

**Desarrollo de arroz extruido para la elaboración de barras de cereal en la  
planta extrusora CNCH**

**Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero de Alimentos**

**Jhoan Esteban Corrales Cardona**

**Asesor**

**Elly Vanessa Acosta**

**Ingeniera de Alimentos**

**Corporación Universitaria Lasallista**

**Facultad de Ingeniería**

**Ingeniería de Alimentos**

**Caldas-Antioquia**

**2019**

## Tabla de contenido

<b>LISTA DE TABLAS .....</b>	<b>4</b>
<b>LISTA DE ILUSTRACIONES .....</b>	<b>5</b>
<b>RESUMEN .....</b>	<b>6</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>OBJETIVOS.....</b>	<b>10</b>
OBJETIVOS GENERAL .....	10
OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>JUSTIFICACIÓN .....</b>	<b>11</b>
<b>MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>12</b>
TECNOLOGÍA DE EXTRUSIÓN .....	12
PROCESO DE OBTENCIÓN.....	12
MATERIAS PRIMAS .....	14
<i>Harina de Arroz</i> .....	14
<i>Harina de trigo</i> .....	15
<i>Agente de relleno (Isomalt)</i> .....	15
<i>Aceite vegetal</i> .....	16
<i>Agua</i> .....	16
<i>Color natural (Cocoa)</i> .....	17
<i>Agente estabilizante (carbonato de calcio)</i> .....	17
<i>Agente emulsificante (Lecitina de Soya)</i> .....	18
<i>Gelificación</i> .....	18
<i>Retención de agua</i> .....	19
<b>MATERIALES Y MÉTODOS.....</b>	<b>21</b>
FORMULACIÓN.....	21
<i>Materias primas</i> .....	21
ENSAYOS EXPLORATORIOS PARA FORMULACIÓN .....	21
PROCESO .....	22

	3
ENSAYOS EXPLORATORIOS PARA PROCESO .....	23
DETERMINACIÓN DE HUMEDAD. ....	23
DENSIDAD APARENTE.....	24
PRUEBA DE TEXTURA. ....	24
APLICACIÓN DE EXTRUIDO INCORPORADO A NIVEL INDUSTRIAL .....	24
SENSORIAL .....	25
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD .....	25
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>27</b>
EXPLORATORIOS DE FORMULACIÓN. ....	27
EXPLORATORIOS PROCESO. ....	28
RESULTADO APLICACIÓN INDUSTRIAL .....	30
RESULTADO SENSORIAL. ....	31
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>34</b>
<b>INFORME DE ACTIVIDADES.....</b>	<b>35</b>
<b>REFERENCIAS.....</b>	<b>40</b>

## Lista de tablas

Tabla 1. Formulaciones propuestas para elaboración de arroz extruido.

Tabla 2. .Formulaciones para determinar variables de proceso en la elaboración de arroz extruido.

Tabla 3. Resultado prueba de textura, humedad y densidad aparente.

Tabla 4. Resultado de perfil de temperaturas dentro de cámaras de extrusión.

Tabla 5. Resultado de parámetros de operación del extrusor.

### **Lista de ilustraciones**

Ilustración 1. Ilustración 1. Proceso de extrusión de doble tornillo

Ilustración 2. Diagrama de Proceso de extrusión planta CNCH.

Ilustración 3. Texturograma comparativo de los códigos F1909, F0211T1, F1010T4 Y

PATRÓN

Ilustración 4. Grafico radial prueba sensorial.

Ilustración 5. Imagen tolvas de dosificación en planta.

Ilustración 6. Fotografía producto terminado.

## Resumen

La compañía Nacional de chocolates dentro de sus objetivos estratégicos señalados en su visión pretende incrementar su participación en el mercado nacional e internacional en la categoría Snacking, reto presentado dentro de su estudio de prospectiva 2035. El objetivo de este trabajo fue desarrollar un arroz extruido de forma axial, para la elaboración de barras de cereales de la línea Livean. Se evaluaron diversas materias primas y se elaboraron 10 ensayos. Adicionalmente se establecieron condiciones de operación del equipo extrusor CNCH para la obtención del producto con las especificaciones establecidas. Se realizó un análisis de cada ensayo en cada una de las siguientes variables: % de humedad, la densidad aparente, y textura, con estos parámetros se seleccionó el mejor ensayo comparándolo con el arroz establecido por la compañía (Patrón) validado con las pruebas anteriormente mencionadas. Se realizaron pruebas en planta y el producto obtenido se evaluó sensorialmente y se realizó una prueba de estabilidad. A partir de los resultados obtenidos se encontró que; la fórmula con mejor comportamiento fue F0211T1 y los parámetros de operación para obtenerla fueron: frecuencia de alimentación (x Hz), frecuencia de tornillo (x Hz), frecuencia de corte (x Hz), temperatura del horno de extrusión (150 ° C) y frecuencia de banda horno (x Hz) y frecuencia banda enfriamiento (x Hz). El producto obtenido cumplió con las siguientes características: dureza máxima:  $25.297 \pm 18.187$  kgf, % humedad:  $4.553 \pm 0.57$  y densidad  $0.190 \pm 0.02$  g/cm<sup>3</sup>. (Los datos no son mostrados en este documento por temas de confidencialidad de la Compañía Nacional de Chocolates). Además los resultados sensoriales mostraron superioridad en los atributos de textura en relación al control luego de realizar aplicación paramétrica en la planta de elaboración de barras de cereal de la compañía. Se concluye que se logró identificar y

posteriormente determinar las variables de operación y las materias primas empleadas para la obtención de arroz extruido para la elaboración de barras de cereal para la línea Livean con una calidad superior al arroz extruido actual (patrón).

**Palabras clave:** Extruidos, Variables de proceso y Textura.

## Introducción

Compañía Nacional de chocolates fundada en 1920 es uno de los Negocios del Grupo Nutresa, cuenta con dos plantas de producción en Colombia, y tres plataformas en costa rica, México y Perú. Uno de los retos estratégicos es potencializar la categoría de NBC (nueces, barras y cereales), lo cual se ve reflejado en la visión de la Compañía la cual busca que 65% de sus ventas correspondan a esta categoría, debido a las tendencias y cambios del entorno, que promueven la búsqueda de soluciones que contribuyen al crecimiento del negocio.

