

**Optimización del proceso de liofilización de
huevos tamaño no comercial de gallina ponedora
Leghorn Blanca Hy- Line W-98**

Jorge Isaac Díaz Zúniga

Honduras
Diciembre, 2007

ZAMORANO
CARRERA DE AGROINDUSTRIA ALIMENTARIA

**Optimización del proceso de liofilización de
huevos tamaño no comercial de gallina ponedora
Leghorn Blanca Hy- Line W-98**

Proyecto de graduación presentado como requisito parcial
para optar al título de Ingeniero en Agroindustria Alimentaria
en el grado académico de licenciatura.

Presentado por:

Jorge Isaac Díaz Zúniga

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2007

El autor concede a Zamorano permiso para reproducir y distribuir copias de este trabajo para fines educativos.
Para otras personas físicas o jurídicas se reservan los derechos del autor.

Jorge Isaac Díaz Zúniga

Zamorano, Honduras
Diciembre, 2007

Optimización del proceso de liofilización de huevos tamaño no comercial de gallina ponedora Leghorn Blanca Hy- Line W-98

Presentado por:

Jorge Isaac Díaz Zúniga

Aprobado:

Francisco J. Bueso, Ph.D.
Asesor Principal

Luis Fernando Osorio, Ph.D.
Director
Carrera Agroindustria Alimentaria

Julio R. López, M.Sc.
Asesor

Raúl Espinal, Ph.D.
Decano Académico.

Gerardo Murillo, Ing. Agr.
Asesor

Kenneth L. Hoadley, D.B.A.
Rector

DEDICATORIA

A mí abuelita por su amor, confianza y apoyo incondicional en todo momento.

AGRADECIMIENTOS

A mí papi Dios por cuidarme siempre y por perdonarme cada día.

A mí padres, Romelia Zúniga y Maximo Adalid Díaz por su amor incondicional.

A Cristian, Carola, Holman, Negro, Pancho, Lidia, Nelson, Heraldo y Wilmer por su confianza y respaldo en todo.

A Doña Betty y Don Chema que son como mis padres.

A mis amigos (Roy Fraatz, Carlos Montúfar, Josué Castro, José Estrada, Jesús Morazán, Edison Molina y Diego Layedra).

A mí asesor Dr. Javier Bueso por confiar en mí dentro y fuera del aula de clase.

Al ingeniero Julio López por su ayuda y confianza brindada.

Al ingeniero Gerardo Murillo por ser un padre.

RESUMEN

Díaz, J. 2007. Optimización del proceso de liofilización de huevos tamaño no comercial de gallina ponedora Leghorn Blanca Hy- Line W-98. Proyecto de Graduación del Programa de Ingeniería en Agroindustria Alimentaria, Escuela Agrícola Panamericana, El Zamorano, Honduras. 35 p.

El huevo liofilizado es un producto nuevo con alto potencial en la industria alimentaria como alternativa de comercialización de huevo de gallina de tamaño no comercial. El objetivo del estudio fue evaluar el efecto de dos temperaturas de congelación y dos tiempos de secado en las características físico-químicas y sensoriales de huevos liofilizados tamaño no comercial de gallina ponedora Leghorn Blanca Hy- Line W-98. Se evaluó un factorial de dos temperaturas de congelación (-40 y -196 °C) y dos tiempos de secado (20 y 24 hrs.) en un diseño experimental de parcelas divididas con 2 repeticiones, para tener un total de 8 unidades experimentales. Para analizar los resultados físico-químicos y sensoriales del huevo liofilizado se utilizó el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS®), para realizar análisis de varianza y separaciones de medias de Tukey. Las características físico-químicas evaluadas que no presentaron diferencias significativas ($P>0.05$) fueron: porcentaje de humedad y actividad de agua. Las características físico-químicas que sí presentaron diferencias estadísticas significativas ($P<0.05$) fueron: viscosidad, textura y color del huevo liofilizado en polvo y reconstituido. Se realizó un análisis sensorial de aceptación con 7 panelistas entrenados con una escala hedónica de 1 (me desagrada mucho) a 5 (me gusta mucho). No se encontraron diferencias significativas ($P>0.05$) en los atributos sensoriales de color, aroma, textura, sabor, apariencia y aceptación global. Los cambios físico-químicos no fueron detectados sensorialmente por los panelistas, teniendo una aceptación general de 4 (me gusta) lo cual indica un potencial de buena aceptación para el huevo liofilizado.

Palabras clave: análisis sensorial, color, textura, viscosidad, actividad de agua, humedad.

CONTENIDO

	Portadilla.....	i
	Autoría.....	ii
	Página de firmas.....	iii
	Dedicatorias.....	iv
	Agradecimientos.....	v
	Resumen.....	vi
	Contenido.....	vii
	Índice de cuadros.....	x
	Índice de figuras.....	xi
	Índice de anexos.....	xii
1	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1	OBJETIVOS.....	2
1.1.1	Objetivo general.....	2
1.1.2	Objetivo específico.....	2
2	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1	DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL HUEVO DE GALLINA.....	4
2.2	HUEVO DE GALLINA PONEDORA LEGHORN BLANCA HY-LINE.....	5
2.2.1	Variedad W-98.....	6
2.3	LIOFILIZACIÓN.....	6
2.3.1	Historia y definición.....	6
2.3.2	Liofilizadores.....	6
2.3.3	Huevos liofilizados.....	7
2.3.4	Secado spray para huevo.....	7
2.3.5	Microorganismos que afectan el huevo.....	7
2.4	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.....	8
2.4.1	Actividad de agua.....	8
2.4.2	Viscosidad.....	8

2.4.3	Color.....	9
2.4.4	Textura.....	9
2.5	ANÁLISIS SENSORIAL.....	9
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	10
3.1	LOCALIZACIÓN.....	10
3.2	MATERIALES Y EQUIPO.....	10
3.2.1	Ingredientes para la elaboración de huevo liofilizado.....	10
3.2.2	Equipo para análisis físico-químicos.....	10
3.3	DISEÑO EXPERIMENTAL.....	11
3.4	METODOLOGÍA.....	11
3.4.1	Elaboración de huevo liofilizado.....	11
3.5	DIAGRAMA DE FLUJO DE HUEVOS LIOFILIZADOS.....	14
3.6	ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS.....	15
3.6.1	pH.....	15
3.6.2	Porcentaje de humedad.....	15
3.6.3	Actividad de agua.....	15
3.6.4	Viscosidad.....	16
3.6.5	Textura.....	16
3.6.6	Color (valor L*a*b*).....	16
3.7	ANÁLISIS SENSORIAL.....	17
3.8	ANÁLISIS ESTADÍSTICO.....	18
4	RESULTADOS.....	19
4.1	ESTUDIOS PRELIMINARES.....	19
4.1.1	Determinación de temperaturas de liofilización.....	19
4.1.2	Determinación del tiempo de liofilización.....	20
4.1.3	Estandarización de la elaboración del huevo en torta.....	21
4.2	EVALUACIÓN DE PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS.....	21
4.2.1	pH.....	21
4.2.2	Actividad de agua.....	21
4.2.3	Porcentaje de humedad.....	22
4.2.4	Viscosidad.....	22
4.2.5	Textura.....	22
4.2.6	Color (valor L*a* b*).....	23
4.2.6.1	Color huevo liofilizado (polvo).....	23
4.2.6.2	Color huevo liofilizado reconstituido (líquido).....	24
4.3	EVALUACIÓN SENSORIAL.....	24

4.3.1	Evaluación sensorial de color.....	24
4.3.2	Evaluación sensorial de aroma.....	25
4.3.3	Evaluación sensorial de textura.....	25
4.3.4	Evaluación sensorial de sabor.....	26
4.3.5	Evaluación sensorial de apariencia.....	26
4.3.6	Aceptación global.....	27
4.4	CORRELACIONES.....	27
4.5	PRUEBA T.....	28
5	CONCLUSIONES.....	29
6	RECOMENDACIONES.....	30
7	BIBLIOGRAFÍA.....	31
8	ANEXOS.....	33

