

**EFFECTO DE LA ACIDIFICACIÓN DEL HUEVO ENTERO LÍQUIDO Y DE LA
TEMPERATURA DE SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y
REOLÓGICAS DEL HUEVO ENTERO EN POLVO**

NINI YOHANNA CHÁVEZ MOSQUERA

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI – VALLE
2017**

**EFFECTO DE LA ACIDIFICACIÓN DEL HUEVO ENTERO LÍQUIDO Y DE LA
TEMPERATURA DE SECADO SOBRE LAS PROPIEDADES FUNCIONALES Y
REOLÓGICAS DEL HUEVO ENTERO EN POLVO**

NINI YOHANNA CHÁVEZ MOSQUERA

**Trabajo de grado en la modalidad de profundización presentado como requisito
parcial para optar al título de Magister en Ingeniería de Alimentos**

Director

ALEJANDRO FERNANDEZ QUINTERO, Ph. D.

Codirector

ALFREDO AYALA APONTE, Ph. D.

**UNIVERSIDAD DEL VALLE
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA DE ALIMENTOS
SANTIAGO DE CALI – VALLE
2017**

CONTENIDO

	pág.
1. RESUMEN	1
2. INTRODUCCIÓN	2
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	3
4. JUSTIFICACIÓN	4
5. OBJETIVOS	5
5.1 OBJETIVO GENERAL	5
5.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	5
6. MARCO DE REFERENCIA	6
6.1 GENERALIDADES DEL HUEVO	6
6.2 PROPIEDADES FUNCIONALES DEL HUEVO	7
6.3 OVOPRODUCTOS	8
6.3.1 Huevo Ultrapasteurizado	8
6.3.2 Huevo en polvo	8
7. ANTECEDENTES	10
8. MATERIALES Y MÉTODOS	12
8.1 PRUEBAS PRELIMINARES	12
8.2 ACIDIFICACIÓN DEL HUEVO LIQUIDO	12
8.3 SECADO	12
8.4 DISEÑO EXPERIMENTAL	13
8.5 SOLUBILIDAD	13
8.6 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA	13
8.7 VISCOSIDAD APARENTE	14
8.8 ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA	14

9. RESULTADOS	16
9.1 SOLUBILIDAD	16
9.2 VISCOSIDAD	17
9.3 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA	19
9.4 PERFIL DE TEXTURA	20
10. DISCUSIÓN	23
11. CONCLUSIONES	25
REFERENCIAS	26

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Propiedades funcionales del huevo	7
Tabla 2. Diseño experimental	13
Tabla 3. Índice de comportamiento de flujo y coeficiente de consistencia del huevo en polvo reconstituido y del HELU.	18
Tabla 4. Viscosidad aparente a una velocidad de cizalla 32.7 s-1	19
Tabla 5. Parámetros del análisis de textura del huevo cocido a base de huevo líquido rehidratado y HELU*	22

LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Aporte nutricional por huevo (50g)	6
Figura 2. Grafica general del análisis del perfil de textura	15
Figura 3. Solubilidades del huevo en polvo reconstituido, en función de la temperatura del aire de secado y la concentración de ácido* en comparación a la solubilidad del HELU	16
Figura 4. Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla	17
Figura 5. Viscosidad aparente a una velocidad de cizalla entre 35.2 y 37.5, en función de la temperatura*	18
Figura 6. Capacidad de formación de espuma CFE* en función de la temperatura del aire de secado y la concentración de ácido en comparación con huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU)	19
Figura 7. Perfiles del análisis de textura del huevo cocido a base de huevo líquido rehidratado y HELU, en función de la temperatura del aire de secado y acidificación.	20
Figura 8. Parámetros del análisis de textura del huevo cocido a base de huevo líquido rehidratado y HELU, en función de la temperatura del aire de secado y el porcentaje de acidificación	22

1. RESUMEN

Se deshidrató huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU), mediante secado por aspersión, con el objetivo de determinar el efecto de la temperatura del aire secado y de la acidificación del huevo entero líquido, sobre las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo rehidratado. Se determinó la solubilidad, capacidad de formación de espuma y viscosidad del polvo rehidratado, y los parámetros de textura del gel estructurado a base de huevo en polvo rehidratado cocido. El proceso de secado se llevó a cabo en un equipo piloto de laboratorio, con un sistema de atomización por disco rotatorio a 3500 rpm. Las temperaturas del aire de entrada fueron 140, 160 y 180°C. Se evaluaron las propiedades del huevo líquido antes del secado, y del huevo en polvo con y sin adición de ácido. Se encontró que la acidificación influyó significativamente en la conservación de la solubilidad, capacidad de formación de espuma, el comportamiento reológico del fluido del huevo líquido rehidratado y los parámetros de textura del huevo en polvo rehidratado y cocido. La temperatura de entrada del aire presentó efecto significativo sobre la solubilidad y capacidad de formación de espuma del huevo en polvo, afectando de forma adversa estas propiedades al aumentar la temperatura. El cambio en las propiedades por efecto de la temperatura del aire de secado es atribuible a una desnaturalización de las ovoproteínas. Esta modificación de las proteínas fue minimizada por la presencia de ácido cítrico en el huevo líquido durante el secado.

Palabras claves: secado por aspersión, acidificación, temperatura, huevo entero deshidratado.

2. INTRODUCCIÓN

Los huevos son la principal fuente de proteína de origen animal de alta calidad y bajo costo, con una balanceada distribución de aminoácidos esenciales, ácidos grasos, vitaminas y minerales (Surai y Sparks 2001).

El huevo tiene una vida útil entre 10 y 30 días, dependiendo de las condiciones de almacenamiento y debe ser manipulado bajo condiciones especiales, para evitar su contaminación o ruptura debido a su alta fragilidad.

Los huevos deshidratados ofrecen grandes ventajas frente a los huevos en cáscara como: mayor vida útil (hasta 18 meses), fácil manejo, mayor seguridad microbiológica y menor volumen y peso; sin embargo también presenta propiedades sensoriales y funcionales que no son bien aceptadas por el consumidor. El huevo en polvo reconstituido no conserva el color, textura y sabor característico de un huevo fresco (en cáscara), y además pierde parcialmente su capacidad espumante y emulsificante.

En el método de deshidratación más usado a nivel industrial (por atomización), se ha identificado que la temperatura de secado, es la variable que más afecta las propiedades del huevo. Una forma de disminuir el daño sufrido en la estructura, es mediante la acidificación del huevo líquido antes del secado.

En este sentido, el presente estudio evaluó el efecto de la temperatura de secado y la acidificación del huevo líquido, sobre las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo. Las propiedades funcionales y reológicas evaluadas son: solubilidad, capacidad de oclusión de aire, viscosidad aparente y los parámetros del Perfil de Textura (dureza, elasticidad, cohesividad, adhesividad y gomosidad).

3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los huevos deshidratados son ampliamente utilizados en la industria alimentaria, por su seguridad microbiológica y fácil manejo, gracias a su reducido volumen, y larga vida útil (Bergquist 1995). Sin embargo la calidad del producto, comparado con el huevo natural (en cáscara o líquido pasteurizado), cambia significativamente en sus características organolépticas y propiedades funcionales (Rannou et. al., 2012).

El huevo en polvo presenta cambios en el color, textura y sabor, así como disminución de la habilidad para coagular con el calor, menor capacidad espumante y emulsificante. Estas características limitan su uso en diferentes aplicaciones industriales, como pastelería o salsas, donde solo puede ser utilizado en proporciones muy bajas.

Los principales factores que afectan las propiedades del huevo, son: fuerzas físicas, como el bombeo, homogeneización y la atomización; calentamiento del líquido y del producto seco; y el secado, que es el proceso que más influye en la pérdida de propiedades funcionales del huevo (Galobart, et al., 2001; Caboni, et al., 2004).

El secado en bandejas y por liofilización son los métodos de menor impacto sobre la calidad del huevo en polvo, sin embargo su bajo rendimiento y alto costo no hace viable su producción escala industrial.

La deshidratación mediante el sistema de atomización o por aspersión es el método más común debido a la eficiencia del proceso. Las temperaturas de secado varían desde 160 hasta 200 °C, siendo esta última la más utilizada a nivel industrial y el factor más crítico, debido a que la desnaturalización del huevo se produce a temperaturas superiores a 68°C.

Otros factores que influyen sobre la calidad del huevo en polvo durante el secado por aspersión son: la velocidad de atomización, el flujo de alimentación, y la temperatura de salida del producto seco, la cual se recomienda sea inferior a 60°C para disminuir el daño en la estructura del huevo.

A pesar de los numerosos estudios realizados alrededor del tema, el huevo en polvo obtenido mediante secado por atomización, aún tiene aspectos importantes por mejorar especialmente en sus propiedades organolépticas y funcionales.

4. JUSTIFICACION

En la actualidad, el consumo de huevo de gallina (*Gallus gallus*) es generalizado en todo el mundo, gracias a su agradable sabor, textura, valor nutritivo y bajo costo, comparado con otras fuentes de proteína de origen animal (Tortuero, 2002). Esto ha dado lugar a una importante actividad de carácter económico, que conforma un sector específico a nivel industrial.

Los huevos deshidratados son utilizados principalmente a nivel industrial en aplicaciones cosméticas y alimentarias. A pesar del valor nutricional del huevo en polvo, su seguridad microbiológica, larga vida útil y fácil manejo, los cambios en las propiedades funcionales y organolépticas como sabor y textura restringen la aceptación del consumidor final (Bergquist, 1995).

Según Caboni *et al.* (2004), la calidad del huevo en polvo, depende de dos puntos críticos: el proceso de secado y el almacenamiento. Sobre el almacenamiento, se encuentran varias publicaciones, que en su mayoría coinciden en las condiciones específicas de temperatura y humedad relativa del ambiente, que permiten conservar por más tiempo las características del huevo en polvo. No obstante, en el proceso de secado, persiste la necesidad de continuar investigando para encontrar mecanismos que permitan disminuir el impacto del tratamiento térmico sobre la calidad del huevo en polvo.

De acuerdo a lo reportado en la literatura, la estabilidad del huevo en polvo, se puede mejorar mediante la adición de carbohidratos (azúcar, maltodextrina, jarabe de maíz), sal o la acidificación del líquido, antes del proceso de secado. Dentro de estas posibilidades la acidificación del medio, es la opción que menos afecta la composición del huevo, comparado con el uso de azúcares o sales que deben usarse en proporciones del 5 - 20% para obtener un efecto.

Li-Chan *et al.* (1995) y Rossi *et al.* (1996), afirman que la reacción de Maillard, entre otros factores se favorece por el pH alcalino del huevo líquido pasteurizado. Además, según Jung *et al.* (1998), el uso de antioxidantes como el ácido ascórbico, pueden inhibir la oxidación de ciertos componentes lipídicos.

En este sentido el objetivo del presente estudio es evaluar el efecto de la acidificación y la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo.

