

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS



**“OPTIMIZACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE GOMA DE
TARA Y ACEITE VEGETAL EN LA FORMULACIÓN DE UNA
MAYONESA “LIGHT” PARA MAXIMIZAR SU
ACEPTABILIDAD”**

Presentado por:

OLIVER HECTOR TALANCHA MORENO

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN
INDUSTRIAS ALIMENTARIAS**

Lima – Perú

2014

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

“OPTIMIZACIÓN DE LA INCORPORACIÓN DE GOMA DE TARA Y
ACEITE VEGETAL EN LA FORMULACIÓN DE UNA MAYONESA
“LIGHT” PARA MAXIMIZAR SU ACEPTABILIDAD”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO EN INDUSTRIAS ALIMENTARIAS

Presentado por:

OLIVER HECTOR TALANCHA MORENO

Sustentado y aprobado por el siguiente jurado:

.....
Mg. Sc. Luis Briceño Berru
PRESIDENTE

.....
Mg. Sc. Carlos C. Elias Peñafiel
MIEMBRO

.....
Dr. Milber Ureña Peralta
MIEMBRO

.....
Mg. Sc. Eduardo R. Morales Soriano
ASESOR

DEDICATORIA

A mis padres por su incommensurable e incondicional apoyo.

A todas aquellas personas que de una u otra manera contribuyeron con el desarrollo de este trabajo de investigación.

AGRADECIMIENTOS

A la empresa ALICORP S.A.A. y a todo el equipo del área de Desarrollo Tecnológico de Oleos y Derivados, por el apoyo técnico y financiero que tuvieron en el desarrollo de este trabajo de investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Eduardo Reynaldo Morales Soriano, por su inconmensurable y fraternal apoyo, así como por sus acertados consejos en el desarrollo de este trabajo de investigación.

A la Ing. Gladys Nilda Cortez Valdivia, por el apoyo inconmensurable en el planteamiento inicial del presente trabajo de investigación.

Al Ing. Mg. Sc. Carlos Cesar Elias Peñafiel, al Ing. Mg. Sc. Luis Briceño Berru y al Ing. Mg. Sc. Dr. Milber Ureña Peralta, miembros del jurado, a quienes agradezco por sus acertados consejos, en pos de la mejora de la presente investigación.

A todas aquellas personas que de una u otra forma participaron y aportaron en el desarrollo de la presente investigación.

RESUMEN

En la presente investigación se buscó optimizar la incorporación de goma de tara y aceite vegetal en la formulación de una mayonesa light, teniendo como criterio de optimización la maximización del nivel de agrado, mediante la evaluación de un panel sensorial y aplicando la metodología de Superficie de Respuesta, descrita por Ayala y Pardo (1995) y el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.11.; con un diseño completamente al azar con arreglo factorial. Asimismo se evaluó la significancia de los factores contenido de goma de tara y contenido de aceite, en las características reológicas y características físicoquímicas, para los diferentes tratamientos del diseño experimental.

Se encontró que los factores contenido de goma de tara (X1) y contenido de aceite vegetal (X2), afectaron significativamente ($\alpha < 0,05$) la variable respuesta, nivel de agrado, en el modelo experimental, para la zona experimental analizada; siendo la goma de tara la que presentó una mayor significancia. La formulación óptima, obtenida mediante la maximización del nivel de agrado, de la mayonesa light, presentó un contenido de goma de tara y aceite vegetal de 1,09% y 35,68%, respectivamente. Adicionalmente, los factores contenido de goma de tara (X1) y contenido de aceite vegetal (X2), fueron altamente significativos, a un 95% de nivel de confianza, y tuvieron un efecto directamente proporcional, en las características reológicas: firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad. Por otro lado, los factores, contenido de goma de tara (X1) y contenido de aceite vegetal (X2), no tuvieron un efecto significativo, a un 95% de nivel de confianza, en la Aw, el pH y la acidez (% ácido acético), para la zona experimental analizada.

Palabras clave: Mayonesa, Goma de Tara

ABSTRACT

In the present investigation we sought to optimize the incorporation of Tara gum and vegetable oil in the formulation of a light mayonnaise, with the optimization criterion, maximizing level of pleasure, through the evaluation of a sensory panel and applying the methodology of surface response, described by Ayala and Pardo (1995) and Statgraphics Centurion XVI statistical software version 16.1.11, using a completely randomized design with factorial arrangement. Additionally, it was evaluated the significance of the factors "Tara gum content" and "Vegetable oil content", in the rheological and physicochemical characteristics for different treatments on the experimental design.

It was found that the factors "Tara gum content" (X1) and "vegetable oil content" (X2), had a significant effect ($\alpha < 0.05$) on the response variable, level of pleasure, in the experimental area analyzed, of the experimental model. Being Tara gum, which had greater significance. The optimum formulation, obtained by maximizing the pleasure level, of the light mayonnaise, presented a Tara gum content and a vegetable oil content of 1.09% and 35.68%, respectively. Additionally, the factors, Tara gum content (X1) and vegetable oil content (X2) were highly significant, at a 95% confidence level, and had a directly proportional effect on the rheological characteristics: firmness, consistency, cohesiveness and viscosity. On the other hand, the factors, Tara gum content (X1) and vegetable oil content (X2), had no significant effect, at a 95% confidence level, on the Aw, pH, and acidity (% acetic acid), in the experimental area analyzed.

Key Word: Mayonnaise, Tara Gum

ÍNDICE GENERAL

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1	EMULSIONES	3
2.1.1	Características generales	3
2.1.2	Estabilidad de una emulsión	6
2.1.3	Propiedades generales de las emulsiones	8
2.1.3.1	Fracción de volumen de la fase dispersa	8
2.1.3.2	Distribución de tamaño de partícula	9
2.1.3.3	Propiedades interfaciales	10
2.1.3.4	Carga de la gota	11
2.1.3.5	Cristalinidad de las gotas	12
2.1.3.6	Interacciones entre gotas	13
2.1.4	Propiedades reológicas de las emulsiones	13
2.1.5	El sabor en las emulsiones	15
2.1.5.1	Partición del sabor	16
2.2	GOMA DE TARA (E-417)	21
2.2.1	Aplicaciones en alimentos	22
2.3	MAYONESA	24
2.4	OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS	27
2.4.1	Generalidades	27
2.4.1.1	Variables	27
2.4.1.2	Parámetros	28
2.4.1.3	Modelos matemáticos	28
2.4.1.4	Modelos físicos	29
2.4.1.5	Función objetivo	29
2.4.1.6	Superficie respuesta	30
2.4.1.7	Diseño de experimentos	32
2.4.1.8	Etapas de optimización	33
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	36
3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN	36
3.2	MATERIAS PRIMAS	36
3.3	EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS	36
3.3.1	Equipos	36
3.3.2	Materiales	37
3.3.3	Reactivos	37
3.4	MÉTODOS DE ANÁLISIS	38

3.4.1	Análisis Químico Proximal	38
3.4.1.1	Humedad y Materia Seca	38
3.4.1.2	Extracto Etéreo (Grasa).....	38
3.4.1.3	Proteína	38
3.4.1.4	Fibra Cruda	38
3.4.1.5	Ceniza	38
3.4.1.6	Extracto Libre de Nitrógeno	38
3.4.2	Análisis de Textura.....	39
3.4.3	Análisis Físicoquímicos	39
3.4.3.1	Acidez	39
3.4.3.2	pH.....	40
3.4.3.3	Aw.....	40
3.4.4	Análisis sensorial.....	40
3.4.5	Análisis Estadístico	41
3.5	METODOLOGÍA EXPERIMENTAL	42
3.5.1	Formulación y elaboración de la mayonesa light.....	42
3.5.2	Optimización	46
3.5.2.1	Etapa I: Screening.....	46
3.5.2.2	Etapa II: Escalamiento	49
3.5.2.3	Etapa III: Estimación de los modelos matemáticos de segundo orden	49
3.5.3	Validación de los niveles óptimos de las variables	51
3.5.4	Caracterización formulación óptima	51
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	52
4.1	GOMA DE TARA.....	52
4.2	OPTIMIZACIÓN	53
4.2.1	Etapa I: Screening	53
4.2.2	Etapa II: Escalamiento.....	56
4.2.3	Etapa III: Estimación del modelo matemático de segundo orden	56
4.2.4	Validación de los niveles óptimos de las variables	72
4.2.5	Caracterización de la formulación óptima.....	72
V.	CONCLUSIONES	74
VI.	RECOMENDACIONES.....	75
VII.	BIBLIOGRAFÍA	76
VIII.	ANEXOS	80

INDICE DE CUADROS

Cuadro 1: Usos de la goma de tara en alimentos, provisto por los usuarios	19
Cuadro 2: Formula estándar de mayonesa regular	36
Cuadro 3: Formula base de mayonesa light	38
Cuadro 4: Variables independientes para la etapa de screening	41
Cuadro 5: Diseño experimental 2^k con réplicas en el punto central	42
Cuadro 6: Variables independientes correspondientes al DCA con Arreglo Factorial de tres niveles	43
Cuadro 7: DCA con Arreglo Factorial de 3 niveles con una réplica del diseño	44
Cuadro 8: Análisis proximal de la goma de tara	46
Cuadro 9: Puntajes obtenidos en la prueba de nivel de agrado Etapa I	48
Cuadro 10: Análisis de varianza de la prueba de nivel de agrado Etapa I	49
Cuadro 11: Puntajes obtenidos en la prueba de nivel de agrado Etapa III	51
Cuadro 12: Análisis de varianza de la prueba de nivel de agrado Etapa III	52
Cuadro 13: Análisis de textura a los puntos experimentales del modelo	60
Cuadro 14: Análisis de textura a la mayonesa regular referencial	60
Cuadro 19: Características fisicoquímicas de los puntos experimentales del modelo	63
Cuadro 20: Características fisicoquímicas de la mayonesa regular	64
Cuadro 21: Optimización de la variable respuesta nivel de agrado	65
Cuadro 22: Formulación optimizada de la mayonesa light	65
Cuadro 23: Comparación del valor estimado y observado para la respuesta en el punto óptimo	66
Cuadro 24: Análisis químico proximal de la mayonesa light optimizada	67
Cuadro 25: Análisis fisicoquímico de la mayonesa light optimizada	67