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1.	Huevos difíciles de comercializar.....	3
2.	Composición de la merienda escolar.....	4
3.	Actividad de agua y microorganismos.....	8
4.	Descripción de los tratamientos evaluados.....	11
5.	Descripción diseño experimental.....	11
6.	Viscosidad y textura del huevo normal.....	19
7.	Color del huevo normal.....	19
8.	Comparación sensorial del color de los tratamientos y el huevo normal...	19
9.	Efecto de temperatura y tiempo en el pH del huevo liofilizado reconstituido.....	21
10.	Efecto de temperatura y tiempo en la actividad de agua (Aw) del huevo liofilizado en polvo.....	21
11.	Efecto de temperatura y tiempo en porcentaje de humedad del huevo liofilizado en polvo.....	22
12.	Efecto de temperatura y tiempo en la viscosidad (Pa*s) del huevo liofilizado reconstituido.....	22
13.	Efecto de temperatura y tiempo en la textura (N) del huevo liofilizado (huevo en torta).....	23
14.	Efecto de temperatura y tiempo en color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado en polvo.....	23
15.	Efecto de temperatura y tiempo en color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado reconstituido.....	24
16.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de color del huevo liofilizado (huevo en torta).....	24
17.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de aroma del huevo liofilizado (huevo en torta).....	25
18.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de textura del huevo liofilizado (huevo en torta).....	25
19.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de sabor del huevo liofilizado (huevo en torta).....	26
20.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de apariencia	

	del huevo liofilizado (huevo en torta).....	26
21.	Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de aceptación global del huevo liofilizado (huevo en torta).....	27
22.	Correlaciones (físico-químico-sensorial).....	27
23.	Prueba T (huevo liofilizado en polvo – huevo reconstituido).....	28

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura		Página
1.	Producción diaria de huevos de granja en Honduras (2007).....	3
2.	Diagrama de flujo de elaboración de huevos liofilizados.....	14
3	Efecto del tiempo de secado en la actividad de agua del huevo liofilizado.....	20
4	Efecto de la temperatura de congelación en el porcentaje de humedad del huevo liofilizado.....	20

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo		Página
1.	Fórmula para determinar el porcentaje de humedad.....	34
2.	Hoja de evaluación sensorial.....	35

1. INTRODUCCIÓN

La optimización de procesos es de gran importancia en la industria alimentaria porque se determina mediante estudios las mejores temperaturas, presiones y tiempos para la elaboración de productos alimenticios.

El huevo de gallina ponedora Leghorn Blanca Hy- Line W-98 es un producto de buena aceptación en el mercado hondureño por su valor nutricional y por su precio accesible al consumidor.

Este estudio se realizó como una alternativa a los problemas de comercialización que presenta el huevo que no cumple con el tamaño comercial. El huevo pequeño no goza de aceptación en el mercado local ya que el consumidor prefiere huevo grande. Según la Asociación de Avicultores de Honduras (2007), en el país se producen 2,592,000 huevos diarios de los cuales un 7.98 % (206,841.6 huevos) están debajo del tamaño comercial.

El huevo liofilizado puede ser una buena alternativa para solucionar el problema de comercialización de huevos de tamaño no comercial, con la ventaja que es un producto conveniente (fácil de transportar, almacenar y dispensar) y alarga la vida de anaquel que se acopla a líneas de producción de panaderías, restaurantes, bases militares, penitenciarias, hospitales, Programa de Escuelas Saludables (PES) gobierno de Honduras, campos de refugiados, emergencias por desastres naturales y albergues en guerras.

El objetivo principal de este estudio fue optimizar el proceso de liofilizado del huevo de gallina ponedora Leghorn Blanca Hy-Line W-98, evaluando el efecto de dos temperaturas de congelación (-40 y -196 °C) y dos tiempos de secado (20 y 24 hrs.) en las características físico-químicas (actividad de agua, porcentaje de humedad, color, textura y viscosidad) y sensoriales (color, aroma, textura, sabor, apariencia y aceptación).

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo general

- Optimizar el proceso de liofilización de huevos de gallina ponedora Leghorn Blanca (aves ponedoras Hy-Line W-98).

1.1.2 Objetivos específicos

- Medir a través de una evaluación sensorial exploratoria el efecto de dos temperaturas de congelación (- 40 y - 196 °C) y dos tiempos de secado (20 y 24 hrs.) sobre las características físico-químicas y sensoriales del huevo liofilizado.
- Correlacionar análisis físico-químicos y sensoriales para determinar la relación de preferencias del huevo liofilizado.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

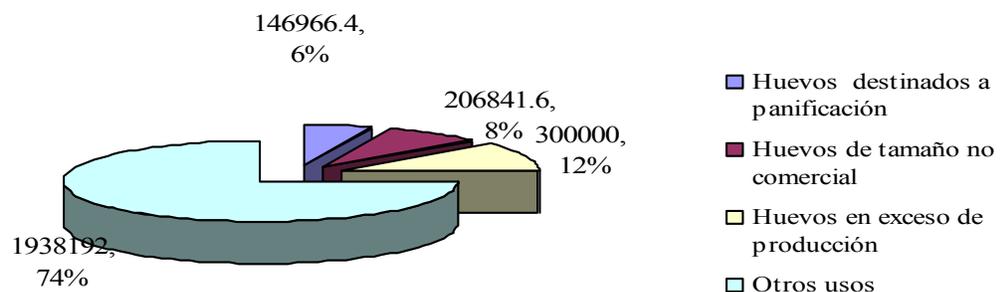
Según Hy- Line International (2004), el tamaño de los huevos está determinado por la edad de las gallinas, los huevos medianos y pequeños corresponde a gallinas jóvenes y los grandes, extra y especiales son producidos por gallinas adultas (Cuadro 1).

Cuadro 1. Huevos difíciles de comercializar.

Huevos	Peso (g)
Medianos	50 – 57
Pequeños	42 – 50
Bajos	42

Fuente: Guía de manejo comercial HY-LINE INTERNACIONAL (2004).

El huevo liofilizado (en polvo) podría ser una alternativa para utilizar los huevos que no califican para ser vendidos frescos (Figura 1).



Fuente: Asociación de Avicultores de Honduras (2007)

Figura 1. Producción diaria de huevos de granja en Honduras 2007

En Honduras el Programa de Escuelas Saludables (PES), brinda alimento a los niños con el objetivo de disminuir la desnutrición de alto riesgo en la población pre-escolar y escolar, mejorar la capacidad de aprendizaje de los niños y disminuir la ausencia a clases (Secretaría de Estado del Despacho Presidencial, 2005).

La composición de la merienda escolar la podemos observar en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Composición de la merienda escolar

Alimentos	Cantidad (g)	Calorías	% Proteínas	Hierro (mg)	Vitamina A (µg)
Arroz	70	252	4.0	3.0	-
Maíz	70	253	6.6	1.8	8.00
CSB*	20	76	3.6	3.7	100.00
Aceite	10	90	-	-	-
Frijoles	30	103	7.0	2.0	0.08
Total	200	774	21.2	10.5	108.08

Fuente: Informes de avance del PES 2005.

*CSB (Corn-Soy-Blend, Mezcla de Maíz y Soya)

Esta ración satisface el 35% del valor calórico para niños entre 4 y 14 años de edad y un 60% del requerimiento proteínico. La merienda escolar se brinda en la actualidad a 1,300,000 niños por día, de lunes a viernes (Instituto Nacional de Estadística, 2007).

El huevo liofilizado se podría exportar sin ningún problema a otros países, ya que la avicultura hondureña esta libre de las enfermedades de exportación de productos avícolas. Honduras tiene restricciones de entradas de aves provenientes de otros países que no tienen la misma condición fitosanitaria, el país esta libre de las enfermedades que pueden causar problemas en la exportación de productos. Las cuatro enfermedades de las que está libre la nación son: Laringotraqueitis, Salmonella, New Castle e Influenza Aviar (Secretaría de Agricultura y Ganadería, 2007).

2.1 DEFINICIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL HUEVO DE GALLINA

El huevo de gallina está compuesto de cáscara, clara y yema, en donde la cáscara constituye el 10% de su peso, y su color depende de la raza de la gallina, aunque es algo más resistente la cáscara morena. La clara representa el 30% de su peso y está formada por proteínas (entre un 12 y un 13%), y es considerada como "la proteína patrón" por su correcta proporción de aminoácidos esenciales. La yema se aproxima al 60% de su peso, es rica en lípidos predominando los ácidos grasos saturados y el colesterol (unos 250-360 mg por unidad de huevo de 50-60 g), tiene también proteínas, vitaminas liposolubles, fósforo y hierro (Díaz, 2001).

Según Díaz (2001), las propiedades fundamentales de los huevos son:

- Capacidad coagulante: (propiedad de la clara y de la yema), que se produce por el efecto del calor como por la agitación mecánica. Útil en la elaboración de tortilla, huevos cocidos y en repostería (flanes, puding, etc.).

