

**Efecto del uso de Huevo Deshidratado sobre las Variables de Proceso y Sensoriales
de una Galleta tipo Cracker**

Nury del Socorro Hincapié Cardona

Trabajo de Grado para optar al título de Ingeniera de Alimentos

Asesor

Leidy Johanna Gómez

MsC, PhD. Ingeniería de Alimentos

Universidad Nacional Abierta y a Distancia - UNAD

Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería

Programa de Ingeniería de Alimentos

Medellín

2020

Dedicatoria

Dedico este proyecto principalmente a Dios que me dio la oportunidad de terminar mi carrera, a mi familia por su acompañamiento, especialmente a mi Hermana Nancy Hincapié y una dedicación especial a la Empresa Compañía de Galletas Noel y a sus Directivos, por darme la oportunidad de terminar la carrera y realizar un proyecto tan importante, su apoyo económico durante todo el tiempo de la carrera, su acompañamiento permanente en la investigación y realización del proyecto lograron hacer mi sueño realidad.

Nury del Socorro Hincapié Cardona.

Agradecimientos

Agradezco la colaboración de todas aquellas Personas de Compañía de Galletas Noel, por su disposición y apoyo durante el tiempo que realice la carrera y principalmente por apoyarme con la oportunidad de participar en un proyecto tan importante de investigación: especialmente a Juan Mauricio Baquero Director de Producción por su apoyo incondicional a Jaime Humberto Salazar Jefe de Línea y su equipo de analistas , mi gratitud por creer en mí y darme la oportunidad de pertenecer al equipo de investigación y desarrollo el cual determinó mi crecimiento profesional y personal, a Leidy Johana Gómez asesora de práctica de la UNAD por guiarme con su conocimiento y su acompañamiento en el proyecto.

Tabla de contenido

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
JUSTIFICACIÓN	13
MARCO TEORICO.....	15
3.1. Características del huevo	15
3.1.1. Propiedades funcionales.	17
3.1.2. Capacidad emulsionante.	18
3.1.3. Capacidad espumante.	19
3.1.4. Capacidad gelificante.	20
3.1.5. Gasificantes para panificación.	20
3.2. Galletas tipo cracker.....	21
3.2.1. La importancia del huevo en las galletas tipo crackers.	22
3.3. Huevo deshidratado.....	23
3.3.1. Cambios en la funcionalidad del huevo por la deshidratación.....	25
OBJETIVOS	26
4.1. Objetivo General	26
4.2. Objetivos Específicos	26
METODOLOGÍA.....	27
5.1. Diseño experimental planta piloto.....	28
5.2. Elaboración de galletas en planta piloto.....	29
5.2.1. Medición de humedad.....	29
5.2.2. Medición de pH.....	30
5.2.3. Medición del color.....	30
5.2.4. Medición de textura.....	30
5.3. Validación de la elaboración de galletas usando huevo deshidratado en la planta industrial.....	31
5.4. Análisis sensorial galletas tipo cracker elaboradas con huevo deshidratado.....	32
RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
6.1. Efecto de C/Y y PA sobre las características fisicoquímicas de la pasta y las galletas.....	33

6.2. Ensayos a escala industrial	41
6.3. Análisis sensorial lotes planta industrial	44
CONCLUSIONES	46
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

Lista de tablas

	Pág.
Tabla 1.Composición del huevo.	16
Tabla 2.Factores analizados.....	28
Tabla 3.Diseño experimental factorial para evaluación del efecto C/Y y PA sobre las características fisicoquímicas de las galletas tipo cracker.	34
Tabla 4.Análisis de varianza del diseño experimental para evaluación del efecto C/Y y PA sobre el pH de la pasta.	36
Tabla 5.Análisis de Varianza (Valor- P) del diseño factorial H [%] de la pasta vs Ref. C / Y- PA (%).	38
Tabla 6.Análisis de Varianza (Valor- P) del diseño factorial Crocancia (dB) vs Ref. C/Y- PA (%).	39
Tabla 7.Promedio y Desviación estándar de las características Fisicoquímica de las Galletas Tipo Crackers.	43

Lista de figuras

	Pág.
Figura 1. Efecto de C/Y y PA sobre el pH de la pasta.	37
Figura 2. Efecto de C/Y y PA sobre H[%] de la pasta.	39
Figura 3. Efecto de C/Y y PA sobre Crocancia (dB) vs Ref. C/Y- PA (%).	40
Figura 4. Proporción de diferenciación.	44

Resumen

Título: Efecto del uso de Huevo Deshidratado sobre las Variables de Proceso y Sensoriales de una Galleta tipo Cracker*

Autores: Nury del Socorro Hincapié Cardona**

Palabras Claves: Huevo deshidratado, huevo líquido, composición clara-yema, variables del proceso.

Descripción:

El huevo es un ingrediente altamente usado en la industria de galletería debido a que incorpora y retiene aire en la estructura de masas y galletas. A nivel industrial el manejo de huevo líquido pasteurizado tiene un alto riesgo de contaminación microbiológica y adicionalmente el control de la cadena de frío que requiere, presenta costos altos asociados al gasto energético y al proceso de limpieza y desinfección.

Para dar solución a estos problemas en la preparación de galletas tipo cracker, se propone sustituir en la formulación, el huevo líquido por deshidratado, para lo cual se evaluó el efecto del huevo deshidratado sobre las variables de proceso y características fisicoquímicas del producto, como son pH y humedad de la masa, humedad, crocancia, dureza, densidad, calibre, ancho, largo y color de una galleta tipo cracker. Se realizó un diseño de experimentos factorial 3^2 en donde se evaluaron en planta piloto formulaciones con diferentes composiciones de clara y yema (C/Y) de huevo deshidratados y diferentes porcentajes de hidratación PA (%).

Posteriormente, se hicieron ensayos en planta bajo las condiciones de PA definidas como óptimas en el diseño experimental y se compararon las características sensoriales del producto, con un patrón de galletas cracker elaboradas con huevo líquido. Los ensayos permitieron encontrar una combinación de C/Y y PA que permite producir galletas tipo cracker similares al producto patrón. La referencia óptima se llevó a la planta industrial en reemplazo del huevo líquido, en donde se hicieron ensayos a gran escala y se determinó por medio de un panel sensorial de expertos, una alta similitud de las galletas elaboradas con huevo deshidratado respecto al patrón. El desarrollo del proyecto permitió determinar que es posible la sustitución de huevo líquido por huevo deshidratado en la elaboración de galletas tipo cracker, encontrándose las condiciones de C/Y y PA óptimas, que permiten obtener un producto con características sensoriales similares al producto patrón producido por la compañía.

*Trabajo de grado

** Escuela de Ciencias Básicas, Tecnología e Ingeniería. Tutora, Ingeniera. Leidy Johanna Gómez.

Abstract

Title: Effect of Using Dried Egg on Process and Sensory Variables of a Cracker*

Authors: Nury del Socorro Hincapié Cardona**

Key words: Dehydrated egg, liquid egg, white-yolk composition, process variables.

Description:

Egg is a highly used ingredient in the biscuit industry because it incorporates and retains air in the structure of doughs and cookies. At industrial level, the handling of pasteurized liquid eggs has a high risk of microbiological contamination due to the control required to maintain the cold chain. Additionally, the control of this cold chain has high costs associated with energy consumption and the cleaning and disinfection process.

In order to solve these problems in the crackers production, it is proposed to replace the liquid egg by the dehydrated egg in the formulation. The effect of dehydrated egg on process variables such as pH and humidity of the dough, humidity of the cracker, crispness, hardness, density, caliber, width, length and color of the cracker was evaluated. A factorial 3^2 design of experiments was carried out where formulations with different compositions of yolk and white of dehydrated eggs and different dilutions and percentages of hydration were evaluated.

Under these optimal conditions, different tests were made in plant with three references of dehydrated egg with their respective dilutions recommended by the supplier, and it can be concluded that the product obtained from one of the three references seems to be similar to the standard product with liquid egg. These results were made based on a sensory panel where the experts found similarities with the standard product, also the variables of the process presented optimal behaviors and this analysis allowed to know that the selected reference is the adequate one, being this result the expected one by Noel Cookies Company. The optimal reference was taken to the industrial plant in replacement of the liquid egg, where tests were made in great scale, with satisfactory results. It is concluded that the experiment, the reference, the PA% and C/Y selected, was successful, being this the adequate combination, having a similar performance to the liquid egg on crackers. It was determined the viability to replace the liquid egg by the dehydrated egg.

*Thesis

** Faculty of Basic Sciences, Technology and Engineering. Tutora, Engineer. Leidy Johanna Gómez.

Introducción

En la industria alimentaria el huevo es uno de los ingredientes más importantes debido a sus propiedades nutritivas, es muy utilizado por su efecto leudante debido a su capacidad de retención de aire durante el batido, específicamente en la etapa de mezclado-amasado, en la etapa de cocción éste aire se expande y es retenido por la estructura que forma la proteína del huevo, es decir la albúmina y las proteínas de la harina, contribuyendo así al esponjamiento del producto final (Chavez, 2009).