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Demostración esquemática de la diferencia entre la estabilidad termodinámica y cinética	6
Figura 2: Esquema de mecanismos físicos responsables por la inestabilidad de emulsiones	6
Figura 3: Representación esquemática de una emulsión monodispersa y polidispersa	7
Figura 4: Ilustración del comportamiento reológico de dispersiones coloidales para sistemas de esferas rígidas en ausencia de interacciones de alto rango	10
Figura 5: Esquema de moléculas de sabor distribuidas entre ellas, entre la fase líquida y su fase de vapor, de acuerdo a su coeficiente de equilibrio de partición ($K_{GL} = C_G/C_L$)	12
Figura 6: Esquema de la partición del sabor en un sistema aceite, agua y gas	14
Figura 7: (a) Influencia de la fracción de volumen de fase dispersa y el coeficiente de partición aceite-agua en la concentración de moléculas de sabor en la fase acuosa de una emulsión aceite en agua ($K_{GC} = 0,01$, $V_G = 10 \text{ cm}^3$, $V_E = 100 \text{ cm}^3$). (b) Influencia de la fracción de volumen de fase dispersa y el coeficiente de partición aceite-agua en la concentración de moléculas de sabor en la fase gaseosa de una emulsión aceite en agua ($K_{GC} = 0,01$, $V_G = 10 \text{ cm}^3$, $V_E = 100 \text{ cm}^3$)	15
Figura 8: Estructura molecular de la goma de Tara	16
Figura 9: Esquema general de pasos del diseño experimental para la optimización de procesos	29
Figura 10: Flujo de operaciones de elaboración de mayonesa en el reactor MaxxDLab ...	39
Figura 11: Resultado del nivel de agrado observado versus el nivel de agrado estimado por el modelo de segundo orden	53
Figura 12: Gráfica de efectos principales para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	54
Figura 13: Gráfica de interacción para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	55

Figura 14: Superficie de respuesta para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	56
Figura 15: Gráfico de contornos para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	57
Figura 16: Superficie de respuesta para el atributo firmeza de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	61
Figura 17: Superficie de respuesta para el atributo consistencia de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	61
Figura 18: Superficie de respuesta para el atributo cohesividad de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	62
Figura 19: Superficie de respuesta para el atributo cohesividad de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial	62

INDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Resultados del análisis químico proximal de la goma de Tara	75
Anexo 2: Cartilla de Evaluación sensorial para la prueba de nivel de agrado	76
Anexo 3: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado en la etapa de screening ..	77
Anexo 4: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado en la etapa de estimación del modelo matemático de segundo orden	93
Anexo 5: Resultado del análisis de textura de los tratamientos	129
Anexo 6: Análisis de varianza de los resultados del atributo de textura: firmeza	130
Anexo 7: Análisis de varianza de los resultados del atributo de textura: consistencia ...	131
Anexo 8: Análisis de varianza de los resultados del atributo de textura: cohesividad	132
Anexo 9: Análisis de varianza de los resultados del atributo de textura: índice de viscosidad	133
Anexo 10: Resultado de características fisicoquímicas de los tratamientos	134
Anexo 11: Análisis de varianza de los resultados de Aw	135
Anexo 12: Análisis de varianza de los resultados de pH	136
Anexo 13: Análisis de varianza de los resultados de acidez (Ac. Acético)	137
Anexo 14: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado de la formulación optima	138
Anexo 15: Resultados del análisis químico proximal de la formulación optima	140
Anexo 16: Resultados de la caracterización fisicoquímica de la formulación optima	141

I. INTRODUCCIÓN

Los productos bajos en grasa son una muy buena alternativa en la dieta de aquellos que están bajo regímenes alimenticios o de aquellos que por razones de salud deben cuidarse del consumo de ciertos alimentos con alto aporte calórico. No obstante, mayormente, estos productos presentan características sensoriales que difieren significativamente de sus homólogos regulares, estigmatizándose así como productos dietéticos, los cuales presentan una baja aceptación por parte de los consumidores. Ante esto, surge la idea de desarrollar una mayonesa light, formulada con goma de tara, la cual es un modificador de textura, cuya función en esta investigación, consistirá en mejorar las características sensoriales del producto y por ende el nivel de agrado del mismo.

La goma de tara, es un polisacárido, formado principalmente por galactomananos, con propiedades estabilizantes y espesantes; proveniente del endospermo de la semilla de Tara (*Caesalpinia spinosa*, Kuntze), la cual es una especie forestal nativa del Perú. En la actualidad, el Perú es considerado el mayor productor y exportador de goma de tara en el mundo, con cerca de un 80% de la producción mundial.

Adicionalmente, en el presente trabajo de investigación se aplicará la metodología de superficie de respuesta, la cual según Montgomery (2005), viene a ser una colección de técnicas matemáticas y estadísticas útiles en el modelado y el análisis de problemas en los que una respuesta de interés, la cual para nuestro caso será el nivel de agrado, recibe la influencia de diversas variables, las cuales serán para el presente trabajo de investigación, contenido de goma de tara y contenido de aceite, respectivamente; donde el objetivo es optimizar la respuesta de interés.

En base a lo anteriormente mencionado, se plantearon dos objetivos. El primero busca optimizar la incorporación de goma de tara y aceite vegetal en la formulación de la mayonesa light, maximizando el nivel de agrado de la mayonesa, mediante la evaluación de un panel sensorial; aplicando el método de superficie de respuesta.

Mientras que el segundo objetivo busca evaluar la significancia y el efecto de los factores contenido de goma de tara y contenido de aceite, en las características reológicas y características fisicoquímicas, para los diferentes tratamientos del diseño experimental.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EMULSIONES

2.1.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES

Como concepto general, McClements (2005), señala que una emulsión consiste de dos líquidos inmiscibles (usualmente agua y aceite), de los cuales, uno de ellos se encuentra dispersado en forma de pequeñas gotas esféricas en el otro. Asimismo McClements (2005), señala que en la mayoría de alimentos, los diámetros de las gotas usualmente se encuentran entre 0,1 y 100 μm . Adicionalmente, las emulsiones pueden ser convenientemente clasificadas de acuerdo a la distribución espacial relativa del aceite y la fase acuosa. Un sistema que consiste de gotas de aceite dispersadas en una fase acuosa es llamado una emulsión aceite/agua o O/W (oil/water), por ejemplo, leches, cremas, aliños, mayonesa, bebidas, sopas y salsas. Un sistema que consiste de gotas de agua dispersas en una fase oleosa es llamada por otro lado, una emulsión agua/aceite o W/O (water/oil), por ejemplo, margarinas y mantequilla.

Por otro lado, McClements (2005) señala también, que la sustancia que conforma las gotas de una emulsión es referida como fase dispersa, discontinua o interna, mientras que la sustancia que conforma el líquido de los alrededores es llamada fase continua o externa. En adición a las emulsiones convencionales O/W y W/O descritas anteriormente, también es posible preparar varios tipos de emulsiones múltiples, por ejemplo, emulsiones aceite-en-agua-en-aceite (O/W/O) o agua-en-aceite-en-agua (W/O/W). Por ejemplo, una emulsión W/O/W, consiste de gotas de agua dispersas con gotas de aceites grandes, las cuales a su vez están dispersas en una fase acuosa continua. No obstante, si bien estas emulsiones pueden tener ventajas sobre las emulsiones convencionales, los investigadores aún siguen en el desarrollo de emulsiones múltiples que

puedan ser procesadas económicamente, usando ingredientes de grado alimentario y que tengan atributos de calidad deseables, así como también suficiente tiempo de vida útil.

Respecto al sistema, Israelachvili (1992), señala que es posible formar una emulsión, homogenizando aceite y agua en conjunto, sin embargo las dos fases rápidamente se separaran en un sistema compuesto por una fase oleosa (densidad menor) y una fase acuosa (densidad mayor). Esto se da por que las gotas tienden a juntarse con sus homólogos cuando estas colisionan, lo cual al final conlleva a una completa separación de fases. La fuerza motriz para este proceso, se basa en que el contacto entre las moléculas de agua y aceite es termodinámicamente desfavorable, por lo que una emulsión es un sistema termodinámicamente inestable. No obstante, es posible formar emulsiones cineticamente estables (metaestable) por un razonable periodo de tiempo (pocos días, semanas, meses o años), mediante el uso de sustancias conocidas como estabilizantes.

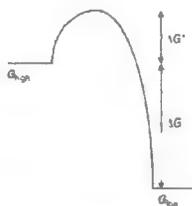
Asimismo, McClements (2005), señala que un estabilizante es cualquier ingrediente que puede ser usado para mejorar la estabilidad de una emulsión y puede ser clasificado como un emulsificante o un modificador de textura, dependiendo de su modo de acción. Los emulsificantes son moléculas superficie-activas que se adsorben a la superficie de las gotas de aceite recién formadas tras la homogenización, formando así una membrana protectora que previene que las gotas se junten lo suficiente como para agregarse. La mayoría de los emulsificantes son moléculas anfífilas, las cuales tienen regiones polares y regiones apolares en la misma molécula. Los emulsificantes más utilizados en la industria de alimentos son surfactantes tales como los fosfolípidos, proteínas y polisacáridos. Por otro lado, los modificadores de textura pueden ser divididos en dos categorías dependiendo de su modo de operación y las características reológicas de sus soluciones: agentes espesantes y agentes gelificantes. Los agentes espesantes son ingredientes que son usados para incrementar la viscosidad de la fase continua de las emulsiones, mientras que los agentes gelificantes son ingredientes que son usados para formar un gel en la fase continua de la emulsión. El mecanismo de acción de los modificadores de textura se basa en la reducción del movimiento de las gotas de fase dispersa en la fase continua. En la industria de alimentos, los agentes espesantes y gelificantes más usados suelen ser los polisacáridos o las proteínas en emulsiones O/W, mientras que en emulsiones del tipo W/O, los más usados son los fosfolípidos.

Dickinson (2005), menciona que una apreciación de la diferencia entre la estabilidad termodinámica de un sistema y su estabilidad cinética es crucial para el entendimiento de las propiedades de las emulsiones alimentarias. Considerando un sistema que consiste de un gran número de moléculas que pueden ocupar dos diferentes estados de energía libre: G_{low} y G_{high} (Figura 1). El estado con la menor energía libre es el estado termodinámicamente favorable, por lo que las moléculas tienden a ocupar este estado. En equilibrio termodinámico, los dos estados se encuentran poblados de acuerdo a la distribución Boltzmann:

$$\frac{n_{high}}{n_{low}} = \exp\left(-\frac{(G_{high} - G_{low})}{kT}\right) \quad (1)$$

Donde n_{low} y n_{high} son los números de moléculas que ocupan el nivel de energía G_{low} y G_{high} , k es la constante de Boltzmann ($k = 1.38 \times 10^{-23}$ J/K) y T es la temperatura absoluta. Mientras más grande sea la diferencia entre los dos niveles de energía comparados con la energía térmica del sistema (kT), mayor será la fracción de moléculas en el estado de energía más bajo. En la práctica, un sistema no siempre será capaz de alcanzar el equilibrio durante la escala de tiempo de observación, por existir una barrera de energía libre, ΔG^* , entre los dos estados (Figura 1). Es por esto que el ratio al cual se da una transformación de un alto a un bajo estado de energía libre decrece conforme la barrera de energía libre se incrementa. Cuando la barrera de energía libre es lo suficientemente grande, el sistema se mantendrá en un estado termodinámicamente inestable por un considerable periodo de tiempo, en el que se considera al sistema cinéticamente estable o meta estable. En emulsiones alimentarias, existen un gran número de estados meta estables intermedios entre la emulsión inicial y las fases completamente separadas, existiendo barreras de energía libre asociadas con la transición entre cada uno de estos estados. Sin embargo, es posible identificar una sola barrera de energía libre, la cual está asociada con un particular proceso fisicoquímico, que es el factor más importante que determina la estabilidad cinética general de la emulsión.

