

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN INDUSTRIAS
ALIMENTARIAS



EFFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE CLARA DE HUEVO Y TIEMPO DE BATIDO SOBRE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICAS DE ESPUMA DE PULPA DE ARÁNDANO (*Vaccinium corymbosum* L.) VARIEDAD BILOXI CON FINES DE DESHIDRATACIÓN.

TESIS

para optar por el título:

INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

GRETEE LISSETH JIMENEZ MENDOCILLA

TRUJILLO - PERÚ

2014

La siguiente tesis ha sido revisada y aprobada por el siguiente jurado:

.....
Dr. Antonio Rodríguez Zevallos
PRESIDENTE

.....
Ms. Elena Matilde Urraca Vergara
SECRETARIO

.....
Ms. Ana Cecilia Ferradas Horna
VOCAL

.....
Ms. Gabriela Barraza Jáuregui
ASESOR

DEDICATORIA

Con profunda gratitud a mi madre María Mendocilla, quien con su infinito amor y esfuerzo, lucho cada día para forjarme un futuro, su dedicación formo en mi la admiración y amor, es mi vida entera. Gracias madre este logró es tuyo. A mí abuelita María y tío Eduardo, esta investigación se las dedico a ustedes, porque son parte importante en mi vida y son mi ejemplo.

AGRADECIMIENTO

Mi sincero agradecimiento a mi madre por su apoyo, confianza, esfuerzo y amor, que hizo posible la culminación de esta investigación.

A mí tío Eduardo, quien ha sido un padre para mí, por su amor y compañía.

A mi asesora, la Ing. Gabriela Barraza Jáuregui, por su conocimiento compartido, tiempo y paciencia, por la confianza en mí y haber aceptado apoyarme y guiarme en este proyecto, me brindo sus consejos, experiencia y enseñanzas.

A mis tíos Isabel, Edmundo, Melecia, Roman, Evelia y Rainier que de alguna manera me apoyaron y ayudaron a recorrer este largo camino y salir exitosa.

Al Sr. Juan Zavaleta quién me apoyo en el trabajo, por su comprensión y ánimo en el momento que necesitaba siendo estos también horarios de trabajo.

A mi abuelita María por su ejemplo de fuerza, de lucha y Fe en Dios.

A estas personas tan especiales, mis amigos de siempre Yvonne, Dalía, Cristina, Nataly, Jhonn, Victor, Harold y Gian, por los ánimos y porque no decirlo la presión, que me ayudo a no desistir y avanzar con toda la actitud.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
CARÁTULA	i
APROBACIÓN POR EL JURADO DE TESIS.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO.....	iv
ÍNDICE	v
ÍNDICE DE CUADROS.....	vii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	viii
ÍNDICE DE ANEXOS.....	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	01
II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 Arándano	03
2.1.1 Definición y características.....	03
2.1.2 Composición y valor nutricional de arándano.....	04
2.2 Espuma alimentaria	06
2.2.1 Definición	06
2.2.2 Estabilidad de la espuma	06
2.2.3 Expansión de la espuma.....	07
2.3 Clara de huevo	07
2.3.1 Definición	07
2.3.2 Composición de la clara de huevo	08
2.3.3 Propiedades espumantes de la clara de huevo.....	08
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1 Lugar de ejecución.....	10

3.2	Materiales y equipos	10
3.3	Método experimental	12
3.3.1	Esquema experimental para la evaluación espuma de pulpa de arándano	12
3.3.2	Método de elaboración de espuma de pulpa de arándano	14
3.4	Métodos de análisis	16
3.4.1	Análisis fisicoquímico de arándano.....	16
3.4.2	Densidad de la espuma de pulpa de arándano	16
3.4.3	Estabilidad de la espuma de pulpa de arándano	16
3.4.4	Expansión de la espuma de pulpa de arándano	18
3.5	Análisis estadístico	18
IV.	RESULTADOS Y DISCUSION.....	19
4.1	Caracterización físico-química espuma de pulpa de arándano	19
4.2	Estabilidad de la espuma de pulpa de arándano	19
4.3	Densidad de la espuma de pulpa de arándano	21
4.4	Expansión de la espuma de pulpa de arándano	25
V.	CONCLUSIONES.....	31
VI.	RECOMENDACIONES	32
VII.	BIBLIOGRAFIA	33
VIII.	ANEXOS	38

INDICE DE CUADROS

	Pág.
Cuadro 1. Composición nutricional del arándano.....	5
Cuadro 2. Composición media de la clara de huevo	8
Cuadro 3. Prueba de Levene modificada para la densidad en espuma de pulpa de arándano	23
Cuadro 4. Análisis de varianza para la densidad en la espuma de pulpa de arándano.....	23
Cuadro 5. Prueba de Duncan para la densidad de la espuma de pulpa de arándano.....	24
Cuadro 6. Prueba de Levene modificada para la expansión en espuma de pulpa de arándano	28
Cuadro 7. Análisis de varianza para la expansión en la espuma de pulpa de arándano.....	28
Cuadro 8. Prueba de Duncan para la expansión de la espuma de pulpa de arándano	29

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.	Esquema experimental para la evaluación de espuma de pulpa de arándano en función de la concentración de la clara de huevo y tiempo de batido	12
Figura 2.	Diagrama de flujo para la elaboración de espuma de pulpa de arándano con clara de huevo.....	14
Figura 3.	Volumen de la espuma de pulpa de arándano vs tiempo	17
Figura 4.	Comportamiento de la densidad de la espuma con respecto al tiempo de batido y concentración de clara de huevo.....	22
Figura 5.	Comportamiento de la expansión de la espuma con respecto al tiempo de batido y concentración de clara de huevo.....	26

ÍNDICE DE ANEXOS

Pág.

Anexo 1.	Densidad y Expansión de espuma de pulpa de arándano.....	39
Anexo 2.	Promedio de densidad y expansión de pulpa de arándano.....	40
Anexo 3.	Arándano variedad Biloxi.....	42
Anexo 4.	Escaldado de fruto de arándano en olla casera	42
Anexo 5.	Pulpa de arándano	43
Anexo 6.	Tamizado de pulpa de arándano	43
Anexo 7.	Batido de pulpa de arándano.....	44
Anexo 8.	Determinación de la estabilidad de la espuma de pulpa de arándano	44

RESUMEN

La presente investigación evaluó el efecto de la concentración de clara de huevo y tiempo de batido sobre las características físicas (densidad, estabilidad y expansión) de espuma de pulpa de arándano variedad Biloxi con fines de deshidratación. Arándano, procedente de la localidad de Chao fue seleccionado, escaldado, pulpeado, tamizado y batido a tres tiempos (5, 10 y 15 minutos) adicionando clara de huevo en tres concentraciones (1, 3 y 5%). Se realizaron mediciones de la estabilidad, densidad y expansión de la espuma. El análisis estadístico determinó el efecto significativo ($P < 0.05$) del tiempo de batido y la concentración de clara de huevo sobre las características físicas de espuma de arándano. Se observó una disminución favorable en la densidad (0.75 a 0.46 g/mL) y en la expansión (9 a 85.75%) de espuma de pulpa de arándano, a medida que aumentó el tiempo de batido y las proporciones de clara de huevo. La concentración de 5% de clara de huevo con un tiempo de batido de 15 minutos en pulpa de arándano, permitió obtener la mayor estabilidad (100%), menor densidad (0.46 g/mL) y mayor expansión (85.75%) de espuma de pulpa de arándano.

