de calor) o de capacidad calorífica. El método de prueba consiste en calentar o enfriar una muestra a una velocidad controlada, bajo la acción de un gas de purga específico con flujo controlado, y monitoreo continuo con un dispositivo de detección adecuado para observar la diferencia en la entrada de calor entre el material de referencia y el material de prueba.

¿PARA QUÉ SIRVE?

Es una de las técnicas más importantes, utilizadas y extendidas para la caracterización e identificación de polímeros. En un análisis DSC, las propiedades se pueden obtener como se describe en la Tabla 6.

Temperatura de transición vítrea (Tg)	Calor de fusión y de reacción
Temperatura de fusión (Tm)	Capacidad calorífica (Cp)
Temperatura de ebullición (Te)	Estabilidad térmica y oxidativa
Temperatura (Tk) tiempo de cristalización	Grado de reticulación
Grado de cristalinidad	Cinética de reacciones

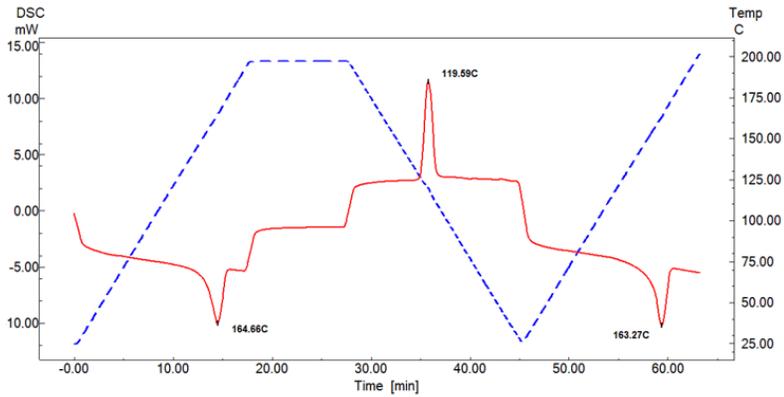
Tabla 6. Propiedades que pueden ser determinadas en el calorímetro

Fuente: <https://afinkopolimeros.com.br/dsc-o-que-e-e-para-que-serve/>

La técnica DSC también se puede utilizar para detectar tensiones congeladas en piezas terminadas, contaminación y/o mezcla de materiales, tiempo de oxidación (OIT y OOT), alguna cuantificación para mezclar materiales, etc.

Algunos factores que pueden afectar directamente el resultado final del análisis son: velocidad de calentamiento y enfriamiento, gas utilizado, tipo de puerto de muestra, masa y forma de la muestra, etc.

En la Figura 22 se puede ver una curva DSC típica.



Curva de DSC: flujo de calor (—) e temperatura (---).

Figura 22. Gráfico de um análises de DSC

Fuente: <https://afinkopolimeros.com.br/dsc-o-que-e-e-para-que-serve/>

SIENDO EL PROCESO DE EXTRUSIÓN UN TRATAMIENTO TÉRMICO, ¿HAY PÉRDIDAS DE NUTRIENTES Y/O MICRONUTRIENTES?

Sí, en el caso de los aminoácidos puede haber una pérdida de alrededor del 30%. Por eso, para complementar, en el caso de procesamiento y alimentación animal, por ejemplo, las industrias utilizan aminoácidos sintéticos, como lisina, metionina, triptófano, entre otros. En el caso de la vitamina C, esta es termolábil y preferiblemente se debe agregar después del proceso, evitando así la pérdida de este importante ingrediente. En el caso de otras vitaminas y pigmentos, la pérdida dependerá de la materia prima formulada, la temperatura de proceso, la humedad utilizada y los tiempos de retención, tanto en el pre-acondicionador como en el sistema de extrusión, esta pérdida puede llegar a , en promedio, entre 10 y 15%. Esto implica que debe existir una ecuación entre tiempos de retención y grado de mezcla y homogeneización y parámetros de extrusión, principalmente contenido de humedad y temperatura de cocción, de tal manera que su optimización resulte en pellets con calidad no solo desde el punto físico y de apariencia (textura, densidad, pellets quebradizos o desmenuzables, etc.) pero también con requerimientos nutricionales preservados.