Figura 1: Demostración esquemática de la diferencia entre la estabilidad termodinámica y cinética.

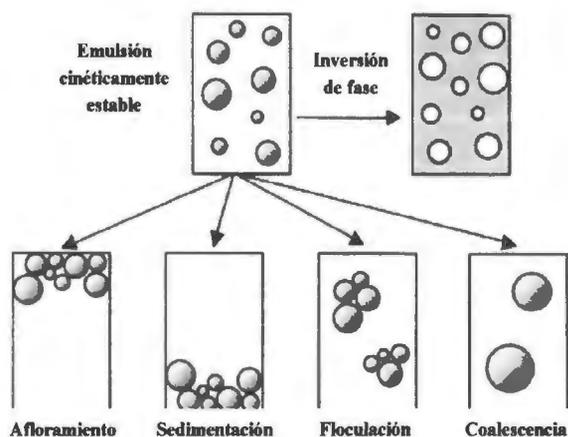


FUENTE: McClements (2005)

2.1.2 ESTABILIDAD DE UNA EMULSIÓN

McClements (2005), señala que el término “estabilidad de una emulsión” es ampliamente utilizado para describir la habilidad de una emulsión para resistir cambios de sus propiedades en el tiempo. Sin embargo, existe una gran variedad de mecanismos fisicoquímicos que tal vez sean responsables de la alteración de las propiedades de una emulsión, por lo cual es necesario determinar, cuál de estos mecanismos son importantes en un sistema e particular, antes de desarrollar una estrategia efectiva para mejorar la estabilidad. Un número de los mecanismos físicos más comunes, responsables por la inestabilidad de emulsiones alimentarias, son mostrados esquemáticamente en la Figura 2.

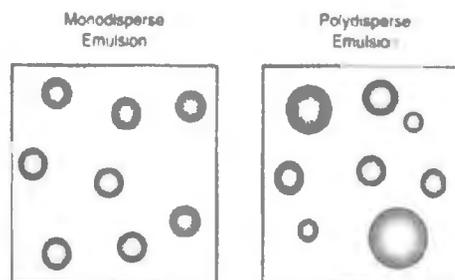
Figura 2: Esquema de mecanismos físicos responsable por la inestabilidad de emulsiones.



FUENTE: McClements (2005)

Respecto al esquema, McClements (2005) menciona que afloramiento y sedimentación, son ambos tipos de separación gravitacional. El afloramiento describe el movimiento hacia arriba de las gotas, el cual va de la mano con el hecho de que éstas tienen una menor densidad que el líquido circundante, mientras que la sedimentación describe el movimiento hacia abajo de las gotas, el cual está relacionado con el hecho de que éstas tienen una mayor densidad que el líquido circundante. Por otro lado, floculación y coalescencia, son ambos tipos de agregación de gotas. La floculación ocurre cuando dos o más gotas se juntan para formar un agregado, en el cual las gotas mantienen su integridad individual, mientras que coalescencia es el proceso en donde dos o más gotas se juntan para formar una sola gota más grande. La coalescencia extensiva de gotas puede eventualmente llevar a la formación de una capa de aceite en la parte superior de la muestra, lo cual es conocido como “oiling-off”. La inversión de fases (*phase inversion*) es el proceso en donde una emulsión O/W es convertida en una emulsión W/O o viceversa. En adición a los procesos físicos mencionados arriba, también existen varios procesos químicos, bioquímicos y microbiológicos que se dan en emulsiones alimentarias, los cuales también pueden afectar adversamente el tiempo de vida y la calidad, por ejemplo, la oxidación lipídica, hidrólisis enzimática y crecimiento microbiano.

Figura 3: Representación esquemática de una emulsión monodispersa y polidispersa.



FUENTE: McClements (2005)

2.1.3 PROPIEDADES GENERALES DE LAS EMULSIONES

2.1.3.1 Fracción de volumen de la fase dispersa

McClements (2005), señala que la concentración de gotas en una emulsión juega un rol importante en la determinación de su costo, apariencia, textura, sabor y estabilidad. Es por eso importante ser capaz de reportar clara, específica y seguramente la concentración de gotas de emulsiones.

La concentración de gotas es usualmente descrita en términos de la fracción de volumen de la fase dispersa (ϕ), la cual es igual al volumen de las gotas de la emulsión (V_D) dividido entre el volumen total de la emulsión (V_E): $\phi = V_D / V_E$. En algunas situaciones, es más conveniente expresar la concentración de gotas en términos de la fracción de masa de la fase dispersa (ϕ_m), la cual es igual a la masa de las gotas de la emulsión (m_D) dividido entre la masa total de la emulsión (m_E): $\phi_m = m_D / m_E$. Frecuentemente, la concentración de gotas es expresada como porcentaje de volumen o masa, más que como fracción de volumen o masa. La fracción de masa y fracción de volumen están relacionadas mutuamente a través de las siguientes ecuaciones:

$$\phi_m = \frac{\phi \rho_2}{\phi \rho_2 + (1 - \phi) \rho_1} \quad (2)$$

$$\phi = \frac{\phi_m \rho_1}{\phi_m \rho_1 + (1 - \phi_m) \rho_2} \quad (3)$$

Donde ρ_1 y ρ_2 son las densidades de la fase continua y dispersa respectivamente. Cuando las densidades de las dos fases son iguales, la fracción de masa es equivalente a la fracción de volumen. Debe tomarse en cuenta que si el espesor de la membrana interfacial (δ) que rodea a las gotas es significativo en comparación con el radio de la gota (r), entonces la fracción de volumen efectiva de las gotas será más grande que su actual fracción de volumen: $\phi_{eff} = \phi(1 + \delta/r)^3$. Este incremento podría tener importantes consecuencias para la estabilidad y reología de algunas emulsiones.

La fracción de volumen de la fase dispersa es frecuentemente conocida debido a que la concentración de los ingredientes utilizados para preparar la emulsión es

cuidadosamente controlada. No obstante, variaciones locales en la fracción de volumen de la fase dispersa ocurren en la emulsión cuando las gotas se acumulan tanto en la parte baja como superior de la emulsión, lo cual está relacionado con el afloramiento y la sedimentación. Adicionalmente, la fracción de volumen de la fase dispersa de una emulsión puede variar durante el procesamiento de un alimento, por ejemplo, si un mezclador o válvula no es operada eficientemente. Consecuentemente, es importante tener técnicas analíticas para medir la fracción de volumen de la fase dispersa.

2.1.3.2 Interacciones entre gotas

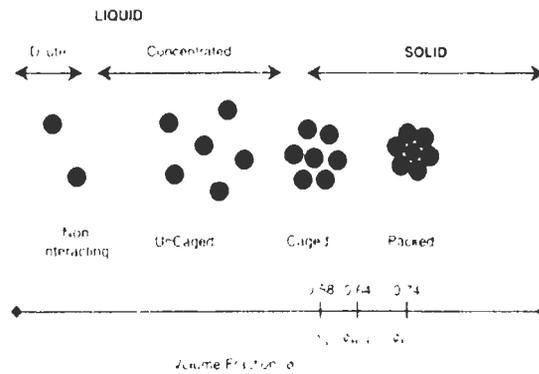
Muchas de las propiedades fisicoquímicas y sensoriales de las emulsiones alimentarias están fuertemente afectadas por las interacciones atractivas y repulsivas que actúan entre las gotas. Existen diferentes tipos de interacciones coloidales que podrían operar en emulsiones alimentarias, entre ellas tenemos a interacciones del tipo Van der Waals, electrostáticas, estéricas, depleción e interacciones hidrofóbicas. Estas interacciones varían en su signo (atractivas o repulsivas), magnitud (fuertes o débiles) y rango (largas o cortas). Las características generales de las interacciones gota-gota en una particular emulsión alimentaria está determinada por la contribución relativa de los diferentes tipos de interacciones coloidales operando en un sistema específico, el cual depende a su vez de la composición de la emulsión, la microestructura y el medio en el que se encuentra. Cuando las fuerzas atractivas dominan, las gotas tienden a comportarse como entidades individuales. Las interacciones entre gotas de emulsiones puede conllevar a grandes cambios en la estabilidad, reología, apariencia y sabor de emulsiones alimentarias, por lo que es crucial entender su origen y características fisicoquímicas (McClements, 2005).

2.1.4 PROPIEDADES REOLÓGICAS DE LAS EMULSIONES

McClements (2005), señala que las emulsiones alimentarias exhiben un amplio rango de propiedades reológicas, llenando desde líquidos de baja viscosidad hasta casi sólidos rígidos. Asimismo, el comportamiento reológico de un alimento en particular dependerá de los tipos y concentraciones de ingredientes que contienen, así como también de las condiciones de procesamiento y almacenaje que experimenta. En la Figura 4, podemos observar el comportamiento reológico de dispersiones coloidales que contienen

esferas rígidas en ausencia de interacciones de alto rango, las cuales son fuertemente dependientes de la fracción de volumen de fase dispersa de las partículas.

Figura 4: Ilustración del comportamiento reológico de dispersiones coloidales para sistemas de esferas rígidas en ausencia de interacciones de alto rango.



FUENTE: McClements (2005)

1. Sistemas diluidos ($\phi < 0,05$): Las partículas están lo suficientemente alejadas como para no interactuar entre ellas y su movimiento es solo determinado por fuerzas Brownianas. La emulsión es un fluido con una relativa baja viscosidad, la cual es dominada por la viscosidad de la fase continua.
2. Sistemas concentrados ($0,05 < \phi < 0,49$): Las partículas interactúan apreciablemente entre ellas a través de interacciones hidrodinámicas y colisión de partículas, lo cual determina su movimiento. La emulsión sigue siendo fluida y presenta una viscosidad que aumenta a medida que la concentración de partículas se incrementa.
3. Sistemas parcialmente "cristalinos" ($0,49 < \phi < 0,54$): En este rango de concentraciones, las partículas se separan en dos distintas fases: una fase "cristalina" la cual está formada por partículas altamente empaquetadas; y una fase "fluida" formada por partículas empaquetadas que se movilizan difícilmente.
4. Sistemas vítreos ($0,58 < \phi < 0,64$): El movimiento de las partículas es severamente restringido por la alta proximidad de sus vecinos, y se puede

considerar que las partículas se encuentran atrapadas en “jaulas”, donde estas pueden vibrar pero no moverse con facilidad por encima de ellas. Este tipo de emulsiones puede exhibir tanto un comportamiento de sólido como de fluido, actuando como un sólido a bajos esfuerzo de corte y como fluido una vez que un umbral de fuerza crítica ha sido excedido y las partículas pueden moverse una por encima de la otra.

5. Sistemas “cristalinos” ($\phi > 0,64$): Las partículas están empaçadas tan cerca entre ellas que ya no pueden experimentar ningún movimiento de vibración o translación. Un fuerte empaçamento aleatorio ocurre a $\phi = 0,64$, y estructuras empaçadas más densamente ocurren a mas altas concentraciones donde otro tipo de estructuras cristalinas son adoptadas.