Para tal efecto la compañía adquirió un equipo de extrusión en el año 2017 para la elaboración de expandidos para incorporarlos es sus productos de línea generando así una mayor utilidad y una nueva alternativa de negocio.

En relación con lo dicho anteriormente la estrategia de innovación efectiva de productos en la Compañía seguirá siendo clave para mantener la sostenibilidad (ambiental, económica y social) y así, el interés de los consumidores en una categoría que enfrenta una competencia de otros productos sustitutos a los productos tipo snacking. Con el fin de obtener un mercado destacado altamente competitivo.

Si bien en general el mercado está mostrando un gran potencial de crecimiento, y allí seguirá existiendo una lucha para persuadir a los consumidores a mirar más allá del "placer culpable" y buscar productos que brinden beneficios para la salud junto con la sensación placentera. La innovación en la categoría ya ha ilustrado que hay formas de mejorar los productos tipo snacking; el desafío ahora es lograr que los consumidores cambien sus maneras de comer este tipo de productos. (Mintel, 2015)

Las aplicaciones formales de la tecnología de extrusión en los alimentos comenzaron en la década de 1930 y evolucionaron durante los siguientes 50 años, a medida que el equipo para el procesamiento de extrusión aumentaba en capacidades y complejidad. (R. Paul Singh, 2014).

El procesamiento de extrusión tiene un rango de costo menor en comparación con otros procesos de alimentos. Su sistema continuo de un solo paso requiere poco trabajo, y el consumo de energía de la extrusora es relativamente bajo (WUS Extension , 2017)

Los parámetros independientes al operar el extrusor tienen control directo sobre este, tales como velocidad de alimentación, temperatura de las unidades, configuraciones del tornillo, dimensiones del molde y velocidad de corte, complementan las variables dependientes como las propiedades del material crudo (ingrediente) que logran así productos de óptima calidad en relación a propiedades físicas (relación de expansión, densidad, etc.), propiedades químicas (absorción de agua, solubilidad, etc.) y propiedades sensoriales (crocancia, textura, etc.).

Según lo mencionado anteriormente el presente proyecto a considerado formular como objetivo: Desarrollar referencia de arroz extruido elaborado en CNCh para la homologación en producto de la línea: LIVEAN.

## **Objetivos**

### **Objetivos General**

Desarrollar una referencia de arroz extruido en la planta de CNCH para la homologación en un producto de línea.

### **Objetivos específicos**

Identificar las principales variables de proceso para la obtención de arroz extruido.

Determinar las mejores condiciones de operación para la obtención de arroz extruido para la línea: LIVEAN

Aplicar el arroz extruidos obtenido en un producto de referencia

Realizar una evaluación sensorial y fisicoquímica del arroz extruido y de una barra de cereal que lo contenga.

### **Justificación**

La cocción por extrusión es un proceso de interés para la producción de productos tipo snack y cereales para el desayuno. Este proceso se lleva a través de cizalla mecánica, alta temperatura, alta presión y permite la creación de estructuras específicas para el desarrollo de nuevas propiedades del producto, con diversas texturas sensoriales.

En la actualidad una de las tendencias crecientes en el mercado global, es el consumo de producto tipo snack es por ello que Compañía Nacional de Chocolates centra sus esfuerzos a potenciar el mercado nacional e internacional de este tipo de productos, además de buscar nuevos mercados con el fin de satisfacer las necesidades del consumidor actual, y tener un crecimiento en el mercado de esta categoría. Una de las estrategias de la compañía es la búsqueda de rentabilidad de sus marcas con el fin de lograr la sostenibilidad de estas en el tiempo. Además del desarrollo de nuevos productos apalancados en la innovación efectiva con el fin de brindarle al consumidor soluciones diferenciadas.

Hasta la fecha se han generado \$133.575.097/año en ahorro los cuales se han logrado realizando sustituciones parciales del arroz actual en la fórmula de la referencia golosina Gol y mejoramiento de la estructura de costo de este producto.

## **Marco teórico**

### **Tecnología de extrusión.**

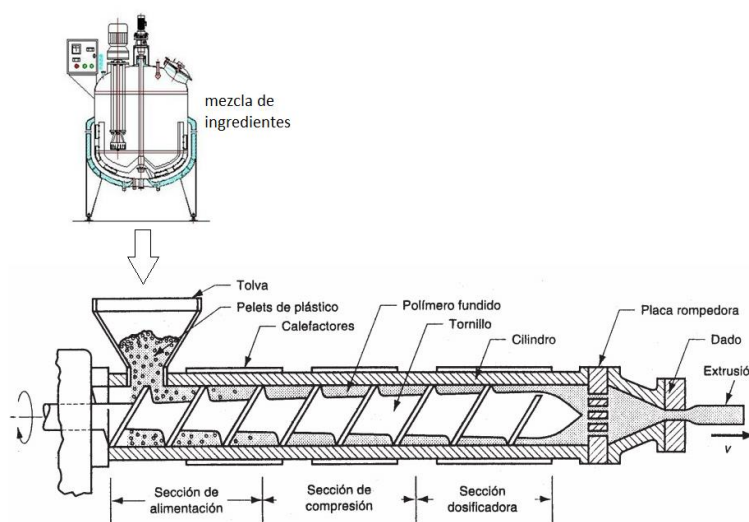
La extrusión es una tecnología de procesamiento continuo que combina varias operaciones unitarias como: mezclar, cocinar, amasar, cortar, moldear y formar

La extrusión se utiliza para producir una amplia gama de productos y el principio de extrusión es transformar los biopolímeros por calor y fuerzas de cizallamiento a nuevas formas, en el cual los materiales se transforman física y químicamente debido a las tensiones térmicas y mecánicas generadas por los tornillos que giran y el calentamiento que se da dentro de los barriles, luego se forman y moldean forzándolos a través de un dado matriz. Las Harinas de cereal serían adecuadas para formar películas que puedan retener gases durante la expansión para formar espumas finas (Guy, 2001), Dentro del proceso de extrusión.