- Capacidad espesante: (propiedad de la clara), que es por la agitación mecánica que se forma espuma, que es una emulsión agua – aire. Esta propiedad es apreciada en repostería para la elaboración de merengues, mousses, bizcochos, etc.
- Capacidad emulsificante: propiedad de la yema para estabilizar una emulsión de tipo aceite – agua. La gran estabilidad que confiere es debida a su viscosidad y a la lecitina que contiene. Esta propiedad hace que ligen las diferentes salsas que con ella se elaboran.
- Capacidad colorante y aromatizante: propias de la yema, especialmente importante en pastas alimenticias y en repostería.
- Capacidad anticristalizante: la clara es muy utilizada en repostería para evitar la formación de cristales, en soluciones muy concentradas de azúcar, por ejemplo en el turrón.
- Capacidad aglutinante: característica de la clara y de la yema muy apreciada en charcutería. Forman geles que engloban otras sustancias añadidas, muy utilizado para conseguir la textura del paté.

2.2 HUEVO DE GALLINA PONEDORA LEGHORN BLANCA HY-LINE

Según Thomas (2007), la raza Leghorn Blanca es la más utilizada en los planteles de cría comerciales de todo el mundo, y hay muchas razones que explican su éxito: es una gallina rústica, muy prolífica, capaz de poner unos 300 huevos al año con un consumo bajo de alimento debido a su pequeño porte. Hy-Line International es la compañía de genética de ponedoras más antigua y grande del mundo, que contiene tres líneas de ponedoras de la raza Leghorn Blanca (W-36, Brown y W-98), y la composición química del huevo no cambia, lo que cambia son las proporciones por los tamaños variados de los huevos. En el mundo (110 países) hay de 4 a 5 mil millones de ponedoras de la línea Hy-Line que representa un 40% de la producción mundial, pero un 80 % para países desarrollados. La venta de huevo blanco con respecto al marrón es de 50/50 % y depende de la cultura de dicha población. China es el máximo productor de huevos en el mundo con un consumo per-cápita de 16.7 Kg/año, y el máximo consumidor es Japón con un consumo per-cápita de 19.4 Kg/año. En los Estados Unidos la variedad que más se utiliza es W-36 con 95 % y 5 % de la Brown, en Honduras se consume huevo blanco, y se distribuyen dos líneas (Hy-Line W-98 y la Nick Chick), pero el 95% del mercado es de la línea Hy-Line W-98.

2.2.1 Variedad W-98

La variedad Hy-Line W-98 tiene madurez temprana y pone huevos grandes temprano en la producción y alcanza rápidamente el tamaño óptimo del huevo y lo mantiene durante toda la postura. La W-98 es un ave ponedora prolífica que produce más de 240 huevos a las 60 semanas de edad y tiene cáscaras blancas resistentes, excelente calidad interior del huevo, una viabilidad sobresaliente y gran masa de huevo, todo esto junto con un bajo consumo de alimento hacen que la W-98 sea la líder mundial por su eficiente producción y por su calidad de la masa de huevo (Hy-line, 2007).

2.3 LIOFILIZACIÓN

2.3.1 Historia y definición

Según Rey (1975), este tipo de secado se introdujo inicialmente a gran escala en la década de 1940 para la producción de plasma seco, productos de sangre, antibióticos y materiales biológicos.

La liofilización es un proceso de secado por sublimación, es decir el paso del agua de su estado sólido al estado gaseoso sin pasar por el estado líquido. El agua es evaporada mediante la aplicación de vacío (0.000987 Atm) cuando ha sido previamente congelada. La virtud fundamental de un producto liofilizado es que al ponerse en contacto nuevamente con el líquido, es decir, el agua sublimada, el producto recupera todas las características (Federación nacional de cafeteros de Colombia, 2004). Los productos liofilizados que han sido adecuadamente empaquetados pueden ser almacenados durante tiempos ilimitados, reteniendo la mayoría de las propiedades físicas, químicas, biológicas y sensoriales de su estado fresco; además, reduce la pérdida de calidad debidas a las reacciones de empardeamiento enzimático y no enzimático (Barbosa y Vega, 2000).

2.3.2 Liofilizadores

En las instalaciones industriales convencionales el vacío se logra mediante la combinación de bombas de vacío y grandes "trampas frías" que trabajan -40 a 50 °C. La temperatura de congelación para la liofilización varía dependiendo del producto a liofilizar. En la industria alimentaria el alimento congelado es enfriado a temperaturas cercanas a -30, -40 y -50 °C. Algunos laboratorios farmacéuticos congelan sus productos a -196 °C (N₂ líquido), obteniendo buenos resultados (Wageningen University, 2006).

Existen dos tipos de secaderos continuos: secadero de bandeja, donde el producto se coloca en bandejas que se mueven a lo largo del secadero de forma continua, y dinámicos o secaderos sin bandejas, donde el producto se mueve a través del secadero mediante cintas, placas circulantes, placas vibratorias, lechos fluidizado y pulverizadores. La mayoría de las instalaciones industriales tienen una cámara de congelación, separada de la

de secado, para acelerar la etapa inicial del proceso de liofilización (Barbosa y Vega, 2000).

2.3.3 Huevos liofilizados

La liofilización es una buena alternativa para conservar alimentos, tales como carnes, hortalizas y frutas, que contienen grandes cantidades de proteínas o volátiles y que son susceptibles a reacciones de empardeamiento. La estructura porosa que resulta de la sublimación del hielo permite que los productos liofilizados posean propiedades instantáneas (Barbosa y Vega, 2000).

Según Niro (2006), la liofilización no ha sido empleada en la producción comercial de huevos en polvo internacionalmente, porque es un proceso que ha sido utilizado para investigaciones científicas, ya que es el mejor método de conservación de células y microorganismos (probióticos), por un largo periodo de tiempo sin que pierdan sus propiedades. Además es un proceso muy caro por el equipo y tiempo empleado y actualmente se está empezando a utilizar en la industria alimentaria (frutas y vegetales).

2.3.4 Secado spray para huevo

Según Quiminet (2007), comercialmente se vende huevo en polvo, por el proceso de secado por atomización que brinda excelentes beneficios a los productos de huevos, produciendo huevos en polvo. Es un proceso económico ya que se aprovechan los huevos que no tienen salida comercial (huevo pequeño), además es un producto que puede ser almacenado por dos años en un lugar fresco y oscuro. La temperatura de secado que se utiliza es de 350 °C y el producto sale con una temperatura de 90°C quedando el producto con un porcentaje de humedad de (5 - 8 %).

Según Gasparetti (2003), el huevo en polvo tiene una marcada demanda que proviene de la Unión Europea y Japón, ya que tiene una gran aplicación en repostería, confiterías, heladería, en la fabricación de fideos y en la industria farmacéutica. El precio internacional del kilo es de US\$ 5.

2.3.5 Microorganismos que afectan el huevo

Según la FAO y el servicio de inocuidad e inspección de los alimentos (departamento de agricultura de los Estados Unidos, 2002), en los huevos frescos pueden hallarse ciertas bacterias que suelen causar intoxicaciones alimentarias y la principal bacteria es la *Salmonella enteritides*. El número de huevos que contienen esta bacteria es muy escaso, según los investigadores científicos la *Salmonella enteritides* se encuentra en la yema del huevo, pero no se puede descartar la posibilidad de que las bacterias estén también en la clara del huevo, por lo que se recomienda no comer huevo crudos o semi-crudos. Hay muchos métodos para cocinar los huevos de manera que éstos no constituyan un riesgo para la salud, por ejemplo, huevos duros, revueltos, fritos y al horno. Sin embargo, cualquiera que sea el método de cocción, los huevos se deben cocer hasta alcanzar 70 °C. La pasterización destruye la *Salmonella* pero no cuece el huevo ni altera su color, sabor y

valor nutritivo. La pasterización del huevo en polvo se realiza mediante un calentamiento del huevo en polvo por largo tiempo.

2.4 ANALISIS FÍSICO-QUÍMICOS

2.4.1 Actividad de agua

Según Monssel y Beuchat (1981), la actividad de agua para huevo deshidratado es 0.44 con un porcentaje de humedad de 5%, condiciones en que no se produce proliferación microbiana (Cuadro 3).

Cuadro 3. Actividad de agua y microorganismos.

Aw	Microorganismos
1.00 -0.95	Bacilos Gram negativos; casi todos los esporos bacterianos; algunas levaduras
0.95 – 0.91	Casi todos los cocos; lactobacilos; <i>Listeria monocytogenes</i>
0.91 – 0.87	Levaduras no osmófilas
0.87 – 0.80	Mohos no xerófilos; <i>Staph. Aureus</i>
0.80 – 0.75	Casi todas las bacterias halófilas
0.75 – 0.65	Mohos xerófilos
0.65 – 0.60	Levaduras osmófilas
0.05, 0.40, 0.30 y menores 0.20	Actividad de agua que no permite ninguna multiplicación microbiana

Fuente: D.A.A. Mossel, B. Moreno y C.B. Struijk. Microbiología de los alimentos (2002).