No obstante, cabe mencionar, que las fracciones de volumen dadas son generalmente diferentes a las de las emulsiones alimentarias reales, puesto que en los alimentos las partículas son deformables y están sujetas a varios tipos de fuerzas de atracción y repulsión.

2.1.5 EL SABOR EN LAS EMULSIONES

De acuerdo a Smith y Margolskee (2001), la percepción general del sabor de un alimento está relacionada con las señales sensoriales que van al cerebro; resultantes de la interacción de componentes volátiles y no volátiles de la comida, con los receptores en la nariz y boca antes, durante y después de la masticación.

El sabor de un alimento no se determina simplemente por el tipo o la concentración de las moléculas de sabor presentes, sino también por su habilidad para alcanzar el apropiado receptor sensorial en la nariz y boca (Taylor y Linforth, 1996; Larson y Larson, 1997; citados por McClements, 2005).

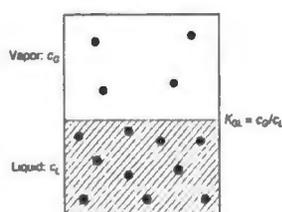
Por otro lado, McClements (2005), señala que el tiempo necesitado para que una determinada concentración de sabor alcance un receptor depende de su concentración inicial, su locación inicial en el alimento, y su habilidad para moverse de su locación hacia el receptor. Es por esto que el perfil de sabor en conjunto depende de la partición y el

transporte de masa de las varias moléculas de sabor en las diferentes regiones del alimento, entre las cuales podemos encontrar espacio de cabeza, aceite, agua y interfase, para el caso específico de una emulsión. Adicionalmente, señala también que la partición del sabor y el transporte de masa en emulsiones depende de las características de las moléculas de sabor (tamaño, polaridad, carga eléctrica), sus interacciones con otros componentes (enlazamiento, solubilización), las características de la emulsión (fracción de volumen de la fase dispersa, distribución del tamaño de gota, propiedades interfaciales), y propiedades fisicoquímicas de los componentes de las fases (polaridad, reología, estado físico).

2.1.5.1 Partición del sabor

El sistema de una emulsión puede ser convenientemente dividido en cuatro fases entre las cuales las moléculas de sabor se distribuyen: el interior de las gotas, la fase continua, la región interfacial agua-aceite y la fase gaseosa encima de la emulsión. La concentración relativa de las moléculas de sabor en cada una de estas regiones dependerá de su estructura molecular y las propiedades de cada fase (Baker, 1987; Bakker, 1995; de Roos, 2000; citados por McClements, 2005).

Figura 5: Esquema de moléculas de sabor distribuidas entre ellas, entre la fase líquida y su fase de vapor de acuerdo a su coeficiente de equilibrio de partición ($K_{GL} = C_g/C_L$).



FUENTE: McClements (2005)

La situación más simple a considerar es la partición de un sabor entre un líquido homogéneo y la fase de vapor sobre este (Figura 5). En equilibrio termodinámico, el sabor se distribuye asimismo entre el líquido y el vapor de acuerdo al coeficiente de equilibrio de partición (Taylor, 1998).

$$K_{GL} = \frac{a_G}{a_L} \quad (4)$$

donde a_G y a_L son los coeficientes de actividad del sabor en la fase gaseosa y líquida, respectivamente. La concentración de sabores en los alimentos es usualmente muy baja, por lo que los coeficientes de actividad pueden ser reemplazados por concentraciones, dado que las interacciones entre las moléculas de sabor son usualmente insignificantes.

$$K_{GL} = \frac{c_G}{c_L} \quad (5)$$

donde c_G y c_L son las concentraciones del sabor en la fase gaseosa y líquida, respectivamente. Desde un punto de vista práctico, es conveniente representar la partición del sabor como la fracción de masa de la cantidad total de sabor en el sistema que está presente en la fase gaseosa:

$$\Phi_m = \frac{1}{1 + \frac{V_L}{V_G} K_{GL}} \quad (6)$$

donde V_G y V_L son los volúmenes de la fase gaseosa y líquida, respectivamente.

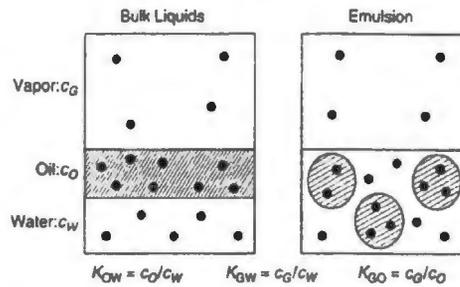
La magnitud del coeficiente de partición gas-líquido depende de la fuerza relativa de las interacciones entre las moléculas de sabor y sus alrededores en las fases gaseosa y líquida (Israelachvili, 1992).

En una emulsión ideal, la cual consiste de dos líquidos inmiscibles en la ausencia de un emulsificante, se tiene que considerar la partición del sabor a lo largo de las fases dispersa, continua y gaseosa (Figura 6). Por lo que se tienen que definir tres diferentes coeficientes de partición:

$$K_{DC} = \frac{C_D}{C_C}, \quad K_{GC} = \frac{C_G}{C_C}, \quad K_{GD} = \frac{C_G}{C_D} \quad (7)$$

donde K es el coeficiente de partición, C es la concentración, y los subcriptos D , C y G se refieren a la fase dispersa, continua y gaseosa, respectivamente.

Figura 6: Esquema de la partición del sabor en un sistema aceite, agua y gas.



FUENTE: McClements (2005)

En los alimentos, las fases dispersa y continua son usualmente aceite y agua. Por lo que la distribución de moléculas de sabor entre estas dos fases se encuentra caracterizada por el coeficiente de partición aceite-agua (K_{OW}), con un $K_{OW} < 1$, para el caso predominante de moléculas de sabor polares y un $K_{OW} > 1$ para el caso predominante de moléculas de sabor apolares.

Adicionalmente, la partición de moléculas de sabor entre las fases de aceite y agua, depende de la fuerza relativa de sus interacciones moleculares con los alrededores en ambas fases (Israelachvili, 1992). Por lo que, moléculas apolares tienden a favorecer la fase aceite, mientras que moléculas polares favorecen a la fase acuosa.

Asimismo, Overbosch *et al.* (1991), señala que el coeficiente de partición de una molécula de sabor entre una emulsión y la fase gaseosa se encuentra dada por:

$$\frac{1}{K_{GE}} = \frac{\phi_D}{K_{GD}} + \frac{\phi_C}{K_{GC}} \quad (8)$$

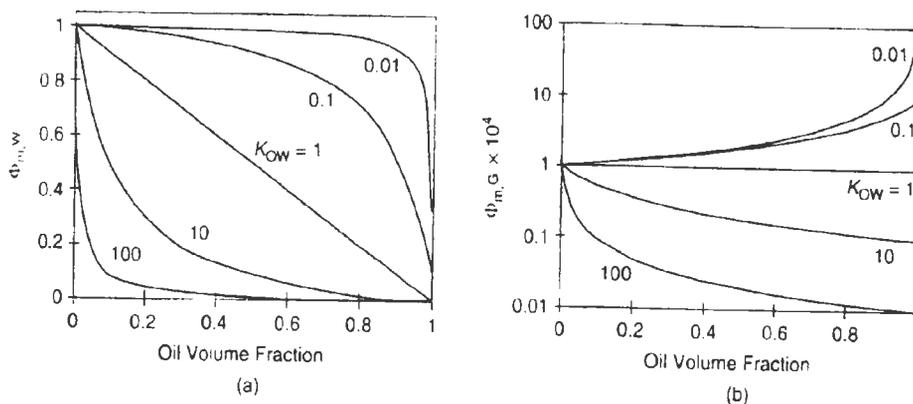
donde $\phi_D + \phi_C = 1$. Por lo que, el coeficiente de partición entre una emulsión y su fase gaseosa se puede predecir, mediante el conocimiento de K_{GD} y K_{GC} .

Predicciones de la fracción de masa del sabor en la fase acuosa y fase gaseosa de emulsiones aceite-agua, con la misma concentración de sabor pero diferente fracción de volumen de la fase dispersa, son mostradas en la Figura 7. Para el caso de sabores apolares ($K_{OW} > 1$), el sabor en las fases acuosa y gaseosa decrecen, mientras el contenido de aceite se incrementa. La pronunciación de este decrecimiento, se incrementa a medida que las moléculas de sabor se vuelven más hidrofobicas, por lo que incluso un pequeño incremento

en la concentración de gotas en una emulsión aceite-agua diluida podría causar un gran decrecimiento en la concentración de sabor en las fases acuosa y gaseosa, para el caso específico de un sabor altamente apolar ($K_{OW} \gg 1$).

Para el caso de sabores polares ($K_{OW} < 1$), la concentración de sabor en la fase gaseosa se incrementa ligeramente, mientras que la concentración de sabor en la fase acuosa decrece ligeramente, a medida que la fracción de volumen de fase dispersa (ϕ) se incrementa, a contenidos relativamente bajos de aceite. No obstante, los cambios se dan más abruptamente a contenidos de aceite superiores (Figura 7). La pendiente de los cambios a altos contenidos de aceite aumenta a medida que las moléculas de sabor se vuelven más hidrofílicas. Referente a esto, Guyon *et al.* (1996); Jo y Ahn (1999); Miettinen *et al.* (2002); citados por McClements (2005), señalan que los sabores volátiles apolares en emulsiones de aceite en agua relativamente diluidas, se vuelven más olorosas a medida que el contenido de grasa decrece, mientras que los sabores volátiles polares se mantienen relativamente sin cambios.

Figura 7: (a) Influencia de la fracción de volumen de fase dispersa y el coeficiente de partición aceite-agua en la concentración de moléculas de sabor en la fase acuosa de una emulsión aceite en agua ($K_{GC} = 0,01$, $V_G = 10 \text{ cm}^3$, $V_E = 100 \text{ cm}^3$). (b) Influencia de la fracción de volumen de fase dispersa y el coeficiente de partición aceite-agua en la concentración de moléculas de sabor en la fase gaseosa de una emulsión aceite en agua ($K_{GC} = 0,01$, $V_G = 10 \text{ cm}^3$, $V_E = 100 \text{ cm}^3$).



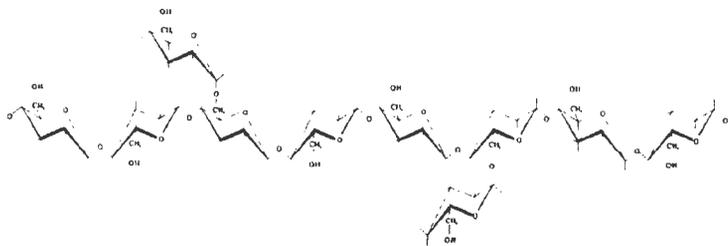
FUENTE: McClements (2005)

2.2 GOMA DE TARA (E-417)

Pszczola (2003) menciona que la goma de tara es una goma natural de semilla, derivado del arbusto de la tara (*Caesalpinia spinosa*). Su estructura y funcionalidad es similar a la de los demás galactomananos establecidos, locust bean gum y goma guar.