5. OBJETIVOS

5.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar el efecto de la acidificación del huevo entero líquido y de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo

5.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Identificar los cambios en las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo producidos por la acidificación antes del secado.
- Evaluar el efecto de la temperatura de secado sobre las propiedades funcionales y reológicas de huevo en polvo.

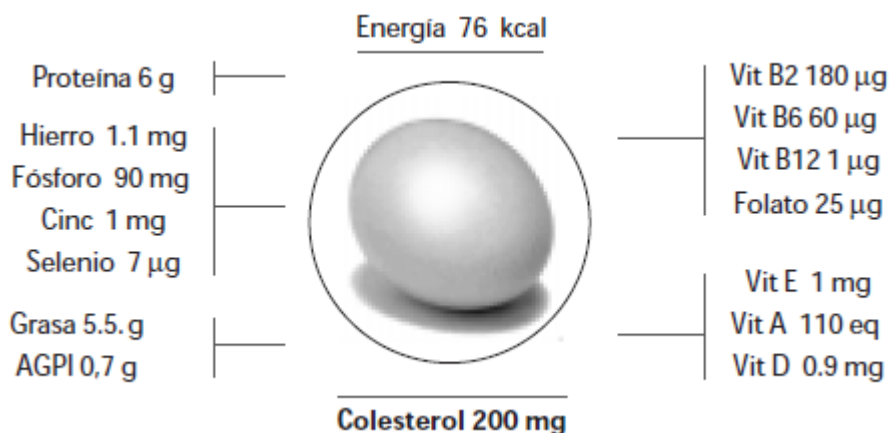
6. MARCO DE REFERENCIA

A continuación se describen los aspectos más relevantes sobre el huevo, que se deben conocer para el desarrollo de este proyecto.

6.1 GENERALIDADES DEL HUEVO

La composición del huevo es aproximadamente 60% clara, 30% yema y 10% cáscara. En la Figura 1 se muestra la composición nutricional de la parte comestible de un huevo. Su principal riqueza está en el contenido (6 g o 12%) y la calidad de las proteínas, ya que su valor biológico (94%) es el más alto entre las proteínas de origen animal. El contenido energético se acerca a las 76 kilocalorías. Este aporte calórico es relativamente bajo, en consumos moderados no genera problemas de sobrepeso.

La calidad de la grasa presente en el huevo es buena (5,5 g aproximadamente), pues el contenido de ácidos grasos mono insaturados (3,6%) y ácidos grasos poliinsaturados (1,6%) supera ampliamente al de grasa saturada (2,8%). Contiene también Omega-3, como ácido eicosapentaenoico y ácido docosahexaenoico que han demostrado efectos beneficiosos sobre la salud (Tortuero 2002) .



Fuente: Tortuero, 2002

Figura 1. Aporte nutricional por huevo (50g)

Además, el huevo es una apreciable fuente de vitamina A, D, E, riboflavina, niacina, ácido fólico, vitamina B12, biotina, ácido pantoténico, fósforo, hierro, cinc y selenio. Todo esto

hace del huevo un alimento nutricionalmente denso, rico en componentes nutritivos y con muy pocas calorías.

6.2 PROPIEDADES FUNCIONALES DEL HUEVO

Además de aportar nutrientes, sabor y color, los huevos proveen atributos funcionales importantes para el éxito de la preparación de otros alimentos. En la Tabla 1 se detallan las principales propiedades funcionales del huevo.

Tabla 1. Propiedades funcionales del huevo

PROPIEDAD	DESCRIPCIÓN	APLICACIONES
Adhesiva	Adhiere ingrediente como semillas y granos a diversos productos	Barras de cereales, variedades de pan, aperitivos
Espumante	Las proteínas de la clara forman espuma consiguiendo productos más aireados y ligeros	Merengues, mousses, souffles y productos horneados
Aglutinante	Las proteínas de la clara dan estructura y ligan todos los componentes del alimento entre ellos	Aperitivos, productos cárnicos, embutidos
Clarificante	La clara de huevo inhibe el pardeamiento enzimático y evita la turbidez en bebidas	Vinos, zumos
Coagulante y gelificante	Las proteínas de la clara y de la yema cambian de estado fluido a gelatinoso	Tartas y glaseados, flanes, pudines y natillas
Rebozado	Protege el aroma y el sabor	Aperitivos y fritos
Colorante	Los pigmentos de la yema contribuyen al color anaranjado de muchos alimentos	Panadería, pasta, flan y natilla
Emulsionante	Los fosfolípidos y lipoproteínas son agentes tensioactivos que estabilizan las emulsiones aceite/agua	Aderezos para ensaladas, salsas
Aromatizante	Aporta y realza algunos aromas, además incorpora el aroma del huevo	Natillas, golosinas
Mejora la palatabilidad	Da cuerpo y suavidad sustancial a los alimentos	Variedades de pan, dulces y pudines
Prolonga la durabilidad	Conserva las moléculas de almidón húmedas y frescas	Panes especiales, dulces
Mejora la textura	Mantiene firme la textura de los alimentos y mejora las masas esponjosas	Alimentos ligeros
Espesante	Espesa salsas y da cuerpo consiguiendo mejorar el producto	Salsas y recubrimientos, alimentos preparados

Fuente: IMPROVO, 2007

6.3 OVOPRODUCTOS

De acuerdo a la NTC 6116 de 2014 los ovoproductos, se definen como “Productos obtenidos a partir de huevo, de sus diferentes componentes o sus mezclas, que están destinados al consumo humano directo, para la fabricación de alimentos o como insumos o materias primas para la industria, sometidos a procesos tecnológicos tales como pasteurización, ultra-pasteurización, concentración, deshidratación o coagulación”.

El término productos de huevo u Ovoproductos se refiere a diferentes formas de procesar y ofrecer presentaciones más convenientes para uso industrial, centros de alimentación (Sandow, 1994) o uso doméstico. Estos productos pueden ser clasificados en huevo líquido refrigerado (pasteurizado o ultrapasteurizado), huevo congelado, huevo en polvo y especialidades de productos de huevo.

6.3.1 Huevo Ultrapasteurizado: La finalidad de la pasteurización es asegurar la destrucción de todos los microorganismos patógenos y de la mayor parte de la flora banal que tiende a alterar el producto. Lo que se persigue es alcanzar un tratamiento que reduzca en un 99.999999% (9D) la población de Salmonella.

La pasteurización de los ovoproductos a altas temperaturas y cortos tiempos (HTST), conocida comoó, trata de mejorar la pasteurización tradicional del huevo líquido (tratamiento a 63-65°C por 2-4 min.) sin perjudicar su sabor y manteniendo sus propiedades funcionales, así como alargar considerablemente la vida comercial del producto. El tratamiento se realiza a 70°C por 90 s. Para conseguir esto el proceso consta de un precalentamiento a 55-60°C y después un tratamiento a 70°C por 90 s, manteniendo el diferencial de temperatura entre el producto y el medio calefactor lo más bajo posible. El producto se debe envasar asépticamente (Sandow 1994).

6.3.2 Huevo en polvo: Producto al que se le ha disminuido el contenido de agua de constitución del huevo, por procedimiento tecnológico adecuado y es apto para el consumo humano e industrial (NTC6116, 2014). Generalmente el huevo que se somete a deshidratación ha sido pasteurizado o ultrapasteurizado, previamente.

Deshidratar el huevo tiene importantes ventajas como:

- Mayor vida útil.
- Es más fácil de manipular, garantizando su inocuidad.
- Requiere menos espacio de almacenamiento que el huevo en cáscara o líquido.
- No necesita condiciones de refrigeración durante el almacenamiento.
- Por las razones antes mencionadas, los costos de transporte y almacenamiento son menores comparados con los del huevo en cáscara, líquido o congelado.

Sin embargo, por efecto del tratamiento térmico para la deshidratación, se producen cambios en las propiedades fisicoquímicas y funcionales del huevo. Durante el secado ocurren modificaciones químicas, como oxidación lipídica, pardeamiento no enzimático y la formación de compuestos no deseables que repercuten en el sabor (Bergquist, 1995; Galobart, Barroeta, Baucells, Cortinas, & Guardiola, 2001; Missler, Wasilchuk, & Merrit, 1985; Utzmann & Lederer, 2000; Wahle, Hoppe, & McIntosh, 1993).

7. ANTECEDENTES

La deshidratación del huevo, es una tecnología exitosa para su conservación y aumento de la vida útil, que se originó a principios del siglo XX. Sin embargo, a pesar de las excelentes propiedades microbiológicas de los ovoproductos deshidratados, se encuentran deficiencias en su calidad sensorial y funcional. Por este motivo aún continúan las investigaciones, en busca de condiciones óptimas de secado por aspersión y de aditivos o coadyuvante que contribuyan a conservar al máximo todas sus propiedades (Koudele & Heinsohn, 1960; Marjorie *et al.*, 1990; Morgan & Armstrong, 1992; Bergquist, 1994; Guardiola *et al.*, 1995; Guardiola *et al.*, 1997; Franke & Kießling, 2002; Hammerhøj *et al.*, 2004; Caboni *et al.*, 2005; Lechevalier *et al.*, 2007; Ayadi *et al.*, 2008; Koç *et al.*, 2011b; Asghar & Abbas, 2015).

Según Brooks y Hawthorne (citados por Bergquist, 1994), los factores que más influyen en los cambios de las características del huevo en polvo secado por aspersión durante el almacenamiento, son el contenido de carbohidratos, el nivel de humedad y el pH. Se reporta que la reacción de pardeamiento puede ser retardada a bajos niveles de humedad (<2%) o de pH (<6). De forma similar Miyahara & Bergquist (1961), sugieren transformar los carbohidratos (glucosa) del huevo, en un ácido, mediante fermentación antes del secado, para lograr mayor “estabilidad” del huevo deshidratado durante el almacenamiento.

Koç y colaboradores (2011a) investigaron sobre el efecto de las condiciones del secado por aspersión, sobre las propiedades fisicoquímicas y funcionales del huevo entero en polvo, y encontraron que la temperatura del aire de salida y la presión de atomización, tienen mayor efecto que la temperatura del aire de entrada, sobre las propiedades del huevo en polvo. Anandharamakrishnan *et al.* (2007), también reportan que la desnaturalización de proteínas está altamente relacionada con las condiciones de secado por aspersión.

Ayadi *et al.*, (2008), estudiaron el efecto de condiciones moderadas en el secado por aspersión, sobre las propiedades funcionales de la clara y el huevo entero deshidratado. Las temperaturas del aire de entrada, se establecieron entre 110 a 125°C. Los productos obtenidos presentaron alta capacidad de formación de espuma y estabilidad, mejoraron considerablemente la capacidad de emulsificación y su estabilidad. Además los geles obtenidos presentaron mayor capacidad para ligar agua y mayor dureza. El estudio concluyó que el secado por aspersión bajo condiciones moderadas de temperatura, puede ser una buena alternativa para obtener ovoproductos deshidratados con propiedades funcionales especiales.