¿CUÁL ES EL EFECTO DEL PROCESO DE EXTRUSIÓN SOBRE LA CARGA MICROBIANA?

En términos generales, la extrusión reduce significativamente la presencia de microorganismos patógenos. La Tabla 7 muestra los principales microorganismos contados en muestras de una determinada formulación antes y después del proceso de extrusión. Esto estará relacionado con el perfil de temperatura adoptado en el proceso, número de zonas en el sistema, tiempo de residencia en la barrica, formulación, entre otros.

Tipo de microorganismo	Formulación antes del proceso de extrusión	Formulación después del proceso de extrusión
TPC (CFU/g)	240.00	9,300
Coliformes totales	22.600	<10
Contaje de hongos y levaduras	54.540	<10
Clostridium botulinum	16.000	<10
Listeria sp	positivo	negativo
Salmonella sp	negativo	negativo

Tabla 7. Efecto de la extrusión sobre la población de microorganismos en la materia prima formulada.

Fuente: Curso de Extrusión FPR&D Center-TA&MU y Wenger Manufacturing, Inc.

¿CUÁLES SON LAS CONSIDERACIONES EN LA UTILIZACIÓN DE COPRODUTOS AGROINDUSTRIALES EN EL PROCESAMIENTO POR EXTRUSIÓN?

Entre los principales factores a considerar:

(a) preparación de la materia prima, esto implica, si la condición original es de alto contenido de humedad, debe ser deshidratada, acondicionada a las condiciones requeridas para la formulación, por ejemplo molienda/tamizado de acuerdo al producto final requerido, adecuando el tamaño de partícula, manteniendo buenas prácticas de procesamiento/fabricación, regidas por las normas sanitarias vigentes, es decir, grado alimenticio.

(b) Bajo las condiciones expresadas en el inciso (a) implica necesariamente costos en las operaciones (energía para secado, molienda, tamizado, etc.) que también pueden reflejarse en la permanencia de los componentes nutricionales que supuestamente hacen el procesamiento de este coproducto valga la pena.

(c) Se debe considerar la disponibilidad de material para considerar escalas de producción, por ejemplo, subproducto de cáscara de naranja de industrias de jugo de naranja concentrado, uva, marañón, salvado de arroz, algodón, trigo, etc.

(d) otro aspecto importante se refiere a la capacidad de extrusión del material resultante de los coproductos, es decir, no todos los productos son factibles de poner en la extrusora y tener un producto resultante satisfactorio. Un caso típico es tratar de extrudir cascarilla de arroz, material con alto contenido de sílice y material celulósico.

¿QUÉ ES LA EXTRUSIÓN REACTIVA?

El proceso de extrusión reactiva utiliza una extrusora como reactor continuo (principalmente una extrusora de doble tornillo co-rotacional), con excepcionales capacidades de mezclado a nivel molecular. Este diseño de extrusor-reactor está idealmente adaptado para provocar reacciones químicas de viscosidad media (viscosidad >100 Pa.sy/o viscosidad variable), con un adecuado control de parámetros como temperatura y tiempo. Usando una extrusora de doble tornillo como reactor, las reacciones pueden ocurrir tanto en la fase homogénea como en la fase heterogénea.

(a) Reacciones en fase homogénea, polimerización en masa que puede incluir modificaciones químicas de los polímeros: injerto, reticulación, funcionalización, despolimerización, etc. Reacciones en fase líquida en química orgánica clásica.

(b) Reacciones en fase heterogénea, sistemas acuosos de dos fases, incluido el procesamiento de caseína a caseinato, saponificación (aumento de la viscosidad según la tasa de conversión)

(c) Sistemas bifásicos líquido-sólido, incluyendo digestión alcalina de lignocelulósicos, blanqueo de pulpa y separación sólido-líquido, etc.