Según Cubero *et al.* (2002), la goma de tara es un galactomanano que consiste de una cadena principal de manosa con cadenas laterales de galactosa en proporción 3:1. Hui y Neukon (1964); Cairns *et al.* (1986), citados por Fernandes (1994) confirman lo mencionado, afirmando que la goma de tara presenta una relación de M/G cercana a 3, esto se puede observar en la Figura 8.

Figura 8: Estructura molecular de la goma de Tara



FUENTE: FSANZ (2006)

Por otro lado, la goma de Tara es un aditivo alimentario aprobado por el sistema de comisión del Codex Alimentarius (codex) y tiene como propiedades funcionales el ser un espesante y estabilizante. Le ha sido otorgado el código de aditivo alimentario INS (International Numbering System) numero INS 417. Por otro lado la goma de tara tiene un CAS (Chemical Abstracts Service) numero de 39300-88-4 y un EINECS (European Inventory of Existing Commercial Substances) numero de 254-409-6 (FSANZ, 2006).

La cobertura de la semilla es dura, por lo que se requiere tratamiento con ácidos o calor para procesar y obtener el endospermo (22% de la semilla). La goma de tara extraída del endospermo es un polvo blanco-amarillo, el cual es soluble en agua pero no en etanol (FSANZ, 2006).

Así mismo la goma de tara cuenta con especificaciones de pureza listadas en la junta FAO/WHO del Expert Committee on Food Additives (JECFA) Compendium of Food Additive Specifications y la comisión Europea (FSANZ, 2006).

Según Pszczola (2003), la goma de tara tiene una buena solubilidad y viscosidad en agua fría, entre 24-30° C. Además menciona que al igual que la goma locust bean, esta actúa sinérgicamente con kappa-carragenina y goma xantana incrementando la resistencia del gel haciéndolos menos propensos a la sinéresis.

Cubero *et al.* (2002) por su parte, resaltan que su comportamiento es más parecido al de la goma garrofín que a la de guar, y aunque se disuelve bastante bien en agua fría, su máxima hidratación se obtiene en caliente.

Pszczola (2003) afirma que las soluciones con goma de tara son más viscosas y de fina textura comparada con soluciones de goma locust bean. Además, menciona que esta goma provee una mejor protección a choques térmicos, imparte una sabrosa sensación a mantequilla y requiere usarse a niveles 20-25% menores que la goma locust bean y ofrece resistencia a la separación en procesos de gran cizalla.

La goma tara fue evaluada por JECFA en 1986 y luego de varios análisis y pruebas para determinar cuál es la cantidad de goma que puede consumir el hombre y que no cause ningún daño se determinó que esta goma no tiene un IDA (ingesta diaria admisible) especificado. Esto quiere decir que es una sustancia de muy baja toxicidad y puede ser utilizada como aditivo alimentario, siguiendo buenas prácticas de manufactura. Asimismo, esta goma ha sido aceptada por la UE para utilizarse como aditivo; también sin un límite de cantidad a ingerir al día. La Food Standards Australia New Zealand (FSANZ) también acepta a la goma tara como un aditivo (FSANZ, 2006).

2.2.1 APLICACIONES EN ALIMENTOS

La goma tara es usada en alimentos por su capacidad espesante y estabilizante; pero también se utiliza como gelificante para inhibir la formación de cristales de azúcar e impedir que se liberen sabores. También se utiliza para aumentar la viscosidad de los productos, prevenir la sedimentación de partículas y mejorar las emulsiones (FSANZ, 2006).

Los aplicantes proveen una larga lista de varias aplicaciones en alimentos para la goma de tara, la cual es empleada la mayoría de veces como espesante. La concentración esperada, para todos los productos se encuentra en el rango 0.05-1%.

En el Cuadro 1 los aplicantes proveen mas detalles acerca de las concentraciones de goma de tara usadas en varios productos alimenticios en el Dietary Exposure Assessment Report (FSANZ, 2006).

El Food Technology Report, detalla otros usos de la goma de tara: en congelados, productos de fruta, alimentos funcionales, horneados, salsas, condimentos, bebidas, etc. En comparación con la goma garrofin, la goma tara es más económica; ya que se necesita menor cantidad de goma y, además es muy resistente durante el proceso, evitando así que se produzcan rupturas. Por otro lado, si se combina goma tara con goma xantana, se producen suspensiones estables por un largo periodo (FSANZ, 2006).

En lo que respecta a la evaluación de seguridad, el estudio del FSANZ (2006) concluyo que las preparaciones con goma de tara concuerdan con las especificaciones internacionales. Por otro lado, está no es metabolizada por las enzimas intestinales de los mamíferos, no obstante es parcialmente hidrolizada por la flora intestinal. Así mismo, no hay evidencia de toxicidad en los animales estudiados, inclusive a la dosis más alta (5% o 50,000 ppm en la dieta), no siendo carcinogénica ni tampoco teratogénica. La goma de tara no produjo evidencia de genotoxicidad potencial en ensayos realizados in vitro, concluyéndose así que el uso de goma de tara como aditivo alimentario a niveles determinados por BPM, no significa un riesgo para la salud y la seguridad del consumidor (FSANZ, 2006).

Cuadro 1: Usos de la goma de tara en alimentos, provistos por los usuarios.

Food Name	Concentration Level (‰)
Liquid milks reduced and low fat	0.05 - 1.0
Flavoured liquid milk	0.1 - 0.3
Fermented milk products and renneted milk products	0.1 - 0.6
Condensed milk and evaporated milk	0.05 - 1.0
Cream products	0.05 - 1.0
Dried milk, milk powder, cream powder	0.05 - 1.0
Processed cheese	0.1 - 0.5
Ice cream and edible ices	0.1 - 0.5
Icings and frostings	0.05 - 1.0
Processed cereal and meal products	0.05 - 1.0
Flour products (including noodles and pasta)	0.1 - 0.5
Processed meat, poultry and game products in whole cuts or pieces	0.1 - 0.4
Processed comminuted meat, poultry and game products	0.1 - 0.4
Sausages and sausage meat containing raw, unprocessed meat	0.1 - 0.4
Custard mix, custard powder, blancmange powder and jelly	0.05 - 1.0
Sauces and toppings (including mayonnaises and salad dressings)	0.1 - 0.5

FUENTE: FSANZ (2006)

2.3 MAYONESA

Cante *et al.* (1979) citados por Becher (1985), mencionan que la mayonesa es una emulsión O/W semisólida compuesta por un mínimo de 65% de aceite vegetal comestible, acidulantes (vinagre) y yema de huevo como emulsificante. Así mismo, puede contener también otros ingredientes tales como sal, sabores, edulcorantes y sazónadores alimentarios. Adicionalmente, la yema de huevo es el único agente emulsificante permitido en la mayonesa de Estados Unidos, y se le considera un emulsificante natural, siendo este ampliamente utilizado en emulsiones alimentarias, por su buena capacidad emulsificante atribuida al contenido de lipoproteínas, lecitina y otros fosfatidos.

Por otro lado, en lo que respecta a las definiciones de contenido nutricional, el FDA (2008), señala que el término “Light” tiene varias acepciones, dependiendo del tipo de alimento que se evalúe. Para la mayonesa regular, alimento del cual más de un 50% de calorías proviene de su contenido graso, el término “Light” acarrearía una reducción igual o mayor al 50% del contenido graso por RACC (Cantidad referencial mayormente consumida). Asimismo, la NTP-CODEX CAC/GL 23 (2012), señala que para declaraciones de propiedades comparativas, la comparación deberá basarse en una diferencia relativa de al menos 25% en el valor energético o contenido de nutrientes entre los alimentos comparados. Sin embargo, si el contenido del nutriente se encuentra por

debajo de 1,5g/100 ml o por debajo de 0,5g/100 ml el producto deberá ser referido como de “contenido bajo” o “exento”, respectivamente.

Respecto a la manufactura de la mayonesa, Becher (1985) señala que está es usualmente realizada en un equipo mezclador al vacío, el cual cuenta con una bomba de recirculación. La fase acuosa, conteniendo sal, sabores, edulcorantes y sazoadores, es preparada primero, seguida por la adición de la yema de huevo bajo agitación. Después de un mezclado cuidadoso, el aceite vegetal es adicionado lentamente, manteniendo un constante mezclado. Los aceites vegetales utilizados, mayormente contendrán secuestrantes (EDTA) y inhibidores de cristalización (oxiestearina, lecitina, poliglicerol esterres de ácidos grasos. Finalmente, el agente acidulante es adicionado, para que posteriormente el producto sea empacado. El valor de pH de la mayonesa es mayormente de 4.0.

Así mismo, Becher (1985) señala que si una emulsión monodispersa, contiene una fracción de volumen de la fase dispersa mayor al 74%, las gotas ya no podrán mantener su forma esférica y adoptaran una forma poliédrica, la cual podría repercutir en la inestabilidad de la emulsión. En lo que respecta a la mayonesa; si bien está tiene un 80% de aceite, está usualmente contiene gotas esféricas debido a que la emulsión no es monodispersa; no obstante, el tamaño de gota si varía considerablemente, generándose así, que las gotas más pequeñas se encuentren empacadas en los intersticios de las gotas grandes. Por otro lado, si el contenido de aceite es mayor a un 80%, la emulsión contendrá una mayor cantidad de gotas de forma poliédrica, las cuales podrían influenciar en la estabilidad y viscosidad de la emulsión. Adicionalmente, la viscosidad de emulsiones, normalmente depende de las propiedades de la fase continua y es casi independiente de la viscosidad de la fase interna o dispersa, siempre y cuando las gotas de esta fase dispersa se comporten como esferas rígidas. Sin embargo, si las gotas comienzan a deformarse a partir de un contenido de aceite mayor al 80% en la emulsión, la viscosidad de las gotas comenzara a jugar un rol significativo en la viscosidad general de la emulsión.

2.4 OPTIMIZACIÓN DE PROCESOS

2.4.1 GENERALIDADES

2.4.1.1 Variables

Una variable es un símbolo, tal como X, Y, H, x o B, que puede tomar un conjunto prefijado de valores llamado dominio de esa variable. Si la variable puede tomar un solo valor se llama constante (Spiegel, 1991). Asimismo, Ayala y Pardo (1995) consideran la siguiente notación y clasificación:

- a) Variables Dependientes: Son aquellas variables que describen los resultados de un proceso. Está denotado comúnmente por $Y(i)$. También se le llama variable performance o criterio de optimización (Ayala y Pardo, 1995).
- b) Variables Intermedias: En el caso de procesos que pueden ser divididos físicamente en una serie de etapas o subprocesos, tales que la salida de una etapa es la entrada de la siguiente etapa, las variables que describen las propiedades de estos semiproductos son denominadas variables intermedias (W_i); en efecto (W_i) vendría a ser la variable dependiente de un subproceso (Ayala y Pardo, 1995).
- c) Variables Independientes: Es una variable de proceso que puede tomar valores independientemente de las otras variables. Así, para definir una variable dependiente debe existir por lo menos una variable independiente (Ayala y Pardo, 1995). Las variables independientes se pueden clasificar en: 1) Controlables (cuyo valor o estado puede ser medido y controlado independientemente de las otras variables); 2) No controlables (cuyo valor o estado puede ser medido pero no controlado); 3) Desconocidas (cuyo valor o estado no puede ser medido ni controlado o que su medida representa un costo muy alto); y 4) Indirectas (cuando variables independientes son combinadas adecuadamente por medio de una relación analítica para obtener una variable indirecta) (Ayala y Pardo, 1995).