ABSTRACT

This investigation was to evaluate the effect of the concentration of egg albumin and whipping time on the physical properties (density, stability and expansion) of pulp foam of blueberry, Biloxi variety. Which was selected from the town of Chao, blanching, pulping, screening and beaten at three times (5, 10 and 15 minutes) adding egg albumin at three concentrations (1, 3 and 5%). Stability measurements, density and expansion of the foam obtained were performed. Statistical analysis determined significant effect ($P < 0.05$) of the whipping time and the concentration of egg albumin on the physical characteristics of blueberry foam. It was shown a favorable decrease in the density (from 0.75 to 0.46 g / mL) and in the expansion (9 to 85.75%) of blueberry's pulp foam, as increased whipping time and proportions of albumin. The concentration of 5% albumin egg with a beaten time of 15 minutes of blueberry pulp, allowed the greatest stability (100%), lower density (0.46 g / mL) and further expansion (85.75%) in the blueberry's pulp foam.

I. INTRODUCCIÓN

Actualmente, el arándano es un fruto muy apreciado debido a sus propiedades nutricionales, bajo valor energético y alto contenido de antioxidantes. Su remanente no exportable es destinado a la industria local para la elaboración de zumos, mermeladas entre otros. La producción de arándano en el Perú está aumentando, las empresas agroindustriales se están dedicando a este fruto por la demanda en otros países, además este fruto por la gran necesidad en mano de obra para la cosecha es una fuente de trabajo y ayuda para disminuir la pobreza en el país.

La espuma de líquidos y semi-líquidos ha sido durante mucho tiempo reconocido como uno de los métodos para acortar el tiempo de secado. Además en la última década, esta tecnología relativamente antigua, conocida como secado por espuma, recibió renovada atención debido a su capacidad adicional para procesar materiales difíciles de secar, obtener productos de características deseadas (por ejemplo, la rehidratación favorable, densidad controlada), y retener sustancias volátiles que de otra manera se perderían durante el secado de materiales no espumado (Ratti y Kudra, 2005).

El arándano es altamente perecedero si no tiene las condiciones adecuadas de almacenamiento en especial por el micelio que es el principal problema a este fruto, al convertirlo en polvo tiene

mayor vida en anaquel y es utilizado para néctares, yogurt, helados entre otros. Y para obtener un polvo de buena calidad es necesario que la espuma sea estable, si la espuma es inestable, el colapso de la estructura porosa se produce, lo que resulta en el deterioro de la calidad del producto espumado llegando a afectar también la rehidratación del producto para los usos indicados en líneas anteriores (Thuwapanichayanan y otros, 2012).

El problema planteado fue:

¿Cuál será el efecto de tres concentraciones de clara de huevo (1,3 y 5%) y tres tiempos de batido (5, 15 y 25 min) sobre las características físicas (densidad, estabilidad y expansión) de espuma de pulpa de arándano variedad Biloxi con fines de deshidratación?

Los objetivos fueron:

- Evaluar el efecto de la concentración de clara de huevo y tiempo de batido sobre las características físicas (densidad, estabilidad y expansión) de espuma de pulpa de arándano variedad Biloxi con fines de deshidratación.
- Determinar la concentración de clara de huevo y tiempo de batido que permitan conseguir la menor densidad, mayor estabilidad y expansión de la espuma de pulpa de arándano.

II. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 Arándano

2.1.1 Definición y características

El arándano o blueberry es el fruto de un arbusto perenne, generalmente de hoja caduca, nativo del hemisferio norte, que pertenece a la familia de las ericáceas y al género *Vaccinium*. El arándano es una fruta baja en calorías y sodio, fuente de fibras y pectinas destacándose su alta concentración de vitamina C. Existen 3 especies que tienen importancia económica: *Vaccinium angustifolium* Alton (arándano bajo o "lowbush "), *Vaccinium ashei* Reade (arándano ojo de conejo o "rabbiteye") y *Vaccinium corymbosum* L. (arándano alto o "highbush"). El arándano se considera dentro del grupo de berries, son frutos de sabores acidulados caracterizados por su breve tiempo de conservación una vez cosechados. A este subgrupo pertenecen la frutilla (strawberry), la frambuesa (raspberry), los arándanos (blueberry), la grosella (boisonberry) y la mora o zarzamora (blackberry). Entre los cherries, se cuentan la guinda y la cereza. Es por ello que el arándano se considera una baya o "Berry", siendo un fruto carnoso simple, cuya pared del ovario madura en un pericarpio comestible. La baya del arándano es casi esférica, que dependiendo de la especie y cultivar puede variar entre 0.7-1.8 cm de diámetro y su color puede estar entre un color azul metálico claro a bien oscuro. La piel del fruto del blueberry es tersa y su pulpa es jugosa y aromática de sabor agridulce (Benavides, 2013).

El valor nutricional del arándano es, según la estandarización de la Food and Drug Administration (FDA) de los Estados Unidos, libre de

grasas y sodio, libre de colesterol y rico en fibras y vitamina C. Es por ello que los arándanos son una fruta muy apreciada entre otras cosas por sus características nutricionales. Son una fuente de fibra y vitaminas A y C. Tienen alto valor antioxidante, propiedades antibióticas, urinarias, disminuyen la arterosclerosis, enfermedades coronarias y cerebro vasculares. La variedad específica producida en el hemisferio sur (Argentina y Chile) es el Arándano alto- Biloxi, Northern Highbush Blueberry, que presenta buena calidad de fruta, de maduración temprana y un bajo requerimiento de frío (Benavides, 2013).

2.1.2. Composición y valor nutricional de arándano

Los arándanos poseen aproximadamente 80 calorías por 100 g y prácticamente no contienen grasas, ofreciendo beneficios nutricionales y para la salud. Son una excelente fuente de vitamina C, ya que una porción contiene aproximadamente 14mg, es decir casi el 25% de los requerimientos diarios de Vitamina C. Los arándanos son también una buena fuente de fibra alimenticia, los compuestos fenólicos abarcan un gran grupo de sustancias orgánicas, siendo los flavonoides un subgrupo importante, este subgrupo contiene a las antocianinas. Las antocianinas son las responsables de los colores de las plantas, incluyen el azul, púrpura, violeta, rojo y naranja (Potter y Hotchkiss, 1999).

El arándano es descrito como una fuente potencial de pectina, coloide natural, soluble en agua, que puede precipitar, secarse y volver a disolver sin afectar sus propiedades físico químicas, aportando textura y mejorando las propiedades organolépticas de los alimentos (Loyola y otros, 2013).

En el Cuadro 1 describe la composición química básica del arándano. Se destaca el alto contenido de agua y en segundo lugar los carbohidratos.

Cuadro 1. Composición nutricional del arándano

Componente	Cantidad (100 g de porción comestible)
Agua (%)	87.8
Carbohidratos (%)	6.1
Fibras (%)	4.9
Proteínas (%)	0.6
Grasas (%)	0.6
Azúcares totales (%)	6.1
Acidez titulable (%)	0.3-0.8
Tiamina (mg)	0.02
Riboflavina (mg)	0.02
Niacina (mg)	0.09
Vitamina B6 (mg)	0.06
Vitamina C(mg)	22
Vitamina A (µg)	5.7

Fuente: Moreiros y otros (2010)

Las características fisicoquímicas del arándano son, los sólidos solubles están en el rango de 10-15 °Brix y con respecto al pH un rango de 2.85 a 3.49 (Belitz y Grosh, 2011).