(d) Reacciones enzimáticas - Hidrólisis de biopolímeros (almidón y proteínas)

CONSIDERACIONES FINALES

Sin duda, la tecnología de extrusión puede ser utilizada por empresarios de pequeñas, medianas y grandes empresas. Basta con adaptarse a las diferentes alternativas disponibles en el mercado de fabricantes de extrusoras. La elección del equipo adecuado es muy importante para el empresario, pues de ello dependerán sus resultados de retorno económico con los productos que espera fabricar. Este tratado se ha limitado solo al aspecto relacionado con la extrusión, pero existen procesos tecnológicos previos y posteriores a la extrusión bien establecida que no se han abordado en este libro. Pre-extrusión, que comprende todo lo relacionado con la preparación de la materia prima a procesar. Una de las principales actividades está relacionada con el sector de la molienda. La elección de estos equipos debe ser juiciosa según las necesidades para obtener buenos resultados durante la extrusión. Los equipos de post extrusión están relacionados con la terminación del producto extruido dependiendo si se trata de alimento para consumo humano o alimentación animal, por ejemplo secado, recubrimientos con aceite o condimentos, o adición de fortificantes, etc. así como sistemas de embalaje.

REFERENCIAS

AREVALO, ARTURO MELENDEZ; ASCHERI, JOSÉ LUIS RAMÍREZ; OLIVEIRA, E. M. S.; BERRIOS, J. J. Aquaculture feeds: a review of raw material, manufacturing process and product quality. INTERNATIONAL JOURNAL OF FOOD, AGRICULTURE AND ENVIRONMENT (ONLINE). , v.16, p.10 - 17, 2018.

ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, Carlos Wanderlei Piler de; SPEHAR, Carlos Roberto Extrusao do Amarantho no desenvolvimento de produtos: Caracterização Física-Química.. Rio de Janeiro: Embrapa, 2004, v.1. p.31.

ASCHERI, J. L. R.; COLQUE, R. J. B.; BORSOI, L. M.; ASCHERI, D. P. R.; ARÉVALO, A.M.; SILVA, E. M. M. da Extrusion Cooking using Fruits Peels, Whole Cereals and Grains. Global Journal of Nutrition & Food Science. , v.1, p.1 - 5, 2019.

ASCHERI, J. L. R.; COLQUE, R. J. B.; SOUSA, L. B. T.; ASCHERI, D. P. R.; SILVA, E. M. M. da How does Extrusion Technology Help the Development of Foods with Better Nutritional Value?. Global Journal of Nutrition & Food Science, v.1, p.1 - 2, 2019.

ASCHERI, JOSÉ LUÍS RAMÍREZ; CARVALHO, C. W. P. Tecnologia de extrusão: uma ferramenta para o desenvolvimento de produtos In: Tendências e Inovações em Ciência, Tecnologia e Engenharia de Alimentos.1 ed. São Paulo: Atheneu, 2014, v.1, p. 123-146.

BERRIOS, J. J.; ASCHERI, J. L. R.; LOSSO, J. N. Extrusion Processing of Dry Beans and Pulses In: Dry Beans and Pulses.1 ed. Arnes: Iowa State University Press, 2013, v.1, p. 185-203.

BRENNAN, J.G. (2006) Food processing handbook. Wiley VCH, Germany, 215-220.

GANJYAL, GIRISH M. EXTRUSION COOKING. Cereal Grains Processing. 2d. Ed. Woodhead Publishing – Elsevier, Duxford, United Kindong, 2020.

GERMANI, Rogério; ASCHERI, J. L. R.; SILVA, F. T.; TORREZAN, R.; SILVA, K. L. E.; GORGATTI NETO, A.; NUTTI, M. R. Manual de fortificação de farinha de trigo com ferro. Rio de Janeiro: SENAI.RJ, 2001, v.1. p.54.

MARQUES, G. DE A.; MAGALHÃES, C.S.; ASCHERI, JOSÉ LUIS RAMÍREZ; SILVA, E. M. M. da. O Efeito do Processamento por Extrusão Termoplástica na Qualidade Nutricional dos Alimentos: Uma Revisão. Journal of Applied Pharmaceutical Sciences. , v.5, p.45 - 56, 2018.

MOURA, L.S. DE M.; ASCHERI, J. L. R. EFEITOS DAS VARIÁVEIS DE EXTRUSÃO SOBRE PROPRIEDADES DE PASTA DE FARINHAS MISTAS PRÉ-GELATINIZADAS DE ARROZ (ORYZA SATIVAE, L.), FEIJÃO (PHASEOLUS VULGARIS L.) E MILHO (ZEA MAYS L.)*. Alimentos e Nutrição (Online), v.24, p.1 - 7, 2013.