2.4.2 Viscosidad

La viscosidad depende de la propiedad del líquido, que es debido a la magnitud de su resistencia debida a las fuerzas de cizalla en su interior, que influye en las características de flujo (Singh y Heldman, 1998).

Según la universidad central de Venezuela, departamento de tecnología de alimentos (2006), la viscosidad es la resistencia de un líquido a fluir, en donde la unidad es expresada en poise (g/cm*s), pero se utiliza centipoise que es un submúltiplo. La viscosidad se mide por medio de viscosímetros, el cual va depender del tipo de flujo:

- Viscosímetro de Ostwald: para flujo a través de un tubo capilar.
- Viscosímetro de Saybolt: para flujo a través de un orificio.
- Viscosímetro de Stormer y Brookfield: rotación de un cilindro o aguja en el líquido.

2.4.3 Color

El color es el principal atributo de calidad que tiene el consumidor a la hora de seleccionar un alimento. El estudio del color en los alimentos tiene una gran importancia en la industria de los alimentos debido a que se está usando como herramienta para la automatización y control de procesos de la elaboración de diversos productos y en el control de calidad del producto acabado. El color en los alimentos depende fundamentalmente de las transformaciones que tienen lugar sobre los pigmentos propios o adicionados a los alimentos. Muchos de los cambios de color que ocurren durante la elaboración de los alimentos son característicos de los mismos. El seguimiento tanto de procesos de elaboración como de las alteraciones de los alimentos puede realizarse mediante la determinación del color (Pérez, 2007).

2.4.4 Textura

Según Costell (2002), la textura es uno de los atributos primarios que junto con el sabor y olor, conforman la calidad sensorial de los alimentos. Cuando se quiere evaluar este aspecto de la calidad, o de alguno de los atributos que la integran, es decir, el resultado de las sensaciones que los humanos experimentamos al ingerir el alimento, el único camino de que en principio dispone es preguntárselo a sí mismo, ya que la calidad sensorial no es una propiedad intrínseca del alimento, sino el resultado de la interacción entre éste y nuestros sentidos. El análisis de la composición química y de las propiedades físicas de un producto aporta información sobre la naturaleza del estímulo que percibe el consumidor, pero no sobre la sensación que éste experimenta al ingerirlo.

2.5 ANÁLISIS SENSORIAL

Según Sensolab (2005), la prueba de aceptación en la evaluación sensorial intenta cuantificar la preferencia de los sujetos por un producto, midiendo cuánto les gusta o les disgusta, es decir, el grado de satisfacción.

Cuando un investigador de productos necesita determinar el estado afectivo de un producto, ósea que tan bien es aceptado por los consumidores, una prueba de aceptación es la elección correcta y el producto es comparado con un producto parecido de la misma compañía o con un producto de la competencia usando una escala hedónica (Meilgaard, 2006).

2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LOCALIZACIÓN

El estudio se realizó en dos áreas de Zamorano: la Planta Agroindustrial de Investigación y Desarrollo para elaboración del producto, y en el Laboratorio de Análisis de Alimentos para la evaluación físico-química. Ambos edificios están localizados dentro de las instalaciones de la Escuela Agrícola Panamericana, en el departamento de Francisco Morazán, 32 Km. al este de Tegucigalpa, Honduras.

3.2 MATERIALES Y EQUIPO

3.2.1 Ingrediente para la elaboración de huevo liofilizado

- Huevos de gallina de granja de la raza Hi-Line variedad W-98.

3.2.2 Equipo para análisis físico-químicos

- Probeta de 100 ml.
- Frascos de liofilización de 250, 500, 1000 y 2000ml (VIRTIS an SP Industries Company).
- Freezer Koolco Modelo WIOD-3478 (A Division EMJAC Industries, INC).
- Cisterna de N₂ líquido MVE xc47/11-6.
- Congelador -40 °C (Biomedical Freezer SANYO).
- Liofilizador Virtis Freezemobile 25 ES (VIRTIS an SP Industries Company).
- Horno 105 °C NAPCO Modelo 5831 (Fisher Scientific).
- Crisoles de porcelana.
- Balanza Mettler AE 200 (Mettler Instrument Corporation).
- Aqualab (Decagon Devices, INC).
- Potenciómetro Modelo IQ120 (IQ Scientific Instruments, INC).
- Balanza analítica OHAUS Modelo Adventure (OHAUS Corporation).
- ColorFlex Modelo Hunterlab L* a* b® (Hunter Associates Laboratory, INC).
- Viscosímetro de Brookfield Modelo RVDV – II + CV (Brookfield Engineering Laboratorios, INC).
- Instron Modelo 4444 (Instron Corporation).

3.3 DISEÑO EXPERIMENTAL

Se evaluó un factorial con 2 niveles de temperatura (- 40 y -196 °C) y dos tiempos de liofilización (20 y 24 h) a una presión constante de 0.000987 Atm utilizando un diseño de parcelas divididas y dos repeticiones (Cuadro 4 y 5).

Cuadro 4. Descripción de los tratamientos evaluados.

Muestra	Temperatura °C	Tiempo hrs.
Tratamiento 1	-40	20
Tratamiento 2	-40	24
Tratamiento 3	-196	20
Tratamiento 4	-196	24

Cuadro 5. Descripción del diseño experimental

TRT 1	TRT 2	TRT 3	TRT 4
-40 °C por 20 (h)	-40 °C por 24 (h)	-196 °C por 20 (h)	-196 °C por 24 (h)
R1	R1	R1	R1
R2	R2	R2	R2

Hipótesis

- **Nula:** no existe diferencia significativa en las características físicas-químicas o sensoriales de los huevos liofilizados bajo las combinaciones de temperatura y tiempo evaluadas.
- **Alternativa:** al menos una combinación temperatura-tiempo de liofilización produjo huevos con características físicas-químicas o sensoriales diferentes a los demás tratamientos evaluados.

3.4 METODOLOGÍA

3.4.1 Elaboración de huevo liofilizado

Se elaboraron cuatro tratamientos de huevo liofilizado con la misma proporción de clara-yema. Cada tratamiento fue congelado y liofilizado de acuerdo al diseño experimental (Cuadros 4 y 5). El flujo de procesos para la elaboración de los tratamientos de huevos liofilizados se detalla (Figura 2).

La liofilización involucró dos etapas:

- Congelación (acondicionamiento en algunos casos) a bajas temperaturas.
- Secado por sublimación del hielo (o del solvente congelado) del producto congelado.

1. Quebrado del huevo

Se hizo manualmente la separación de la cáscara del huevo ya que la cantidad de huevos a quebrar fue muy baja.

2. Mezclado del huevo

Se mezcló manualmente porque las mezcladoras son de alta potencia y lo más importante es no formar espuma al momento del batido.

3. Pesado del huevo

Las muestras fueron pesadas para determinar % humedad que perdió en la liofilización y poder determinar cuanta agua es necesaria para reconstituir el producto. Las muestras fueron colocadas en los frascos de liofilización de 250, 500, 1000 y 2000 ml (VIRTIS).

4. Congelado (-40 y -196 °C)

Las muestras fueron congeladas en los frascos y en la liofilización se determinaron dos temperaturas de congelación para el huevo.

- **Congelado -40 °C (Biomedical Freezer SANYO)**

En este proceso la temperatura del huevo fue llevada a – 40 °C con un congelador Biomedical Freezer SANYO durante 12 horas.

- **Congelado con nitrógeno (N₂) líquido**

El producto fue congelado a – 196 °C con N₂ líquido en varias fases.

1. **Preenfriado:**

Consistió en bajar la temperatura del producto a 4 °C (Freezer Koolco WIOD-3478), para lograr obtener una mayor estabilidad entre moléculas.

2. **Baños de vapor de N₂ líquido:**

En este paso el producto fue colocado durante 10 min en una cámara cerrada en la que el N₂ líquido está en la parte inferior del producto sin hacer contacto directo, si no que al cambio de temperatura el N₂ líquido ebulle y forma vapor que rodea la muestra bajando la temperatura a -120 °C.

3. Sumergimiento en N₂ líquido:

El producto se colocó en una cisterna llena de N₂ líquido para bajar la temperatura de -120 a -196 °C al instante.

5. Liofilizado

La liofilización se llevó a cabo con un Liofilizador a escala piloto marca Virtis Freezemobile y modelo 25 ES. El tiempo de liofilizado fueron dos (20 y 24 hrs.). Este proceso consistió en colocar las muestras congeladas en el liofilizador el cual por medio de sublimación retiró el agua del producto en un determinado tiempo.