2.2 Espuma Alimentaria

2.2.1 Definición

Las espumas alimentarias son habitualmente dispersiones de burbujas de gas en una fase continua líquida o semi-sólida, estabilizadas gracias a la incorporación de moléculas anfifílicas denominadas surfactantes. En numerosos casos, el gas es aire (a veces gas carbónico) y la fase continua es una suspensión o una emulsión acuosa que contiene proteínas. Algunas espumas alimentarias son sistemas coloides todavía más complejos (Jeantet y otros, 2010).

2.2.2 Estabilidad de la espuma

En una espuma, la pared fina de líquido que separa dos burbujas se denomina lámina y la zona de unión entre las láminas de burbujas adyacentes se denomina borde de Plateau. En las espumas, la fracción de volumen ocupada por la fase dispersa (gas) varía en una escala bastante más amplia que en el caso de las emulsiones. Las espumas son termodinámicamente inestables ya que tienen una cantidad muy grande de aire entre las fases y la diferencia de masa volumétrica entre la fase continua y la fase dispersa es muy importante. Si el volumen de gas representa más del 74% del volumen de la espuma, es imposible que ésta esté constituida por burbujas esféricas yuxtapuestas unas sobre otras (Jeantet y otros, 2010).

Cuando se habla de estabilidad, se hace referencia a los fenómenos de decaimiento de la espuma y del colapso de las burbujas, es decir, después

que ha sido formada la espuma, se procede a medir el tiempo en la que esta permanece y la velocidad con que pierde altura (Belandría, 2001).

2.2.3 Expansión de la espuma

La expansión de la espuma se define como, la relación entre el volumen final de la espuma y el volumen inicial de la mezcla antes de aplicársele el aire (Fennema, 2000).

2.3 Clara de Huevo

2.3.1 Definición

Albúmina o clara de huevo es fundamentalmente una disolución acuosa de proteínas, glúcidos y sales minerales. A pesar de esta composición global relativamente simple, se trata de un medio heterogéneo que se distribuye en cuatro partes diferenciadas en el huevo recién puesto (Jeantet y otros, 2010):

- La clara chalacífera, que es muy firme y envuelve la membrana vitelina. Se prolonga hacia las dos extremidades del huevo por las chalazas. Representa el 3% (p/p) de la clara
- La clara líquida externa, que representa un 23% de la clara, y se localiza en el exterior en contacto con las membranas de la cáscara
- La clara espesa, supone el 57% de la clara y presenta una estructura gelificada, ocupa el interior del huevo y está fijada a los extremos
- La clara líquida interna (17% de la clara), que rodea la yema.

Cada una de estas partes de la clara tiene un contenido en agua diferente (varía del 84 al 89% desde la clara interna a las capas externas del huevo). También el contenido en proteínas varía, la clara espesa tiene una concentración de ovomucina cuatro veces superior a la clara líquida, lo que le confiere una estructura gelificada y una viscosidad muy superior. Durante el almacenamiento del huevo se producen modificaciones fisicoquímicas, principalmente un aumento del pH de 7,5 en el momento de la puesta a 9,5 después de varios días) como consecuencias de la producción de CO₂, lo que acarrea una licuefacción de la clara espesa y la transformación de ovoalbúmina en S-ovoalbúmina, que es más termoestable (Jeantet y otros, 2010).

2.3.2 Composición de la clara de huevo

Como se aprecia, la albúmina o clara de huevo es muy rica en agua y pobre en grasas (soló 0.1-0.2%), por lo que su valor calórico es también bajo. La clara es rica en proteínas, de las que destacan la ovoalbúmina, conalbúmina y ovomucoides. La ovoalbúmina representa más del 50% del total y es una fosfoglicoproteína (Madrid y Madrid, 2001).

Cuadro 2. Composición media de la clara de huevo

Componente	(%)
Humedad	73-74
Grasa	11-12
Proteínas	12.5-13
Hidratos	0.7-1.4
Sales minerales	0.9-1.1

Fuente: Madrid y Madrid (2001)

2.3.3 Propiedades espumantes de la clara de huevo

La clara de huevo es el espumante por excelencia, comparativamente con otros ingredientes proteicos de origen animal o vegetal, ofrece mejores propiedades de esponjamiento. Dichas propiedades son debidas por un lado a las buenas propiedades de superficie de las proteínas que contiene, y por otro a su aptitud para fijar la estructura esponjosa formada, que se mantiene incluso después del tratamiento térmico. La aptitud para formar espuma estable de las proteínas globulares que se encuentran en la clara de huevo depende del correcto desarrollo de tres fases que se desarrollan en la superficie del alimento o en la proximidad de las burbujas del aire:

- La difusión de las proteínas hacia la interfase agua-aire;
- Los cambios de conformación y la compactación de las proteínas adsorbidas en la interfase;
- La reorganización irreversible del film proteico

Por ello, la capacidad de la clara de huevo para formar espuma depende de factores intrínsecos, como la estructura y la conformación de las proteínas, así como de factores ambientales que pueden modificarlos (pH, fuerza iónica, interacciones proteína- proteína y proteína- agua). En conjunto, la clara de huevo se asemeja a una disolución de agentes tensioactivos eficaces. Sus proteínas son anfifílicas, y presentan una hidrofobia de superficie importante por lo que difunden rápidamente hacia la interfase agua- aire donde se adsorben rápidamente. Su flexibilidad molecular permite reorganizaciones de su estructura (expansión) en la interfase causando una disminución importante de la tensión superficial (Madrid y Madrid, 2001).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Lugar de ejecución

Las pruebas experimentales y los análisis se realizaron en el Laboratorio de Ingeniería de Alimentos de la Escuela Profesional de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la Universidad Privada Antenor Orrego.

3.2 Materiales y equipos

Materia Prima

Arándano variedad Biloxi adquirido en la localidad de Chao- Trujillo- La Libertad.

Insumos

Clara de huevo fresca de gallina ponedora raza Hy Line.

Equipos y materiales

- Balanza Analítica. Marca METTLER TOLEDO. Capacidad 0 – 210 g, sensibilidad. 0.0001 mg.
- Refractómetro. Marca THOMAS SCIENTIFIC, rango: 0-32 °Brix, +/- 0,2%, calibrado a 20 °C.
- Termómetro digital. Marca MULTIDIGITAL. Rango de 50 a 200 °C. Precisión ± 0.01 °C.