ONWULATA, C.I.; A.E. THOMAS; P.H. COOKE; J.G. PHILLIPS; CARVALHO, C. W. P.; ASCHERI, J. L. R.; P.M. TOMASULA. Glycemic potential of extruded barley, cassava, corn, and quinoa enriched with whey proteins and cashew pulp. International Journal of Food Properties, v.13, p.338 - 359, 2010.

ROMERO RODRÍGUEZ, JOSÉ ARTURO; ASCHERI, JOSÉ LUIS RAMÍREZ; DA SILVA LOPES, ARTUR JORGE; VARGAS-SOLÓRZANO, JHONY WILLIAN; PACHECO, SIDNEY; DE JESUS, MONALISA SANTANA COELHO. Physical Characterization of Maize Grits Expanded Snacks and Changes in the Carotenoid Profile. PLANT FOODS FOR HUMAN NUTRITION. v.75, p.1 - 10, 2021.

SANTOS, D. M.; ASCHERI, D. P. R.; BUKZEM, A. L.; ASCHERI, J. L. R. PREPARATION PREGELATIZED FLOUR BY THERMOPLASTIC EXTRUSION-BASED BAGASSE BARLEY AND CORN GRITS. Revista de Agrotecnologia. , v.7, p.27 - 39, 2016.

SILVA, E. M. M. da; ASCHERI, JOSÉ LUÍS RAMÍREZ; CARVALHO, C. W. P.; TAKEITI, C. Y.; BERRIOS, J. J. Physical characteristics of extrudates from corn flour and dehulled carioca bean flour blend. Lebensmittel-Wissenschaft + Technologie / Food Science + Technology, p.620 - 626, 2014.

VARGAS-SOLÓRZANO, JHONY WILLIAN; DE CARVALHO, CARLOS WANDERLEI PILER; TAKEITI, CRISTINA YOSHIE; ASCHERI, JOSÉ LUÍS RAMÍREZ; QUEIROZ, VALÉRIA APARECIDA VIEIRA. Physicochemical properties of expanded extrudates from colored sorghum genotypes. Food Research International. , v.55, p.37 - 44, 2013.

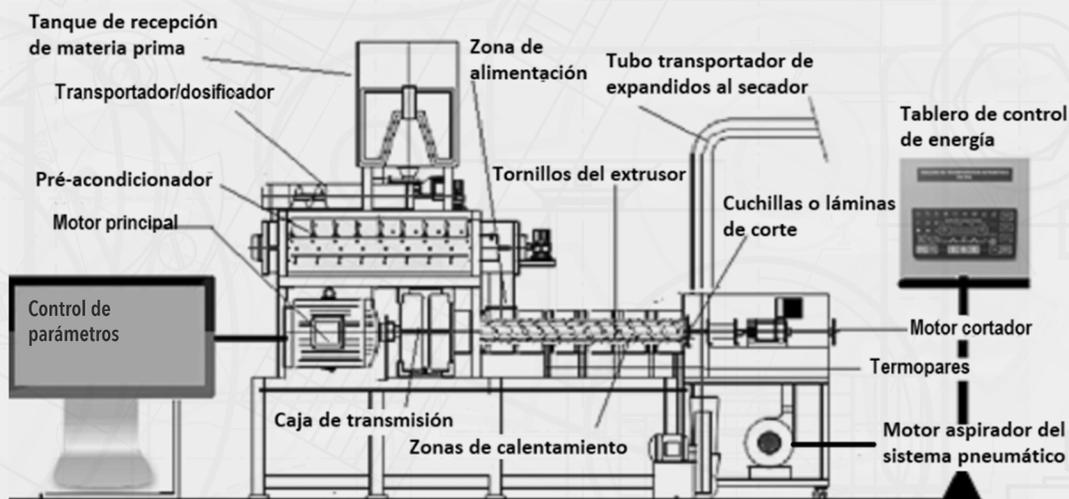
WALKER CE, ROSS AS, WRIGLEY CW, MCMASTER GJ Accelerated characterization of starch paste viscosity and setback with the Rapid-Visco-Analyzer. Cereal Foods World 33:491–494. (1988)