2.4.1.2 Parámetros

Se denomina parámetros de proceso a aquellos que no cambian o no pueden cambiar su valor durante el rango de validez del modelo matemático o físico de un proceso. Comúnmente aparecen como simples constantes en las ecuaciones matemáticas (Ayala y Pardo, 1995).

2.4.1.3 Modelos matemáticos

Consiste en un sistema de ecuaciones algebraicas o diferenciales que representan cuantitativamente el proceso o algunos aspectos del proceso (Ayala y Pardo, 1995). Se pueden clasificar en:

- a) Modelos Matemáticos Teóricos (Fenomenológicos): Estos modelos son derivados fundamentalmente de las leyes físicas, se basan generalmente en la aplicación de ecuaciones de balance de materia y energía, y también en otras como la termodinámica y cinética de reacciones químicas (Ayala y Pardo, 1995).
- b) Modelos Matemáticos Semi-Empíricos: Estos modelos también están basados en las leyes físicas, pero cierta cantidad de empirismo es incorporado en la representación de estos sistemas debido básicamente a dos hechos: 1) Las ecuaciones de modelamiento son tan complejas, que resolverlas es dificultoso, por lo que es necesario hacer algunas simplificaciones; y 2) La falta de datos (Ayala y Pardo, 1995).
- c) Modelos Matemáticos Empíricos: Estos modelos no están basados en las leyes físicas. En este caso el proceso es considerado como una caja negra (Black Box), donde la relación matemática de datos que gobierna el proceso es desconocida o muy compleja y depende de las variables de entrada y salida, ignorando la estructura interior o fenómeno del proceso. La mejor manera de construir estos procesos es a través de Diseños Experimentales (Ayala y Pardo, 1995).

2.4.1.4 Modelos físicos

Un modelo físico es un proceso que consiste en su representación a escala reducida, con otros materiales, a temperatura ambiente, con la finalidad de posibilitar la visualización y medida de los aspectos específicos, de la manera más conveniente y al menor costo posible (Ayala y Pardo, 1995). Pueden ser clasificados en dos grandes grupos:

- a) **Modelo Físico Riguroso (Teórico):** Son construidos siguiendo las reglas estrictas del criterio de similitud, de tal manera que la medida cuantitativa de los aspectos importantes del modelo experimental puedan ser trasladados directamente a través de un escalamiento apropiado para describir el proceso real (Ayala y Pardo, 1995).

- b) **Modelos Físicos Semi-rigurosos:** Como no se pueden en muchos casos realizar modelos estrictamente rigurosos, como alternativa se desarrolla el estudio analítico-experimental del fenómeno con el objeto de obtener una relación cuantitativa entre las variables del proceso; tal relación puede ser extrapolada bajo ciertas circunstancias para el proceso real (prototipo). Alternativamente los datos experimentales obtenidos pueden ser usados para verificar un modelo matemático, el cual podría usarse con algún grado de confianza para representar un sistema industrial (Ayala y Pardo, 1995).

2.4.1.5 Función objetivo

El punto de partida básico en un proceso de optimización es definir adecuadamente un criterio de optimización, es decir, qué se va a optimizar. Se debe escoger entre las variables dependientes, aquellas que bajo algún criterio adecuado nos brinde mejores resultados (Ayala y Pardo, 1995).

Ayala y Pardo (1995) afirman que la relación entre el criterio de optimización y las variables independientes consideradas en el estudio, se denomina Función Objetivo. La

principal finalidad en un proceso de optimización será maximizar o minimizar una función objetivo, la cual está definida por:

$$F_{(\max)} = \phi (x, u, h, z) \quad (9)$$

donde F es el Criterio de Optimización y x, u, h, z : Variables independientes (x: variable controlable, u: variable no controlable, h: variable indirecta y z: variable desconocida)

2.4.1.6 Superficie respuesta

Una superficie de respuesta se define como la representación geométrica de la función objetivo o más propiamente del modelo matemático obtenido (Ayala y Pardo, 1995). La metodología de superficie de respuesta (RSM) es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influenciada por varias variables, y el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery, 1991). Esto a su vez, contribuye a un mayor conocimiento de la naturaleza del sistema de operación de dicho proceso (Gómez *et al.*, 1978).

La RSM es definida por Giovanni (1983), citado por Pinto (1995), como un método estadístico que usa datos cuantitativos del diseño experimental apropiado para determinar simultáneamente ecuaciones multivariadas. Estas ecuaciones pueden ser gráficamente representadas como superficies de respuesta, las que pueden ser usadas de tres maneras:

- a) Describir cómo las variables a probar afectan la respuesta
- b) Determinar las interrelaciones entre las variables a probar
- c) Describir el efecto combinado de todas las variables a probar en la respuesta o variable control.

El método de análisis de los resultados que da más información de un experimento factorial depende de la naturaleza de los factores. Si todos los factores

representan variables cuantitativas, es natural pensar en los rendimientos o respuestas de Y como una función de los niveles de estas variables. Se puede escribir:

$$Y_u = f(X_{1u}, X_{2u}, \dots, X_{iu}) + e_u \quad (10)$$

donde $u = 1, 2, \dots, N$ que representan las N observaciones en el experimento factorial y X_{iu} representa el nivel del i -ésimo factor en la u -ésima observación. A la función f se le llama superficie de respuesta. El residuo e_u mide el error experimental de la u -ésima observación (Cochran y Cox, 1990).

Por otro lado, una superficie de respuesta estimada Es la representación geométrica del modelo matemático obtenido. Una cosa importante a tener en cuenta es que un modelo nunca representa completamente un proceso, debido principalmente a las tres consideraciones siguientes:

- a) A la omisión de un cierto número de variables.
- b) Conocimiento inexacto de las variables de proceso.
- c) A la necesaria simplificación del modelo debido a las complejidades matemáticas (Ayala y Pardo, 1995).

Mientras que para una superficie de respuesta real, Ayala y Pardo (1995) afirman que es la representación geométrica de un modelo perfecto, una idéntica réplica del proceso bajo estudio. Si bien la superficie de respuesta real es algo ideal, sólo podemos aproximarnos a ella con los modelos matemáticos comúnmente usados (superficie de respuesta predicha). Kuehl (2001) menciona que en general la función real se desconoce y las funciones polinomiales con frecuencia proporcionan buenas aproximaciones en zonas relativamente pequeñas de los niveles de los factores cuantitativos.

2.4.1.7 Diseño de experimentos

Un experimento es una prueba o ensayo. Un experimento diseñado es una prueba o una serie de pruebas en las cuales se inducen cambios deliberados en las variables de entrada de un proceso o sistema, de manera que sea posible observar e identificar las causas de los cambios en el criterio de optimización (Ayala y Pardo, 1995).

Asimismo, entre las clases de experimentación encontramos:

a) Experimentación pasiva

Lawson *et al.* (1992), citado por Pinto (1995) señala que la experimentación pasiva, tradicional o “uno a la vez” consiste en mantener constantes los valores de todos los factores excepto uno de ellos, siendo éste el que se analiza. Este método es sencillo y permite representar sus resultados gráficamente. La utilización del mismo es una buena alternativa cuando se presentan circunstancias fuera de lo común, como las siguientes:

- El resultado es una función compleja del factor X (quizá multimodal), lo cual hace necesario emplear varios niveles del mismo para poder interpretar su efecto.
- Los efectos son aditivos y no existen interacciones, esto es, el efecto de un factor no está influenciado por los niveles de los otros factores.

Sin embargo, existen desventajas al usar este método. Según Giovanni (1983), citado por Pinto (1995), el método de experimentación tradicional es ineficiente por tres razones:

- Un gran número de experimentos son requeridos, lo que puede ser costoso y consumir mucho tiempo.
- La variable de respuesta óptima no puede ser determinada por estos procedimientos porque el experimentador debe de aceptar las suposiciones formadas para especificar los niveles de las distintas variables.

- Ninguno de estos procedimientos establece una ecuación que describa la relación entre las variables y la respuesta de éstas (variable de control).

b) Experimentación activa (diseño de experimentos)

Los experimentos son llevados a cabo mediante un diseño predeterminado (diseño de experimentos), el cual es un plan organizado de experimentos que permiten evaluar simultáneamente todas las variables consideradas y además evaluar la fuerza de interacción entre las variables y reducir el número de experimentos a llevarse a cabo (Ayala y Pardo, 1995).

Por otra parte, el método de experimentación activa, también llamado experimentación estadística, es útil cuando:

- En la región experimental la variable dependiente, posiblemente, tenga un poco de curvatura, pero no puntos de inflexión.
- El efecto de uno de los factores puede depender del nivel de alguno de los otros.

Así, los resultados que se obtienen al usar el método tradicional son imprecisos. Sólo incrementando el número de experimentos es posible lograr una precisión comparable a la del método estadístico. Lo que puede ocurrir al aplicar el Método Tradicional es que las conclusiones sean erróneas, y es más factible que sus soluciones sean equivocadas, lo cual se complica aún más debido a errores experimentales (Lawson et al., 1992; citado por Pinto, 1995).

2.4.1.8 Etapas de optimización

Para optimizar un proceso se requiere de una metodología apropiada, y de acuerdo a Ayala y Pardo (1995), existen tres etapas fundamentales: Screening, Escalamiento y Optimización Final.