Asghar y Abbas (2015), evaluaron el efecto de la utilización de huevo entero en polvo sobre las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de productos de panadería. Los pasteles con reemplazo total del huevo líquido, por huevo en polvo, presentaron menores valores de grasa, proteína y humedad. El menor contenido de agua fue reportado como una ventaja, ya que evita el crecimiento microbiano y en consecuencia aumenta la vida útil del producto. Se concluyó que el huevo en polvo presentó excelentes propiedades funcionales como la capacidad de formación de espuma, firmeza y aumento del volumen de la torta durante el proceso de horneado. Sin embargo, no es posible comparar estos resultados con otros estudios, debido a que los autores, no especifican las condiciones aplicadas en el proceso de secado.

Chan y Chen (2000), evaluaron el efecto del pH, sobre las características de gel y la funcionalidad del huevo entero líquido, encontrando una alta correlación entre este factor y las variables de respuesta. Sus resultados indicaron que la capacidad de formación de espuma y la estabilidad del huevo entero líquido cambiaron en función del pH, con una tendencia no lineal. La firmeza, esfuerzo y tensión de fractura del gel aumentaron a pH altos.

Pelegrine y Gasparetto (2004), estudiaron el efecto de la temperatura y el pH sobre la solubilidad de la proteína de suero y encontraron que ambos factores influyen significativamente sobre la variable de respuesta. La solubilidad decreció con el incremento de la temperatura y aumentó a pH extremos lejanos del punto isoeléctrico, donde las fuerzas electrostáticas de las moléculas con cargas netas positivas o negativas, aumentan su repulsión.

8. MATERIALES Y METODOS

Se utilizó huevo entero líquido Ultrapasteurizado de la empresa Ovopacific SAS, con un contenido de sólidos entre 24 y 26 °Brix y temperatura entre 2 y 4°C. El secado del huevo líquido se realizó en el laboratorio de operaciones unitarias de la Escuela de Ingeniería de Alimentos, de la Universidad del Valle, en un secador por aspersión a escala piloto.

El producto en polvo obtenido se empacó al vacío en bolsas metalizadas para garantizar su conservación hasta el momento del análisis (máximo 3 semanas). Se evaluó la solubilidad, capacidad de oclusión de aire, viscosidad aparente y los parámetros del perfil de textura.

8.1 PRUEBAS PRELIMINARES

Mediante pruebas preliminares se determinaron:

- Temperaturas de entrada del aire: 140, 160 y 180 °C.
- El flujo de alimentación: 33 ml/min.
- La velocidad del disco de atomización: 35000 rpm.
- El tipo de ácido y la concentración a utilizar en el huevo líquido a secar

8.2 ACIDIFICACIÓN DEL HUEVO LIQUIDO

Se preparó una solución concentrada de ácido cítrico al 46%. Esta solución se utilizó para acidificar el huevo entero líquido ultrapasteurizado (suministrado por la empresa Ovopacific, Puerto Tejada, Colombia) hasta una concentración de ácido cítrico en la mezcla, encontrada preliminarmente, que no afectó drásticamente las características organolépticas del huevo (Se omite el valor de la concentración por razones de reserva industrial).

8.3 SECADO

El secador por aspersión utilizado [Marca VIBRASEC, Medellín Colombia], funciona con un sistema de atomización por disco rotatorio (10 orificios de 5.8 x 2 mm). El flujo del aire se fijó operando el motor del ventilador a su máxima velocidad y controlando al 80% la apertura de la válvula de paso de aire. El huevo entero líquido Ultrapasteurizado con y sin ácido, se alimentó, entre 2 y 8°C a un flujo de 2 Kg/h. Las temperaturas de entrada del aire fueron 140, 160 y 180°C; y las temperaturas de salida 78, 89 y 101°C, respectivamente.

8.4 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se aplicó un diseño factorial 3x2, correspondiente a dos factores temperatura y concentración de ácido, con tres y dos niveles, respectivamente (Tabla 2). Las pruebas experimentales se realizaron por duplicado de forma aleatorizada (Anexo A).

Tabla 2. Diseño experimental

Factores	Niveles	Variables de respuesta
Temperatura de entrada del aire (°C)	140 160 180	Solubilidad Capacidad de formación de espuma Viscosidad Parámetros del perfil de textura
Condición del huevo líquido	Sin acidificar Acidificado	

Se utilizó el software Minitab 16 para el análisis estadístico. Se verificó el cumplimiento de los supuestos de normalidad de residuos e igualdad de varianzas residuales. Se aplicó un análisis de varianza (ANOVA) con un nivel de confianza del 95%, para conocer la existencia de diferencias significativas. Se identificaron los tratamientos con mayor efecto, mediante el método de comparación de medias de Tukey, con un nivel de confianza del 95% (Anexo B, C, D y E).

8.5 SOLUBILIDAD

La solubilidad se determinó mediante el indicador industrial denominado valor de Haenni, cuyo método es adaptado de Hawthorne (citado de Rannou *et. al*, 2015). Siete (7) gr de huevo en polvo se disolvieron en 22 ml de una solución de cloruro de sodio al 5% (w/w). Después de 20 min se midió el índice refractivo y se reportó el valor de Haenni, de acuerdo a la ecuación 1:

$$VH = (n_{Huevo} - n_{NaCl}) \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

VH: Valor de Haenni

n_{Huevo} : Índice refractivo de la solución de huevo y sal

n_{NaCl} : Índice refractivo de la solución de sal al 5%

8.6 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA

La capacidad de formación de espuma se determinó por triplicado hidratando el huevo en polvo al contenido original de sólidos totales: 25%. Se reconstituyeron 40 g de huevo en

polvo, en 120 g de agua destilada. La muestra hidratada a 25°C, se batió con globo metálico en una batidora de 325 V [Kitchenaid, St Josep,US], durante 3 min a la velocidad 10. La capacidad de formación de espuma (CFE) se calculó mediante la ecuación propuesta por Phillips (citado de Lomakina y Mikota, 2006):

$$\% CFE = \frac{(W_L - W_B)}{W_B} \times 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

WL= Peso de 134 ml de huevo líquido (sin batir).

WB = Peso de 134 ml de huevo batido (espuma)

8.7 VISCOSIDAD APARENTE

El comportamiento del flujo se determinó mediante un viscosímetro rotacional Brookfield LVDV III [Brookfiel., Milddleboro, US], a 25°C, a una velocidad de cizalla entre 5 y 65 s⁻¹, para el huevo en polvo rehidratado y, entre 37 y 65 s⁻¹ para el HELU. Se emplearon las agujas cilíndricas número 21 y 29 para las muestras de bajas y altas viscosidades, respectivamente. Los datos se ajustaron por regresión lineal, al modelo de la ley de potencias o de Ostwald, para determinar el índice de comportamiento de flujo “n” y el coeficiente de consistencia “K”, de acuerdo a la ecuación 3 y 4 (Steffe, 1996).

$$T = k(\gamma)^n \quad \text{Ecuación 3}$$

$$\text{Log } T = \text{log } k + n \text{ log } \gamma \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde, T es el esfuerzo de corte y, γ es la velocidad de cizalla.

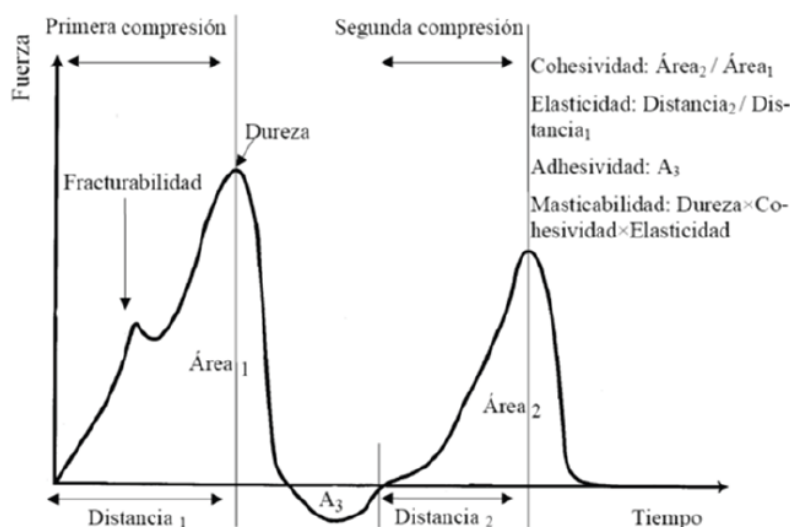
Finalmente la viscosidad aparente entre 37.2 y 37.5 s⁻¹ fue usada para comparar los polvos rehidratados.

8.8 ANÁLISIS DEL PERFIL DE TEXTURA

Para el análisis del perfil de textura (TPA) se prepararon muestras cilíndricas a partir de huevo cocido, de la siguiente forma: se rehidrataron 12.5 g de polvo, en 37.5 g de agua destilada, y se dosificó en fundas flexibles de polipropileno de 2 cm de diámetro. Los extremos de sellaron herméticamente. Los cilindros de 13 cm de largo, se sumergieron en baño de agua a 82 ° C durante 15 min. Después de la cocción, las muestras se enfriaron en agua con hielo, hasta alcanzar la temperatura ambiente (20°C ± 1°C). A continuación se retiró el plástico, del gel de huevo y se realizaron cortes simétricos, mediante un sistema de cuchillas de unión paralela, para obtener cilindros de 22 mm alto y 20 mm de

diámetro. Estas muestras se sometieron a una compresión de dos ciclos, al 40% de su altura original, a una velocidad de cabezal de 60 mm/min, con una celda de carga de 500N, en un Texturómetro [EZ-Test, Shimadzu]. A partir de las curvas de fuerza versus tiempo resultantes, se determinaron los parámetros texturales: dureza, elasticidad, cohesividad, adhesividad, gomosidad y masticabilidad.

En la Figura 2, se presenta un gráfico típico del análisis de perfil de textura, en el cual se describen los parámetros texturales de este método (Kassis, Drake, Beamer, Matak, & Jaczynski, 2010).



Fuente: Ruiz, 2005

Figura 2. Gráfica general del análisis del perfil de textura

Dureza: es la fuerza máxima durante el primer ciclo de compresión.

Cohesividad: es el cociente entre el área positiva bajo la curva de la fuerza de la segunda compresión (A_2) y el área bajo la curva de la primera compresión (A_1).

Adhesividad: Es el área negativa de la primera compresión (A_3). Es la fuerza ejercida por el émbolo para que regrese a su posición inicial, después de aplicar la primera compresión. La base del émbolo se lubricará con aceite para evitar que las muestras se peguen y alterar los resultados.

Elasticidad: es el cociente entre la distancia asociada al tiempo en que el alimento recupera su forma durante el primer y segundo ciclo.

Gomosidad: es el producto de la dureza por la cohesividad.