### **Proceso de obtención.**

La extrusión es un proceso donde las harinas de cereales se calientan a más de 100 °C. El calor de fricción y cualquier calentamiento adicional del barril hacen que la temperatura aumente rápidamente. Luego, el alimento se somete a una mayor presión y cizallamiento, y cuando emerge bajo la presión de la matriz, se expande a la forma final y se enfría rápidamente a medida que la humedad se evapora, estos productos obtenidos con la tecnología de extrusión incluyen una amplia variedad de figuras, formas y tamaños de baja densidad.

El objetivo de la extrusión de cocción es provocar la gelatinización del almidón y o la desnaturalización de las proteínas durante el proceso. Estas modificaciones están determinadas por la velocidad de los tornillos y las fuerzas de corte aplicadas. Eso le da al fabricante de extruidos la opción de definir el grado de gelatinización, textura y calidad del producto. Sin embargo, la calidad del producto no solo depende de la estructura del extrusor, sino sobre todo de la habilidad y experiencia del operador; dado que los parámetros de operación no son constantes durante el proceso de obtención de productos extruidos (Buhler, 2016). Debido a que las grasas disminuyen el cizallamiento del extrusor impidiendo que la energía se convierta en calor y por otro lado por la complejidad de la interacción del agua con el almidón para la interacción química del proceso de gelatinización.



**Ilustración 1. Proceso de extrusión de doble tornillo.**

En la ilustración 1. Se puede apreciar las etapas del proceso de extrusión, donde se lleva a cabo simultáneas operaciones químicas y físicas, como lo son transporte, mezcla, intercambio de calor, fricción por cizallamiento etc. La materia prima en polvo se introduce a una mezcladora para ser mezclada con agua allí se lleva un proceso de mezclado para obtener un producto homogéneo para luego ser transportado a una tolva, luego es dosificado al barril para ser compactado por medio de tornillos de doble husillo para que a partir de allí se funda por medio de intercambio de calor y la energía de cizallamiento dándose así el proceso de gelatinización. Más tarde el producto ya fundido experimenta un cambio físico cuando sale del dado y es cortado por medio de cuchillas resultado de la expansión y por otro lado la humedad se desprende al salir de la matriz. La porosidad resultante tiene una influencia importante en las propiedades del producto que reflejan los efectos del proceso de cocción por la tecnología de extrusión.

### **Materias primas.**

#### **Harina de Arroz.**

Según Norma del Codex stand 198-1995 para la harina de arroz, se define como: producto de la molienda de arroz entero *Oryza sativa* L. de la familia de las gramíneas o granos. El arroz ha sido consumido por los humanos durante más de 5000 años. Se cultiva en cada continente excepto la Antártida y actualmente proporciona aproximadamente el 20% de la suministro de kilocalorías del mundo (Bao et al.,2018). Por tal motivo se vienen empleando en formulaciones de extruidos dado que se le atribuye a sus propiedades hipoalérgicas y su sabor suave (Hagenimana., 2006). También ha sido reportado por Bao

et al. (2018) el contenido recomendado de amilosa (12-20%) contenida en el almidón de la harina de arroz, dado que es el polisacárido más importante sometido al proceso de extrusión para elaboración de extruidos para mayor tasa de expansión.

### **Harina de trigo.**

Según norma técnica colombiana 267 la harina de trigo se define como: principal producto obtenido de la molienda, cernido y capas internas del endocarpio de granos de trigo común *Triticum aestivum L.*, o trigo ramificado, *triticum compactum host*; o mezcla de ellos, con el fin de obtener un tamaño de partícula determinado. (NTC 267, 2007). La harina de trigo es única como fuente de las proteínas de gluten que forman la masa. Estas proteínas de gluten tienen las propiedades únicas necesarias para hacer los muchos alimentos a base de trigo, El almidón comprende el 54–72% del peso seco de los granos de trigo, y está relacionado con el contenido de proteína, responsable de la gelatinización en los procesos de extrusión (Maninga, 2009). El almidón contenido en las harinas de cereal es el principal almacenamiento de carbohidratos de este. Se deposita como gránulos semicristalinos insolubles en tejidos de almacenamiento (granos, tubérculos, raíces) y también se produce en menor medida en la mayoría de los tejidos vegetales de plantas. El almidón se compone de dos polímeros de D-glucosa: amilosa, un glucano unido  $\alpha$  [1>4] esencialmente no ramificado, y amilopectina, que tiene cadenas de glucosas conectadas  $\alpha$  [1>4] dispuestas en una estructura altamente ramificada con una ramificación  $\alpha$ [1-6]. (Copeland, L et al., 2009).

### **Agente de relleno (Isomalt).**

Los alcoholes de azúcar o los polioles derivados de la remolacha azucarera, son sustitutos típicos de la sacarosa en diversos tipos de productos alimenticios ( Olinger y

Velasco, 1996 ). Los polioles presentan ventajas potenciales sobre la sacarosa como ingredientes alimentarios porque producen una respuesta glucémica más baja; Por lo tanto, son adecuados para diabéticos y tiene bajos niveles de higroscopicidad lo que permite un mejor control de la humedad ( Martínez-Cervera, Salvador y Sanz, 2014 ) citados en (Quiroz et al., 2015). En relación con las calorías proporcionadas el Isomalt E953 porta 8,37 KJ/ g en relación con la sacarosa que aporta 16,75 KJ/ g. Su alta temperatura de fusión da como resultado una resistencia al proceso de ebullición, horneado y extrusión. Estas propiedades permiten el uso de Isomalt como agente de cristalización y agente anti-aglomerante según normas alimentarias FAO-OMS citado en (Grembecka M.,2018).

#### **Aceite vegetal.**

Los lípidos pueden formar complejos lipídicos con almidón durante la extrusión, pero estos no afectan el valor nutritivo de los alimentos. La oxidación de los lípidos no tiene lugar de manera significativa durante la extrusión, pero puede ocurrir durante el almacenamiento Artz et al. (1992) han revisado los factores que promueven la oxidación, incluidos los iones metálicos del desgaste de los tornillos extrusores y el aumento del área de superficie en los productos expandidos. Las enzimas lipolíticas pueden inactivarse por extrusión y los complejos de lípidos con el almidón pueden ser más resistentes a la oxidación como se cita en (WUS Extension.2017), tal efecto se le atribuye a la humedad del material,el perfil de temperaturas, configuracion del tornillo, caudal de dosificacion y velocidad de giro del tornillo tal efecto ocurre por la energia de cizallamiento que es convertida en calor.