En la Compañía de Galletas NOEL, el huevo es utilizado en forma líquida, sin embargo, el huevo deshidratado resulta una alternativa de reemplazo para éste, debido a que tiene ventajas en el proceso por su estabilidad, se reducen los riesgos de contaminación microbiológica, se conserva más tiempo, no se requiere la cadena de frío por ende se eliminan los gastos energéticos asociados a este proceso, así mismo, se reduce el costo de transporte y almacenamiento por la disminución de su peso y volumen (Bernal, 2019). Sin embargo, el reemplazo del huevo líquido por deshidratado puede afectar algunas características propias del producto desarrollado, dado que las proteínas propias del huevo pueden dañarse o desnaturalizarse por las altas temperaturas en la deshidratación (Badui Dergal, 2006). Por esta razón para realizar la sustitución del huevo líquido por huevo deshidratado, es importante estudiar los efectos que dicha sustitución pueda provocar en el producto y determinar el porcentaje de agua con el que se hará la reconstitución en el huevo deshidratado, dado que los huevos líquidos son agua en su mayor parte.

Por esta razón, el presente trabajo buscó evaluar el efecto de la sustitución de huevo líquido por huevo deshidratado sobre las características fisicoquímicas en galletas tipo cracker, y optimizar las condiciones en cuanto a porcentaje clara-yema y porcentaje de agua. Para esto se realizó un diseño experimental factorial 3^2 , cuyas variables respuestas fueron pH y humedad de la masa, humedad, color, crocancia, dureza, calibre, ancho y largo de una galleta tipo cracker. Posteriormente con las mejores condiciones de porcentaje clara-yema y porcentaje de agua en las galletas, se hicieron ensayos en planta industrial y las galletas desarrolladas se compararon con las galletas patrón preparadas con huevo líquido, mediante un análisis sensorial triangular, con el que se determinó que una de las tres referencias cumple con la característica planteada en los objetivos.

Planteamiento del Problema

En las galletas tipo cracker el huevo es un ingrediente fundamental debido a que proporciona un mejor sabor, da color a la corteza, doran con más facilidad, mejora la crocancia, da estructura mediante la coagulación de las proteínas presentes principalmente en la clara del huevo, produce masas tersas debido a los emulsificantes naturales como la lecitina contenida en las yemas y las yemas imparten un color amarillo a las masas y pastas (Hernandez Montenegro & Mendoza Pineda, 2009). Sin embargo, la vida útil del huevo líquido pasteurizado se encuentra usualmente entre 5-12 días, dependiendo de la temperatura de almacenamiento, lo que representa un problema a nivel industrial debido al alto riesgo de contaminación microbiológica, al control requerido en la cadena de frío, lo que representa costos alto asociados al gasto energético y a proceso de limpieza y desinfección. En este sentido el uso del huevo deshidratado es una gran alternativa para aumentar la vida útil y facilitar su manejo, dado que mediante esta estrategia se logra aumentar la vida útil del producto hasta alrededor de 1 año, por esta razón actualmente, el 30% del consumo del huevo es de huevo deshidratado (Seguridad alimentaria en huevos y ovoproductos, 2006).

Por lo anterior, se hace necesario realizar investigaciones que permitan reemplazar el huevo líquido por huevo deshidratado en la formulación de productos de galletería, sin alterar las características propias del producto, por lo que en este proyecto se desea responder a la siguiente pregunta de investigación.

¿Cuál es el efecto de la sustitución del huevo líquido por huevo deshidratado, en la producción de galletas tipo cracker, sobre las características fisicoquímicas del producto final?.

Justificación

El huevo es un ingrediente fundamental para la industria de panificación y galletas, en cuanto a ventajas industriales se tiene que la clara de huevo es capaz de generar gelificación, emulsificación, espumado, absorción de agua y coagulación por calor, lo que la hace ser una proteína deseable en muchos alimentos (Badui Dergal, 2006). Tecnológicamente existe la posibilidad de usar huevo deshidratado, el cual soluciona los problemas sobre el manejo de huevo líquido asociados a temas de inocuidad y costos energético por la refrigeración. Sin embargo, en el proceso de deshidratación, se dan cambios en la estructura molecular de la proteína, los cuales se ven altamente reflejados en su funcionabilidad. Es necesario considerar que el uso del huevo deshidratado ofrece mayor versatilidad de uso en diferentes derivados, facilita su manejo y dosificación, ahorra mano de obra, entrega mayor seguridad bacteriológica, facilita el comercio, distribución y aumenta la palatabilidad del producto final (Callejas Garzón & Ramirez Gamboa, 2018). Actualmente los proveedores ofrecen presentaciones de huevo deshidratado con diferentes porcentajes de clara-yema y dependiendo del proceso térmico utilizado en la deshidratación del huevo y la aplicación para la que se vaya a utilizar, la cantidad de agua requerida para su rehidratación puede variar. En este sentido para realizar la sustitución del huevo líquido por huevo deshidratado en un producto alimentario, es importante definir las condiciones óptimas para la formulación que permitan mantener las características deseadas en el producto.

Para la producción de galletas tipo cracker, en NOEL se usa huevo líquido como agente de volumen, propiedad que es afectada primordialmente durante el secado del huevo. Por esta

razón, con este proyecto se buscó proporcionar información a la compañía, para determinar la viabilidad del uso de huevo deshidratado e identificar la composición de clara – yema (C/Y) y el porcentaje de agua (PA) óptimos para la producción de galletas tipo cracker. Algunos de los beneficios que la empresa busca obtener con el reemplazo del huevo líquido, por huevo deshidratado, es tener una materia prima de origen certificado, el cual permite asegurar la comercialización a nivel nacional y con la posibilidad de exportar los productos a la unión europea. De igual forma el reemplazo por huevo deshidratado, permitirá a la empresa ahorros significativos, tanto a nivel energético como a nivel microbiológico, mayor tiempo de vida útil de la materia prima mayor facilidad para dosificar y mayor facilidad en los procesos de limpieza y desinfección de los equipos utilizados.

Marco Teórico

3.1. Características del huevo

El huevo es considerado por la organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y agricultura (FAO), como el alimento más nutritivo de la naturaleza, es rico en grasa, contiene buenas cantidades de hierro, calcio, vitamina A y D, tiamina y riboflavina. Debido a su alta densidad de nutrientes y baja densidad energética es importante en la dieta de la población, especialmente para ancianos, adolescentes, gestantes, etc. (Callejas Garzón & Ramirez Gamboa, 2018), Contiene las proteínas de más alto valor biológico después de la leche materna, incluso superior a la proteína de la carne y los productos lácteos (Yasmin & Rodriguez, 2018). “La nutricionista y dietista, resalta al huevo como un alimento funcional, debido a que es una fuente excelente de nutrientes, además de poseer efectos beneficiosos para la salud sobre una o más funciones del organismo” (Mesa Rodríguez & Valderrama Navarrete, 2018).

En la industria alimentaria el huevo es uno de los ingredientes más importantes debido a sus propiedades constituidoras de estructura, su aroma, contribución al color y contenido graso. Asimismo, son ingredientes de productos alimenticios y, por sus propiedades funcionales, ayudan a establecer la estructura y propiedades finales del alimento (Badui Dergal, 2006). En la Compañía de Galletas Noel el huevo es muy utilizado por su efecto leudante debido a su capacidad de retención de aire durante el batido con la masa, específicamente en la etapa de mezclado-amasado. En la etapa de cocción éste aire se expande y es retenido por la estructura que forma la

proteína del huevo, es decir la albúmina y las proteínas de la harina, contribuyendo así al esponjamiento del producto final. (Chavez, 2009).

El huevo líquido tiene la ventaja de que su funcionalidad como agente de volumen en los productos de galletería es mayor dado que la proteína se encuentra en su estado natural. Esto se debe a que la deshidratación del huevo, consiste en ciclos térmicos que exponen la proteína a procesos de desnaturalización. Esta desnaturalización da lugar a un cambio en las propiedades reológicas, pasando de un comportamiento tipo fluido, a un comportamiento tipo gel (Miranda, Guerrero, & Partal, 2000). En la industria alimentaria, gran parte del huevo y sus derivados es utilizado en forma de polvo o congelado, y se procura que en el proceso no se afecten las características originales del huevo fresco (Sotelo & González, 2000). El huevo deshidratado resulta una alternativa de reemplazo del huevo fresco. Tiene ventajas de proceso por su estabilidad, así mismo, reduce el costo de transporte y almacenamiento por la disminución de peso y volumen (Bernal, 2019). En la *Tabla 1* se presenta la composición del huevo entero, de la clara y de la yema.

Tabla 1.

Composición del huevo.