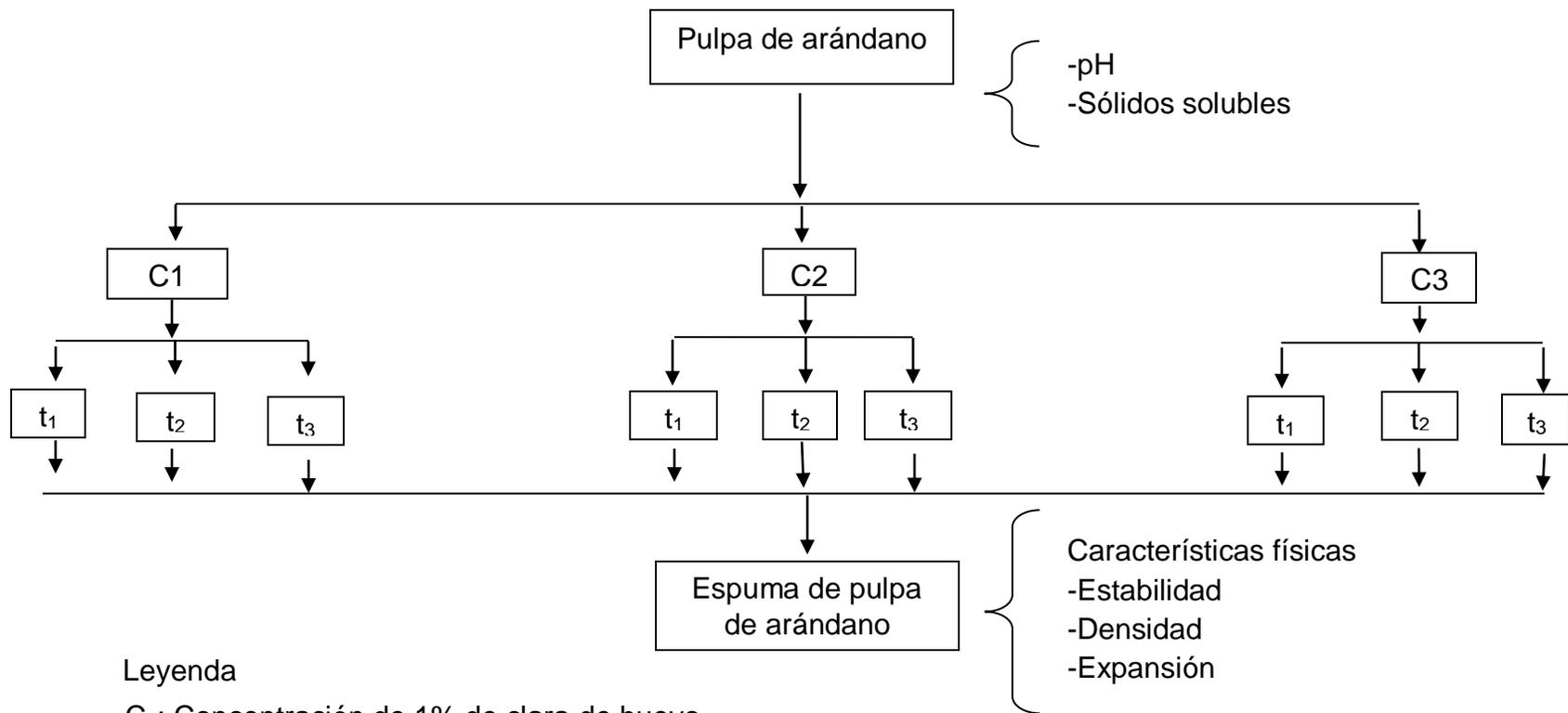
- pH metro. Marca METTLER TOLEDO. Rango de 0-14, sensibilidad aprox. 0.01.
- Estufa. Marca MEMMERT.
- Pulpeadora. Marca METAL MECANICA AGROINDUSTRIAL. Velocidad 1100 rpm.
- Batidora Oster. Capacidad 0 – 1000 g.
- Material de acero inoxidable
- Probetas de 250 mL
- Vasos de Precipitación
- Cocina a gas
- Tela Organza
- Baldes de plásticos

3.3 MÉTODO EXPERIMENTAL

3.3.1 Esquema experimental para la evaluación de espuma de pulpa de arándano

La Figura 1 muestra el esquema experimental para evaluar el efecto de la concentración de clara de huevo fresco y el tiempo de batido en las características físicas (densidad, estabilidad y expansión) de la espuma de pulpa de arándano.

Las variables independientes son tres concentraciones de clara de huevo (1,3 y 5%) y tres tiempos de batido (5,10 y 15 minutos). Las variables dependientes son: densidad, estabilidad y expansión.



Leyenda

C₁: Concentración de 1% de clara de huevo

C₂: Concentración de 3% de clara de huevo

C₃: Concentración de 5% de clara de huevo

t₁: Tiempo de batido: 5 minutos

t₂: Tiempo de batido: 10 minutos

t₃: Tiempo de batido: 15 minutos

Figura 1. Esquema experimental para la evaluación de espuma de pulpa de arándano en función de la concentración de clara de huevo y tiempo de batido

3.3.2 Método de elaboración de espuma de pulpa de arándano

En la Figura 2 se presenta el diagrama de flujo para la elaboración de espuma de pulpa de arándano con fines de deshidratación.

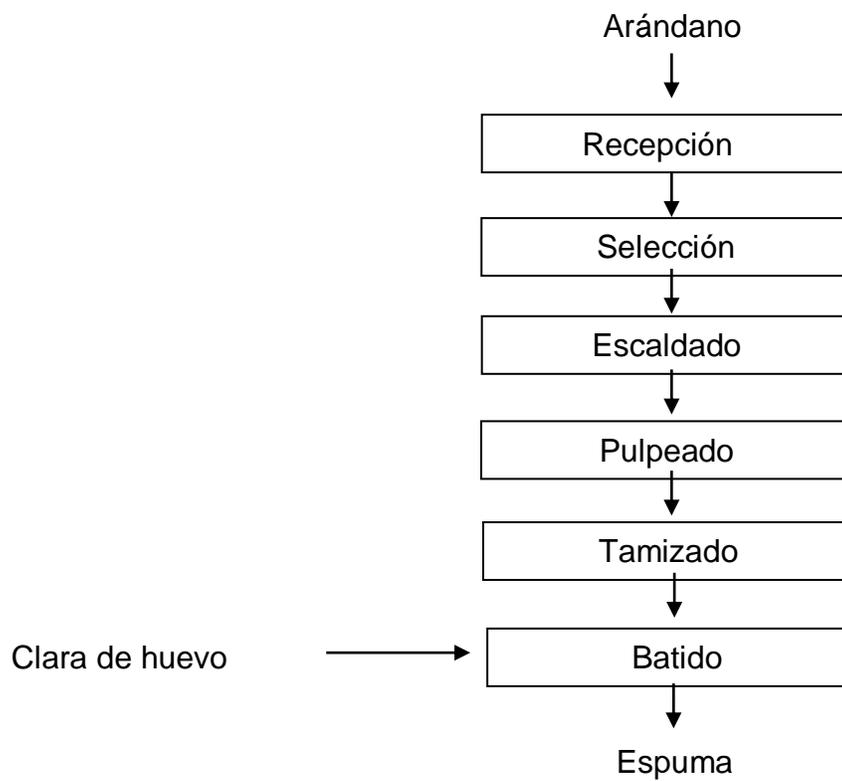


Figura 2. Diagrama de flujo para la elaboración de espuma de pulpa de arándano con clara de huevo.

A continuación se describe cada operación para preparar las muestras según el diagrama de flujo de la Figura 2 (Segura y otros, 1990).

Recepción

Se utilizó arándanos de descarte (no cumplen con las especificaciones técnicas del cliente: tamaño, rasgado, sin bloom, magullado, color, etc.) de la variedad Biloxi adquiridos del distrito de Chao.

Selección

Manualmente se seleccionó los arándanos exentos de podredumbre o deterioro.

Escaldado

Los arándanos se llevaron a una olla con agua a 100 °C durante 5 minutos, luego se enfrió a temperatura ambiente para evitar el pardeamiento de la pulpa por oxidación.

Pulpeado

Luego de escaldado el fruto se lleva a una licuadora industrial por 5 minutos para obtener la pulpa del arándano.

Tamizado

Método físico para separar las pepas y cáscara de la pulpa. La pulpa se pasó por tela organza, permitiendo el paso solo del jugo y reteniendo las pepas que se encontraban en la pulpa.