#### **Agua.**

El agua es un ingrediente universal en los sistemas alimentarios. La interacción proteína-agua determina las propiedades de hidratación que influyen en aquellos aspectos

inherentes a la formulación, procesamiento y almacenamiento de los alimentos como lo menciona Pilosof, (2000), En (Wijeratne, 2005). La base de la interacción fisicoquímica del agua con los ingredientes alimenticios es una materia de investigación extensa. Las propiedades de hidratación de las proteínas son consecuencia de su capacidad para interaccionar con las moléculas de agua a través de grupos polares y no polares presentes en su estructura. Las proteínas que contienen numerosas cadenas polares laterales junto con las uniones peptídicas, resultan hidrofílicas. Por lo tanto, tienden a absorber y retener agua cuando están presentes en sistemas de alimentos. En el caso de interacciones granulares y moleculares durante el proceso de gelatinización y conformación del gel, y la competencia del agua entre los gránulos de almidón Fonseca et al, 2016 citado en (Heidi A., 2017)

#### **Color natural (Cocoa).**

El polvo de cacao comúnmente conocido en Colombia como cocoa tiene diversas aplicaciones en matrices alimenticias al cual se le confiere un sabor y olor característico. Este contiene entre un 12-15% de grasa según sea las condiciones de prensado para la obtención de este. El polvo de cacao es utilizado tradicionalmente para aportar color en algunos alimentos de repostería, confitería y actualmente es incorporado en productos extruidos para aportar color y notas achocolatadas.

#### **Agente estabilizante (carbonato de calcio).**

La fortificación de los productos extruidos de arroz inflado con sales de calcio altera favorablemente las propiedades fisicoquímicas observadas en la densidad aparente reducida, los parámetros de textura son mejorados, se presenta una menor absorción de aceite y se obtiene una mayor aceptabilidad organoléptica con la fortificación de carbonato

de calcio por otra parte La acción combinada de carbonato de calcio y las condiciones de extrusión incrementa el color amarillento característico de los extruidos (Madhura J et al, 2018). Este mismo autor propone que tales tratamientos de extrusión producen importantes cambios ultra-estructurales, mejoramiento de la absorción, mejoramiento de la solubilidad, además mediante microscopia fue posible observar cambios en la cristalinidad del almidón en difractogramas de muestras analizadas y un significativo aumento de la cristalización del almidón, surgiendo la formación de complejos almidón – calcio.(Madhura J et al, 2018),

#### **Agente emulsificante (Lecitina de Soya).**

Cuando se introduce en un sistema, un emulsionante como la lecitina actúa para ayudar a mantener una emulsión estable entre dos líquidos no mezclables y permite dispersar y suspender los polvos en líquidos. El emulsionante disminuye la tensión superficial entre los dos líquidos. Los usos tecnológicos en extrusión de la lecitina ayudan en el procesamiento al mejoramiento de las tasas de extrusión y rendimiento, lo que resulta en productos más económicos. (ALC., 2009).

#### **Gelificación**

La gelatinización se produce cuando las harinas de cereal se calientan en presencia de suficiente humedad. Los gránulos absorben agua y se hinchan, y la organización cristalina se rompe irreversiblemente, formando componentes estructurales tridimensionales y que crean la textura de los alimentos extruidos. (Copeland, L et al.,2009).

### **Retención de agua.**

Durante la cocción por extrusión de alimentos a base de almidón, el agua agregada se absorbe y hace que los gránulos de almidón se hinchen y se hidraten. Las partículas más pequeñas, como las harinas o sémola, se hidratan y cocinan más rápidamente que las partículas más grandes, lo que a su vez también altera la calidad del producto. Los almidones que tienen una alta proporción de amidas, que es una molécula más pequeña que la amilopectina, producen fusiones de fluidos de baja viscosidad y, por lo tanto, una mayor expansión de los alimentos. La temperatura elevada hace que el almidón se gelatinice y forme un fluido viscoso plastificado. Esto forma las paredes de burbujas de espuma que contienen vapor de agua sobrecalentado.

Cuando el material abandona el extrusor, la repentina caída de la presión hace que estas burbujas se expandan rápidamente, pierden humedad por evaporación y al mismo tiempo se enfrían. Estos cambios provocan un rápido aumento de la viscosidad del material, seguido de la formación de un estado vítreo que enfría y establece la estructura celular. McCarthy et al (2008). La combinación correcta de tipo de almidón y contenido de humedad, y las condiciones de extrusión (longitud del tornillo, velocidad de rotación, temperatura de las cámaras de extrusión, forma de la matriz y grado de corte) controlan la cantidad de expansión del producto y por lo tanto su textura (Guy, 2001).



## Materiales y métodos

### Formulación

#### Materias primas

Para los ensayos exploratorios se emplearon las siguientes materias primas: por temas de confidencialidad de la Compañía nacional de chocolates esta información no queda registrada dentro de este documento.

#### Ensayos exploratorios para formulación

Se realizaron dosificaciones de las materias primas en mezcladora de capacidad 100 kg en planta extrusora CNCH, con las formulaciones codificadas en la tabla 1 para encontrar la mejor formación de los extruidos. Se hace pasar la mezcla húmeda por sistema de bombeo a la tolva de dosificación del extrusor; se adiciona la mezcla humedad homogénea y se valida con prueba de textura, densidad y humedad.