Nutrientes	Unidades	Huevo Entero	Clara	Yema
Energía	Calorías	72	17	55
Proteína	Gramos	6,3	3,6	2,7
Carbohidratos	Gramos	0,36	0,24	0,21
Grasa Total	Gramos	4,8	0,06	4,5
Grasa Monoinsaturada (MUFA)	Gramos	1,8	0	2
Grasa Poliinsaturada (PUFA)	Gramos	1	0	1,6
Grasa Saturada (SFA)	Gramos	1,6	0	1,6
Grasa Trans	Gramos	0,02	0	0,02
Colesterol	Miligramos	186	0	184

Nota: Adaptado de (Mesa Rodríguez & Valderrama Navarrete, 2018)

La cáscara del huevo tiene una masa aproximada de 6g y su componente fundamental es el carbonato de calcio que coexiste con pequeñas cantidades de carbonato de magnesio y fosfatos de calcio y magnesio. La clara del huevo es una solución acuosa de agua y proteínas de naturaleza viscosa. La yema es la porción amarilla del huevo y está recubierta por la membrana vitelina que separa la clara y la protege de una posible ruptura (Lucas, 2010). Al igual que la proteína del gluten, la proteína del huevo se coagula, lo que da estructura a los productos de panadería, las yemas contienen emulsificantes naturales como la lecitina que ayuda a producir masas tersas, además imparten un color amarillo a las masas y pastas, adicionalmente como los huevos doran con facilidad, contribuyen a dar color a la corteza (Hernandez Montenegro & Mendoza Pineda, 2009). Los huevos batidos incorporan el aire en pequeñas celdas o burbujas, el aire atrapado en una masa se expande al calentarse, y ayuda así a la acción leudante. La grasa que contienen las yemas lubrica y acorta las fibras de gluten. Esta es una función importante en aquellos productos con bajo contenido de otras grasas. Otra de las funciones del huevo es dar sabor y aumentar el valor alimenticio del producto.

3.1.1. Propiedades funcionales.

La funcionalidad de una sustancia se define como toda característica física y química que determina su comportamiento en diferentes sistemas alimentarios durante el procesamiento, almacenamiento, preparación y consumo del alimento. Las propiedades funcionales de las proteínas pueden ser clasificadas en propiedades hidrodinámicas y propiedades de superficie activa. Las propiedades funcionales como la viscosidad, gelación y texturización se relacionan con las primeras, que dependen del tamaño, forma y flexibilidad molecular. Las propiedades funcionales, como la humectabilidad, dispersabilidad, solubilidad, espumado, emulsificación y

unión a sabores se relacionan con las propiedades de superficie de la proteína (Badui Dergal, 2006). La relación entre la composición de aminoácidos y las propiedades funcionales y fisicoquímicas se puede visualizar como una serie de eventos que están interrelacionados. Por ejemplo, a partir de la composición y de su secuencia de aminoácidos se pueden deducir propiedades fisicoquímicas como hidrofobicidad, tamaño, forma, carga neta y distribución de la carga y actividad superficial, que a su vez determinan las propiedades funcionales, como espumado, gelificación, formación de películas o estructuras vítreas, capacidad para ligar agua o aceite, emulsificación, etc.

3.1.2. Capacidad emulsionante.

Es una propiedad importante de las proteínas alimentarias que mejora su utilización en la formulación de alimentos, dado que junto con los surfactantes de bajo peso molecular son los dos componentes principales incluidos en los alimentos como agentes emulsionantes. Las proteínas son polipéptidos macromoleculares que consisten en aminoácidos hidrófilos e hidrófobos. La naturaleza anfifílica de la proteína, que es esencial para los agentes emulsionantes, se origina a partir de la distribución bien equilibrada de las regiones hidrófobas e hidrófilas en la molécula de proteína. La actividad emulsionante de la proteína se basa principalmente en esta naturaleza anfifílica, y estos componentes contribuyen al proceso de emulsificación y estabilización de la emulsión de diferentes maneras (Muñoz, Alfaro, & Zapata, 2007). Las emulsiones estabilizadas por proteínas se ven afectadas tanto por las características propias moleculares de la proteína como por factores intrínsecos, como pH, fuerza iónica, temperatura, presencia de azúcares, volumen de la fase oleosa, tipo de proteína, punto de fusión del aceite empleado, así como los

factores extrínsecos, como el tipo de equipo utilizado para formar la emulsión, velocidad de incorporación del aceite y el nivel de agitación (Badui Dergal, 2006).

3.1.3. Capacidad espumante.

Las espumas consisten de una fase continua acuosa y una fase dispersa gaseosa (aire). Las propiedades de textura son únicas debido a la dispersión de numerosas burbujas de aire pequeñas y a la formación de una película delgada en la interface líquido-gas llamada frecuentemente lamela. La capacidad espumante de una proteína se refiere a la cantidad de área interfacial que puede ser creada por la proteína, que se puede expresar en diversas formas, como sobrerrendimiento o poder de espumado. Para estabilizar la espuma contra la gravitación y el estrés mecánico y se expresa como el tiempo necesario para que se drene el 50% de líquido de una espuma o para la reducción del 50% del volumen de la espuma (Badui Dergal, 2006). El grado en que una proteína puede formar espuma depende entre otras cosas del tipo de proteínas. Se ha demostrado que las espumas de proteína de suero y clara de huevo varían experimentalmente en valores espumado entre 500% al 1700%, dependiendo de factores tales como pH, cosolutos y concentración de proteínas. Diversos factores determinan las propiedades físicas de las espumas de proteínas, entre ellos los más importantes son el posicionamiento de las proteínas en la interface aire-agua y la viscoelasticidad interfacial. Las espumas pueden definirse como un sistema coloidal de burbujas de gas polidispersadas en un líquido viscoso o semisólido. Para producir espuma se requieren varias condiciones: trabajo mecánico, componentes tensioactivos que reduzcan la tensión superficial y que la formación de espuma sea más rápida que su descomposición (Dina, 2001).

3.1.4. Capacidad gelificante.

Un gel es una fase intermedia entre un sólido y un líquido. Técnicamente, se define como un sistema substancialmente diluido el cual no muestra flujo en estado estacionario. Se logra al entrecruzar el polímero mediante uniones covalentes o no covalentes, para formar una red capaz de atrapar agua y sustancias de bajo peso molecular (Badui Dergal, 2006). La mayoría de los geles de proteínas se preparan calentando la solución de proteína, lo que induce una desnaturalización y algunos eventos de polimerización de la proteína.

3.1.5. Gasificantes para panificación.

Los polvos para hornear o leudantes químicos, son mezclas de distintos compuestos que tienen la propiedad de generar CO₂ al contacto con agua a una temperatura adecuada; se usan en la panificación cuando la fermentación no se efectúa con levaduras. El gas así generado, junto con el vapor de agua y el aire atrapado, ejerce una presión en el interior de la red tridimensional conformada por las proteínas del gluten, que hace que la pasta se expanda y se esponje. En las burbujas formadas se inicia propiamente la expansión, que va en aumento a medida que los gases se calientan e incrementan su presión; para obtener la textura porosa propia del pan es muy importante que las burbujas sean muy abundantes, pequeñas y que estén distribuidas homogéneamente. El gas así generado, junto con el vapor de agua y el aire atrapado, ejerce una presión en el interior de la red tridimensional conformada por las proteínas del gluten, que hace que la pasta se expanda y se esponje. En las burbujas formadas se inicia propiamente la expansión, que va en aumento a medida que los gases se calientan e incrementan su presión; para obtener la textura porosa propia del pan es muy importante que las burbujas sean muy abundantes, pequeñas y que estén distribuidas homogéneamente. Durante el amasado se genera

una pequeña porción de CO₂, y la gran mayoría lo hace en el horneado. Las proteínas del trigo desempeñan un papel muy importante en la fabricación del pan y sus derivados, estos polímeros son los que hacen que se establezca la estructura tridimensional mediante enlaces disulfuro (-S-S-), que es básica para que la pasta esponje e incremente su volumen por las presiones del vapor y del aire, pero también por la presión del CO₂ proveniente de las levaduras o de los gasificantes para panificación. Sin embargo, no todos los trigos presentan las mismas propiedades físicas y químicas y, por consiguiente, pueden variar las características de la pasta que producen (Badui Dergal, 2006).

3.2. Galletas tipo cracker

Gracias a la amplia variedad de galletas que se pueden encontrar en el mercado es posible identificar ciertos factores que las hacen únicas entre sí, algunas se caracterizan por ser duras y crocantes, otras por ser suaves, por conservar su forma durante el horneo, y otras por cambiar su forma, todas estas características proporcionan galletas de infinidad de formas, tamaños, sabores y texturas altamente llamativas para el paladar, la forma de elaborar estas galletas es muy sencilla. “las galletas se definen como: productos obtenidos mediante el horneo” (Caballero, Maldonado O, & Maldonado M, 2011). “El término “galleta” (en inglés “cookie”) significa “pastel pequeño”, que corresponde aproximadamente a lo que es una galleta, se considera a la galleta como el producto derivado de la harina de cereales, para pasta fermentada horneada; con un contenido final de humedad inferior al 5%. La base de cereal, es decir, la harina se enriquece de diferentes formas con dos ingredientes principales: como son la grasa y el azúcar a partir de aquí, es posible obtener una gran variedad de productos. De otra parte, se han establecido grupos

de galletas de diferentes formas, basadas en su estructura o en la dureza del producto”

(Hernandez Montenegro & Mendoza Pineda, 2009).