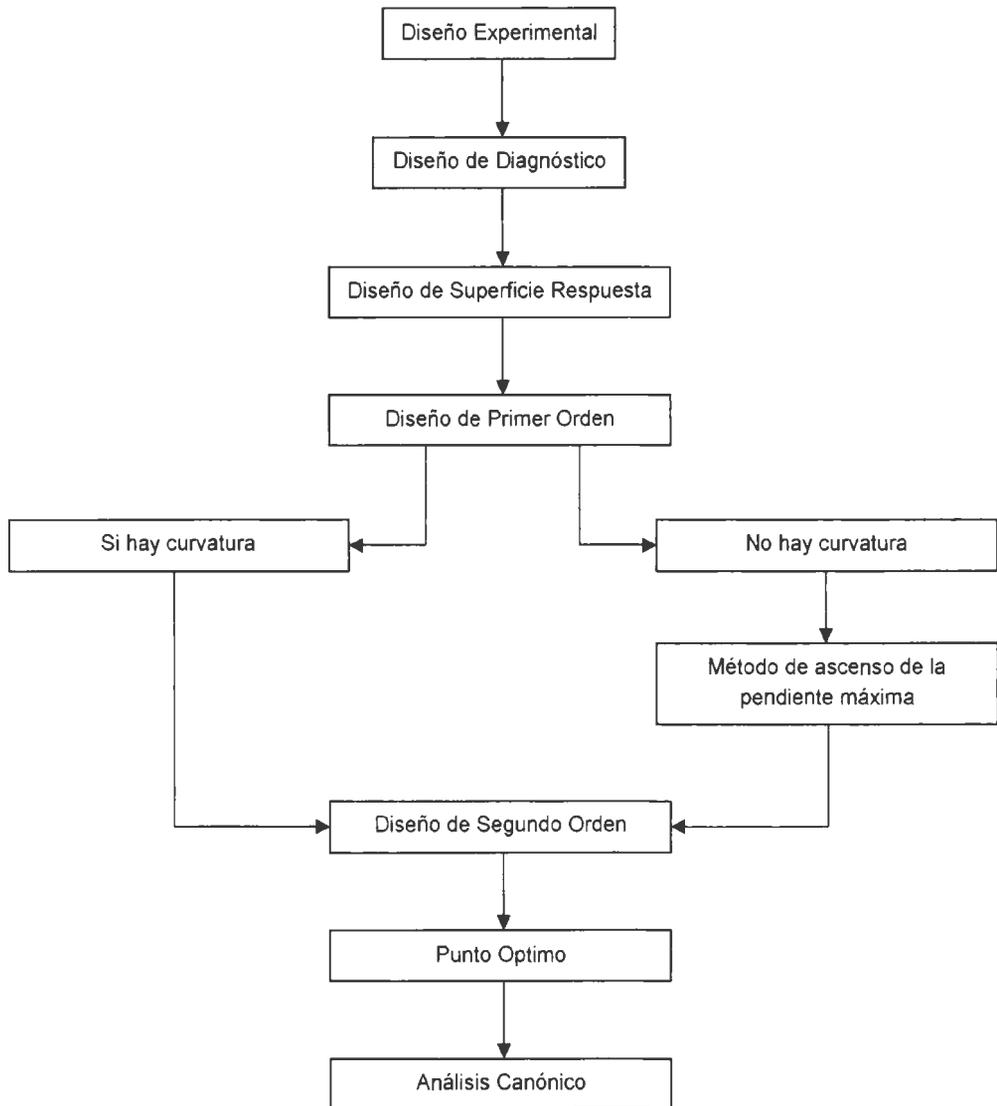
Pinto (1995) también muestra un esquema general para un proceso de optimización aplicando el método de superficie respuesta, mostrado en la Figura 5.

Este esquema se seguiría para un diseño experimental inicial donde no se conoce el punto óptimo. El diseño de diagnóstico viene a ser el diseño inicial, de acuerdo al experimento que se quiere realizar, pudiendo ser un diseño factorial. El diseño de primer orden indica la existencia de curvatura en la región descrita por las variables. Cuando no existe curvatura en la zona, es necesario aplicar el método de la pendiente máxima, con el cual se determina la zona de mayor vecindad a la región óptima. El diseño de segundo orden se realizaría aumentando datos experimentales al primer modelo, mediante un diseño compuesto central, y el análisis se realiza mediante el uso de matrices o mediante un software.

Con ello, se halla el punto óptimo, y se realiza el análisis canónico, cambiando el sistema de coordenadas, colocando el origen en el punto óptimo. Adicionalmente se puede realizar un análisis de sistema de loma, partiendo de la forma canónica, para determinar si presenta alargamiento en los ejes que semeje a una cordillera (Pinto, 1995).

La RSM es una técnica secuencial. Cuando se considera un punto sobre la superficie de respuesta alejado del óptimo, el polinomio de primer grado es apropiado porque existe poca curvatura en el sistema. En este caso, el objetivo consiste en guiar al experimentador rápida y eficientemente a la cercanía general del punto óptimo (método de máxima pendiente en ascenso). Una vez que se ha determinado la región del punto óptimo, puede emplearse un modelo más elaborado, como una superficie de respuesta de segundo grado, y realizar un análisis para localizar el óptimo (Montgomery, 1991). Como ejemplos se encuentran los trabajos realizados por Pinto (1995) y Lah *et al.* (1980) quienes emplean diferentes etapas en su investigación: una primera etapa de identificación de variables, otra de acercamiento al óptimo y finalmente la optimización en sí.

Figura 9: Esquema general de pasos del diseño experimental para la optimización de procesos



FUENTE: Pinto (1995)

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

La investigación se llevó a cabo en las instalaciones del Laboratorio de Análisis Físico-químico de Alimentos de la Universidad Agraria La Molina; y instalaciones del Laboratorio de Óleos y Derivados del Área de Desarrollo Tecnológico de la empresa ALICORP, S.A.A.

3.2 MATERIAS PRIMAS

- Aceite Vegetal de Soya Marca Cil
- Yema de Huevo con 10% de Sal Marca Ovosur
- Vinagre Extrafino Marca Copeagro
- Sal extra refinada Marca British Salt Limited
- Azúcar refinada Marca Manuelita
- Harina de Mostaza Marca Canada Mustard Seed
- Sorbato de Potasio
- Goma de Tara Marca Moligum 5000
- Sabor a Pimienta Givaudan
- Glutamato de Sodio
- EDTA cálcico trisódico
- Agua microfiltrada

3.3 EQUIPOS, MATERIALES Y REACTIVOS

3.3.1 EQUIPOS

- Digestor de nitrógeno (Kjeldahl) ELECTROTHERMAL
- Centrifuga MLW T62.1

- Agitador magnético FISHER SCIENTIFIC
- Equipo Soxhlet, compuesto por sifón, refrigerante y balón de vidrio.
- Potenciómetro Metler Toledo (Seven Multi)
- Cámara Climática para condiciones estables Blinder (KBF 720)
- FrymaKoruma MaxxD Lab (Reactor a escala de laboratorio)
- Viscosímetro Brookfield – Modelo DV-II + Pro
- Texturometro TA.XT.plus (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, UK)
- Balanza 4 kg Metler Toledo – Modelo PB4002-S
- AquaLab – Modelo Series 3 TE

3.3.2 MATERIALES

- Pipetas volumétricas de 5 y 10 ml KYMAX
- Pipetas de 1.5, 5 y 10 ml KYMAX
- Vasos de precipitado de 100 ml, 400 ml, 600 ml y 1000 ml PYREX
- Fiolas de 500 ml (2), de 50 ml, de 25 ml y de 100 ml PYREX
- Bureta de 25 ml con pedestal KYMAX
- Erlenmeyers PYREX
- 3 balones de digestión PYREX
- Probetas de 10 ml y 100 ml PYREX
- Baguetas
- Termómetro BOECO
- 3 Crisoles de porcelana
- 3 Papel Filtro Whatman
- Cronómetro CASIO
- Software Statgraphics Centurion XVI Version 16.1.11

3.3.3 REACTIVOS

- Solución de NaOH 0.1 N MERCK
- Indicador de fenolftaleína al 1% en alcohol de 95% MERCK
- Solución Estándar 0,5 M KCl ($0.984 \pm 0.003 a_w$, a 25° C) AQUALAB
- Solución Estándar 6.0 M NaCl ($0.760 \pm 0.003 a_w$, a 25° C) AQUALAB

3.4 MÉTODOS DE ANÁLISIS

3.4.1 ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

3.4.1.1 Humedad y Materia Seca

Se determinó por método gravimétrico porcentual, donde un peso exacto (5g) fue colocado en una estufa a 100°C hasta obtener un peso constante. El contenido de humedad se calculó obteniendo el cociente entre la diferencia de pesos con el peso de la muestra inicial expresándose en porcentaje (AOAC, 1995).

3.4.1.2 Extracto Etéreo (Grasa)

Se realizó a través del método de soxhlet (AOAC, 1995).

3.4.1.3 Proteína

A través del método Kjeldahl, considerando 6.25 como factor de conversión del nitrógeno a proteína. (AOAC, 1995).

3.4.1.4 Fibra Cruda

Se realizó a través del método gravimétrico (AOAC, 1995).

3.4.1.5 Ceniza

La muestra se incineró a 550°C para quemar todo el material orgánico (AOAC, 1995).

3.4.1.6 Extracto Libre de Nitrógeno

Se obtuvo por diferencia después que se ha completado los análisis para ceniza, proteínas, extracto etéreo y fibra cruda (AOAC, 1995).

3.4.2 Análisis de características reológicas

Las mediciones de características reológicas se llevaron a cabo en el analizador de textura TA.XT.plus (Stable Micro Systems Ltd, Surrey, UK) siguiendo el modelo de prueba Back Extrusion para mayonesas, instalado en el programa Texture Expert para Windows Version 1.22. Se empleó la celda de extrusión (Back extrusión cell) con un disco de compresión de 35 mm. Las muestras fueron cuidadosamente colocadas dentro del contenedor cilíndrico de acrílico (50 mm de diámetro interno y 75 mm de altura) hasta colmar 50 mm de la altura. Un ciclo fue aplicado, a una velocidad constante de 1 mm/s, a una profundidad de 40 mm, para su posterior retorno. Cuando se alcanzaron 10 g de fuerza en el punto de disparo (punto en el cual la superficie del disco está en total contacto con el producto), el disco procedió a penetrar a una profundidad de 40 mm. Cuando llegó a la profundidad parametrada, el disco retornó a su posición original. De la curva resultante Fuerza vs. Tiempo, los valores de los atributos de textura: firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad fueron obtenidos usando el software Texture Expert para Windows Version 1.22.

3.4.3 ANÁLISIS FÍSICOQUÍMICOS

3.4.3.1 Acidez Titulable

La acidez de las mayonesas se debe a su contenido de vinagre y se expresa como porcentaje de ácido acético. Se empleó una solución indicadora de fenolftaleína al 1% en alcohol de 95% y una solución de hidróxido de sodio 0,1 N estandarizada. Se pesaron 3 g de muestra en un erlenmeyer de 250 ml y se adicionaron 10 ml de agua destilada y se agitó con una bagueta. Posteriormente se diluyó uniformemente y se adicionaron 90 ml de agua destilada, gradualmente y con agitación constante. Luego, se procedió a titular con solución de hidróxido de sodio (NaOH) 0,1N estandarizada, usando aproximadamente 5 gotas de indicador fenolftaleína hasta alcanzar una coloración ligeramente rosada.

3.4.3.2 pH

Estando el equipo previamente calibrado, se procedió a introducir el electrodo al vaso con la muestra. Se dejó que la lectura se estabilice y se tomó la lectura de pH.

3.4.3.3 Aw

Estando el equipo previamente calibrado, se procedió a tomar una porción de la muestra y verterla en la cubeta hasta el límite demarcado. Se aseguró de distribuir uniformemente la muestra en la cubeta, sin dejar espacios de aire. Posteriormente se introdujo la cubeta en la cámara del equipo y se giró la perilla en sentido antihorario hacia la posición READ. La culminación de la lectura se dio mediante el aviso de cuatro timbrados, observándose en la pantalla la lectura final y la temperatura en que se tomó la medición.