6. Empacado al vacío:

El producto liofilizado con bajo contenido de humedad fue colocado en bolsas Ziploc ya que el huevo por el alto contenido de grasa es susceptible a la rancidez oxidativa.

7. Almacenado:

El producto ya empacado fue almacenado en un lugar seco en donde la HR del ambiente sea similar al del producto, para evitar el crecimiento de mohos.

8. Consumo:

Para cualquier tipo de preparación se debe aplicar un tratamiento térmico arriba de 70 ° C ya que no es un producto terminado. Esto se hace para evitar una enfermedad de origen microbiano por parte de la *Salmonella* (*S. pullorum*, *S. gallinarum* y *S. typhimurium*).

3.5 DIAGRAMA DE FLUJO DE HUEVOS LIOFILIZADOS

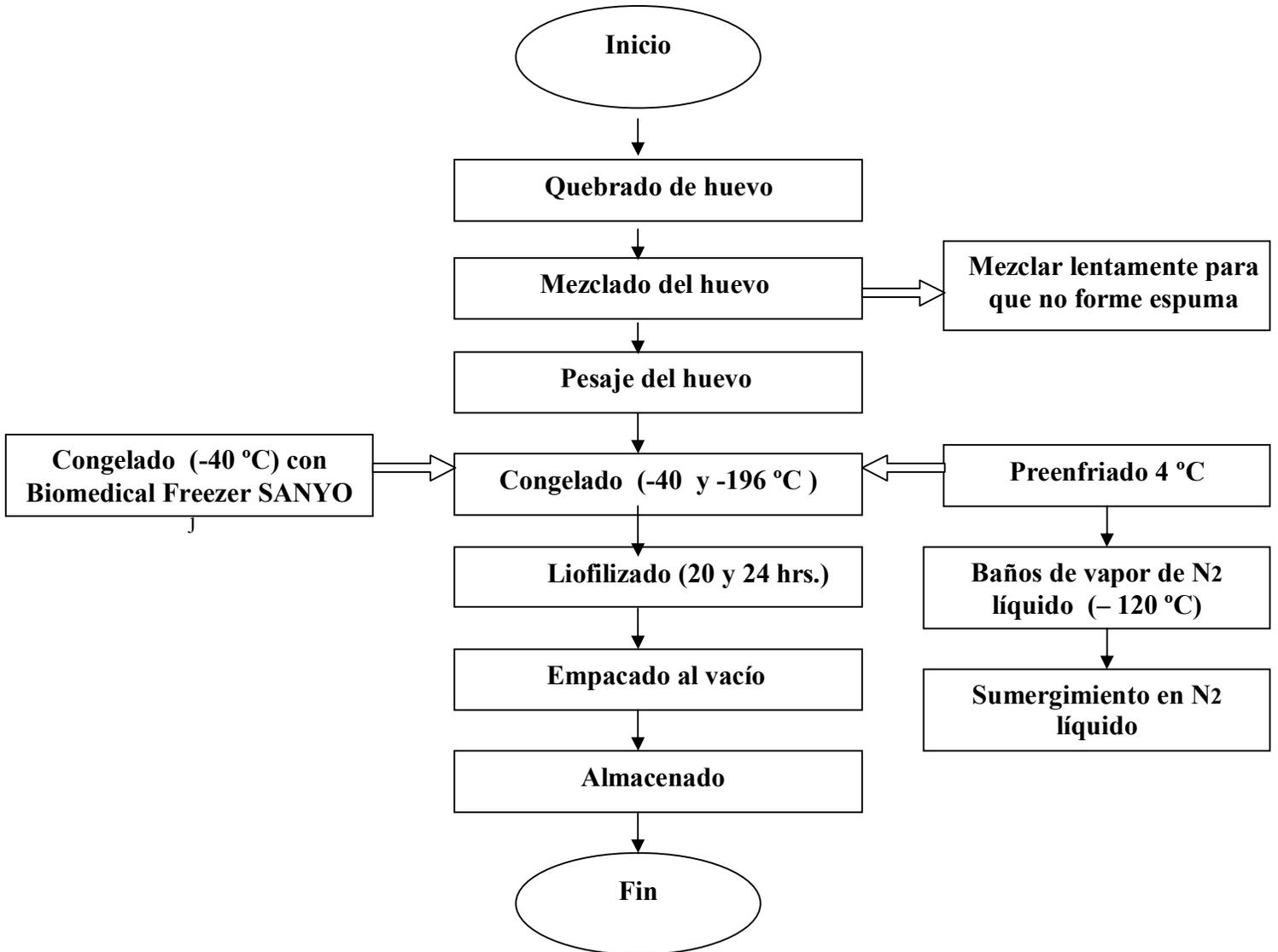


Figura 2. Diagrama de flujo de elaboración de huevo liofilizado.

3.6 ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICOS

3.6.1 pH

Se midió el pH del huevo liofilizado reconstituyéndolo con la cantidad de agua necesaria para su hidratación (22 g de huevo liofilizado y 78 g de agua), se utilizó un potenciómetro IQ120 y los resultados fueron un promedio de tres mediciones. (Método estándar de la Association of Official Analytical Chemists 973.41).

Procedimiento:

1. Se encendió el potenciómetro IQ120 5 minutos antes de realizar la primera medición.
2. Se calibró el potenciómetro con el estándar pH 7.0 para la toma de datos.
3. Entre muestra se limpió el potenciómetro con agua destilada.
4. Se hicieron tres mediciones por muestra.

3.6.2 Porcentaje de humedad

Se midió el porcentaje de humedad del huevo liofilizado en polvo para determinar cuanta humedad perdió durante la liofilización. Las muestras fueron colocadas en el horno 105 °C (Fisher Scientific) durante 24 h y los resultados fueron un promedio de dos mediciones. (Método estándar de la Association of Official Analytical Chemists 930.15).

Procedimiento:

1. Se pre-secaron los crisoles de porcelana en horno a 105 °C por toda la noche.
2. Se enfriaron los crisoles en desecador por una hora.
3. Se registró el número y peso del crisol.
4. Se pesó aproximadamente un gramo de muestra en cada crisol y se registró el peso del crisol mas la muestra.
5. El secado se realizó por duplicado.
6. Se enfriaron los crisoles con la materia seca en el desecador por una hora y luego se registró el peso.
7. Mediante la formula de porcentaje de humedad (Anexo 1) se determinó que porcentaje de humedad tenia la muestra de huevo liofilizado.

3.6.3 Actividad de agua

Se midió la actividad de agua del huevo liofilizado en polvo, se utilizó el medidor de actividad de agua (Aqualab), y los resultados fueron un promedio de tres mediciones. (Método estándar de la Association of Official Analytical Chemists 978.18).

Procedimiento:

1. Se encendió el Aqualab 20 min antes de tomar la primera medición.
2. Se colocó la muestra a la mita de capsula de medición.

3. Se introdujo la muestra y se espero que el equipo indicara mediante sonido y luces.
4. Se realizaron tres mediciones por muestra.

3.6.4 Viscosidad

Se midió la viscosidad del huevo liofilizado reconstituyéndolo con la cantidad de agua necesaria para su hidratación (22 g de huevo liofilizado y 78 g de agua), se utilizó el viscosímetro de Brookfield RVDV-II+CV y los resultados fueron un promedio de tres mediciones y están expresados en Pascales por segundo (Pa*s). (Método estándar de la American Society for Testing and Materials D4420).

Procedimiento:

1. Se encendió el viscosímetro de Brookfield 30 min antes de realizar la primera medición.
2. Se determinaron los datos de medición de la viscosidad:
 - Número de acople que se utilizó (# 1).
 - Velocidad que se utilizó (100 RPM).
 - Las unidades de medición (centipoise), pasado a (Pa*s).
3. La muestra fue homogenizada y se agregó 300 ml de muestra en un beaker de 600 ml.
4. Cuando se logró estabilizar la medición, los datos fueron recolectados.
5. Se hicieron tres mediciones por muestra.

3.6.5 Textura

Para la toma de datos de textura, el huevo liofilizado fue reconstituido y freído (huevo en torta). Para la determinación de la fuerza (Newton) necesaria para cortar el huevo reconstituido y freído se utilizó el Instron 4444. Los datos fueron expresados como el promedio de tres mediciones expresadas en Newtons. (Método estándar de la American Society for Testing and Materials D5035).

Procedimiento:

1. Se encendió el Instron 30 min antes de realizar la primera medición.
2. Se realizó una calibración del Instron antes de la toma de datos.
3. Se ensambló el acople de guillotina Compression Warner Bratzer Crosshead Speed No. 2.
4. Las muestras de huevo en torta fueron cortados con la mismas medidas (0.75 cm de grosor y 1cm de ancho).
5. Se realizaron tres mediciones por muestra.