3.2.1. La importancia del huevo en las galletas tipo crackers.

Los huevos proporcionan varias características como: formación de estructura, humedad y a la vez actúan como suavizantes. La funcionalidad de las proteínas alimenticias se refiere a aquellas propiedades físicas y químicas que influyen en el comportamiento durante el procesado, almacenamiento, preparación y consumo de alimentos. Entre las propiedades físicas y químicas que gobiernan la funcionalidad de las proteínas se incluyen el tamaño, la forma, la composición y las secuencias. Las propiedades funcionales permiten el uso de las proteínas como ingredientes en alimentos, aunque generalmente se incorporan en mezclas complejas como por ejemplo se puede señalar el caso de los productos de panadería, donde la viscosidad y la capacidad de formar pastas se relaciona justamente con las propiedades de las proteínas del gluten del trigo (Badui Dergal, 2006). Los atributos sensoriales de los alimentos se deben a complejas interacciones entre varios ingredientes funcionales, son consecuencia de las propiedades gelificantes bajo la acción del calor, la gelificación de las proteínas requiere el desdoblamiento de la estructura nativa seguida de una asociación Proteína-Proteína entre sus cadenas, el comportamiento durante el proceso de gelificación también depende de la presencia de otras moléculas como el tipo de azúcar presente, la capacidad emulsificante es una propiedad importante de las proteínas que mejoran su utilización en la formulación de alimentos dado que junto a los surfactantes de bajo peso molecular son los dos componentes principales incluidos en los alimentos como agentes emulsionantes, para producir espuma es indispensable desarrollar la película de la proteína que rodea una burbuja de gas su principal función es disminuir la tensión

superficial entre aire y la lamela (Badui Dergal, 2006). Por tanto, para que una proteína sea útil, como ingrediente, en la elaboración de tartas y productos similares debe poseer múltiples funcionalidades. La multifuncionalidad de la clara de huevo deriva de las complejas interacciones entre sus constituyentes proteicos, ovoalbúmina, conalbúmina, lisozima, ovomucina y otras proteínas similares a la albúmina. Se deben las distintas funcionalidades deseables en los alimentos. (Fennema, 2008) La formación de la estructura es debida a la albúmina. También son utilizados para espesar, y dar riqueza a las mezclas al enlazar los ingredientes. La ovoalbúmina es la proteína más abundante es la responsable de la cantidad de espuma producida mientras que la ovomucina actúa como agente estabilizador de la misma, ambas de estas fracciones se pierden estas características cuando se contamina con los lípidos de las yemas. Los huevos frescos son utilizados como humectantes y las yemas proporcionan color. Dentro de las propiedades físicas de mayor importancia de los huevos en la fabricación de productos de panadería, se encuentra la capacidad de actuar como emulsificantes, formar espuma y participar en la coagulación hacia un gel al aplicarles calor; por lo que tienen adecuadas propiedades espesantes y de unión (Caballero, Maldonado O, & Maldonado M, 2011).

3.3. Huevo deshidratado

Para la obtención de huevo en polvo se puede llevar a cabo dicho proceso utilizando el huevo entero, o bien la clara y la yema por separado, el uso de los productos secos de huevo se ha popularizado en las panaderías, debido a la serie de ventajas que tienen los productos deshidratados frente a los productos frescos, el huevo completo y la yema pueden ser llevados a un 5 o 6 % de humedad, mientras que la clara se deshidrata a un mayor contenido de humedad

debido a la alta viscosidad y la capacidad de generar espuma. La deshidratación se obtiene de la roturación de huevos frescos, limpios y sanos de gallina, filtrados, homogeneizados y pasteurizados según normas internacionales con temperaturas adecuadas con shock térmicos alternativos que producen una disminución importante de microorganismos viables y libre de gérmenes patógenos, luego es deshidratado mediante secado por atomización (Spray Dryer) manteniendo las propiedades físico- químicas que tiene el huevo. Mediante este proceso simple y ultra rápido, se consigue secar los sólidos, con alta calidad, preservando las características esenciales de los mismos. Este proceso también ofrece ventajas en la reducción de los pesos y volúmenes. El proceso se caracteriza en pulverizar el fluido dentro de una cámara sometida a una corriente controlada de aire caliente. Este fluido es atomizado en millones de microgotas individuales mediante un disco rotativo o boquilla de pulverización. A través de este proceso el área de la superficie de contacto del producto pulverizado se aumenta enormemente y cuando se encuentra dentro de la cámara con la corriente de aire caliente de secado produce la vaporización rápida del solvente del producto, generalmente agua, provocando frigerías en el centro de cada micro gota donde se encuentra el sólido, que seca suavemente sin gran choque térmico, transformándose en polvo y terminando el proceso con la colecta del mismo (Tecnovo, s.f.).

Presenta diferentes ventajas respecto a los huevos tradicionales como el fácil empleo y dosificación, manipulación más sencilla y mayor seguridad bacteriológica (Martín, 2012). La evolución tecnológica de esta industria ha permitido obtener productos deshidratados (en polvo) que poseen las mismas características funcionales que los productos líquidos y congelados. Los ovoproductos son utilizados nuevamente en la industria como insumo intermedio para la elaboración de distintos alimentos. (Arzeni, 2014).

3.3.1. Cambios en la funcionalidad del huevo por la deshidratación.

En el caso de las proteínas, la palabra desnaturalización indica que la estructuración se aleja de la forma nativa debido a un importante cambio en su conformación tridimensional, producido por movimientos los diferentes dominios de la proteína, que conlleva un aumento en la entropía de las moléculas. Este cambio conformacional trae como consecuencia pérdidas en estructura secundaria, terciaria o cuaternaria, pero no cambios en la estructura primaria, es decir, que la desnaturalización no implica una hidrólisis del enlace peptídico. Se afectan las interacciones no-covalentes, responsables de la estabilización de la estructura, así como la relación de dicha estructura con el solvente acuoso y en algunas ocasiones se afectan los puentes disulfuro. Es comun relacionar las desnaturalización con daños a la proteina ya que pueden perderse funciones fisiologicas , actividad enzimatica o bien modificarse sus propiedades funcionales al ocurrir agregacion o insolubilización (Badui Dergal, 2006). En el proceso de deshidratación a altas temperaturas La ovoalbúmina es la responsable de la cantidad de espuma producida, mientras que la ovomucina actúa como agente estabilizador de la misma; ambas fracciones pierden estas características cuando se contaminan con los lípidos de la yema. Los daños térmicos a las proteínas ocasionan una reducción del espumado, sobre todo si se calientan a temperaturas superiores a 60°C, pero la adición de ciertas sales y de sacarosa ejerce un efecto protector. Cuando se calienta la espuma el aire se expande y si no se ha generado daño a las proteínas, la estructura se mantiene. En la actualidad, es frecuente el uso de preparaciones de huevo o proteínas deshidratadas como ingredientes, y para prevenir el daño que se puede generar por reacciones de Maillard, antes de la deshidratación de la clara se lleva a cabo un tratamiento con la glucosa oxidasa para eliminar la glucosa (Badui Dergal, 2006).

Objetivos

4.1. Objetivo General

Establecer las mejores condiciones en cuanto al porcentaje clara-yema y el porcentaje de agua en la reconstitución de huevo deshidratado, para la sustitución de huevo líquido en la formulación de galleta tipo cracker, sin que se afecten las características fisicoquímicas del producto.

4.2. Objetivos Específicos

- Determinar el efecto de la relación clara-yema y el porcentaje de agua usado en la reconstitución de huevo deshidratado, en el desarrollo de galletas tipo cracker, sobre las variables de pH y humedad de la pasta, y humedad, color, crocancia, dureza, calibre, ancho y largo de la galleta.
- Identificar las condiciones óptimas para la producción de galletas tipo cracker usando huevo deshidratado y determinar la viabilidad de su producción a nivel industrial.
- Evaluar diferencias entre las galletas desarrolladas con el huevo deshidratado frente al patrón elaborado con huevo líquido mediante pruebas fisicoquímicas y un análisis sensorial.