Batido

La pulpa obtenida en el tamizado se colocó en una batidora de mesa a velocidad máxima y se le adicionó concentraciones diferentes de clara de huevo (1,3 y 5% en función de la pulpa de arándano) por cada tiempo de batido (5,10 y 15 minutos).

3.4 MÉTODOS DE ANALISIS

3.4.1 Análisis Físicoquímicos de arándano

Se determinaron las principales características físicoquímicas de la materia prima (arándano) con fines de caracterización de la fruta.

- pH: método potenciómetro (AOAC, 1997)
- °Brix: método refractométrico (AOAC, 1997)

3.4.2 Densidad de la espuma de pulpa de arándano

Terminado el batido, la espuma se colocó en un vaso de precipitación de 50 mL (previamente tarado) y se pesó la espuma. Se determinó la densidad de la espuma de pulpa de arándano con la ecuación 1.

$$Densidad\ de\ la\ espuma = \frac{masa\ de\ la\ espuma}{volumen\ de\ la\ espuma} \dots\dots (1)$$

Donde D es la densidad de la espuma expresada en g/mL, m es la masa de la espuma expresada en gramos y v el volumen de la espuma expresado en mililitros (Falade, 2003).

3.4.3 Estabilidad de espuma de pulpa de arándano

La estabilidad de la espuma de pulpa de arándano se determinó colocando la espuma en una probeta de 100mL y se llevó a un cuarto con temperatura ambiente durante 3 horas. La reducción de volumen fue medido cada 30 minutos. La estabilidad de la espuma se calculó mediante la ecuación 2.

$$\text{Estabilidad de espuma} = V_0 \left(\frac{\Delta t}{\Delta V} \right) \dots (2)$$

Donde, V_0 es el volumen inicial de la espuma de pulpa a 0 minutos, $\Delta t/\Delta V$ es la inversa de pendiente entre el volumen de la espuma versus tiempo en minutos (Akiokato y otros, 1983).

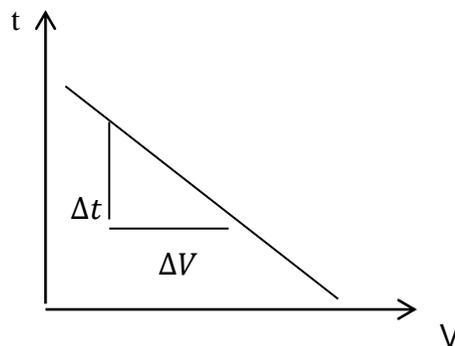


Figura 3. Volumen de la espuma vs tiempo.

Fuente: Akiokato y otros (1983).

3.4.4 Expansión de la espuma de pulpa de arándano

La expansión de la espuma se define como, la relación entre el volumen final de la espuma y el volumen inicial de la mezcla antes de aplicársele el aire; indica la capacidad de la espuma para retener aire en la estructura de espuma, obtenido estos dos valores se resolvió la ecuación 3:

$$\text{Expansión de espuma} = \frac{(V1 - V0)}{V0} (100) \dots (3)$$

Donde, $V1$ es el volumen final (es decir luego de haber terminado con el batido) de la espuma en cm^3 y $V0$ es el volumen inicial de la pulpa de arándano en cm^3 (Durian, 1995)

3.5 Análisis estadísticos

El diseño estadístico aplicado para la evaluación paramétrica de las características físicas (densidad, estabilidad y expansión de la espuma) corresponde a un arreglo factorial 3×3 , con 3 repeticiones, para lo cual se utilizó ANVA. Así mismo, se aplicó la Prueba de Levene para evaluar homogeneidad de varianzas, finalmente la Prueba de comparaciones múltiples de Duncan la cual comparó los resultados mediante la formación de subgrupos y se determinó de esta manera el mejor tratamiento, todas con un nivel de confianza del 95%. Para procesar los datos se utilizó el software especializado Statistical Package for the Social Science (SPSS) versión 20.0 y para la elaboración de los gráficos se usó el paquete estadístico Statistica versión 10.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Caracterización físico-química

La pulpa de arándano presentó un pH de 2.88 y 11.8 °Brix, siendo una pulpa madura de fruta y encontrándose dentro de los valores pH 2.85 - 3.49 y 10-15 °Brix indicados por Belitz y Grosch (2011).

4.2 Estabilidad de la espuma de pulpa de arándano

El comportamiento fue igual para todos los tratamientos, siendo de 100% de estabilidad, no hubo drenado que indicara la ruptura de las burbujas (Anexo8). Belandría (2001) indica que la estabilidad de la espuma, es decir la vida de las burbujas, depende de factores que afectan al espesor de la película que rodea al gas. Esos factores son principalmente, el drenaje de líquido entre burbujas, que elimina la interfase gas - líquido. También influyen variables como las características físicas del medio líquido, en especial la viscosidad como se muestra la espuma en la probeta en el Anexo 8.

La estabilidad se pudo lograr por razones importantes como el contenido de pectina del propio fruto, el pH pulpa (pH=2.85) y pH de la espuma (pH=3.0). Loyola y otros (2013) indican que el arándano es una fuente potencial de pectina llegando a estar presente en un 0.93% (p/p). Badui (2006) explica que la estabilidad de la espuma mejora si se aumenta la viscosidad del sistema con pequeñas cantidades de gomas y de proteínas. La pectina forma mejores geles a un pH óptimo de 2.8 – 3.2 según indica

Roshental (2001). Es importante indicar que para la formación de la espuma primero debe adicionarse el agente espumante o estabilizante a la fase líquida antes de dispersarle aire. Una forma de dar estabilidad a las burbujas de una espuma es adicionando un agente estabilizante o tenso activo en este caso la clara de huevo. Las proteínas son buenos estabilizantes de espumas. La formación de espumas con proteínas implica un proceso de desnaturalización controlado, ya que la molécula debe desdoblarse para que oriente sus aminoácidos hidrófobos hacia el interior de la burbuja y los hidrófilos hacia el exterior, en contacto con la fase acuosa.

Kandasamy y otros (2012 b) obtuvieron una estabilidad menor en sus estudios logrando un máximo de 83% con metil celulosa como agente espumante en pulpa de papaya y un tiempo de batido de 15 min. En el caso del arándano el tiempo de batido y la concentración de clara obtuvieron en todas las proporciones el 100% de la estabilidad.

Fernández y otros (2012) evaluaron la concentración de albúmina y el tiempo de batido para la optimización de espuma de pulpa de tomate. La estabilidad de la espuma fue 58% influenciada por el tiempo de batido y la concentración de albúmina, para los mejores valores 4.5 min en tiempo de batido y 4.5% de albúmina.

Segura y otros (1990) demostraron en su investigación un comportamiento diferente de acuerdo a su composición química. En general, las frutas con alto contenido de pectina como la mora y en este caso el arándano, forman pulpas de alta viscosidad que permiten la retención del aire incorporado durante la agitación. La espuma formada es altamente estable.

4.3 Densidad de la espuma de pulpa de arándano

En la Figura 4 se muestra el comportamiento de la densidad en cada uno de los tratamientos de espuma de arándano (Anexo 1). Se observa una disminución favorable en los valores de 0.75 a 0.46 g/mL, a medida que aumento el tiempo de batido y las proporciones de clara de huevo. Tendencias similares fueron reportadas por Thuwapanichayanan y otros (2008), quienes investigaron la influencia del tiempo de batido y la concentración de albumina de huevo en la densidad de la espuma de plátano, obteniendo espumas de densidades de 0.3, 0.5 y 0.7 g/mL.