3.6.6 Color (valorL*a*b*)

Para determinar color se utilizó el Colorflex Hunter Lab que mide valores de L*a*b* donde L* es claridad o brillo que describen que tan blanco o negro es el producto, a* es

que tan rojo o verde es el producto y b* es que tan amarillo o azul es el producto. (Método estándar de la American Society for Testing and Materials E1164).

Procedimiento:

1. Se encendió el Colorflex Hunter Lab 30 min antes de anotar la primera medición.
2. Antes de cualquier medición se calibró el Colorflex Hunter Lab con los discos de calibración.
3. Se realizaron tres mediciones por muestra (huevo liofilizado polvo y huevo liofilizado reconstituido), y se expresó un promedio de las tres mediciones.

3.7 ANÁLISIS SENSORIAL

Para la evaluación sensorial de los distintos tratamientos de huevo liofilizado, se determinó que la mejor forma para degustar sensorialmente el huevo fue huevo en torta, ya que esta manera de preparación se apreció de una mejor manera los atributos sensoriales evaluados.

Procedimiento

1. Se pesaron 22 g de huevo liofilizado en polvo.
2. Se pesaron 78 g de agua potable.
3. Se pesaron 0.6 g de sal fina (Crisal).
4. Se mezcló y batió por 1 min.
5. Se pesaron 3.5 g de aceite de girasol (Clásico), y se puso a calentar 70-80°C.
6. Se agregó la mezcla y se esperó por 5 min a que la temperatura interna llegara a 90°C, luego se saco el huevo en torta para ser evaluado.

Se realizó un análisis sensorial de aceptación, utilizando una escala hedónica de 1 a 5 siendo 1 me desagrada mucho y 5 me gusta mucho. Se empleó 7 panelistas entrenados y la calificación fue individual al criterio de ellos (Anexo 2). Los análisis fueron realizados en dos fechas.

Se acondicionó a los panelistas el laboratorio de análisis sensorial, para llevar acabo las pruebas, y se le proporcionó a cada panelista el material de degustación (agua y galleta de soda) para limpiar el paladar entre cada una de las muestras.

Cada muestra fue rotulada con números aleatorizados. Así mismo se les entregó a cada panelista una boleta de evaluación con las instrucciones y características a evaluar en cada muestra.

Variables evaluadas:

El análisis se realizó con un panel 7 panelistas entrenados, para poder determinar si hay diferencias significativas entre las muestras de cada tratamiento en las siguientes variables:

- Color
- Sabor
- Textura
- Aroma
- Apariencia general
- Aceptación global

3.8 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

El análisis estadístico de los datos se hizo con el programa estadístico Statistical Analysis System (SAS®). Se realizaron análisis de varianza y separaciones de medias de Tukey para establecer si existieron diferencias significativas en las propiedades físico-químicas y sensoriales de los huevos liofilizados elaborados con los tratamientos evaluados. Además se realizaron correlaciones entre los resultados de los análisis físico-químicos de color y textura con los de los análisis sensoriales de apariencia y textura respectivamente.

4. RESULTADOS

4.1 ESTUDIOS PRELIMINARES

Datos fisico-químicos del huevo normal como punto de referencia (Cuadro 6, 7 y 8).

Cuadro 6. Viscosidad y *textura* del huevo normal

	Pa*s	N
Huevo normal	0.055 ± 0.001	4.647 ± 0.548

Cuadro 7. Color del huevo normal

	Valores		
	L*	a*	b*
Huevo normal	65.45 ± 0.090	20.055 ± 0.193	48.892 ± 0.52

Cuadro 8. Comparación sensorial del color de los tratamientos y el huevo normal

Huevos	Valor en la escala de Roche
Huevo liofilizado polvo -40 °C	6-7
Huevo liofilizado polvo -196 °C	1
Huevo liofilizado reconstituido -40 °C	8-9
Huevo liofilizado reconstituido -196°C	7-8
Huevo normal	7-11

4.1.1 Determinación de temperaturas de liofilización

Para la determinación de las temperaturas se hizo una revisión de literatura en la que las temperaturas más usadas estaban en un rango de (-30 a -50 °C), y se utilizó la de -40 °C porque las muestras fueron congeladas en el laboratorio de control biológico, donde la temperatura del congelador trabajaba a una temperatura constante de -40 °C. Y en el laboratorio de reproducción animal se empleó nitrógeno líquido porque el proceso de congelado es al instante y también se hizo una revisión de literatura del nitrógeno líquido y se obtuvieron buenos resultados en la liofilización de plasma.

4.1.2 Determinación del tiempo de liofilización

Los tiempos en donde se obtuvieron los mejores resultados en cuanto a A_w y porcentaje de humedad fueron a las 20 y 24 horas (Figura 3 y 4).

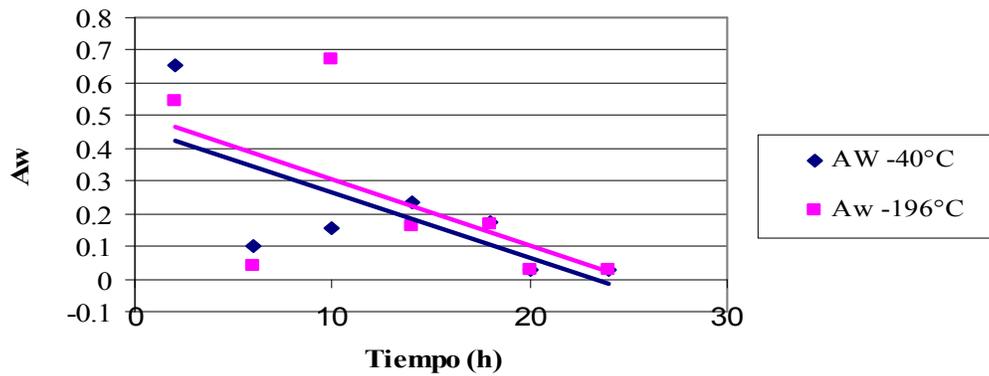


Figura 3. Efecto del tiempo de secado en la actividad de agua del huevo liofilizado

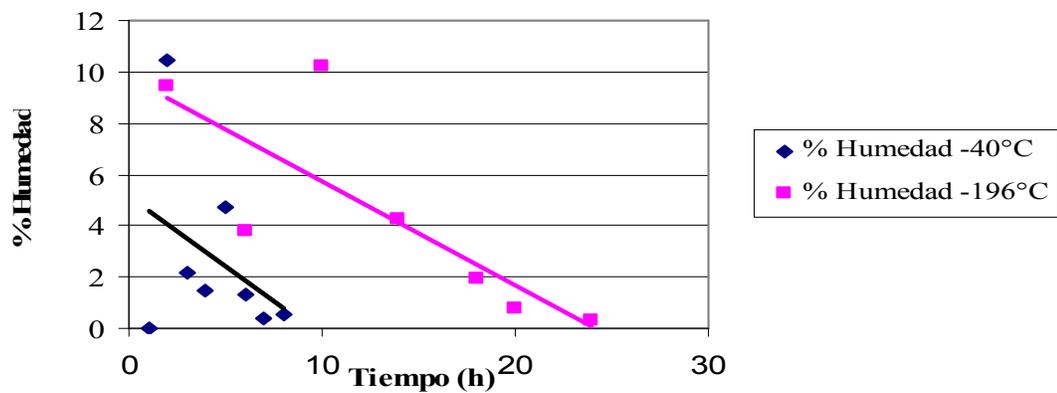


Figura 4. Efecto de la temperatura de congelación en el porcentaje de humedad del huevo liofilizado

4.1.3 Estandarización de la elaboración del huevo en torta

Para determinar el método de elaboración del huevo en torta se hicieron cinco ensayos preliminares para establecer la cantidad de huevo liofilizado, agua potable, sal, aceite, temperatura y tiempo de freído necesario para hacer el huevo en torta. La cantidad de huevo liofilizado fue 22 g, 78 g de agua potable, 0.6 g de sal, 3.5 g de aceite, 90 °C temperatura interna del huevo y cinco minutos de freído.

4.2 EVALUACIÓN DE PARAMETROS FÍSICO - QUÍMICOS

4.2.1 pH

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo en el pH del huevo liofilizado (Cuadro 9).

Cuadro 9. Efecto de temperatura y tiempo en el pH del huevo liofilizado reconstituido

TRT	pH
-40 °C por 24 horas	8.850 ± 0.058 A
-196 °C por 24 horas	8.850 ± 0.058 A
-196 °C por 20 horas	8.675 ± 0.200 A
-40 °C por 20 horas	8.525 ± 0.332 A

Promedio y separación de medias Tukey (P<0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

4.2.2 Actividad de agua

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo en la actividad de agua del huevo liofilizado (Cuadro 10).