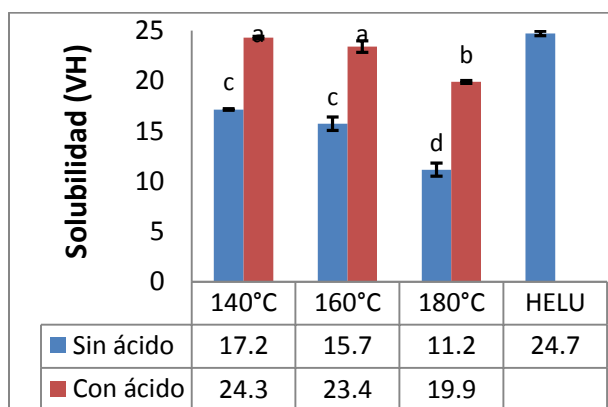
Masticabilidad. Es el producto de la dureza por cohesividad y elasticidad

9. RESULTADOS

A continuación se examina el efecto de la temperatura de secado y la acidificación del huevo sobre las propiedades funcionales y reológicas del huevo deshidratado.

9.1 SOLUBILIDAD

La solubilidad describe el fenómeno de completa rehidratación del polvo y en el caso del huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU), se relaciona con el contenido de sólidos solubles, que representa aproximadamente 99% de los sólidos totales. La solubilidad puede alterarse por tratamientos térmicos, como pasteurización o secado, que desnaturalizan de las proteínas, induciendo a la formación de grandes partículas insolubles (Rannou *et al.*, 2015). De acuerdo al análisis de varianza y la prueba de medias de Tukey, con un 95% de confianza (Anexo B), la temperatura de secado y la acidificación del huevo antes del secado, tienen significancia estadística ($p < 0.05$) sobre la solubilidad del huevo deshidratado. Al disminuir la temperatura de secado, aumenta la solubilidad y en mayor proporción cuando las muestras han sido acidificadas, alcanzando valores muy cercanos al HELU sin deshidratar (Figura 3).



*Los valores que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 3. Solubilidades* del huevo en polvo reconstituido, en función de la temperatura del aire de secado y la concentración de ácido en comparación a la solubilidad del HELU

Estudios similares reportan que altas temperaturas durante el secado por aspersión conllevan a la desnaturalización de la proteína y en consecuencia se presenta disminución de la solubilidad de los polvos de yema y huevo entero (Franke & Kießling, 2002; Koc *et al.* 2011; Rannou *et al.*, 2015).

9.2 VISCOSIDAD

En la figura 4 se presenta el comportamiento de la viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla del huevo en polvo rehidratado. Las muestras sin adición de ácido, se caracterizaron por presentar altas viscosidades, que disminuyen marcadamente al incrementar la velocidad de cizalla, tendencia característica de un fluido pseudoplástico. Este mismo comportamiento se observó en el huevo acidificado, aunque con un gradiente de variación más pequeño, y valores de viscosidad mucho más bajos, cercanos del huevo líquido antes del secado. Este fenómeno de comportamiento pseudoplástico puede atribuirse al cambio de estructura de los glóbulos de grasa y al rompimiento de los enlaces débiles entre las proteínas. Cuando la red se rompe, el adelgazamiento de la cizalla puede ocurrir y la viscosidad aparente disminuye. Como resultado, las moléculas son reorganizadas en la dirección de la cizalla, disminuyendo la resistencia a fluir (Souza & Fernández, 2013).

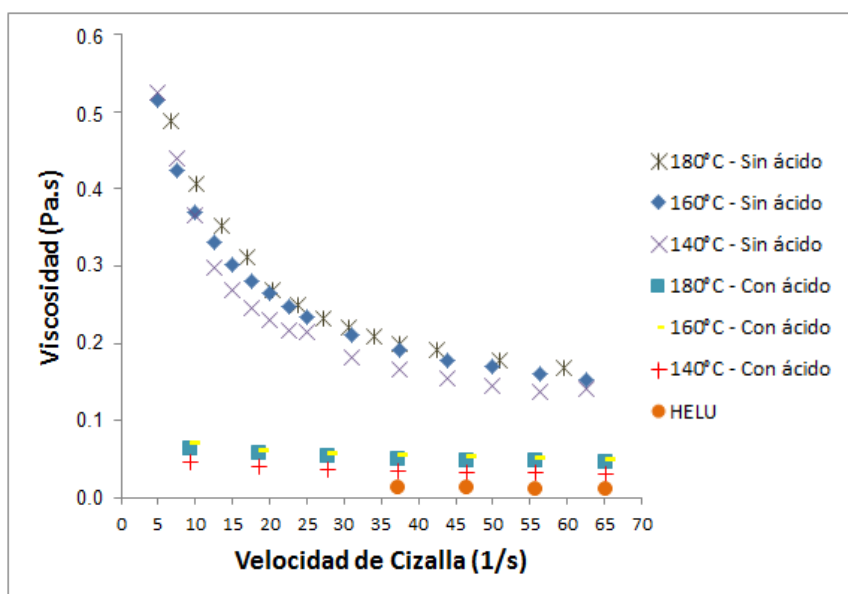


Figura 4. Viscosidad aparente en función de la velocidad de cizalla

EL Comportamiento pseudoplástico de los fluidos observado en la figura 4, se ratifica con el índice de comportamiento de flujo (n) y el coeficiente de consistencia (K). Este último como su nombre lo indica, se relaciona con la consistencia del fluido, si el valor es alto, la viscosidad es mayor y viceversa. El índice de comportamiento de flujo es una medida de la desviación respecto al comportamiento Newtoniano. Entre más alejado de la unidad sea el valor de n (<1), más no-newtoniano es el comportamiento del fluido.

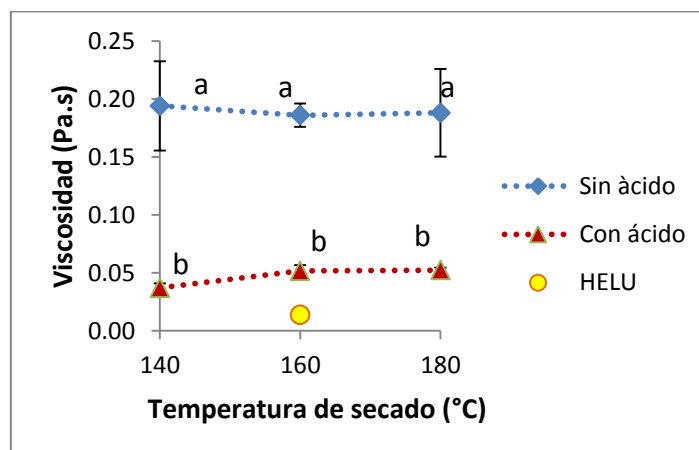
El huevo reconstituido que no fue acidificado antes del secado, presentó coeficientes de consistencia entre 1.36 y 0.95 Pa.sⁿ, e índices de flujo entre 0.46 y 0.54, con un

comportamiento marcadamente no-newtoniano ($n < 1$). Las muestras acidificadas presentaron índices de comportamiento de flujo por encima de 0.8 y coeficientes de consistencia entre 0.1 y 0.07 Pa.sⁿ, indicando que se trata de un fluido con baja viscosidad y con comportamiento no-newtoniano, aunque en menor grado comparado con las muestras sin acidificar. Estos parámetros son muy similares a los obtenidos para el HELU (Tabla 3).

Tabla 3. Índice de comportamiento de flujo y coeficiente de consistencia del huevo en polvo reconstituido y del HELU.

Temperatura (°C)	Índice de comportamiento de flujo n		Coeficiente de consistencia k (Pa.s ⁿ)	
	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido
140	0.46 ±0.03	0.84 ±0.05	1.36 ±0.12	0.07 ±0.01
160	0.48 ±0.07	0.83 ±0.02	1.23 ±0.38	0.09 ±0.02
180	0.55 ±0.04	0.81 ±0.01	0.95 ±0.34	0.10 ±0.01
HELU	0.81 ± 0.02		0.03 ± 0.01	

En la Figura 5 y Tabla 4 se compara la viscosidad de las muestras a una velocidad de cizalla entre 35.2 y 37.5 s⁻¹.



Los valores que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 5. Viscosidad aparente a una velocidad de cizalla entre 35.2 y 37.5, en función de la temperatura*

De acuerdo al resultado del análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey (Anexo C), se puede afirmar con un 95% de confiabilidad que la temperatura del aire de secado no influye ($p > 0.05$) sobre la viscosidad, mientras que la acidificación

tiene un efecto significativo sobre esta variable. El huevo que no fue acidificado antes del secado aumentó significativamente su viscosidad (alrededor de 0.2 Pa.s), comparado con las muestras acidificadas que presentaron valores entre 0.037 y 0.052 Pa.s, mucho más cercanas a la viscosidad del huevo antes del secado 0.013 Pa.s.

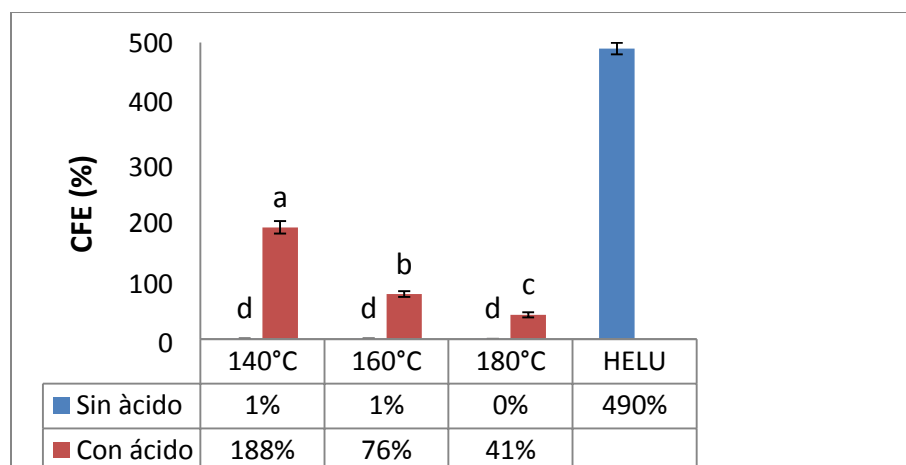
Tabla 4. Viscosidad aparente a una velocidad de cizalla 32.7 s^{-1}

Temperatura (°C)	Viscosidad (Pa.s)*	
	Sin ácido	Con ácido
140	0.194 $\pm$ 0.038 ^a	0.037 $\pm$ 0.004 ^b
160	0.186 $\pm$ 0.010 ^a	0.052 $\pm$ 0.005 ^b
180	0.188 $\pm$ 0.038 ^a	0.052 $\pm$ 0.002 ^b
HELU	0.013 $\pm$ 0.003	

Los valores que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

9.3 CAPACIDAD DE FORMACIÓN DE ESPUMA

En la Figura 6 se puede apreciar el comportamiento de la capacidad de formación de espuma CFE, en función de la temperatura del aire de secado y la acidificación del huevo.