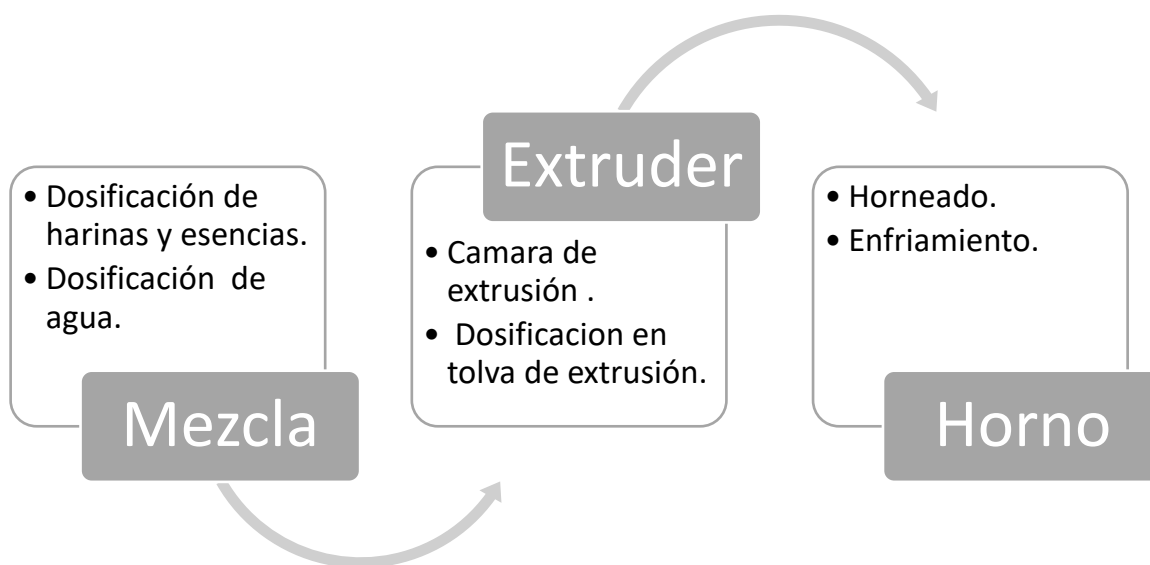
**Tabla 1. Formulaciones propuestas para elaboración de arroz extruido.**

Código	HA	HT	ISO	AC	E	%W
F1909	x	x	x	x	x	x
F2009	x	x	x	x	x	x
F0910T1	x	x	x	x	x	x
F0910T2	x	x	x	x	x	x
F1810T1	x	x	x	x	x	x
F1810T2	x	x	x	x	x	x
F1810T3	x	x	x	x	x	x
F1810T4	x	x	x	x	x	x
F0211T1	x	x	x	x	x	x
F0211T2	x	x	x	x	x	x

Dónde: HA: harina de arroz, HT: harina de trigo, Iso: isomalt, AC: aceite en polvo, E: esencias, %W: porcentaje de agua adicionada y X: información confidencial CNCH

## Proceso

En la ilustración 1 se observa de forma general el proceso de extrusión de expandidos en la planta CNCH donde existe una separación de instalación entre la zona de mezcla y extrusión.



**Ilustración 1. Diagrama de Proceso de extrusión planta CNCH.**

8.2.1 Mezcla: por temas de confidencialidad de la Compañía Nacional de Chocolates esta información no queda registrada dentro de este documento.

8.2.2 Extruder: por temas de confidencialidad de la Compañía Nacional de Chocolates esta información no queda registrada dentro de este documento.

8.2.3 Horneo: por temas de confidencialidad de la Compañía Nacional de Chocolates esta información no queda registrada dentro de este documento.

### Ensayos exploratorios para Proceso.

Se realizó ensayos exploratorios según Tabla 2; variando los parámetros de operación en diversos rangos como son: la frecuencia de alimentación [10-40Hz], frecuencia de corte [20-40Hz], frecuencia de tornillos [10-40Hz], perfiles de temperatura de cámaras de extrusión [40-185 ° C], velocidad de flujo de aire y temperatura de horneado [130-160 °C].

**Tabla 2. Formulaciones para determinar variables de proceso en la elaboración de arroz extruido.**

Código	FF	SF	CF	TO
F1909	x	x	x	x
F2009	x	x	x	x
F0910T1	x	x	x	x
F0910T2	x	x	x	x
F1810T1	x	x	x	x
F1810T2	x	x	x	x
F1810T3	x	x	x	x
F1810T4	x	x	x	x
F0211T1	x	x	x	x
F0211T2	x	x	x	x

Dónde: FF: frecuencia de alimentación, SF: frecuencia de tornillo, Cf: frecuencia de corte, TO: temperatura del horno y X: información confidencial CNCH

### Determinación de humedad.

Se realiza en el laboratorio de fisicoquímica (CIDCA) según método de referencia (estufa de desecación) (AOAC, 2000) se emplea estufa de la marca "SARTORIUS (MA37-1)" de luz infrarroja tomando aproximadamente 5 gramos de muestra previamente maceradas a cada uno de los ensayos codificados de la Tabla 2.

**Densidad aparente.**

Se emplea densímetro (A&CM S.A.S. Análisis y control metrológico, Colombia, Medellín). Laboratorio CIDCA con un volumen específico de 102,60 cm<sup>3</sup>., se procede a adicionar el producto extruido dentro del aditamento, luego este se retira y se enraza para proceder a registrar la masa contenida en el recipiente. Este método relaciona la cantidad de sólidos en gramos que entra a un volumen conocido. Esta prueba se realiza a los ensayos de la Tabla 1 y 2 por triplicado.

**Prueba de textura.**

La determinación de textura instrumental se realizó con un texturómetro TA XT plus de la marca Stable Microsystemes, se realizó un test de compresión con la sonda de A/BE-d45 comprimiendo los granos a un nivel de deformación de 15% a una velocidad pre test de 1,00 mm/s, una velocidad test de 1,00 mm/s y una velocidad post test de 10 mm/s y se determinó el punto máximo de fuerza como la dureza del arroz para cada uno de los ensayos consignados en la Tabla 3 por triplicado.

**Aplicación de extruido incorporado a nivel industrial.**

El arroz extruido fue sometido a aplicación a nivel industrial donde se llevaron a cabo las condiciones operativas estándar del equipo y se mantienen fijos los ingredientes de la receta de la barra de cereal de línea usando el arroz extruido elaborado en la planta extrusora CNCH y no el del proveedor. El producto fue sometido a tolvas de dosificación en la línea de producción de barras de cereales CNCH con: avena, maní, pasas, arroz extruido

CNCH, mezcla con aglutinante, rodillo de formación, banda de enfriamiento, troquelado de la barra, enfriamiento, empaque y rotulado.