Cuadro 10. Efecto de temperatura y tiempo en la actividad de agua (Aw) del huevo liofilizado en polvo

TRT	Aw
-196 °C por 24 horas	0.062 ± 0.010 A
-196 °C por 20 horas	0.052 ± 0.021 A
-40 °C por 24 horas	0.048 ± 0.021 A
-40 °C por 20 horas	0.047 ± 0.023 A

Promedio y separación de medias Tukey (P<0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

4.2.3 Porcentaje de humedad

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo en el porcentaje de humedad del huevo liofilizado (Cuadro 11).

Cuadro 11. Efecto de temperatura y tiempo en porcentaje de humedad del huevo liofilizado en polvo

TRT	Porcentaje de humedad
-196 °C por 24 horas	0.655 ± 0.133 A
-40 °C por 24 horas	0.508 ± 0.376 A
-40 °C por 20 horas	0.285 ± 0.187 A
-196 °C por 20 horas	0.268 ± 0.099 A

Promedio y separación de medias Tukey (P < 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

4.2.4 Viscosidad

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado tuvieron un efecto significativo en la viscosidad del huevo liofilizado (Cuadro 12).

Cuadro 12. Efecto de temperatura y tiempo en la viscosidad (Pa*s) del huevo liofilizado reconstituido

TRT	Viscosidad (Pa*s)
-196 °C por 20 horas	0.051 ± 0.0004 A
-196 °C por 24 horas	0.049 ± 0.0003 B
-40 °C por 24 horas	0.047 ± 0.0004 C
-40 °C por 20 horas	0.043 ± 0.0007 D

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos de diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05)

El tratamiento tres tiene la viscosidad más alta y la razón que el tratamiento tres tiene la viscosidad más alta es por la temperatura de congelación (-196 °C), en donde es un congelado al instante preservando las células del huevo.

4.2.5 Textura

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado tuvieron un efecto significativo en la textura del huevo liofilizado (Cuadro 13).

Cuadro 13. Efecto de temperatura y tiempo en la textura (N) del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Textura (N)
-40 °C por 20 horas	8.220 ± 0.226 A
-40 °C por 24 horas	6.830 ± 0.467 B
-196 °C por 24 horas	5.465 ± 0.021 C
-196 °C por 20 horas	4.840 ± 0.156 C

Promedio y separación de medias Tukey (P<0.05)*

*Tratamientos de diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05)

El tratamiento uno obtuvo la mayor resistencia al corte, lo que indica que es el tratamiento más duro. El tratamiento cuatro y tres tienen la menor resistencia a corte, lo que indica que son los tratamientos más suaves y la razón es por la temperatura de congelación (-196 °C), que es un congelado al instante preservando las células del huevo.

4.2.6 Color (valor L*a*b*)

4.2.6.1 Color huevo liofilizado (polvo)

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado tuvieron un efecto significativo en el color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado (Cuadro 14).

Cuadro 14. Efecto de temperatura y tiempo en color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado en polvo.

TRT	Color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado polvo		
	L*	a*	b*
-196 °C por 20 horas	86.098 ± 0.920 A	6.720 ± 0.378 C	27.360 ± 0.639 C
-196 °C por 24 horas	85.305 ± 0.081 A	7.258 ± 0.142 C	28.525 ± 0.743 C
-40 °C por 20 horas	77.820 ± 0.177 B	12.58 ± 0.770 B	41.690 ± 0.847 B
-40 °C por 24 horas	73.858 ± 0.146 C	15.52 ± 0.405 A	46.610 ± 0.508 A

Promedio y separación de medias Tukey (P<0.05)*

*Tratamientos de diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05)

Los tratamientos tres y cuatro tienen la claridad significativamente más alta, el tratamiento dos tiene la mayor intensidad a rojo y la mayor intensidad amarillo.

4.2.6.2 Color huevo liofilizado reconstituido (líquido)

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado tuvieron un efecto significativo en el color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado reconstituido (Cuadro 15).

Cuadro 15. Efecto de temperatura y tiempo en color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado reconstituido

TRT	Color (valor L*a*b*) del huevo liofilizado reconstituido		
	L*	a*	b*
-40 °C por 24 horas	67.170 ± 0.050 A	19.500 ± 0.368 C	44.005 ± 0.096 D
-40 °C por 20 horas	65.708 ± 0.319 B	19.875 ± 0.352 BC	45.750 ± 0.178 C
-196 °C por 24 horas	65.235 ± 0.040 C	20.500 ± 0.354 AB	46.240 ± 0.176 B
-196 °C por 20 horas	63.398 ± 0.100 D	21.103 ± 0.229 A	46.893 ± 0.154 A

Promedio y separación de medias Tukey (P<0.05)*

*Tratamientos de diferente letra son significativamente diferentes (P<0.05)

El tratamiento dos tiene la claridad más alta y los tratamientos tres y cuatro tienen la mayor intensidad a rojo, el tratamiento tres tiene la intensidad de amarillo más alta.

4.3 EVALUACIÓN SENSORIAL

4.3.1 Evaluación sensorial de color

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de color del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 16).

Cuadro 16. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de color del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Color
-196 °C por 24 horas	4.214 ± 0.699 A
-196 °C por 20 horas	4.000 ± 0.961 A
-40 °C por 20 horas	3.714 ± 0.825 A
-40 °C por 24 horas	3.714 ± 0.914 A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de color se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de color para el huevo liofilizado.

4.3.2 Evaluación sensorial de aroma

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de aroma del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 17).

Cuadro 17. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de aroma del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Aroma	
-40 °C por 20 horas	4.071 ± 0.917	A
-40 °C por 24 horas	4.071 ± 0.730	A
-196 °C por 24 horas	4.000 ± 0.938	A
-196 °C por 20 horas	3.571 ± 0.784	A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de aroma se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de aroma para el huevo liofilizado.

4.3.3 Evaluación sensorial de textura

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de textura del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 18).

Cuadro 18. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de textura del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Textura	
-196 °C por 20 horas	4.214 ± 0.893	A
-40 °C por 20 horas	4.143 ± 0.949	A
-40 °C por 24 horas	4.071 ± 0.829	A
-196 °C por 24 horas	3.928 ± 0.730	A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de aroma se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de textura para el huevo liofilizado.

4.3.4 Evaluación sensorial de sabor

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de sabor del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 19).

Cuadro 19. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de sabor del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Sabor
-40 °C por 24 horas	4.143 ± 0.770 A
-40 °C por 20 horas	4.074 ± 0.997 A
-196 °C por 20 horas	4.000 ± 0.784 A
-196 °C por 24 horas	4.000 ± 0.784 A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de aroma se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de sabor para el huevo liofilizado.

4.3.5 Evaluación sensorial de apariencia

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de apariencia del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 20).

Cuadro 20. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de apariencia del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Apariencia
-40 °C por 20 horas	4.000 ± 0.784 A
-40 °C por 24 horas	4.000 ± 0.679 A
-196 °C por 20 horas	4.000 ± 0.784 A
-196 °C por 24 horas	3.786 ± 0.975 A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de aroma se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de apariencia para el huevo liofilizado.

4.3.6 Aceptación global

Las dos temperaturas de congelación y tiempos de secado no tuvieron un efecto significativo para los panelistas, al evaluar el atributo sensorial de aceptación global del huevo liofilizado (huevo en torta) (Cuadro 21).

Cuadro 21. Efecto de temperatura y tiempo en la evaluación sensorial de aceptación global del huevo liofilizado (huevo en torta)

TRT	Aceptación global
-40 °C por 24 horas	4.000 ± 0.555 A
-40 °C por 20 horas	3.929 ± 0.730 A
-196 °C por 20 horas	3.786 ± 0.699 A
-196 °C por 24 horas	3.643 ± 1.082 A

Promedio y separación de medias Tukey (P< 0.05)*

*Tratamientos seguidos de igual letra no son significativamente diferentes (P>0.05)

Los promedios de todas las calificaciones de aroma se encuentran en cuatro (me gusta) lo cual indica un potencial de buena aceptación global para el huevo liofilizado.

4.4 CORRELACIONES

Análisis de correlación entre las variables físico-químicas y sensoriales, para poder determinar el efecto de las características físico-químicas en las calificaciones recibidas por los atributos sensoriales (Cuadro 22).

Cuadro 22. Correlaciones (físico-químico-sensorial).