Yo, José Luis Ramírez Ascheri, nací en Tingo María, Perú, una región conocida como la puerta de entrada a la Amazonía peruana. Allí realicé estudios desde los primeros años hasta que me gradué, en 1981, como Ing. de Alimentos, en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en la misma ciudad. Mi primer trabajo fue como profesor contratado en la misma universidad, una experiencia interesante para un recién graduado. En Lima, Perú, conseguí un trabajo como asistente de investigación en la empresa Maltería Lima, donde trabajé en análisis químicos de las muestras de malta utilizadas en las cervecerías de la capital peruana, mi tiempo allí fue corto, porque pronto me llamaron y contratado como Gerente de Planta de una fábrica de Bebidas gaseosas, La Loretana, en Pucallpa, Perú. Luego de dos años trabajando en esta actividad, como un desafío personal, decidí viajar a Brasil para realizar una maestría académica en la Facultad de Ingeniería de Alimentos (FEA) de la Universidad Estadual de Campinas (UNICAMP), obteniendo el título de Maestro en Tecnología de Alimentos en 1987. Durante mi estadía en la FEA, aún como estudiante de Maestría, fui contratada como Técnico de nivel Superior por la FEA, cargo que ocupé por cerca de dos años. Al mismo tiempo que ocupé el cargo, continué mis estudios matriculándome en el curso de doctorado en FEA-UNICAMP. A fines de 1989, hubo un concurso público de investigador científico de EMBRAPA, en el área de Tecnología de Cereales, en el que participé y me incorporé como tal en marzo de 1990 después de mi salida como empleado de la UNICAMP. En Embrapa Agroindustria de Alimentos (CTAA), con el objetivo de realizar mi tesis doctoral, viajé a los EE. UU por cerca 2 años, logrando terminar la parte experimental de mi Tesis, en el área de extrusión, la cual sustenté en la FEA en 1994, para obtener el título de Doctor en Tecnología de Alimentos. Al incorporarme a las actividades de investigación en el CTAA, me sumé al grupo de investigadores del área de Tecnología de Cereales, en el que me desempeñé hasta el momento, que en 2022 ya superando 32 años de intenso trabajo en equipo con grandes resultados. Al mismo tiempo, como resultado de un convenio entre EMBRAPA y el Programa de Posgrado en Ciencia y Tecnología de Alimentos (PPGCTA) de la Universidad Federal Rural de Rio de Janeiro (UFRRJ), he sido profesor titular en ese programa desde 1995 a el presente, donde he contribuido e continuo como profesor permanente, asesor/supervisor, hasta ahora, de estudiantes, con 25 Disertaciones para la obtención del título de Maestría y 17 Tesis para la obtención del título de Doctor otorgadas por la UFRRJ. Por otro lado, con el fin de apoyar un nuevo programa de posgrado, fui invitado a participar como profesor permanente en el Programa de Posgrado en Nutrición y Salud (PPGNS) de la Universidad Federal de Espírito Santo (UFES). Como resultado de la investigación en el CTAA y la orientación de posgrado, he publicado como autor y coautor alrededor de 190 publicaciones en revistas técnico-científicas nacionales e internacionales, así como la participación en congresos relacionados con Tecnología de Alimentos/Cereales. Se puede ver más información sobre los resultados académicos en Curriculum Lattes, <http://lattes.cnpq.br/1891994321882753>, o en Google Scholar, como José Ascheri.

PREGUNTAS Y RESPUESTAS SOBRE EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA DE ALIMENTOS

UN ABORDAJE SIMPLIFICADO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br



PREGUNTAS Y RESPUESTAS

SOBRE

EXTRUSIÓN TERMOPLÁSTICA DE ALIMENTOS

UN ABORDAJE SIMPLIFICADO

-  www.atenaeditora.com.br
-  contato@atenaeditora.com.br
-  [@atenaeditora](https://www.instagram.com/atenaeditora)
-  www.facebook.com/atenaeditora.com.br