### **Sensorial**

Se realizó una evaluación descriptiva de perfil sensorial basado en las normas NTC 3929 de 2009 y NTC 4489 de 1998-10-28

Se evaluaron 5 atributos de sabor (sabor a maní, sabor dulce, sabor pasas, sabor cereal y sabor extraño), 2 de textura (textura masticable y textura crocante) y una calificación global. Se utilizó una escala estructurada mixta de 0 a 10 para indicar la intensidad de percepción de los atributos (donde 0 indica que el atributo no se percibe y 10 que se percibe muy fuerte). Las muestras fueron evaluadas por 9 jueces entrenados en la evaluación sensorial.

La recolección de los datos se realizó haciendo uso del software Fizz Acquisition 2.51 y el análisis de los datos se realizó mediante Fizz calculations 2.50.

### **Análisis de estabilidad**

Se tomaron de forma aleatoria 30 unidades de barras de cereal del lote producido con arroz extruido del ensayo ganador. Previamente empacadas en planta y luego se realizó un análisis de estabilidad de las barras de cereal utilizando un método acelerado, almacenando las barras de cereal en una cámara climática de la marca Binder bajo condiciones controladas de almacenamiento de 30°C de temperatura, 65% de HR. El método de muestreo utilizado fue un muestreo básico donde se toma de forma aleatoria

una unidad de barra de cereal semanalmente, y se monitorearon las variables, sensoriales (apariencia, color, olor, sabor y textura), fisicoquímicas ( $a_w$ , % humedad) y microbiológicas (coliformes, mesofilos aerobios, mohos y levaduras).

## Resultados

### Exploratorios de formulación.

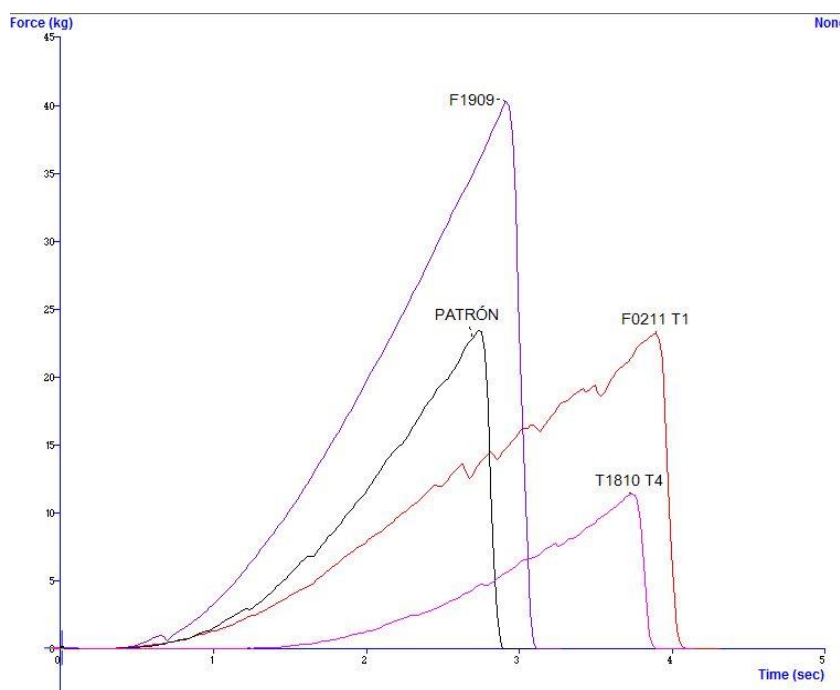
En la Tabla 3. Se logra determinar la variable dureza seleccionando así el código F0211T1 con una dureza máxima de  $25.297 \pm 18.187$  comparada con el patrón  $29.983 \pm 11.178$  establecido por la compañía; se seleccionó ensayo como ganador por la similitudes en cuanto a la caracterización que se realizó, con un coeficiente de variación alto dado que el método para determinar la dureza es confiable con una variación por debajo de 20. Este método nos permite establecer la formulación que relaciona la cantidad de agua adicionada, la aplicación de ingredientes (isomalt y aceite) con la capacidad de expansión (densidad) y la humedad del producto extruido final para posteriormente ser aplicado en barras de cereal de la línea livean.

**Tabla 3. Resultado prueba de textura, humedad y densidad aparen**

Código	Dureza (Kg.mm)	Humedad %m/m	Densidad g/cm3
F1909	84.409±1.50	5.812±0.05	0.30±0.01
F2009	40.917±12.392	5.254±0.42	0.14±0,01
F0910T1	59.801±49.625	5.953±0.14	0.229±0.005
F0910T2	77.465±4.424	8.849±0.29	0.239±0.03
F1810T1	57.353±15.527	7.127±0.05	0.190±0.001
F1810T2	67.793±13.162	5.547±0.06	0.204±0.006
F1810T3	34.841±0.833	4.356±0.11	0,197±0.003
F1810T4	9.586±3.089	3.983±0.43	0.228±0.005
<b>F0211T1</b>	<b>25.297±18.187</b>	<b>4.553±0.57</b>	<b>0.190±0.02</b>
F0211T2	35.542±8.088	3.345±0.23	0.203±0.01
<b>Patrón</b>	<b>29.983±11.178</b>	<b>3.743±0,03</b>	<b>0.201±0.02</b>

Patrón: producto referencia establecido por CNCH.

En el análisis de prueba de textura mostro que en la medida que se agrega más cantidad de agua a la formulación la variable dureza alcanzan su mayor valor, esto da como resultados productos que requieren más masticabilidad (productos rígidos) y menos fracturabilidad que es la caída significativa de la curva durante el primer ciclo de comprensión del producto y esto tiene relación con la que la matriz de cómo se desmorona, cruje o revienta. Esto se puede observar en la Ilustración 3.



**Ilustración 3. Texturograma comparativo de los códigos F1909, F0211T1, F1010T4 Y PATRÓN.**

### **Exploratorios proceso.**

En la Tabla 4. Se puede observar el resultado del perfil de temperatura establecida dentro de las cámaras de extrusión que permitió obtener arroces extruidos que cumplen con la expansión deseada donde se evaluó el % de humedad, densidad y textura como parámetros de calidad. Este resultado nos permitió comprobar que las interacciones

hidrofóbicas del agua y el almidón para el respectivo corte (gelificación), fusión de grasas, desnaturalización o reorientación de proteínas (Fellows.,2017); dentro de la cámara de extrusión se deben llevar a cabo secuencialmente en presencia de un cambio de temperatura para la efectiva pérdida de humedad y cristalización cuando migra de la unidad de extrusión. Este resultado fue fundamental para obtener productos expandidos con la más alta calidad luego de realizar cambios en la última unidad de temperatura del extrusor y nos garantizan encontrar las condiciones de operación del equipo.