Correlación	r	Probabilidad
Instron - textura sensorial	- 0.01	0.99
Color L* - color sensorial	- 0.48	0.23
Color a* - color sensorial	+0.44	0.27
Color b* - color sensorial	+0.54	0.16

Las variables físico-químicas evaluadas tienen poco poder de predicción sobre las calificaciones que el panel sensorial dió a las variables sensoriales con las que fueron correlacionadas.

4.5 PRUEBA T

Comparación del color del huevo liofilizado en polvo y el huevo liofilizado reconstituido (Cuadro 23).

Cuadro 23. Prueba T (huevo liofilizado en polvo – huevo reconstituido).

TRT	Prueba T		
	Valor L*	Valor a*	Valor b*
-40 ° C por 20 horas	**	**	**
-40 ° C por 24 horas	**	**	**
-196 ° C por 20 horas	**	**	**
-196 ° C por 24 horas	**	**	**

* Diferentes significativamente (P<0.05).

** Altamente diferentes significativamente (P<0.01).

Se determinó que en todos los tratamientos existen diferencias significativas en color entre el huevo liofilizado en polvo y el reconstituido.

5. CONCLUSIONES

- Al panel sensorial le gustó el huevo liofilizado reconstituido (huevo en torta) sin importar el tratamiento.
- La aplicación de la temperatura de congelación de $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$ preservó significativamente la viscosidad y textura del huevo liofilizado.
- El tiempo de secado a partir de las 20 horas no tuvo un efecto significativo en las características físico-químicas y sensoriales.
- No existen diferencias significativas en la aceptación de los atributos sensoriales de apariencia, aceptación general, color, aroma, textura y sabor.
- Entre el tiempo 20 y 24 no existen diferencias estadísticas significativas en cuanto a actividad de agua y porcentaje de humedad.

6. RECOMENDACIONES

- Comparar el huevo liofilizado con las mejores características físico-químicas con el huevo normal mediante una prueba sensorial de aceptación pareada con 100 panelistas.
- Determinar la vida de anaquel del huevo liofilizado.
- Realizar un análisis microbiológico para la detección de *Salmonella*.
- Realizar un estudio de mercado que determine la demanda, factibilidad financiera y rentabilidad, para justificar la producción del huevo liofilizado.
- Determinar un empaque adecuado que preserve las características organolépticas del huevo liofilizado de acuerdo al mercado meta.
- Hacer una comparación físico-química y sensorial del huevo liofilizado con respecto al huevo en polvo obtenido por “spray dry”.

7. BIBLIOGRAFÍA

Barbosa-Cánovas, GV; Vega-Mercado, H. 2000. Deshidratación de alimentos: liofilización. Trad. Al Ribas. Zaragoza, A ACRIBIA, S.A. p 203-232.

Costell, E. 2002. Centro de Recursos sobre Percepción y Ciencias Sensoriales: Evaluación Sensorial de la Textura de los Alimentos. Valencia, Rubes, S.A.

Díaz, J. 2001. Propiedades de los huevos de gallina (en línea). Consultado 7 de Jun. de 2007. Disponible en:
http://www.saludalia.com/Saludalia/web_saludalia/vivir_sano/doc/nutricion/doc/huevo2.htm

Easyalgae. 2005. Proceso de liofilización para obtener una conservación hasta 2 años sin aditivos (en línea). Consultado 23 Feb. de 2007. Disponible en:
<http://www.easyalgae.com/produccion.asp>

FAO y el servicio de inocuidad e inspección de los alimentos (departamento de agricultura de los Estados Unidos). 2002. Control y prevención de enfermedades (en línea). Consultado 21 de sept. de 2007. Disponible en:
<http://www.fao.org/DOCREP/MEETING/004/Y1940S.HTM>

Federación nacional de cafeteros de Colombia. 2004. Liofilización (en línea). Consultado 16 Nov. de 2006. Disponible en:
<http://www.cafedecolombia.com/quienessomos/fabrica/fabquees.html>

Guía de manejo comercial. 2004. Hy- line W-98, excelencia genética (en línea). Consultado 2 de Jun. de 2007. Disponible en: <http://www.hylyne.com>

Gasparetti, W. 2003. Huevo en polvo (en línea). Consultado 30 Sept. 2007. Disponible en:
<http://www.exportapymes.com/article647-Huevo-en-polvo-con-destino-a-Alemania.html>

Hy-Line. 2007. Hy-Line W-98 (en línea). Consultado 29 de Sept. de 2007. Disponible en:
<http://www.hy-line.com/asp/products/products.asp?navid=19>

Instituto nacional de estadística. 2007. Programa de escuelas saludables (en línea). Consultado 23 de Ago. de 2007. Disponible en: <http://www.proprogramaescuelasaludable.com>

Meilgaard, A. 2006. "La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y la práctica". Editorial Acribia S.A. Zaragoza-España.

Monssel, D; Beuchat, A. 1981. Microbiología de los Alimentos: Salmonelosis, Actividad de agua, pH, Tratamiento térmico. Trad. AI Ribas. Zaragoza, A ACRIBIA, S.A. p 155-259.

Niro 2006. Técnicas de liofilización (en línea). Consultado 16 Nov. de 2006. Disponible en:<http://www.niroinc.com>

Pérez, J. 2007. Programa de doctorado (tecnología agroalimentaria), ciencias y tecnologías agrarias y alimentarias (en línea). Consultado 25 de Jun. de 2007. Disponible en: <http://www.umh.es/doctor/fichAsiDoctor.asp?asi=7746&caca=2005>.

Quiminet. 2007. Secado spray para la industria del huevo (en línea). Consultado 30 Sept. de 2007. Disponible en:
http://www.quiminet.com.mx/ar0/ar_%25BC%25FB%251B%2521%25C8%25E0%25B4%25F2.htm

Rey. 1975. Deshidratación de alimentos: liofilización. Trad. AI Ribas. Zaragoza, A ACRIBIA, S.A. p 203.

Secretaria de agricultura y ganaderia. 2007. Enfermedades que afectan la avicultura (en línea). Consultado 17 Jul. De 2007. Disponible en:
<http://portal.rds.org.hn/listas/agricola/msg00892.html>

Secretaría de Estado del Despacho Presidencial. 2005. Programa Escuela Saludable (PES), (en línea). Consultado 24 de Agost. de 2007. Disponible en:
<http://www.sdp.gob.hn/unidades/pes/Componentes-Pes.htm>

Sensolab.2005. prueba de aceptación (en línea). Consultado 22 Jul. 2006. Disponible en:http://www.sensolab.net/servicios_02.htm

Singh, R; Heldman, D. 1998. Introducción a la Ingeniería de los Alimentos: Flujo de fluidos en el procesado de alimentos. Trad. F García Labiano y P García Bacaicoa. Zaragoza, A ACRIBIA, S.A. 54 p.

Thomas. 2007. Autosuficiencia: Leghorn Blanca (en línea). Consultado 29 Sept. de 2007. Disponible en:<http://www.autosuficiencia.com.ar/shop/detallenot.asp?notid=376>

Universidad central de Venezuela. 2006. Departamento de tecnología de alimentos: viscosidad de los alimentos (en línea). Consultado 12 de Oct. de 2007. Disponible en:<http://www.ciens.ucv.ve:8080/generador/sites/mmedina/archivos/Practica4.pdf>

Wageningen University.2006. Liofilización (en línea). Consultado 15 de mayo de 2007. Disponible en: <http://www.food-info.net/es/qa/qa-wi26.htm>

8. ANEXOS

Anexo 1. Fórmula para determinación del % de humedad

Peso de muestra = (Peso de crisol + Muestra húmeda) – Peso de crisol

% Humedad = $\frac{(\text{Peso crisol} + \text{Muestra húmeda}) - (\text{Peso crisol} + \text{Muestra seca})}{\text{Peso de muestra}} * 100$

Anexo 2. Hoja de evaluación sensorial.

Prueba de aceptación de huevos liofilizados en torta

Nombre _____ **Fecha** _____ **Muestra:** _____

Instrucciones: Observe y pruebe cada muestra de huevo en torta, indique el grado en que le gusta o desagrada cada muestra. Marque el número correspondiente a la descripción que UD. Considere apropiado de acuerdo a su criterio de aceptación. Recuerde tomar agua entre muestras.

1.) Color					Observaciones _____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	
2.) Aroma					_____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	
3.) Textura					_____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	
4.) Sabor					_____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	
5.) Apariencia general					_____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	
6.) Aceptación global					_____ _____
<input type="checkbox"/> 1	<input type="checkbox"/> 2	<input type="checkbox"/> 3	<input type="checkbox"/> 4	<input type="checkbox"/> 5	
Me desagrada Mucho	Me desagrada poco	No me agrada ni me desagrada	Me gusta poco	Me gusta mucho	

GRACIAS POR SU COLABORACIÓN