Los valores que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 6. Capacidad de formación de espuma CFE* en función de la temperatura del aire de secado y la concentración de ácido en comparación con huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU)

El análisis de varianza y la prueba de comparación de medias de Tukey (Anexo D), indicaron con un 95% de confiabilidad que la temperatura del aire de secado, la

acidificación y la interacción de estos factores influyen significativamente ($p < 0.05$) sobre la CFE. Esta propiedad se perdió por completo en las muestras que no fueron acidificadas, mientras que el huevo acidificado tendió a aumentar la CFE al disminuir la temperatura de entrada del aire; sin embargo los valores obtenidos no alcanzaron a superar la mitad de la CFE del HELU 489.6%.

9.4 PERFIL DE TEXTURA

En la Figura 7 se aprecian las gráficas del perfil de textura del huevo cocido a base de huevo líquido rehidratado y el huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU). Ninguna muestra presentó adhesividad, y el perfil de fuerzas de las muestras sin acidificar, fue semejante al comportamiento del HELU.

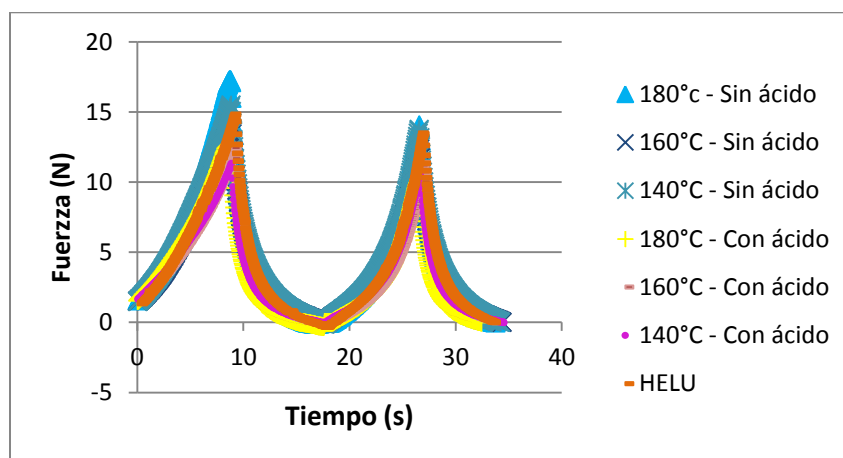


Figura 7. Perfiles del análisis de textura del huevo cocido a base de huevo en polvo rehidratado y HELU, en función de la temperatura del aire de secado y acidificación.

En la Tabla 5 y Figura 8 se presentan los valores medios de dureza, cohesividad, elasticidad, gomosidad y masticabilidad, en función de la temperatura del aire de secado y la adición de ácido. El análisis de varianza con un 95 % de confiabilidad (Anexo E), reveló que la temperatura de secado y la concentración del ácido, no tienen efecto ($p \geq 0.05$) sobre los parámetros de elasticidad y cohesividad. Mientras que para la dureza, gomosidad y masticabilidad se encontró significancia estadística ($p < 0.05$) por efecto de la concentración del ácido (Anexo E).

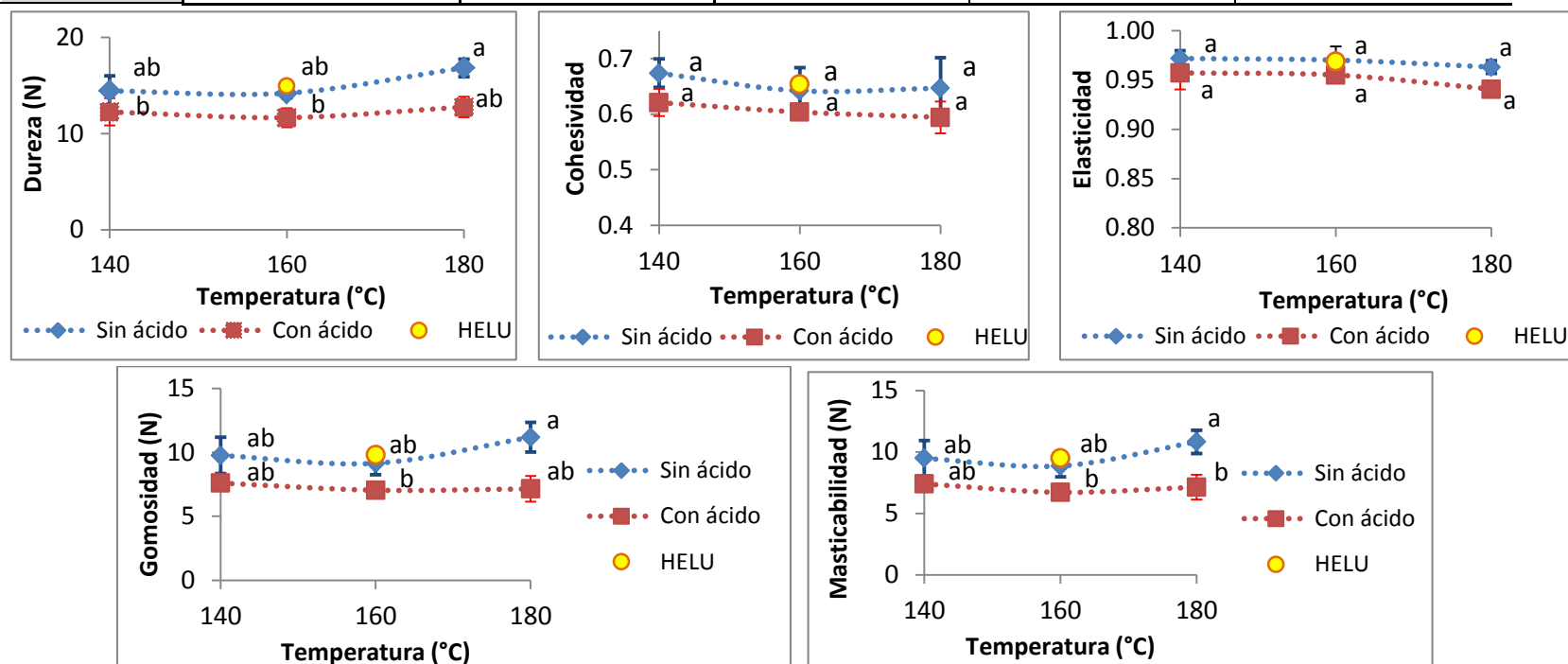
Estos resultados son similares a los reportados en otras investigaciones, donde se encontró una fuerte correlación entre la temperatura del aire de secado y la dureza del gel a base de huevo, debido al incremento de la hidrofobicidad de las moléculas (Ayadi *et al.*, 2008; Koç *et al.*, 2011). También se reporta que la alcalinización del medio tiene una influencia directamente proporcional con la dureza del gel (Chang & Chen, 2000), lo cual

es consistente con el comportamiento de las muestras sin acidificar, que presentaron los valores de dureza y pH más altos (alrededor de 8.2).

Los geles a base de huevo acidificado, presentaron menor dureza, gomosidad y masticabilidad, sin embargo esto parece ser una ventaja de acuerdo a lo señalado por Marco-Moles *et al.*, (2011), quien afirma que no es deseable el aumento de la dureza y la masticación en muestras de huevo gelificado. Geles con baja dureza y alta cohesividad (capacidad para mantener una estructura de red intacta), podrían ayudar a mejorar la sensación en la boca de los productos derivados de huevo.

Tabla 5. Parámetros del Análisis del perfil de textura del huevo cocido a base de huevo en polvo rehidratado y HELU*

Temperatura (°C)	Dureza (N)		Cohesividad		Elasticidad		Gomosidad (N)		Masticabilidad (N)	
	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido	Sin ácido	Con ácido
140	14.45 ±1.56	12.26 ±1.42	0.67 ±0.03	0.62 ±0.02	0.97 ±0.01	0.96 ±0.02	9.76 ±1.42	7.60 ±0.58	9.49 ±1.46	7.41 ±0.22
160	14.21 ±0.51	11.67 ±0.99	0.64 ±0.04	0.60 ±0.01	0.97 ±0.00	0.96 ±0.00	9.14 ±0.91	7.04 ±0.51	8.87 ±0.87	6.72 ±0.46
180	16.84 ±0.92	12.77 ±1.07	0.65 ±0.05	0.59 ±0.03	0.96 ±0.01	0.94 ±0.00	11.18 ±1.15	7.14 ±1.01	10.82 ±0.95	7.14 ±1.01
HELU	14.97 ±0.50		0.65 ±0.01		0.97 ±0.02		9.79 ±0.37		9.49 ±0.44	



Los valores que no comparten la misma letra son significativamente diferentes ($p < 0.05$).

Figura 8. Parámetros del análisis de textura del huevo cocido a base de huevo líquido rehidratado y HELU, en función de la temperatura del aire de secado y el porcentaje de acidificación

10. DISCUSIÓN GENERAL DE LOS RESULTADOS

El huevo en polvo rehidratado secado con aire a 140, 160 y 180 °C, sin adición ácido, exhibió solubilidades entre el 45 y 69% con respecto a la solubilidad del huevo entero líquido ultrapasteurizado (HELU). Adicionalmente, perdió por completo la capacidad de formación de espuma y presentó un aumento de su viscosidad de hasta 15 veces con respecto al HELU. Además, debido a la solubilidad incompleta del polvo al rehidratarse, la solución se precipitó después de 5 min de reposo. Finalmente, los geles obtenidos por la cocción del huevo líquido rehidratado, presentaron mayor dureza, gomosidad, masticabilidad y perdieron el brillo característico del HELU cocido.

Por otra parte, el huevo en polvo rehidratado que se acidificó antes del secado a las mismas condiciones de temperatura del aire como se expuso previamente, presentó solubilidades entre 81 y 98% con respecto al HELU, manteniéndose como soluciones estables sin separación de fases, contrario a lo exhibido por el huevo rehidratado sin tratamiento con ácido. Reológicamente el comportamiento de flujo fue comparable al del HELU y la capacidad de formación de espuma se conservó hasta en un 38% respecto al HELU. Además los parámetros de textura del huevo rehidratado cocido indicaron que es capaz de formar geles con menor dureza, gomosidad y masticabilidad, conservando la cohesividad y elasticidad, características del HELU. Cabe resaltar que las muestras de huevo cocido conservaron el brillo característico del HELU, pero presentaron una disminución en la intensidad del color amarillo. Este atributo podría reducir la aceptabilidad del producto en el consumidor final y limitar su aplicación solo a nivel industrial.

En resumen, se infiere que altas temperaturas en el aire de secado presentan un efecto desfavorable en la conservación de las propiedades funcionales y reológicas del huevo en polvo, mientras que la acidificación del huevo antes del secado, genera un efecto protector sobre dichas propiedades. Estos cambios pueden explicarse, con las características físicas y químicas de los principales compuestos del huevo líquido ultrapasteurizado.

El huevo entero líquido es una mezcla de macronutrientes disueltos en agua, 12.9% de proteína, 11.5% de lípidos, 0.4% de hidratos de carbono, 0.7% de cenizas y 74% de agua (Badui, 2006). Las proteínas en estado globular presentes en el huevo, se encuentran libres o asociadas con hidratos de carbono o lípidos, formando glucoproteínas y lipoproteínas.