**Tabla 4. Resultado de perfil de temperaturas dentro de cámaras de extrusión**

# Cámara	Temperatura (°C)
1	40
2	70
3	125
4	135
5	175
6	185

En la tabla 5. Se observa las condiciones de operación establecidas para lograr obtener productos de densidad y textura característica generando así extruidos uniformes y de apariencia aceptable y sin residuos de bajo micraje.

**Tabla 5. Resultado de parámetros de operación del extrusor**

Parámetro	Frecuencia (Hz)
frecuencia de alimentación	x
frecuencia de tornillo	x
frecuencia de corte	x

X: datos de confidencialidad CNCH

Luego de obtener el arroz extruido del ensayo ganador seleccionado por caracterización se procede a una segunda etapa del proyecto que se denomina aplicación a nivel industrial para la elaboración de barras de cereal.

### **Resultado aplicación industrial**

Se logró someter el arroz extruido a dosificación en tolvas como se muestra en la Ilustración 5, sin alterar las condiciones de operación estándar de producción de barras de cereal de la línea LIVEAN (maní pasas), dado que la densidad aparente tiene valores significativamente similares. Se obtuvo barras de cereal compactas, listas para cortar y finalmente ser empacadas como se muestra en la Ilustración 6 para luego ser sometidas a prueba de estabilidad.



**Ilustración 5. Imagen tolvas de dosificación en planta.**



**Ilustración 6. Fotografía producto terminado.**

### **Resultado sensorial.**

En la tabla 6. Se puede observar los resultados obtenidos que permiten evidenciar que en los atributos de sabor del ensayo F0211T1 con respecto al patrón no presentan diferencias significativas, en cuanto a textura si es posible evidenciar que se perciben

diferencias, las cuales se centran especialmente en la crocancia, para la cual el patrón es percibido como menos crocante en relación con el ensayo F0211T1 y también en el atributo de masticabilidad que indica que el patrón para ser consumido requiere de un mayor número de masticaciones.

**Tabla 6.Resultado prueba sensorial.**

<b>Atributos</b>	<b>Patrón Línea lot 330</b>	<b>Muestra F02T2</b>
Sabor Cereal	6.52	6.46
Sabor Dulce	4.42	4.61
Sabor Maní	3.58	3.36
Sabor Pasas	3.37	3.31
T. Crocante	2.46	5.50
T. Masticable	6.10	4.02
Sabor Extraño	0.00	0.00
Calidad general	5.48	6.55

La ilustración 3. Nos permite visualizar mediante el grafico radial las diferencias y los atributos mejor valorados.

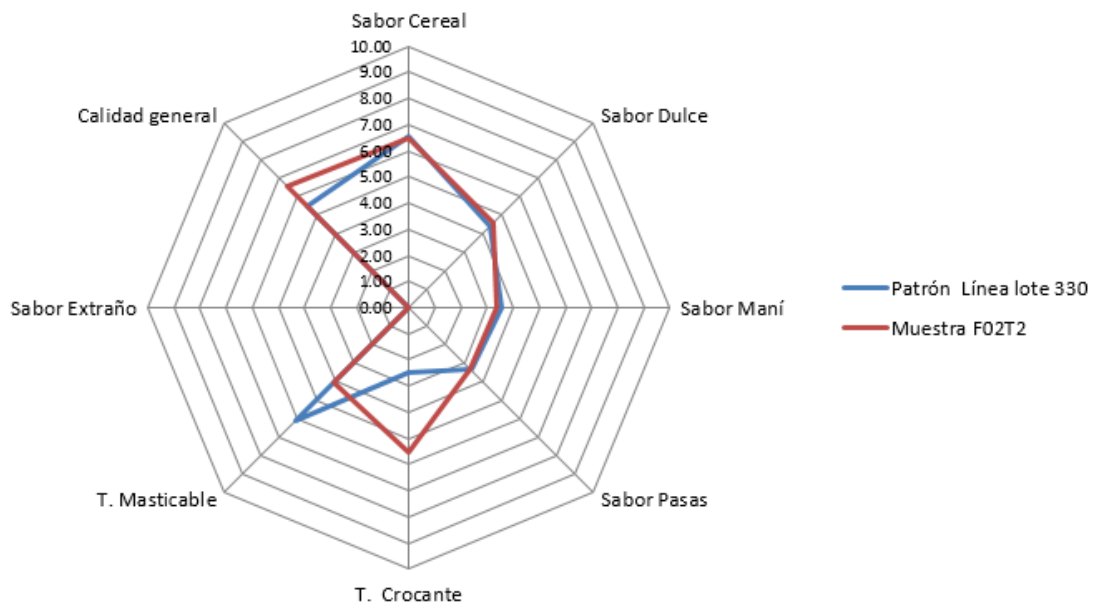


Ilustración 4. Grafico radial prueba sensorial.

### **Conclusiones**

Según los resultados hallados se concluye que los parámetros encontrados y materias primas empleadas son óptimas para obtener arroces extruido según especificaciones de la compañía, sin embargo se recomienda evaluar la capacidad de absorción de agua de las materias primas empleadas, para determinar el rendimiento del proceso.

Se debe llevar a cabo un estudio riguroso sobre operación unitaria (mezclado) de las materias primas para que la masa sea homogénea dentro del extrusor y así fijar variables más estables en el proceso.

Por último se recomienda caracterizar composicionalmente las materias primas para posterior balance de materia para la formulación de nuevos productos extruidos.

### Informe de actividades

A continuación se lista y se anexa informe de actividades dentro de la práctica compañía nacional de chocolates

**Fecha:** 3-6 julio:

- Inducción y presentación.