Metodología

Los diferentes ensayos fueron realizados en las instalaciones de Compañía de Galletas NOEL con equipos de alta tecnología siguiendo los lineamientos normativos de los diferentes procedimientos. La primera prueba se realizó en la planta piloto y la segunda prueba se realizó a nivel industrial. El proyecto se desarrolló en 3 etapas:

- Primero se evaluó el efecto de la relación clara-yema (C/Y) y el porcentaje de agua (PA) en la reconstitución del huevo deshidratado, sobre las características fisicoquímicas de la pasta y las galletas. Para esto se usó un diseño experimental factorial y los ensayos se hicieron a escala de planta piloto.
- A partir de los resultados obtenidos en el diseño experimental, se seleccionó el PA óptimo y se realizaron ensayos con las tres C/Y a escala industrial. Las características fisicoquímicas de las galletas elaboradas se compararon mediante un análisis estadístico de diferencia de medias, con un patrón elaborado con huevo líquido.
- A partir del análisis anterior, se establecieron las condiciones de C/Y y PA óptimas para la elaboración de las galletas tipo cracker y se realizaron pruebas de producción a gran escala en la planta industrial. Finalmente, las galletas elaboradas se compararon mediante una prueba triangular con panel sensorial de expertos, para definir la viabilidad del remplazo del huevo líquido por huevo deshidratado.

5.1. Diseño experimental planta piloto

Se verificó el efecto de la relación clara-yema (C/Y) y el porcentaje de agua (PA) usado en la reconstitución del huevo sobre las propiedades de las galletas tipo cracker por medio de un diseño experimental de tipo factorial 3^2 . Para esto se emplearon 3 referencias de huevo deshidratado con diferentes C/Y y los % PA usados están basados en la cantidad recomendada por el proveedor. Los niveles manejados para cada factor se presentan en la *Tabla 2*.

Tabla 2.

Factores analizados.

Factores	Niveles		
Relación clara-yema (C/Y)	HD06	HD07	HD30
Porcentaje de agua (PA)	75	80	85

El diseño se hizo por duplicado para un total de 18 experimentos. Los efectos de las variaciones en la formulación de huevo fueron estudiados con la medición de los siguientes parámetros fisicoquímicos de la pasta y las galletas tipo cracker: pH de la pasta, humedad de la pasta, crocancia, dureza, calibre, ancho, largo y color de las galletas.

Se empleó el software Design Expert 12 en la generación y análisis de los datos del diseño. La significancia estadística de cada factor sobre la variable respuesta y la interacción entre las diferentes variables independientes fueron probados mediante el análisis de varianza (ANOVA). La significancia de los coeficientes estimados en el modelo se probó con el estadístico F (valor-P) y un nivel de confianza del 95%.

5.2. Elaboración de galletas en planta piloto

Las galletas se prepararon siguiendo los protocolos de la Compañía de Galletas NOEL S.A.S a nivel de planta piloto. Primero se comienza con la etapa de mezclado, en este paso se llevan todos los ingredientes a la batidora por un tiempo de 8 min luego se toma el pH y humedad de la pasta, en esta etapa se puede observar si hay cambios en las características fisicoquímicas con la composición de C/Y y PA(%) teniendo en cuenta las especificaciones de pH de la pasta $7,8 \pm 0,4$ y el % de humedad en 24 ± 1 . En la segunda etapa se deja la pasta en reposo por un periodo de 45 minutos, tiempo suficiente para que la pasta logre actividad química de enzimas. En la tercera etapa después de estar en reposo se pasa la pasta al rodillo laminador semi-industrial (Rondostar Eco Ref. SFE6605.EO), con capacidad de carga de 5 kg aprox. se inicia en calibre 25 hasta calibre de 1.1 mm, en esta etapa se obtiene estructura, extensibilidad, diámetro y textura. En la cuarta etapa moldeado se utiliza un rodillo manual muy similar al prototipo de la planta industrial, se sacan 24 moldes de galletas por referencia, En la quinta etapa se llevan los moldes de las galletas al horno a gas aprox. 6 min a una temperatura de 160°C .

5.2.1. Medición de humedad.

La humedad de la pasta y la humedad de las galletas fueron medidas mediante una termo balanza Halógena (Metalera Toledo Ref. HB43). Para esto se tomaron 4g de cada muestra, los cuales fueron secados a una temperatura de 124°C , hasta alcanzar peso constante. Las mediciones fueron realizadas por triplicado y los valores de referencia fueron comparados con los valores estandarizados en el protocolo de la Compañía. Para la medición de humedad tenemos el comparativo de humedad de la pasta 24 ± 1 , y para la medición de la humedad de las

galletas tenemos el comparativos 2.5 ± 1 . los resultados arrojados fueron consignados en una base datos para su análisis.

5.2.2. Medición de pH.

Se sacaron de cada experimento 5 gramos de la pasta, se llevó a un beaker de 100ml se le adiciono 50 ml de agua destilada con agitación constante, durante unos minutos, una vez homogenizada la mezcla se le midió el pH con un pH-metro de laboratorio (SG23 – SEVENGO DUO), los resultados fueron comparados con los datos que están en el protocolo de la Compañía.

5.2.3. Medición del color.

Los parámetros de color de las Galletas fueron determinados por medio de un Colorímetro (Konica Minolta Ref Chroma Meter CR-400) y los resultados se expresaron teniendo en cuenta las coordenadas CIELAB. El eje (L*) Negro/Blanco100 mide la claridad de la galleta, el eje (a*) mide el color verde-/rojo+ tomando valores de -60 a 60 negativos verdes y positivos rojos y el eje (b*) mide el color azul y amarillo, tomando valores de -60 a 60 negativo azul y positivo amarillo. Los parámetros de color se les realizo a tres galletas de cada experimento, los valores fueron comparados con los parámetros del protocolo de la compañía.

5.2.4. Medición de textura.

Para determinar los parámetros de crocancia y dureza se realizó la prueba a 10 galletas por medio de un texturómetro (modelo TAXT Plus Texture) con una celda de 5 kg, el cual permite identificar las condiciones óptimas de crocancia y dureza de las galletas tipo cracker. La crocancia se midió en decibelio (dB) y la dureza en fuerza (g).

5.3. Validación de la elaboración de galletas usando huevo deshidratado en la planta industrial

Para validar la viabilidad de la sustitución de huevo líquido por huevo deshidratado en la formulación de galletas tipo cracker, se realizaron ensayos en la planta industrial, con los 3 niveles de C/Y y el PA (%) definido como óptimo mediante el diseño experimental. Se siguió el protocolo de la planta en la elaboración de las galletas tipo cracker, con 15 minutos de diferencia entre masa y masa (por el tiempo de mezclado). Luego del mezclado, a cada referencia incluyendo el huevo líquido (patrón), se le tomaron mediciones de pH y humedad. Posteriormente, se transportaron las pastas a la cámara de reposo en los carros identificados en la planta. Después del tiempo de reposo (1 hora y media) se pasó la masa al área de laminación y horneado, que por temas de confidencialidad no se mencionan los equipos utilizados durante el proceso, después de que las galletas salen de horno, se tomaron 10 unidades para medir calibre, largo, ancho y peso. Posteriormente se pasan las galletas por el rociado del aceite y se toman 10 galletas más para medición de calibre, ancho, largo y peso. Después de que las galletas pasan por el proceso de mezclado, laminación y horneado son empacadas, su empaque es el estandarizado por la compañía para las Galletas tipo cracker y almacenadas en los corrugados, se llevan varios lotes al laboratorio para realizarle los análisis necesarios. Para hacer el comparativo entre las galletas elaboradas con huevo deshidratado y líquido (patrón), se evalúan en el laboratorio de NOEL las variables de humedad, calibre, largo, ancho, color y textura, con las metodologías previamente descritas. Adicionalmente se evaluó la variable peso a 10 galletas, 30 veces en la balanza analítica (Mettler Toledo PB303-S/fact). El análisis estadístico de los lotes producidos a nivel

industrial se realizó mediante una comparación de medias usando el test tuckey o Kruskal-Wallis.

5.4. Análisis sensorial galletas tipo cracker elaboradas con huevo deshidratado

Con los análisis estadísticos realizados a los ensayos de planta industrial, se determinó las condiciones de C/Y y PA (%) que no presentan diferencias estadísticas con la muestra patrón, dicho lote fue analizado mediante una prueba sensorial triangular con panelistas entrenados de la compañía. La prueba triangular involucra tres muestras codificadas, teniendo 2 muestras iguales y una diferente, presentadas simultáneamente. Los evaluadores son instruidos a indicar cuál de las muestras es diferente y en cuáles de los atributos se encuentran las diferencias.

Resultados y Discusión

6.1. Efecto de C/Y y PA sobre las características fisicoquímicas de la pasta y las galletas

En la *Tabla 3* se muestra el resultado del diseño experimental realizado en el laboratorio de NOEL con un diseño factorial de 3^2 , relacionando las 18 corridas del diseño y los valores de cada variable respuesta en cada corrida. En el diseño experimental se evaluó el efecto de C/Y y PA sobre las características fisicoquímicas de la masa y las galletas. Se usaron tres referencias de huevo que presentan diferentes C/Y y PA (%) según recomendaciones del proveedor.

Tabla 3.

Diseño experimental factorial para evaluación del efecto C/Y y PA sobre las características fisicoquímicas de las galletas tipo cracker.