Las proteínas con estructura terciaria globulares, se caracterizan por doblar sus cadenas en una forma esférica apretada o compacta dejando grupos hidrófobos hacia adentro de la proteína y grupos hidrófilos hacia afuera, lo que hace que sean solubles en disolventes polares como el agua (Marjorie *et al.*, 1990).

Las fuerzas que estabilizan la estructura terciaria, se establecen entre las distintas cadenas laterales de los aminoácidos que la componen. Estos enlaces pueden ser de dos tipos: covalentes y no covalentes.

Los enlaces covalentes se deben a la formación de un puente disulfuro entre dos cadenas laterales de Cisteína, o a la formación de un enlace amida (-CO-NH-) entre las cadenas laterales de la Lisina y un aminoácido dicarboxílico (Glutamato). Los enlaces no covalentes pueden ser de cuatro tipos. a) Fuerzas electrostáticas entre cadenas laterales ionizadas, con cargas de signo opuesto, b) puentes de hidrógeno, entre las cadenas laterales de aminoácidos polares, c) interacciones hidrofóbicas entre cadenas laterales apolares ó, d) fuerzas de polaridad debidas a interacciones dipolo-dipolo (Fenema, 1993).

Cuando por factores externos se rompen los puentes de la estructura terciaria, la conformación deja de ser compacta y se abre, interaccionando al máximo con el disolvente, volviéndose insoluble en agua. Este fenómeno se conoce como desnaturalización y es afectado entre otros factores por cambios en la temperatura, fuerza iónica y variaciones en el pH

Altas temperaturas, durante tiempos prolongados aumenta la entropía de las moléculas y velocidad de movimiento, impulsando el contacto entre la superficie de las partículas, lo cual puede conducir a la agregación y coalescencia (Koç *et al.*, 2011). Además la energía aplicada, influye en el rompimiento de enlaces débiles, como puentes disulfuro y puentes de hidrógeno, conduciendo a la desnaturalización. Esto explica, por qué a mayor temperatura del aire de secado, mayores fueron los cambios en las propiedades al compararse con el huevo entero líquido ultrapasteurizado.

Por otro lado, la acidificación o la alcalinización del medio hacen que las moléculas se carguen electrostáticamente sobre su superficie, incrementado la repulsión entre ellas. A pH ácido, aumenta el número de cargas positivas (NH_3^+) y a pH básico, los grupos carboxilato se desacidifican cargándose negativamente (COO^-). En cualquiera de los dos casos, decrece la interacción proteína-proteína y aumenta interacción proteína-agua, contribuyendo a una mayor solubilidad y estabilidad de sus constituyentes, y en consecuencia disminuyendo el riesgo de disrupción y desnaturalización de la estructura proteica (Pelegrine & Gasparetto, 2005). Este fenómeno podría explicar el efecto protector de la acidificación antes del secado, sobre las propiedades funcionales y reológicas.

Resultados similares se reportan para clara de huevo, donde la solubilidad aumentó con la alcalinización del medio, debido a que el número de iones cargados negativamente (a un pH mayor al punto isoeléctrico), fue mayor que el número de iones cargados positivamente (Ferreira *et. al*, 2007),

11. CONCLUSIONES

La acidificación del huevo líquido antes del secado, influyó significativamente en la conservación de la solubilidad, capacidad de formación de espuma, el comportamiento de flujo del huevo en polvo rehidratado y en los parámetros de textura del huevo reconstituido y cocido.

La temperatura de entrada del aire presentó un efecto negativo significativo sobre la solubilidad y capacidad de formación de espuma del huevo en polvo rehidratado. El efecto térmico sobre las propiedades fue más pronunciado a la mayor temperatura de secado.

El tratamiento de huevo entero líquido acidificado y una temperatura del aire de secado de 140°C, permitió conservar en mayor grado las propiedades funcionales y reológicas de huevo deshidratado al compararse con el huevo entero líquido ultrapasteurizado.

REFERENCIAS

- ANANDHARAMAKRISHNAN, C; RIELLY, C & STAPLEY, A. Effects of process variables on the denaturation of whey proteins during spray drying. *Dry Technology*, 2007. Vol 25:799–807 p.
- ASGHAR, A AND ABBAS, M. Effect of spray dried whole egg powder on physicochemical and sensory properties of cake. *American Journal of Scientific and Industrial Research*, 2015. 97–102 p.
- AYADI, M. A., KHEMAKHEM, M., BELGITH, H., & ATTIA, H. Effect of moderate spray drying conditions on functionality of dried egg white and whole egg. *Journal of Food Science*, 2008. 73 p.
- BAKALIVANOV, Stefan et. al. Characterization of freeze–dried egg melange. *Radiation Physics and Chemistry*, 2007: 6 p.
- BERGQUIST, D. Egg science and technology. Chapter 13: Egg dehydration. Binghamton, NY: Stadelman & O. J. Cotterill, 1995. 350 p.
- BEVILACQUA, Marta, et. al. Application of near infrared (NIR) spectroscopy coupled to chemometrics for dried egg-pasta characterization and egg content quantification. *Food Chemistry*, 2012: 9 p.
- BROOKS & HAWTHORNE, Citado por BERGQUIST. Egg science and technology. Chapter: Egg dehydration. Binghamton, NY: Stadelman & O. J. Cotterill, 1995. 350 p.
- CABONI, M; BOSELLI, E; MESSIA, M; VELAZCO, V; FRATIANNI, A; PANFILI, G, and MARCONI, E. Effect of processing and storage on the chemical quality markers of spray-dried whole egg. *Food Chemistry*, 2005: 293 - 303 p.
- CHANG, Y. I., & CHEN, T. C. Functional and gel characteristics of liquid whole egg as affected by pH alteration. *Journal of Food Engineering*, 2000. Vol 45(4), 237–241p.
- DATE ZOTTE, Antonella. The use of near-infrared reflectance spectroscopy (NIRS) in the prediction of chemical composition of freeze-dried egg yolk and discrimination between different n – 3. PUFA feeding sources. *Animal Feed Science and Technology*, 2014: 14 p.
- DE SOUZA, P. M., and FERNÁNDEZ, A. Rheological properties and protein quality of UV-C processed liquid egg products. *Food Hydrocolloids*, 2013. Vol 31(1), 127–134 p.

- FRANKE K, KIEßLING M. Influence of spray drying conditions on functionality of dried whole egg. *Journal Science Food*, 2002. Vol 82:1837–1841 p.
- FREDRICK, E., WALSTRA, P., & DEWETTINCK, K. Factors governing partial coalescence in oil-in-water emulsions. *Advances in Colloid and Interface Science*, 2010. Vol 153(1–2), 30–42 p.
- GALOBART, J.; BARROETA, A. C.; BAUCCELLS, M. ñññD.; CORTINAS, L. and GUARDIOLA, F. Tocopherol transfer efficiency and lipid oxidation in fresh and spray-dried eggs enriched with x3-polyunsaturated fatty acids. *Poultry Science*, 2001: 1496–1505 p.
- GÓNGORA, M; PEDROW, P.; SWANSON, B. and BARBOSA, G. Energy analysis of liquid whole egg pasteurized by pulsed electric fields. *Journal of Food Engineering*, 2003. 209-216 p.
- GUARDIOLA, F; CODONY, R; MISKIN, D; RAFECAS, M and BOATELLA, J. Oxysterol formation in egg powder and relationship with other quality parameters. *Journal of agricultural and Food Chemistry*, 1995. Vol 43:1903–1907 p.
- GUARDIOLA, F; CODONY, R; RAFECAS, M; GRAU, A; JORDA, N. and BOATELLA, J. Oxysterol formation in spray-dried egg processed and stored under various conditions: Prevention and Relationship with Other Quality Parameters. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 1997. 45:2229–2243 p.
- HAMMERSHØJ, M; PETERS, L & ANDERSEN, H. The significance of critical processing steps in the production of dried egg albumen powder on gel textural and foaming properties. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 2004. Vol 84:1039–1048 p.
- ICONTEC. Instituto Colombia de Normas Técnicas. NTC 6116 Industrias alimentarias. Ovoproductos. 2014
- IMPROVO, Organización interprofesional del huevo y sus ovoproductos. Manejo del huevo y los ovoproductos en la cocina. 1. Madrid: Instituto de estudios del huevo, 2007: 35-230 p.
- JUNG, M. H.; LEE, K. and KIM, S. Retinyl palmitat isomers in skim milk during light storage as affected by ascorbic acid. *Journal of Food Science*, 1998: 597–600 p.
- KOÇ, M., KOÇ, B., SUSYAL, G., YILMAZER, M. S., ERTEKIN, F. K., and BAĞDATLIOĞLU, N. Functional and physicochemical properties of whole egg powder: Effect of spray drying conditions. *Journal of Food Science and Technology*, 2011a. 48(2), 141–149 p.

- KOÇ, M.; KOC, B.; SUSYAL, G.; YILMAZER, M.S.; BAGDATLIOGLU, N. and KAYMAK-ERTEKIN, F. Improving functionality of whole egg powder by the addition of gelatine, lactose, and pullulan. *Journal of Food Science*, 2011b. 76 (9), 508–515 p.
- KOUDELE, J and HEINSOHN, E. The products industry of the United States. Part 1. Historical highlights. *Kansas State University agric exp, Bull*, 1960. 108 p
- LANDFELD, N. Sorption and thermal properties of dried egg whites. *Journal of Food Engineering*, 2007: 5 p.
- LECHEVALIER, V; JEANTET, R; ARHALIASS, A; LEGRAND, J. and NAU, F. Egg white drying: Influence of industrial processing steps on protein structure and functionalities. *Journal of Food Engineering*, 2007. Vol 83:404–413 p.
- LI-CHAN, E.; POWRIE, D. and Nakay, S. The chemistry of eggs and egg products. In *Egg science and technology*. Binghamton, NY: Food Product Press, 1995: 105 - 175 p.
- LOMAKINA, KATERYNA and MIKOTA, K. A Study of the Factors Affecting the Foaming Properties of Egg White – a Review. *Czech J. Food Sci.*, 2006. Vol 24(3), 110–118 p.
- MARCO-MOLES, R.; ROJAS-GRAU, M.; HERNANDO, I.; PEREZ-MUNUERA, I.; SOLIVA-FORTUNY, R. and MARTIN-BELLOSO, O. Physical and structural changes in liquid whole egg treated with high-intensity pulsed electric fields. *Journal of Food Science*, 2011. Vol 76(2), C257–C264 p.
- MARJORIE, P; PENFIELD and CAMPBELL, A. *Experimental Food Science*. Chapter 7: Eggs. 3 Ed. Food Science and Technology, 1990. 130–161 p.
- MISSLER, S. R.; WASILCHUK, B. A. AND MERRIT, C. Separation and identification of cholesterol oxidation products in dried egg preparations. *Journal of Food Science*, 1985. 695–698 p.
- MIYAHARA, T and BERGQUIST, D. Modern egg solids for the baker. II. Use of plain whole egg and yolk solids. *Baker's Digest*, 1961. 71-73, 97 p.
- MORGAN, J and ARMSTRONG, D. Quantification of cholesterol oxidation products in egg yolk powder spray-dried with direct heating. *Journal of Food Science*, 1993. Vol 57:43–45 p.
- OBARA, OBIEDZINSKI and KOŁCZAK. The effect of water activity on cholesterol oxidation in spray- and freeze-dried egg powders. *Food Chemistry*, 2004: 7p.