**Fecha:** 9-13 julio:

- Toma de muestra para re-proceso jet arequipe en jet de línea y jumbo.
- Atemperado y Moldeado de cobertura 3% menos azúcar.
- Elaboración de cobertura APF México y dosificación de depositados (chips).
- Preparación para Homologación de Nutriosa y Alulosa en concha (**Anexo Informe**).

**Fecha:** 16-20 julio:

- Ensayo extrusora arroz TOSH.
- Dosificación Chocolisto para prueba sensorial.
- Toma de muestra en Zona B para homologar grasa.
- Preparación y dosificación torta de vainilla en Pancake como reproceso.
- Prueba de estabilidad MGL con ProSORB líquido de planta.
- Validación de materia prima (fresa liofilizada) para Tosh. fresa.
- Ensayos proteína en arroz extruido.

**Fecha:** 23-27 julio:

- Cristalización de MGL pruebas con ProSORB líquido.
- Pruebas TOSH línea para análisis comparativo.

- Preparar pruebas con grasa tipo CBE en Mezcla IX.

**Fecha:** 30-3 julio:

- Pruebas con CBE en Mezcla IX determinación en laboratorio de (grasa y viscosidad)

**Fecha:** 8-10 Agosto:

- Saborización de cobertura con sustitución de Alulosa

**Fecha:** 13-17 Agosto:

- Ensayos extrusión arroz livean y arroz Tosh.
- Validación de ácido cítrico
- Dosificación MGL contaminada con trazas de mora como reproceso.

**Fecha:** 20-24 agosto

- Atemperado y cristalización de MIX con nutriosa.
- Elaboración de cobertura MIX con palatinosa.

**Fecha:** 27-31 agosto:

- Homologación grasa para MGL.
- Elaboración de Informes de aplicación de nitriosa,alulosa,palatinosa.
- Factores ensayo experimental proyecto extruidos.
- Prueba de textura ensayo arroz tosh.
- Determinación de humedad y densidades de arroz tosh.

- Ensayos arroz extruido livean.

### **Septiembre- octubre**

- Informe 3% menos azúcar para mezcla IX.
- Homologación de suero lácteo en cookies and cream.
- Empaque atmosfera modificada maní tostado y frito.
- Determinación de humedad a expandidos livean.
- Reproceso cobertura gema.
- Reproceso MGL mora.
- Reproceso maní limón granuts.
- Preparación y envío de muestras maní confitado.
- Preparación y envío de muestra (licor de cacao) tecnología por cavitación.
- Asistencia a capacitación plataforma costa rica (formación en chocolatería).
- Reproceso MGL Lyne.
- Aplicación arroz extruido en planta Zona D, ensayo Tosh mora en planta.
- Homologación etilvainillina.
- Aplicación grasa silko 38 en MGL.

### **Noviembre**

- Pruebas reológicas aceite de Avena como emulsificante.
- Ensayo arroz livean
- Preparación de prototipos barras maní pasas Livean.
- Formación en manejo de equipos fisicoquímica (reómetro).

- Asistencia a capacitación México.
- Ensayo arroz Tosh.
- Ensayo barras livean arroz extrusión sollich 4.
- Avance trabajo de grado.
- Practica manejo texturometro.
- Practica manejo reómetro.
- Practica manejo mastersizer.

### **Diciembre**

- Reproceso Jet crema (determinación de grasa) y dosificación en Jet crema de línea.
- Análisis de seguimiento semanales de peróxidos a maní en atmosfera modificada.
- Capacitación en procesos de chocolatería México.
- Consolidación de proyecto en trabajo escrito.
- Escalamiento arroz extruido LIVEAN.
- Ensayo arroz extruido Tosh.



## Referencias

ALIMENTARIOS, S. A. (2010). Programa conjunto FAO/OMS sobre normas alimentarias Comisión del Codex Alimentarius.

Altan, A., McCarthy, K. L., & Maskan, M. (2008). Twin-screw extrusion of barley–grape pomace blends: Extrudate characteristics and determination of optimum processing conditions. *Journal of Food Engineering*, 89(1), 24-32.

Bao, J., & Bergman, C. J. (2018). Rice flour and starch functionality. In *Starch in Food* (pp. 373-419). Woodhead Publishing.

Barres, C., Verges, B., Tayeb, J., & Della Valle, G. (1990). Transformation of wheat flour by extrusion cooking. Influence of screw configuration and operating conditions. *Cereal Chemistry*, 67, 427–433.

Buhler, 2016. Extruded Products. Buhler AG. Recuperado de : [www.buhlergroup.com/global/en/process-technologies/](http://www.buhlergroup.com/global/en/process-technologies/) ([www.buhlergroup.com](http://www.buhlergroup.com) . select 'Process technologies' . 'extrusion and dough preparation') (last accessed February 2016).

Copeland, L., Blazek, J., Salman, H., & Tang, M. C. (2009). Form and functionality of starch. *Food Hydrocolloids*, 23(6), 1527–1534.

Fellows, P. J. (2018). *Tecnologia do Processamento de Alimentos-: Princípios e Prática*. Artmed Editora.

Fonseca-Florido, H. A., Gómez-Aldapa, C. A., Velazquez, G., Hernández-Hernández, E., Mata-Padilla, J. M., Solís-Rosales, S. G., & Méndez-Montevalvo, G. (2017). Gelling of amaranth and achira starch blends in excess and limited water. *LWT-Food Science and Technology*, 81, 265-273.

Grembecka, M. (2015). Sugar alcohols—their role in the modern world of sweeteners: a review. *European Food Research and Technology*, 241(1), 1-14.

Guide, A. S. ALC. Recuperado de [http://www.americanlecithin.com/lecithin\\_2009.pdf](http://www.americanlecithin.com/lecithin_2009.pdf).

Hagenimana, A., Ding, X., & Fang, T. (2006). Evaluation of rice flour modified by extrusion cooking. *Journal of Cereal Science*, 43(1), 38-46.

Janve, M., & Singhal, R. S. (2018). Fortification of puffed rice extrudates and rice noodles with different calcium salts: Physicochemical properties and calcium bioaccessibility. *LWT*, 97, 67-75.

Maningat, C. C., Seib, P. A., Bassi, S. D., Woo, K. S., & Lasater, G. D. (2009). Wheat starch: production, properties, modification and uses. In *Starch* (pp. 441-510). Academic Press.