Corrida	C/Y	PA%	pH Pasta	H[%] Pasta	Dureza [g]	Crocancia [dB]	H[%] galleta	Largo [mm]	Ancho [mm]	Calibre [mm]	L*	a*	b*
1	HD06	80%	8,19	26,35	964,78	90,24	2,67	81,40	77,94	4,93	68,91	6,25	34,80
2	HD06	75%	7,97	26,19	1086,13	97,62	6,52	80,79	80,22	6,88	62,63	9,99	38,85
3	HD30	75%	8,20	25,06	1413,39	107,17	3,98	81,62	78,46	5,61	70,38	5,99	35,96
4	HD30	85%	8,21	25,44	1645,67	96,58	5,16	79,94	79,26	5,43	68,49	6,55	34,46
5	HD07	80%	8,28	26,40	2242,17	83,74	3,76	80,58	77,31	6,40	66,76	8,10	35,07
6	HD07	75%	8,16	25,74	2130,67	97,30	5,25	80,38	79,17	6,04	64,89	9,26	36,23
7	HD07	80%	8,24	25,75	1470,18	95,40	3,76	81,05	77,85	5,18	36,59	7,33	47,06
8	HD06	85%	8,21	25,77	1633,92	102,92	4,46	79,73	77,97	5,10	69,37	6,38	34,91
9	HD07	85%	8,28	25,74	1371,81	93,33	5,03	80,42	79,04	5,47	70,64	7,15	35,36
10	HD30	80%	8,35	25,56	1092,91	93,78	5,19	80,17	77,49	5,46	71,04	7,37	35,89
11	HD06	85%	8,05	27,11	1460,67	100,03	4,93	84,65	78,28	6,05	64,93	8,14	35,08
12	HD30	85%	8,33	25,54	1645,67	96,58	5,64	79,97	78,89	5,41	65,98	8,65	36,04
13	HD07	85%	8,19	25,39	1304,94	95,26	4,98	80,26	78,70	5,52	69,15	7,14	35,75
14	HD06	80%	8,24	25,97	1946,50	100,36	2,80	79,84	76,55	5,49	67,64	7,76	36,96
15	HD30	80%	8,10	25,25	1100,08	97,00	2,43	79,93	79,16	5,64	65,49	9,47	37,93
16	HD30	75%	8,13	25,57	1216,28	100,50	3,99	80,10	77,86	5,19	69,61	7,04	35,12
17	HD06	75%	8,04	25,87	1126,42	98,54	4,28	80,16	78,58	5,49	65,16	10,28	39,96
18	HD07	75%	8,01	24,73	1519,54	98,08	4,86	80,26	75,00	5,73	65,90	8,67	36,79

Los valores del diseño fueron analizados por medio del ANOVA, mediante un modelo de dos variables o interacción. El diseño experimental fue verificado mediante el valor P del modelo y los factores, el cual indica la significancia estadística sobre la variable respuesta. Se evaluó también el coeficiente de correlación ajustado. Los resultados indicaron que los factores evaluados no presentaron significancia estadística para las variables de humedad, dureza, color, largo, ancho y calibre de la galleta ($p > 0.05$), es decir que dichas variables respuesta no se vieron afectadas por cambios en C/Y y PA (%). Por otro lado, para las variables de pH y humedad de la pasta y crocancia de la galleta, el ANOVA indica un modelo significativo con p-valores < 0.05 .

Los ANOVA para evaluación del efecto C/Y y PA(%) sobre el pH de la pasta, humedad de la pasta y crocancia de las galletas, se pueden ver en las *Tabla 4* y *Tabla 5* respectivamente. Los cuales fueron verificados con los supuestos de normalidad, varianza constante e independencia.

En la *Tabla 4* para la variable pH de la pasta, el ANOVA indica un modelo significativo con valor 0,0226, es decir que existe una significancia estadística de los factores sobre el pH de la pasta. PA (%) es el factor con mayor influencia con valor- p de 0,0168 sobre pH de la pasta, mientras que C/Y no tiene efecto estadísticamente significativo. En el rango experimental de trabajo, no se encontró carencia de ajuste. Pese a la significancia del modelo, se puede ver un coeficiente de correlación ajustado relativamente bajo, lo que indica que el modelo no explica completamente las variaciones de pH en función a los factores C/Y y PA (%).

Tabla 4.

Análisis de varianza del diseño experimental para evaluación del efecto C/Y y PA sobre el pH de la pasta.

pH de la Pasta	
Fuente	p-valor
Model	0.0226
A-PA	0.0168
B-C/Y	0.1164
Lack of Fit	0.7738
R ²	0.559
Adjusted R ²	0.4232

En la *Figura 1* se puede ver las variaciones en el pH de la masa en relación a las variaciones en PA y C/Y. Los resultados obtenidos en la planta piloto durante los ensayos muestran para los distintos PA (75%,80% y 85%) con las referencias de huevo deshidratado (HD06, HD07 y HD30) valores entre 7,9 y 8,28. Si se compara este valor con el valor del protocolo de la Compañía, el cual indica que el pH debe estar en un valor de $7,8 \pm 0,4$, se puede ver que los valores obtenidos en los experimentos están dentro del rango óptimo de trabajo. El resultado permite analizar si la adición de huevo deshidratado al producto produce alguna variación en cuanto a este parámetro y los posibles efectos que esto conlleve, en este caso podemos decir que el pH de la pasta obtenida con el huevo deshidratado favorece la preparación de las galletas, el cual no afecta el esparcimiento de la pasta y el color de la galleta, estos valores están cercanos al rango y cumplen las especificaciones del protocolo de la Compañía.

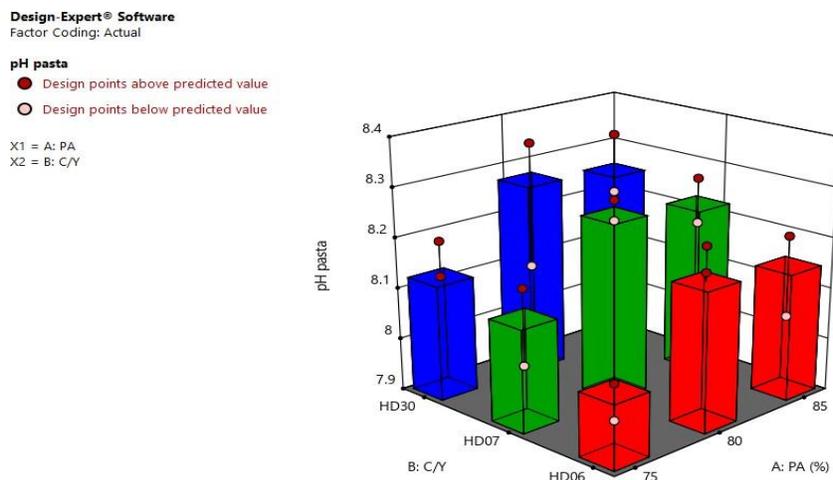


Figura 1. Efecto de C/Y y PA sobre el pH de la pasta.

Fuente: El autor

En la *Tabla 5* se muestra la variable porcentaje de humedad de la pasta. El ANOVA indica un modelo significativo con valor $P < 0,05$, lo que indica una significancia estadística de los factores, en este caso, contrario a lo encontrado para la humedad de la pasta, C/Y es el factor con mayor significancia, con un valor $P 0,0187$, mientras que PA en el rango experimental de trabajo, no tiene significancia estadística sobre la humedad de la pasta. Adicionalmente no se tiene carencia de ajuste y de forma semejante a la variable respuesta anterior, se puede ver un coeficiente de correlación ajustado relativamente bajo, lo que indica que el modelo no explica completamente las variaciones de H [%] pasta en función a los factores C/Y y PA (%).

Tabla 5.

Análisis de Varianza (Valor- P) del diseño factorial H [%] de la pasta vs Ref. C / Y PA (%)

H[%] pasta	
Fuente	p-valor
Model	0.0440
A-PA	0.3441
B-C/Y	0.0187
Lack of Fit	0.7067
R²	0.5590
Adjusted R²	0.3534

En la *Figura 2*, se muestra la variable respuesta H de la pasta según la corrida en el diseño experimental, con distintos PA 75%, 80% y 85% y con las tres referencias de huevo deshidratado HD06, HD07 y HD30. Podemos ver que la humedad de la pasta se mueve entre 24.73 y 27.11, si se compara este valor con el valor del protocolo de la Compañía, el cual indica que la H de la pasta debe estar en un valor de 24 ± 1 , se puede ver que, aunque el valor es cercano al valor indicado en protocolo de la Compañía, con algunas corridas del diseño experimental se obtuvieron datos con una humedad mayor a la recomendada. En la gráfica se puede notar que con la condición C/Y de HD06, la humedad de la pasta tiende a ser mayor que para las otras referencias, alcanzando los valores más cercanos al deseado con C/Y HD30 y el PA (%) 80 respectivamente. La humedad de la pasta es un factor de gran importancia en el producto final, dado que influye en la consistencia final de la galleta, así a medida que se aumenta la cantidad de humedad, el punto de fractura de la galleta disminuye.