- PELEGRINE, D. and GASPARETTO, C. Whey proteins solubility as function of temperature and pH. *LWT - Food Science and Technology*, 2005. Vol 38(1), 77–80 p.
- RANNOU, C.; QUEVEAU, D.; BEAUMAL, V.; DAVID-BRIAND, E.; LE BORGNE, C.; MEYNIER, A. and LOISEL, C. Effect of spray-drying and storage conditions on the physical and functional properties of standard and n-3 enriched egg yolk powders. *Journal of Food Engineering*, 2015. Vol154, 58–68 p.
- RANNOU, Cécile; TEXIER, Florence; MOREAU, Michelle; COURCOUX, Philippe and MEYNIER, Anne. Odour quality of spray-dried hens' egg powders: The influence of composition. *Food Chemistry*, 2012: 10 p.
- ROSSI, M.; POMPEI, C. and HIDALGO, A. Influence of pasteurization of some yolk and whole egg characteristics. En *Proceedings of the 2nd Italian conference in food science and technology*, Italy: Chiriotti, 1996: 617 - 623 p.
- Ruiz, Jorge. Citado por: HLEAP, Jose, y VELASCO, Viviana. Análisis del las propiedades de textura durante el almacenamiento de salchichas elaboradas a partir de tilapia roja (*Oreochromis sp.*). Palmira: Ingenieria de alimentos, Universidad Nacional de Colombia, 2010.
- SANDOW, N. Pasteurización de ovoproductos. *Alimentación, Equipos y Tecnología. Bdn Food Technology*, 12, 1994: 7 -35p.
- STEFFE, James. *Rheological methods in food process engineering*. Ed Freeman Press; USA 1996, 20 p.
- SURAI, P. and SPARKS, N. Designer eggs: from improvement of egg composition to functional food.» *Trends in Food Science and Technology*, 2001: 7-16 p.
- TORTUERO, Francisco. *Lecciones sobre el Huevo: El huevo en la nutrición y la salud*. 1. Madrid: Instituto de estudios del huevo, 2002: 145 -156 p.
- UTZMANN, C. M. and LEDERER, M. Identification and quantification of aminophospholipids-linked Maillard compounds in model systems and egg yolk products. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 2000: 1000–1008 p.
- WAHLE, K.; HOPPE, P. Y MCINTOSH, G. Effects of storage and various intrinsic Vitamin E concentrations on lipid oxidation in dried egg powders.» *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 1993: 463–469 p.
- WATKINS, B. A. *The nutritive value of the egg*. Binghamton NY: Stadelman & Cotterill, 1995.

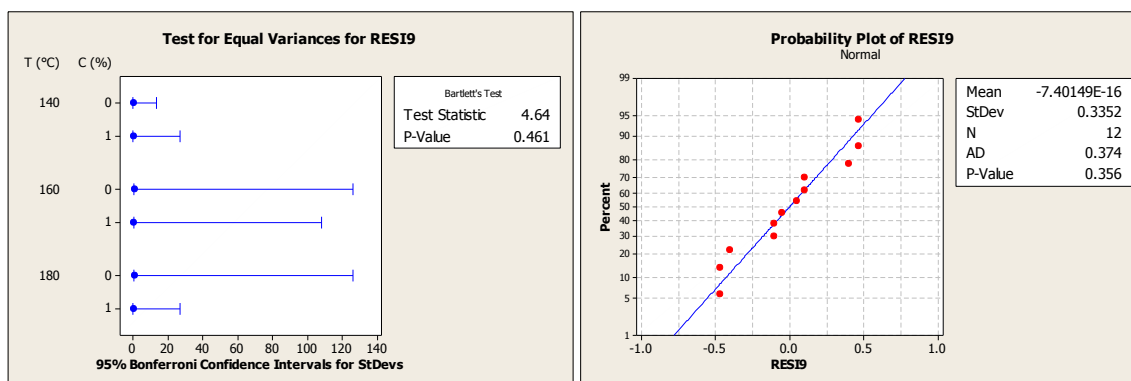
WENZEL, Michael; SEUSS-BAUM, Ingrid and SCHLICH, Elmar. Influences of storage time and temperature on the xanthophyll content of freeze-dried egg yolk. Food Chemistry, 2010: 6 p.

Anexo A. Corridas experimentales

Orden estándar	Orden de Corrida	Temperatura de entrada del aire(°C)	Concentración del ácido (%)
11	1	180	0
7	2	140	0
8	3	140	1
4	4	160	1
5	5	180	0
12	6	180	1
2	7	140	1
9	8	160	0
1	9	140	0
3	10	160	0
10	11	160	1
6	12	180	1

Anexo B. Análisis estadístico de la variable de respuesta Solubilidad: cumplimiento de supuestos, ANOVA y prueba de Tukey.

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Solubilidad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	184.868	184.868	184.868	897.33	0.000
T (°C)	2	59.417	59.417	29.709	144.20	0.000
C (%) * T (°C)	2	1.304	1.304	0.652	3.16	0.115
Error	6	1.236	1.236	0.206		
Total	11	246.825				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
140	4	20.7	A
160	4	19.6	B
180	4	15.5	C

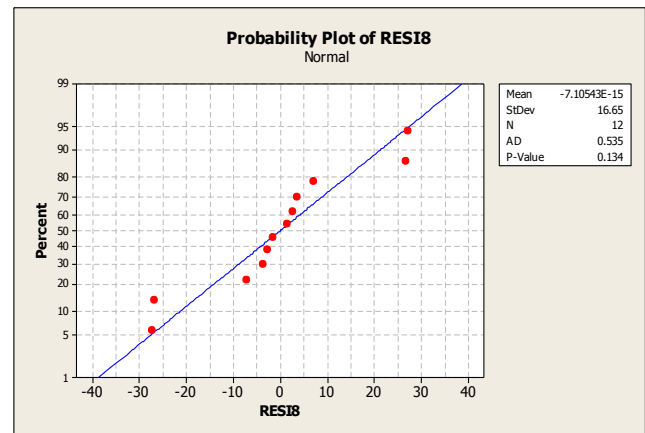
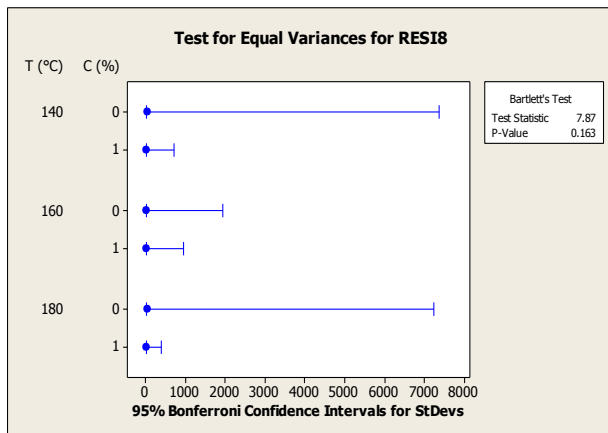
C (%)	N	Mean	Grouping
1	6	22.5	A
0	6	14.7	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
1	140	2	24.3	A
1	160	2	23.4	A
1	180	2	19.9	B
0	140	2	17.1	C
0	160	2	15.7	C
0	180	2	11.2	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Anexo C. Análisis estadístico de la variable de respuesta viscosidad: cumplimiento de supuestos, ANOVA y prueba de Tukey.

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Viscosidad (cP), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	60772	60772	60772	119.56	0.000
T (°C)	2	45	45	23	0.04	0.957
C (%) * T (°C)	2	325	325	162	0.32	0.738
Error	6	3050	3050	508		
Total	11	64191				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
180	4	120.1	A
160	4	118.7	A
140	4	115.5	A

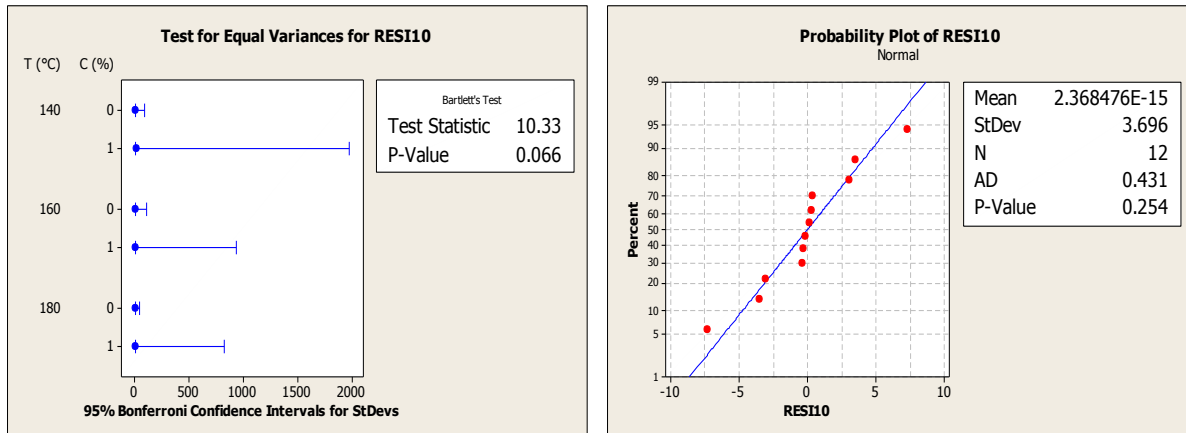
C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	189.3	A
1	6	47.0	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	140	2	194.0	A
0	180	2	188.0	A
0	160	2	185.9	A
1	180	2	52.3	B
1	160	2	51.6	B
1	140	2	37.0	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Anexo D. Análisis estadístico de la variable de respuesta capacidad de formación de espuma: cumplimiento de supuestos, ANOVA y prueba de Tukey.