Zuñiga (2009) indica que la estabilidad de la espuma tiene relación con la densidad porque a más grandes las burbujas se mueven más rápido hacia la superficie causando el drenaje y por ende la inestabilidad de la espuma.

En este caso hubo una variación en la densidad, las burbujas incrementaron por el batido pero no hubo drenaje, por ello se obtuvo una estabilidad de 100% en todas las pruebas.

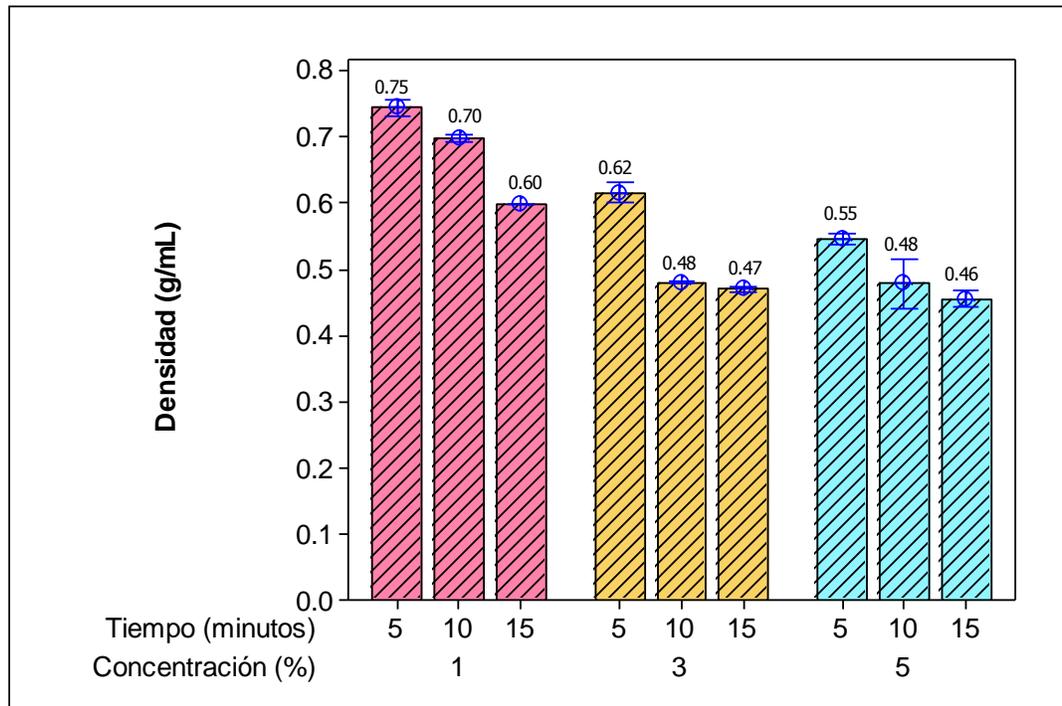


Figura 4. Comportamiento de la densidad de la espuma con respecto al tiempo de batido y concentración de clara de huevo.

Durand y otros (2008) indican que el espumante es un aditivo que reduce la densidad de un material. En este caso la clara de huevo logra disminuir la densidad hasta un 0.46 g/mL.

Segura y otros (1990) indica en su investigación que la adición de clara de huevo disminuye el tiempo de agitación para obtener una espuma de densidad adecuada.

Thuwapanichayanan y otros (2012) evaluaron la influencia de la densidad de la espuma de plátano indicando que las espumas con bajas densidades exhibieron mayores valores de la difusividad efectiva que aquellos con mayores densidades de espuma durante el secado, debido

a la menor área de contacto entre el aire caliente y la superficie de la espuma.

En el Cuadro 3, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores de densidad, se observa que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$).

Cuadro 3. Prueba de Levene modificada para la densidad en espuma de arándano

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	P
Densidad (g/mL)	2.162	8	18	0.083

El Cuadro 4 muestra el análisis de varianza para los valores de densidad en la espuma de arándano.

Cuadro 4. Análisis de varianza para la densidad en la espuma de arándano.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Densidad (g/mL)	Concentración: A	0.184	2	0.092	2489.432	0.000
	Tiempo: B	0.075	2	0.038	1016.420	0.000
	A*B	0.011	4	0.003	72.282	0.000
	Error	0.001	18	0.000		
	Total	0.270	26			

En el Cuadro 5 se aprecia 8 subgrupos, 1,2,3,4 y 5 en donde se reportan valores de densidad de la espuma de pulpa de arándano de 0.46, 0.47, 0.48, 0.55 y 0.60 g/mL respectivamente, estando comprendidos dentro del rango de 0.3 a 0.7 g/mL reportado por Thuwapanichayan y otros (2008) para espuma de pulpa de plátano.

4.4 Expansión de la espuma de pulpa de arándano

En la Figura 5 se muestra el comportamiento de la expansión en cada uno de los tratamientos de espuma de arándano (Anexo 1). Se observa un aumento favorable en los valores de 9 a 85.75%, a medida que aumentó el tiempo de batido y las proporciones de clara de huevo. Tendencias similares fueron reportadas por Kandasamy y otros (2012 b) quienes indicaron que obtuvieron 24 y 53% de expansión de la espuma al 0.25 y 0.5% de metil celulosa respectivamente. Además indicaron que a una concentración de 0.75% de metil celulosa la expansión llegó a 83% y que la expansión de espuma de papaya con 1% de metil celulosa alcanzó el 88%.

Las espumas estabilizadas por proteínas (clara de huevo una de ellas) suelen formarse por batido o agitación de una disolución proteica. Las propiedades espumantes de las proteínas derivan de su capacidad de formar película delgada y tenaz en las interfaces gas- líquido, lo que permite la incorporación y estabilidad de múltiples burbujas de gas.

Tanto el tiempo de batido como la concentración de clara de huevo tuvo efecto en la expansión, esto también lo indica Badui (2006), quién explica que el poder espumante suele aumentar con la concentración de proteína,

hasta alcanzar un valor máximo; y también se ve afectado por el método de formación de espuma (batido).