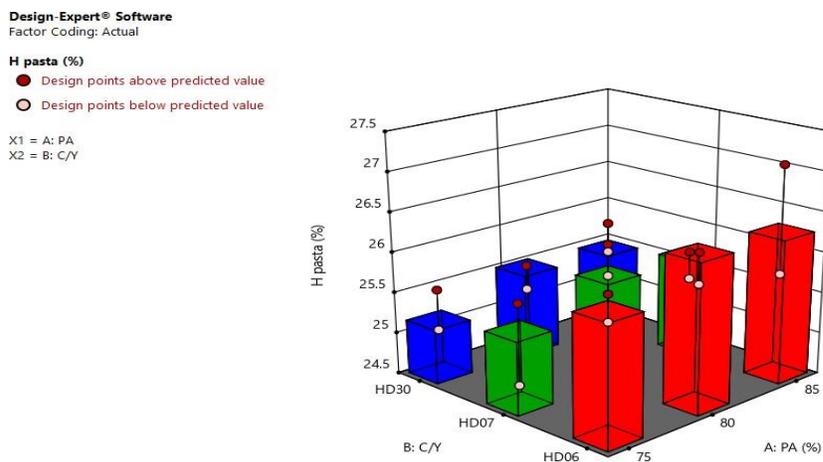


Figura 2. Efecto de C/Y y PA sobre H[%] de la pasta.

Fuente: El autor

En la *Tabla 6* se puede ver el ANOVA para la variable respuesta crocancia de la galleta. El modelo muestra una significancia estadística con un valor P de 0,0485. De forma similar a lo encontrado para la variable respuesta de pH de la pasta, se puede ver que PA es el factor con más influencia con valor $P < 0,0483$, mientras que la relación C/Y no tiene significancia estadística. En el rango experimental de trabajo, no se tiene carencia de ajuste y el coeficiente de correlación ajustado, sigue siendo bajo para explicar completamente la interacción de los dos factores sobre la crocancia de las galletas.

Tabla 6.

Análisis de Varianza (Valor- P) del diseño factorial Crocancia (dB) vs Ref. C/Y- PA (%).

Crocancia	
Fuente	p-valor
Model	0.0485
A-PA	0.0483
B-C/Y	0.115
Lack of Fit	0.5053
R²	0.4972
Adjusted R²	0.3424

En la *Figura 3* se pueden ver los cambios en los valores de crocancia de la galleta en relación a los factores PA y C/Y. La gráfica indica que la variable respuesta se mueve entre 83,74 y 107,17 (dB), encontrándose que las galletas obtenidas con PA 80% y C/Y HD06, presentan la crocancia en el rango intermedio, presentando los mejores resultados en la prueba, sin embargo, con este caso, se encontraron diferencias significativas en la aceptabilidad de todos los atributos evaluados.

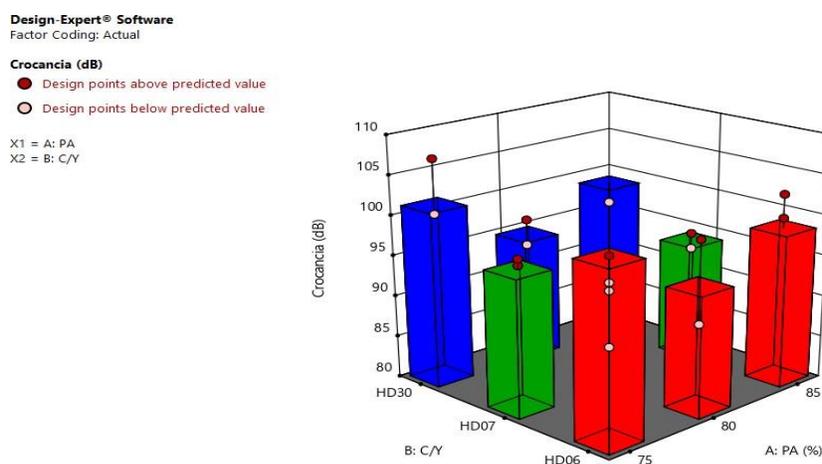


Figura 3. Efecto de C/Y y PA sobre Crocancia (dB) vs Ref. C/Y- PA (%).
Fuente: El autor.

Pese a que los modelos mostraron un bajo coeficiente de correlación, estos fueron optimizados teniendo en cuenta los valores de referencia de la compañía NOEL, para las variables respuesta. La optimización numérica de los modelos, indica con una deseabilidad del 0.809, que las mejores condiciones del PA% y C/Y son PA 80% y DH30, respectivamente. Sin embargo, considerando que se encontró una alta variabilidad en los resultados, y que muchas de las variables respuesta no tuvieron significancia estadística, se realizó un análisis pormenorizado de los resultados encontrados con la ayuda de expertos de la compañía y se decidió proceder con

los ensayos usando PA de 80% y los tres niveles de C/Y. Adicionalmente después de analizar los datos se llegó a las siguientes conclusiones:

Las condiciones de la galleta crackers (patrón) son obtenidas a condiciones de planta, mientras el ensayo en el laboratorio, a pesar de contar con equipos para la elaboración de la galleta no presentan las mismas condiciones, afectando así el producto final. Se evidencia esta situación observando que la galleta elaborada a partir de huevo líquido como lo hacen en planta tampoco cumple con los parámetros estipulados.

Se presentan variaciones en la harina, los lotes cambian constantemente, esto puede generar que tengan cambios físicos, químicos y microbiológicos. Estos cambios pueden influir en las demás variables del proceso y afectar las características de las galletas tipo cracker.

Las variaciones en los tiempos de mezclado, reposos en la cámara de fermentación, el tiempo de horneado y la temperatura empleadas en el laboratorio con respecto a planta también son características importantes a la hora de analizar los datos.

6.2. Ensayos a escala industrial

Según los resultados obtenidos, se puede decir que la relación C/Y que más se ajusta a las características fisicoquímicas obtenidas con la muestra patrón (huevo líquido), es la DH06, dado que no se encontró diferencias estadísticamente significativas en las variables peso/calibre, dureza, crocancia y en los valores de color L^* , a^* y b^* dado este resultado se puede concluir que

es viable el reemplazo del huevo líquido por huevo deshidratado trabajándolo a un PA del 80% y una relación C/Y de DH06. Cabe resaltar que la crocancia y el color son parámetros muy importantes para la Compañía ya que determinan la calidad del producto, no siendo de menor importancia el peso/calibre el cual debe cumplir las exigencias del peso y cantidad registrado en el empaque, según los resultados cumple con las especificaciones que tiene el protocolo de la Compañía.

Como se muestra en la *Tabla 7*, el promedio y la desviación estándar de la muestra patrón de la variable peso/ calibre es de $1,27 \pm 0,03^b$, para C/Y HD06 el valor fue de $1,29 \pm 0,03^b$ y para C/Y HD30 el valor fue de $1,27 \pm 0,04^b$, así ambas relaciones de C/Y presentan similitud a la muestra patrón encontrándose que no hay diferencias significativas en los valores obtenidos. Por otro lado, para la variable dureza, se encontró que las tres relaciones C/Y tiene comportamiento igual a la muestra patrón (huevo líquido), mientras que para la crocancia solo la relación C/Y DH06, no presenta diferencias estadísticas con la muestra patrón, con un valor promedio de $98,70 \pm 2,04^{ab}$., para la variable (Color), L^* , a^* y b^* tampoco se encontró diferencias estadísticamente significativas para todas las relaciones C/Y respecto a la muestra patrón. Contrario a esto, para las variables largo, ancho tienen diferencias significativas a la muestra patrón.

Tabla 7.

Promedio y Desviación estándar de las características Fisicoquímica de las Galletas Tipo Crackers.