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for CFE (%), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	30776	30776	30776	1228.80	0.000
T (°C)	2	11860	11860	5930	236.77	0.000
C (%) * T (°C)	2	11773	11773	5887	235.04	0.000
Error	6	150	150	25		
Total	11	54559				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
140	4	94.7	A
160	4	38.6	B
180	4	20.9	C

C (%)	N	Mean	Grouping
1	6	102.0	A
0	6	0.7	B

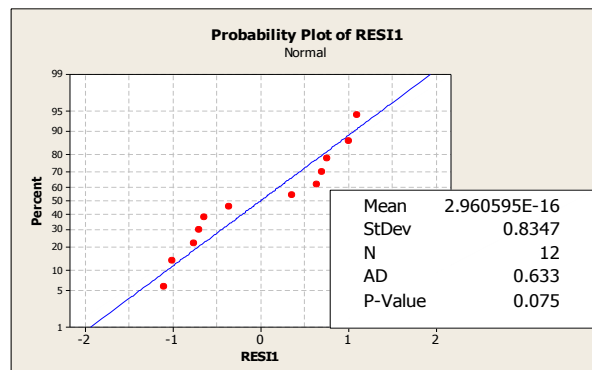
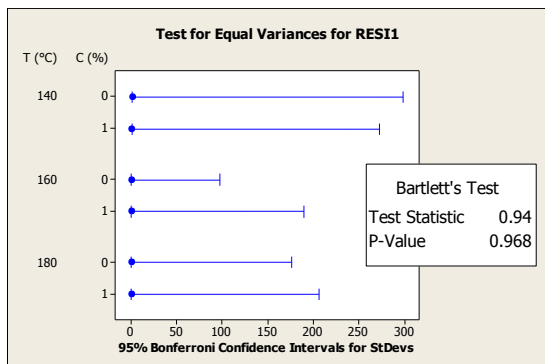
C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
1	140	2	188.5	A
1	160	2	76.2	B
1	180	2	41.4	C
0	160	2	0.9	D
0	140	2	0.8	D
0	180	2	0.4	D

Means that do not share a letter are significantly different.

Anexo E. Análisis estadístico de las variables del perfil de textura: cumplimiento de supuestos, ANOVA y prueba de Tukey.

I. Dureza

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Dureza (N), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	25.843	25.843	25.843	20.23	0.004
T (°C)	2	7.685	7.685	3.843	3.01	0.124
C (%) * T (°C)	2	1.994	1.994	0.997	0.78	0.500
Error	6	7.664	7.664	1.277		
Total	11	43.186				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
180	4	14.8	A
140	4	13.4	A
160	4	12.9	A

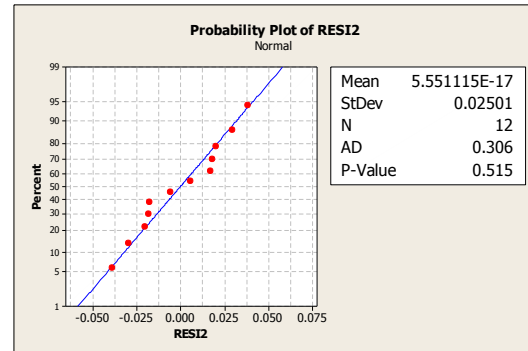
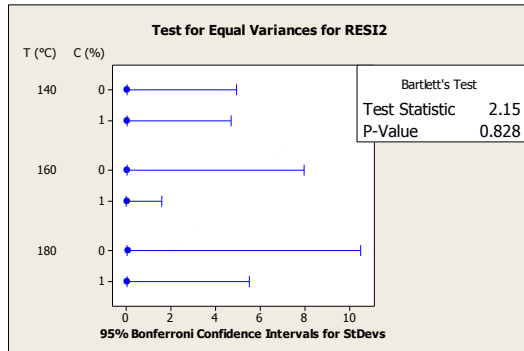
C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	15.2	A
1	6	12.2	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	180	2	16.8	A
0	140	2	14.4	A B
0	160	2	14.2	A B
1	180	2	12.8	A B
1	140	2	12.3	B
1	160	2	11.7	B

Means that do not share a letter are significantly different.

II. Cohesividad

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Cohesividad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	0.006894	0.006894	0.006894	6.01	0.050
T (°C)	2	0.001763	0.001763	0.000882	0.77	0.504
C (%) * T (°C)	2	0.000140	0.000140	0.000070	0.06	0.941
Error	6	0.006881	0.006881	0.001147		
Total	11	0.015678				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
140	4	0.6	A
160	4	0.6	A
180	4	0.6	A

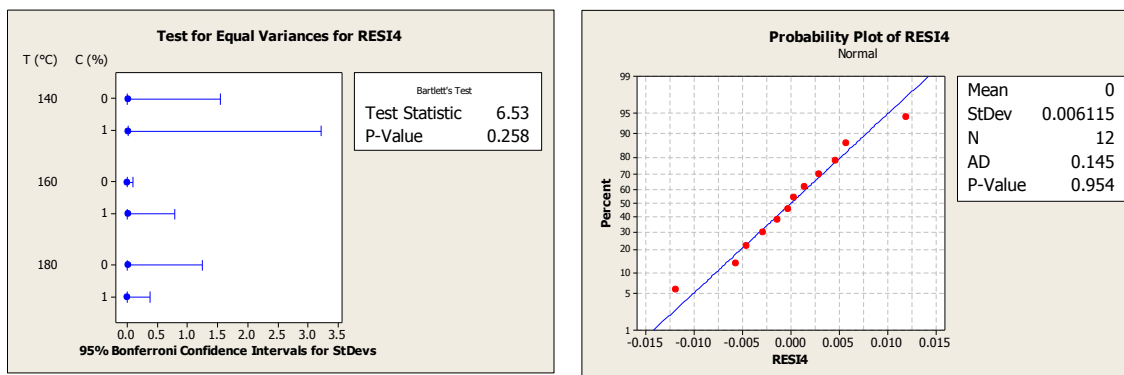
C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	0.7	A
1	6	0.6	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	140	2	0.7	A
0	180	2	0.6	A
0	160	2	0.6	A
1	140	2	0.6	A
1	160	2	0.6	A
1	180	2	0.6	A

Means that do not share a letter are significantly different.

III. Elasticidad

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Elasticidad, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	0.0009056	0.0009056	0.0009056	13.21	0.011
T (°C)	2	0.0003692	0.0003692	0.0001846	2.69	0.146
C (%) * T (°C)	2	0.0000376	0.0000376	0.0000188	0.27	0.769
Error	6	0.0004113	0.0004113	0.0000686		
Total	11	0.0017236				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
140	4	1.0	A
160	4	1.0	A
180	4	1.0	A

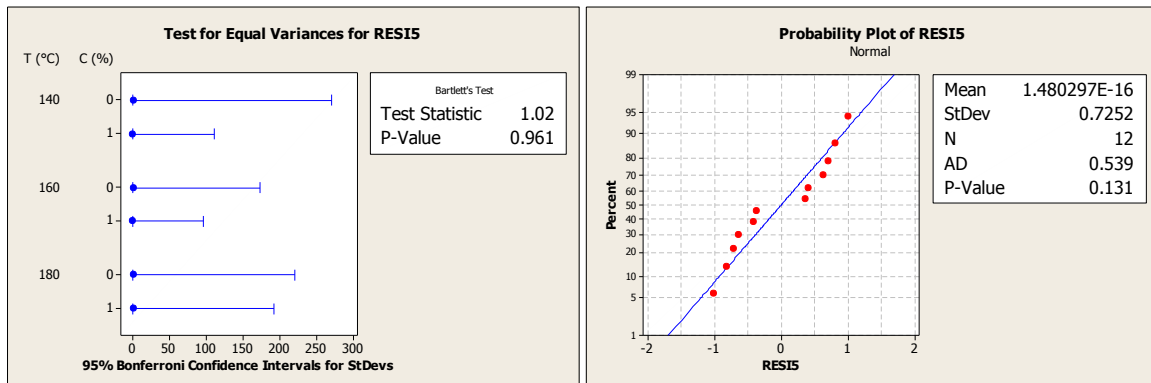
C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	1.0	A
1	6	1.0	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	140	2	1.0	A
0	160	2	1.0	A
0	180	2	1.0	A
1	140	2	1.0	A
1	160	2	1.0	A
1	180	2	0.9	A

Means that do not share a letter are significantly different.

IV. Gomosidad

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Gomosidad (N), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	20.5077	20.5077	20.5077	21.27	0.004
T (°C)	2	3.3570	3.3570	1.6785	1.74	0.253
C (%) * T (°C)	2	1.4020	1.4020	0.7010	0.73	0.522
Error	6	5.7858	5.7858	0.9643		
Total	11	31.0524				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
180	4	9.4	A
140	4	8.7	A
160	4	8.1	A

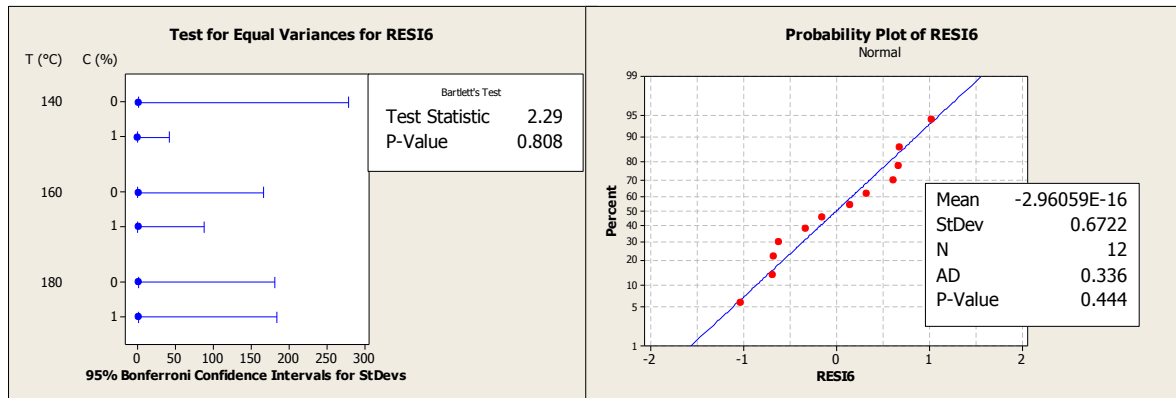
C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	10.0	A
1	6	7.4	B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	180	2	11.2	A
0	140	2	9.8	A B
0	160	2	9.1	A B
1	140	2	7.6	A B
1	180	2	7.6	A B
1	160	2	7.0	B

Means that do not share a letter are significantly different.

V. Masticabilidad

Se comprueba la normalidad e igualdad de varianzas: Valor $p > 0.05$



Analysis of Variance for Masticabilidad (N), using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
C (%)	1	20.7860	20.7860	20.7860	25.09	0.002
T (°C)	2	2.8270	2.8270	1.4135	1.71	0.259
C (%) * T (°C)	2	1.6530	1.6530	0.8265	1.00	0.423
Error	6	4.9708	4.9708	0.8285		
Total	11	30.2368				

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

T (°C)	N	Mean	Grouping
180	4	9.0	A
140	4	8.4	A
160	4	7.8	A

C (%)	N	Mean	Grouping
0	6	9.7	A
1	6		B

C (%)	T (°C)	N	Mean	Grouping
0	180	2	10.8	A
0	140	2	9.5	A B
0	160	2	8.9	A B
1	140	2	7.4	A B
1	180	2	7.1	B
1	160	2	6.7	B

Means that do not share a letter are significantly different.