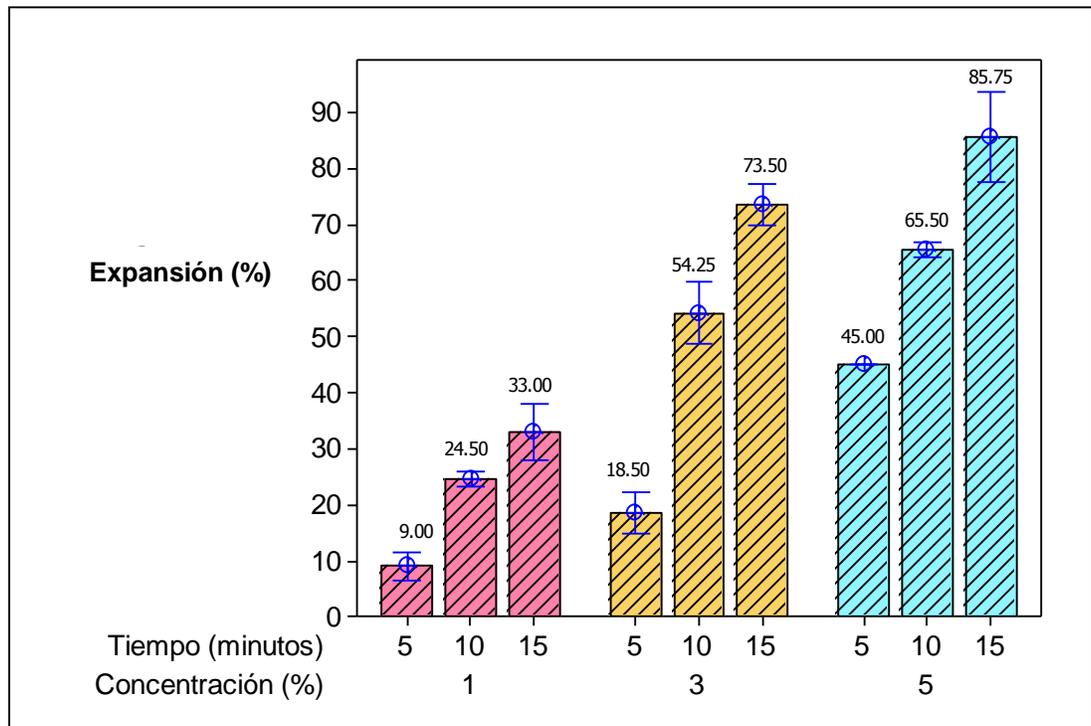


Figura 5. Comportamiento de la expansión de la espuma con respecto al tiempo de batido y concentración de clara de huevo.

Kandasamy y otros (2012 b) indicaron que la expansión de la espuma fue 24 y 53% al 0.25 y 0.5% de metil celulosa respectivamente. Cuando la concentración de metil celulosa fue de 0.75% la expansión llegó a 83%. También indican que la expansión de espuma de papaya con 1% de metil celulosa alcanzó el 88%.

Kandasamy y otros (2012 a) indicaron que a medida que se incrementa la concentración de monoesterato de glicerol, la expansión de la espuma

aumenta, se obtuvo que alrededor de una concentración de 3% se obtiene la expansión máxima. A esta concentración, la expansión llegó a 90%. Sin embargo, aumentando la concentración de monoesterato de glicerol más allá de dicha concentración no produjeron cambios apreciables en la expansión de la espuma. El tiempo de batido también influyó en la expansión de la espuma, hasta 10 minutos de batido la espuma presentó la máxima expansión pero a más tiempo conlleva a la disminución considerable de la expansión de la espuma, debido a los azotes excesivo (el batido excesivo) causando que la espuma se colapse.

Badui (2006) indica que la adición de sacarosa, lactosa y otros azúcares a las disoluciones de proteínas suele perjudicar a la capacidad espumante pero mejorar la estabilidad de la espuma formada. Los efectos positivos del azúcar sobre la estabilidad de la espuma se deben al incremento de la viscosidad de la fase dispersante que reduce la velocidad de drenaje del fluido de las laminillas. La disminución de la expansión de la espuma se debe fundamentalmente a la mayor estabilidad de la estructura en las disoluciones de azúcar. Por ello obtuvimos una buena expansión ya que la cantidad de azúcares que contiene el arándano es baja, como indicador utilizamos los grados °Brix, cuyo resultado en pulpa de arándano fue de 11.8 °Brix.

En el Cuadro 6, se presenta la prueba de Levene modificada aplicada a los valores de expansión, se observa que existió homogeneidad de varianzas ($p > 0.05$).

Cuadro 6. Prueba de Levene modificada para la expansión en espuma de arándano

Variable	Estadístico de Levene	gl1	gl2	p
Expansión (%)	1.723	8	18	0.161

$p > 0.05$, existe homogeneidad de varianzas

El Cuadro 7 contiene el análisis de varianza para los valores de expansión en la espuma de arándano.

Cuadro 7. Análisis de varianza para la expansión en la espuma de arándano.

Variable	Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Expansión (%)	Concentración: A	3405.881	2	1702.940	1116.355	0.000
	Tiempo: B	2999.559	2	1499.779	983.173	0.000
	A*B	231.292	4	57.823	37.906	0.000
	Error	27.458	18	1.525		
	Total	54331.845	27			

El análisis de varianza muestra que la concentración de clara de huevo y el tiempo de batido presentaron efecto significativo ($p < 0.05$) sobre la expansión de espuma de arándano.

Kandasamy y otros (2012 b) encontraron efecto significativo por la concentración de pulpa y los niveles de metil celulosa para la optimización

En el Cuadro 8 se aprecia 9 subgrupos, el subgrupo 9 obtuvo 85.75% de expansión, Kandasamy y otros (2012 b) indica que la máxima expansión de espuma en su proyecto fue de 90%. En esta investigación el valor más alto de expansión se obtuvo con 5% de clara y 15 minutos de batido, estos valores son similares a los reportados en las investigaciones anteriores.

V. CONCLUSIONES

Se determinó el efecto significativo ($P < 0.05$) de la concentración de clara de huevo y el tiempo de batido, sobre las características físicas de espuma de arándano.

Se observó una disminución en la densidad (0.75 a 0.46 g/mL), y en la expansión (9 a 85.75%) en la espuma de pulpa de arándano, a medida que aumentó el tiempo de batido y las proporciones de clara de huevo.

Se obtuvo el 100% de estabilidad de la espuma de pulpa de arándano en todas las muestras.

Se determinó que a una concentración de 5% de clara de huevo con un tiempo de batido de 15 minutos en pulpa de arándano, permitió obtener 100% estabilidad, menor densidad (0.46 g/mL) y mayor expansión (85.75%) en espuma de pulpa de arándano.

VI. RECOMENDACIONES

Utilizar mayores concentraciones de clara de huevo y mayor tiempo de batido, con la finalidad de encontrar la concentración y tiempo de batido óptimo, hasta un nivel donde la densidad sea aún menor y la estabilidad y expansión aún mayor.

Luego de obtener la espuma hacer diferentes pruebas de secado a diferentes temperaturas para verificar la estabilidad de la espuma.

Hacer prueba de secado con diferentes equipos.

VII. BIBLIOGRAFIA

Akiokato T., Matsudoni N. y Kobayashi K. 1983. Determination of foaming properties of protein by conductivity measurements. *Journal of the Food Science*. Vol. 48. Pág. 62.

AOAC. 1997. *Official Methods of Analysis*. Association of Official Analytical Chemists. Arlington. VA. USA.

Badui S. 2006. *Química de los alimentos*. 4 Edición. Mexico. Editorial Pearson Educación. Pág. 558.

Bastén G. 2002. Arándanos. Oficina de Estudios y Políticas Agrarias de Chile. Mercado agropecuarios. Informe N°121. Boletín electrónico. Disponible en www.odepa.gov.cl. Consultado en 30/09/13.

Belandría V.; 2001. Tesis: Estabilización de espumas no acuosas en presencia de sólidos finos. Mérida – Venezuela. Universidad de los Andes.

Belitz H.; Grosch, W. 2011. *Química de los Alimentos*. 3 Edición. Zaragoza, España. Editorial Acribia, S. A. Pág. 1087.

Benavides L. 2013. Estudio de pre factibilidad para la producción y comercialización de arándanos (*Vaccinium Corymbosum* L.) en condiciones de valles andinos. Programa Sierra Exportadora. Disponible en <http://www.agrifoodgateway.com/articles/estudio-de-prefactibilidad->

para-la-producci-n-y-comercializaci-n-de-ar-ndanos-vaccinium-cor.
Consultado 28/12/2013.

Berk Z. 1980. La bioquímica de los alimentos. México. Editorial El Manual moderno S.A de CV. Pág. 76.

Durand F. ;Durand E. ; Guerrero K. y Durand J.2008. Ciencia, tecnología e industrias de alimentos. Editorial Grupo Latino Editores. Colombia. Pág. 303- 323.