	HUEVO LIQUIDO	HD06	HD07	HD30
Peso / Calibre	1,27 ± 0,03 ^b	1,29 ± 0,03 ^b	1,32 ± 0,03 ^a	1,27 ± 0,04 ^b
Dureza [g]	1706,8 6± 214,7 ^a	1694,64± 273,7 ^a	1700 ± 241 ^a	1826,65± 258,9 ^a
Crocancia [dB]	97,33± 2,89 ^b	98,70± 2,04 ^{ab}	99,3 ± 2,12 ^a	99,33± 1,87 ^a
Largo [mm]	80,39±0,52 ^a	79,6±0,45 ^b	79,3 ± 6,05 ^b	79,68±0,33 ^b
Ancho [mm]	65,61±0,53 ^b	66,39±0,33 ^a	66,1,5 ± 0, 57 ^a	64,88±0,42 ^c
L*	64,45±11,17 ^a	64,46 ± 2,02 ^a	66,140±1,81 ^a	62,62±3,07 ^a
a*	5,19±1,38 ^{ab}	5,667±1,25 ^b	4,70±1,38 ^a	5,67±1,50 ^b
b*	37,25±2,57 ^a	37,85±1,63 ^a	37,30±1,89 ^a	37,31±2,05 ^a

Según los resultados obtenidos, se puede decir que la relación C/Y que más se ajusta a las características fisicoquímicas obtenidas con la muestra patrón (huevo líquido) dado que no se encontró diferencias estadísticamente significativas en las variables peso/calibre, dureza crocancia y color sugiriendo que es viable el reemplazo del huevo líquido por huevo deshidratado trabajándolo a un PA del 80% y una relación C/Y de DH06 respectivamente. Esta se seleccionó ya que tiene similitud a la muestra patrón en las variables dureza crocancia y color, estos parámetros son muy importantes para la compañía ya que muestran la calidad del producto final, en los parámetros peso/calibre también podemos observar que es muy similar, estas variables son de igual importancia y a la hora de comercializarlas el peso debe estar en el diseño de empaque y adicional a esto cumplen con las especificaciones que están definidas en el protocolo de la compañía, cumpliendo los estándares de calidad y brindando confianza a la hora de empacar para su distribución final.

6.3. Análisis sensorial lotes planta industrial

A partir de los ensayos en la planta industrial, se concluyó que es viable el reemplazo del huevo líquido por el huevo deshidratado, según los parámetros del protocolo de la compañía, y se definieron como condiciones óptimas de operación un PA 80% y C/Y de DH06, se decidió elaborar un lote a gran escala bajo estas condiciones y realizar un análisis sensorial con una prueba triangular para comparar las galletas tipo crackers obtenidas con el huevo deshidratado, respecto a las galletas patrón de línea huevo líquido. Según la NTC 2681, el valor mínimo de respuestas acertadas para detectar una diferencia perceptible existente con $\alpha = 0.05$ y 8 datos es 6. En los resultados mostrados en la *Figura 4* se evidencia que no hubo diferencias, puesto que de 8 jueces solo 5 lograron identificarlas. Por lo anterior, se concluye que no hay diferencias estadísticamente significativas, ya que según el número de aciertos no corresponde a lo que indica la NTC 2681.



Figura 4. *Proporción de diferenciación.*

Fuente: El autor.

Finalmente, los análisis realizados permitieron definir que es viable el reemplazo del huevo líquido por el huevo deshidratado bajo estas condiciones, dado que las características físico químicas no se vieron muy alteradas y además el panel sensorial definió que no hay diferencias estadísticamente significativas, en base a esto la Compañía actualmente está trabajando con esta referencia y los resultados son muy positivos , permitiendo la comercialización y la exportación de las galletas tipo crackers teniendo en cuenta las exigencias del mercado europeo

Conclusiones

Tras el desarrollo del diseño experimental y la comparación de medias de las galletas cracker elaborados con el huevo líquido y el huevo deshidratado, se pudo determinar que las mejores condiciones para el uso del huevo deshidratado son: PA de 80% y C/Y DH06.

Mediante el presente trabajo se pudo identificar la viabilidad del reemplazo del huevo líquido por huevo deshidratado para la elaboración de galletas tipo cracker, dado que bajo las condiciones de PA y C/Y establecidas en este trabajo, se logró la elaboración de galletas cracker con características fisicoquímicas y sensoriales, similares a las galletas patrón elaboradas con huevo líquido.

Con los resultados obtenidos en el trabajo, la compañía NOEL podrá tener ahorros en el proceso de elaboración de las galletas tipo cracker con el cambio de huevo líquido por huevo deshidratado ya que disminuirían significativamente los gastos energéticos y el riesgo de contaminación microbiana, se tendría un costo beneficio.

El proyecto permitió a la compañía tomar la decisión de producir las galletas tipo crackers a gran escala con la referencia escogida de huevo deshidratado, el cual cumple con las características fisicoquímicas que tiene el protocolo de la Compañía y se determina su comercialización.

Los resultados obtenidos en la investigación permitieron a la compañía tomar decisiones con cuál de las dos alternativas quiere seguir, ya que el cambio aporta a la empresa beneficios económicos, el huevo deshidratado tiene mejor desarrollo en la planta de producción, fácil de dosificar, disminuye el riesgo de contaminación por alérgenos, los procesos de limpieza y desinfección son más fáciles, se tiene ahorros significativos, tanto a nivel energético como a nivel microbiológico.

Referencias Bibliográficas

- Arzeni, C. (2014). *Modificación molecular y funcional de proteínas de clara de huevo mediante ultrasonidos de alta intensidad: aplicación de esta tecnología al diseño de nanovehículos para ácido fólico*. Universidad de Buenos Aires, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales. Obtenido de Tesis Doctoral:
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n5480_Arzeni.pdf
- Badui Dergal, S. (2006). *Química de los Alimentos, cuarta edición*. México: Pearson.
- Bernal, M. (2019). *El huevo en la pastelería*. cocina semana. Obtenido de
<http://www.cocinasemana.com/edicion-impresa/articulo/el-huevo-en-la-pasteleria/32902>
- Caballero, L., Maldonado O, Y., & Maldonado M, L. (2011). Efecto de la adición de avena y café soluble en las características sensoriales de una galleta típica tipo dulce. *Limentech*, 115-122.
- Callejas Garzón, A. M., & Ramirez Gamboa, J. N. (2018). *Aprovechamiento de huevo deshidratado en la elaboración de un producto cárnico emulsionado*. Universidad de la Salle. Obtenido de
https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1179&context=ing_alimentos
- Chavez, R. G. (2009). *Propuesta de industrialización de las líneas de producción de galletas de las plataformas y tiendas con producción propia de Carrefour*.
- Dina, J. (2001). *Formación y estabilidad de espumas de proteínas de soja: efectos de la desnaturalización térmica y de la interacción con polisacáridos*. Biblioteca Digital FCEN-UBA. Obtenido de
https://bibliotecadigital.exactas.uba.ar/download/tesis/tesis_n3333_Carp.pdf

- Fennema, O. R. (2008). *Química de los alimentos*. Obtenido de <https://sceqa.files.wordpress.com/2014/05/quimica-de-los-alimentos-fennema.pdf>
- Hernandez Montenegro, A. S., & Mendoza Pineda, S. P. (2009). *Aprovechamiento del plasma sanguíneo líquido de bovino, como sustituto parcial de clara de huevo y huevo completo en la elaboración de ponqué y galleta*. Universidad de la Salle. Obtenido de Ciencias Unisalle: https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1041&context=ing_alimentos
- Lucas, M. I. (2010). *Descubriendo su estructura. En un huevo en mi laboratorio*. Madrid, España. Obtenido de <https://books.google.es/books?hl=es&lr=&id=rlcB5NavrIMC&oi=fnd&pg=PA21&ots=zpKH-swY1r&sig=AiY-0sJWiPFqR7WRiCZcBk-gvlo#v=onepage&q&f=false>
- Martín, M. H. (2012). *Calidad microbiológica de huevos deshidratados*. Madrid, España. Obtenido de <http://www.revistareduca.es/index.php/reduca/article/viewFile/1181/1194>
- Mesa Rodríguez, L. Y., & Valderrama Navarrete, D. (2018). *Evaluación de la incorporación de la yema de huevo en polvo como sustituto parcial de grasa y acción antioxidante en carne de hamburguesa*. Universidad de la Salle. Obtenido de https://ciencia.lasalle.edu.co/cgi/viewcontent.cgi?article=1263&context=ing_alimentos
- Miranda, J., Guerrero, A., & Partal, P. (2000). Reología de derivados de la yema de huevo deshidratada. *Grasas y Aceites*, 7. Obtenido de <http://rabida.uhu.es/dspace/bitstream/handle/10272/15819/Reolog%C3%ADa%20de%20derivados.pdf?sequence=2>
- Muñoz, J., Alfaro, M. d., & Zapata, I. (2007). Avances en la formulación de emulsiones. *GRASAS Y ACEITES*, 64-73. Obtenido de <http://alimentos.web.unq.edu.ar/wp-content/uploads/sites/57/2016/03/Emulsionantes.pdf>

- Seguridad alimentaria en huevos y ovoproductos.* (2006). Madrid. Obtenido de http://www.federovo.net/portall/images/content/seguridad_alimentaria_huevos_ovoproductos.pdf
- Sotelo, A., & González, L. (2000). Huevo en polvo con bajo contenido de colesterol, características nutricias y sanitarias del producto. *Scielo*. Obtenido de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0004-06222000000200004
- Tecnovo. (s.f.). *Productos en polvo - Huevo entero*. Obtenido de <http://www.tecnovo.com.ar/assets/huevoenpolvo.pdf>
- Yasmin, L., & Rodriguez, M. (2018). *Evaluación de la incorporación de la yema de huevo en polvo como sustituto parcial de grasa y acción antioxidante en carne de hamburguesa*.