Durian D. 1995. Foam mechanics at the bubble scale. Physical Review Letters. Vol. 75. Pág. 780-783.

Falade R. 2003. Foam-mat drying of cowpea (*Vigna unguiculata*) using glyceryl monostearat and egg albumin as foaming agents. Europe Food Res. Vol. 217. Pág. 486-491.

Fennema O. 2000. Química de los alimentos.Editorial Acribia. Zaragoza - España. Pág. 452- 457.

Fernández V., Queiroz F., Botrel V., Rocha V., Lima C. y Souza V. 2012. Foam mat drying of tomato pulpa. Biosci. J., Vol.29 Pág. 816-825.

Gamez B. 2002. Arándanos. Oficinas y estudios de políticas agrarias de Chile. Mercado Agropecuarios. Informe N°121. Boletín electrónico. Disponible en www.odepa.gov.cl. Consultado 27/06/2005.

González B., Díaz G., Alanis M., García C., Pimentel D., Regalado A. y Vernon E. 2009. Estudio de estabilidad y caracterización de espumas de jugo de naranja utilizando proteínas y polisacáridos. Memorias del XXX Encuentro Nacional de la AMIDIQ. Sinaloa- México.

Jeantet R., Grogennec T., Schuck P. y Brulé G. 2010. Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza –España. Pág. 265.

Kandasamy P., Varadharaju N. y Kalemullah S. 2012 (A). Foam – mat drying of papaya (*Carica papaya* L.) using glicerol monostearate as foaming agent. Journal of Food Science and Quality Management. Vol. 9. Pág. 17-27.

Kandasamy P., Varadharaju N., Kalemullah S. y Moitra R. 2012 (B). Production of papaya powder under foam-mat drying using methyl cellulose as foaming agent. Asian Journal of Food and Agro- Industry. Vol. 5. Pág. 374- 387.

Krasaekoopt W. y Bhatia S. 2012. Production of yogurt powder using foam- mat drying. AU J.T. 15(3): 166-171 Disponible: http://www.journal.au.edu/au_techno/2012/jan2012/journal153_article05.pdf. Consultado 30/09/13.

Lewicki P. 2006. Design of hot air drying for better foods. Journal of the Food Science and Technology. Pág. 153- 163.

Loyola N., Nuñez P. y Acuña C. 2013. Extracción y análisis de pectinas a partir de arándano (*Vaccinium corymbosum* L.) cv. O'Neill. Revista Facultad de Ciencias Agrarias UNCUYO. Edición 45. Pág. 79-89

Madrid V. y Madrid C. 2001. Nuevo Manual de industrias alimentarias. Editorial AMV y Mundi prensa. Madrid España. Pág.488.

Moreiros O., Carbajal A., Cabrera L. y Cuadrado L. 2010. Tablas de composición de alimentos. Editorial Pirámide. Madrid- España Pág. 88, 90,170.

Potter N. y Hotchkiss J. 1999. Ciencia de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. Pág. 667.

Prakotmak P., Soponronnart S. y Prachayawarakorn S. 2010. Modelling of moisture diffusion in pores of banana foam mat using a 2-D stochastic pore network: Determination of moisture diffusion coefficient during adsorption process. Journal of the Food Engineering. Vol. 96. Pág. 119-126.

Ratti C. y Kudra T. 2005. Drying of foamed materials: opportunities and challenges. In Proceedings 11th Polish Drying Symposium. Poland.

Rosenthal A. 2001. Textura de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza. España. Pág. 173.

Sapers G., Burgher A., Phillips J. y Jones S. 1984. Color and composition of highbush blueberry cultivars. J. Amer. Soc. Hort. Sci. Vol. 109 Pág. 105-111.

Segura E., Monroy L. y Manrique G.1990. Aplicación de la tecnología de deshidratación por el método de secado de espumas (foam-mat) en jugos de frutas tropicales III (naranja, piña, mora y maracuyá). Revista colombiana de ciencias químico - farmacéuticas. N° 18

Thuwapanichayanan R., Prachyawarakorn S. y Soponronnarit S. 2008. Drying characteristics and quality of banana foam mat. Journal of the Food Engineering. Vol. 86. Pág. 573-583.

Thuwapanichayanan R., Prachyawarakorn S. y Soponronnarit S. 2012. Effects of foaming agents and foam density on drying characteristics and textural. Journal of the Food Science and Technology. Vol. 47. Pág. 348-357.

Zuñiga R. 2009. Alimentos aireados: fabricación, caracterización y potenciales aplicaciones. X Congreso Nacional de Estudiantes de Ingeniería Agroindustrial. Disponible en http://www.cienaustral.cl/wp-content/uploads/2012/08/CNE2009_rz.pdf . Consultado 16/01/2014.

ANEXOS

ANEXO 1

Densidad y Expansión de espuma de pulpa de arándano

TRATAMIENTOS	REPETICIONES	DENSIDAD (g/mL)	EXPANSION (%)
Tratamiento 1	1	0.75	9.00
	2	0.75	8.00
	3	0.74	10.00
Tratamiento 2	1	0.70	24.50
	2	0.70	24.00
	3	0.70	25.00
Tratamiento 3	1	0.60	33.00
	2	0.60	35.00
	3	0.60	31.00
Tratamiento 4	1	0.62	18.50
	2	0.62	17.00
	3	0.61	20.00
Tratamiento 5	1	0.48	54.25
	2	0.48	56.50
	3	0.48	52.00
Tratamiento 6	1	0.47	73.50
	2	0.47	72.00
	3	0.47	75.00
Tratamiento 7	1	0.55	45.00
	2	0.54	45.00
	3	0.55	45.00
Tratamiento 8	1	0.48	65.50
	2	0.46	66.00
	3	0.49	65.00
Tratamiento 9	1	0.46	85.75
	2	0.46	82.50
	3	0.45	89.00

ANEXO 2

Promedios de densidad y expansión de espuma de pulpa de arándano

Concentración	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
Tiempo	5	5	5	10	10	10	15	15	15	5	5	5	10	10	10
Densidad (g/mL)	0.75	0.75	0.74	0.70	0.70	0.70	0.60	0.60	0.60	0.62	0.62	0.61	0.48	0.48	0.48
Expansión (%) Bliss	17.46	16.43	18.43	29.67	29.33	30.00	35.06	36.27	33.83	25.47	24.35	26.57	47.44	48.73	46.15
Expansión (%)	9.00	8.00	10.00	24.50	24.00	25.00	33.00	35.00	31.00	18.50	17.00	20.00	54.25	56.50	52.00

Continúa...

...Continuación.

Concentración	3	3	3	3	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Tiempo	10	15	15	15	5	5	5	10	10	10	15	15	15
Densidad (g/mL)	0.48	0.47	0.47	0.47	0.55	0.54	0.55	0.48	0.46	0.49	0.46	0.46	0.45
Expansión (%) Bliss	46.15	59.02	58.05	60.00	42.13	42.13	42.13	54.03	54.33	53.73	67.82	65.27	70.63
Expansión (%)	52.00	73.50	72.00	75.00	45.00	45.00	45.00	65.50	66.00	65.00	85.75	82.50	89.00

ANEXO 3

Arándano variedad Biloxi



ANEXO 4

Escaldado de fruto de arándano en olla casera



ANEXO 5

Pulpa de arándano



ANEXO 6

Tamizado de pulpa de arándano



Batido de pulpa de arándano



ANEXO 8

Determinación de la estabilidad de la espuma de pulpa de arándano