3.4.4 ANÁLISIS SENSORIAL

Se realizó una prueba de nivel de agrado, la cual es una prueba sencilla de aplicar y no requiere entrenamiento o experiencia por parte de los jueces-consumidores, siguiéndose la metodología de Pedrero y Pangborn (1996).

Esta prueba se realizó mediante una cartilla de evaluación (Anexo 2), la cual contenía una escala hedónica de pauta no estructurada de 0 a 10 cm, la cual se encontraba escalonada en los valores 0, 5 y 10. En la cartilla “0” significó “me desagrada mucho”, “5” “ni me agrada ni me desagrada” y “10” significó “me agrada mucho”. Los jueces realizaron una marca a lo largo de la línea, la cual reflejó el juicio de valor de cada juez respecto al producto. Posteriormente, la escala hedónica se convirtió en numérica; transformando a centímetros la distancia entre los dos extremos del continuo; y midiendo el punto de respuesta indicado por el consumidor (Pedrero y Pangborn, 1996).

El tamaño del grupo de consumidores para cada formulación evaluada fue de 50 personas (con edades entre los 18 y 55 años). Todas las muestras de mayonesa fueron codificadas con números aleatorios de tres dígitos y presentadas a los panelistas en puestos

individuales. El orden de las porciones fue completamente aleatorio (Yazici & Akgun, 2004; citados por Liu *et al.*, 2007). Adicionalmente, Pedrero y Pangborn (1996), señalan que las evaluaciones a nivel consumidor, deben presentarse de la forma en que habitualmente son consumidas, por lo que para este estudio, se empleó papa sancochada, como vehículo de las muestras a evaluar. Asimismo, por tratarse de un producto característicamente graso, se empleó como material de enjuague, agua destilada caliente.

3.4.5 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Para el screening se realizó un Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial, con 4 repeticiones en el punto central, para posteriormente analizar la existencia del efecto curvatura (Ayala y Pardo, 1995).

La etapa de escalamiento se obvió, debido a que existió un efecto curvatura positivo.

La optimización se realizó mediante el uso de la metodología de Superficie de Respuesta descrita por Ayala y Pardo (1995) y el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.11.. Asimismo, se realizó un Diseño Completamente al Azar con arreglo Factorial, con dos factores a considerar: porcentaje de goma de tara y porcentaje de aceite; y tres niveles de evaluación para cada factor. La evaluación sensorial, se realizó por duplicado, mientras que los análisis fisicoquímicos y de textura fueron evaluados por triplicado. Para todos los casos, la unidad experimental fue un batch de 10 kg de mayonesa.

3.5 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

La metodología experimental que se siguió para la elaboración y optimización de la mayonesa “light” se dividió en dos etapas: 1) formulación y elaboración de la mayonesa light; y 2) optimización.

3.5.1 FORMULACIÓN Y ELABORACIÓN DE LA MAYONESA LIGHT

Para definir la formulación base de la mayonesa “light”, se empleó como referencia una fórmula estándar de mayonesa regular, propuesta por Ambrosio (2002) (Cuadro 2) y lo mencionado por el FDA (2008), el cual señala que para una mayonesa regular, alimento del cual más de un 50% de calorías proviene de su contenido graso, el término “light” acarrearía una reducción igual o mayor al 50% del contenido graso por cantidad referencial mayormente consumida (RACC).

Asimismo se siguió la metodología empleada por Ormeño (2006) y se realizaron pruebas preliminares, para determinar de manera aproximada, los porcentajes de goma de tara y aceite vegetal, a partir de los cuales debía iniciarse la primera fórmula.

Cuadro 2: Fórmula estándar de mayonesa regular

Ingredientes/Insumos	Mayonesa Regular (%)
Aceite vegetal	78.00
Yema de huevo - 10% Sal	10.00
Vinagre extrafino	5.00
Sal extra refinada	1.50
Azúcar refinada	2.00
Harina de mostaza	0.30
Sorbato de potasio	0.10
Sabor pimienta negra	0.10
Glutamato de sodio	0.10

EDTA cálcico trisódico GA	0.08
Agua microfiltrada	3.12
Total fórmula	100.00

FUENTE: Ambrosio (2002)

Las pruebas realizadas consideraron los siguientes criterios para la elección de la primera fórmula tentativa:

- pH
- % Ácido acético en la fase acuosa
- Sabor

En base a la experiencia del equipo de desarrollo tecnológico de la empresa ALICORP, S.A.A., se utilizó como mínimo un 0,7% de ácido acético en fase acuosa, manteniendo un pH 4, con el objetivo de asegurar la inocuidad del producto. Esto cumple con lo mencionado por Glass y Doyle (1991), citados por Davidson *et al.* (2005), los cuales señalan que un contenido de 0,7% o mayor de ácido acético en fase acuosa para una mayonesa baja en calorías, ajustada a un pH 4, es suficiente para producir un producto microbiológicamente seguro.

Asimismo, es importante señalar que en la elaboración de mayonesas, se realiza la suma de los porcentajes de todos los ingredientes secos, el huevo y el aceite, para posteriormente restar esta cantidad de 100, para conocer el porcentaje de agua que debe llevar la formulación. De esta manera, se tiene al agua como elemento variable en cada una de las formulaciones.

Por otro lado, se mantuvieron los porcentajes de yema de huevo, vinagre extrafino, sal extrarefinada, azúcar refinada, harina de mostaza, sorbato de potasio, sabor pimienta negra, glutamato de sodio y EDTA cálcico trisodico GA, con el fin de mantener el mismo perfil de sabor de la mayonesa regular estándar. Obteniéndose así la fórmula base de la mayonesa light (Cuadro 3).

Asimismo, la elaboración de la mayonesa se realizó en un reactor a escala de laboratorio, siguiendo las recomendaciones mencionadas por Becher (1983).

Cuadro 3: Fórmula base de mayonesa light

Ingredientes/Insumos	Mayonesa Light (%)
Aceite vegetal	37.00
Yema de huevo - 10% Sal	10.00
Vinagre extrafino	5.00
Sal extrarefinada	1.50
Azúcar refinada	2.00
Goma de Tara	0,50
Harina de mostaza	0.30
Sorbato de potasio	0.10
Sabor pimienta negra	0.10
Glutamato de sodio	0.10
EDTA cálcico trisódico GA	0.08
Agua microfiltrada	43.32
Total fórmula	100.00

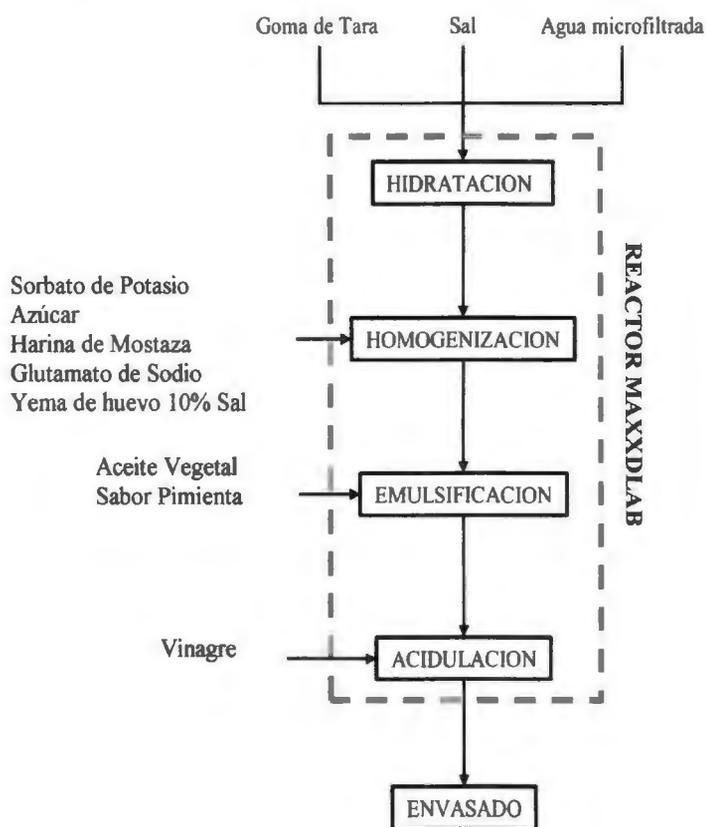
El proceso de elaboración y los parámetros se describen a continuación y se muestran en la Figura 10:

1. **Hidratación:** Debido a que se elaboró una mayonesa light, es necesario contar con un reemplazo de grasa. Ante esto fue necesario realizar un mimetizado de grasa el cual viene a ser la goma de tara hidratada. En esta etapa, se mezclaron la goma de tara junto a la sal, el agua y se homogenizaron los ingredientes. La sal al ser altamente soluble en agua, facilita la solubilización de la goma y evita la formación de grumos.
2. **Homogenización:** En esta etapa, ingresaron al reactor todos los polvos menores (azúcar, harina de mostaza, sorbato de potasio, EDTA cálcico trisodico y

glutamato de sodio) y la yema de huevo. Todos los ingredientes fueron homogenizados durante el tiempo parametrado.

3. Emulsificación: En esta etapa, ingresaron al reactor, el aceite y sabores liposolubles. Cabe resaltar que el aceite ingresó a un flujo reducido para facilitar la formación de la emulsión. El flujo de aceite se controló manteniendo la válvula de ingreso de aceite en un 25%.
4. Acidulación: En esta etapa, ingresó el vinagre al reactor. El flujo de vinagre se controló manteniendo la válvula de ingreso a un 50%.

Figura 10: Flujo de operaciones de elaboración de mayonesa en el reactor MaxxDLab



FUENTE: Adaptado de Becher (1983)

3.5.2 OPTIMIZACIÓN

Para la evaluación del efecto de determinados factores sobre la variable respuesta nivel de agrado (Y) y la posterior determinación de los niveles de dichas variables que optimicen el producto, se aplicó la metodología de superficie de respuesta, con un diseño completamente al azar con arreglo factorial.

Los análisis estadísticos se realizaron utilizando el programa estadístico Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.11.

3.5.2.1 Etapa I: Screening

a) Definición de la función objetivo y factores

El criterio de optimización que se usó fue el de maximizar el nivel de agrado (función objetivo, Y) de una mayonesa light, mediante la evaluación de un panel sensorial.

Asimismo, los factores que se consideraron para este estudio, influirían en mayor proporción el nivel de agrado de la mayonesa light fueron:

- El contenido de goma de tara (X_1); que por ser un agente espesante, afectará la textura al incrementar la viscosidad de la fase continua de la emulsión (McClements, 2005; McKenna, 2003).
- El contenido de aceite vegetal (X_2); el cual representa la fracción de volumen de la fase dispersa; característica relacionada directamente con la textura de una emulsión (McClements, 2005; Becher, 1983; McKenna, 2003).

Por lo cual se realizó un screening, con el fin de evaluar si eran significativos o no en el nivel de agrado.

Los niveles de la variable contenido de goma de tara (X_1), se definieron tomando como referencia lo mencionado por el FSANZ (2006) y pruebas preliminares realizadas en el área de Desarrollo Tecnológico de la empresa ALICORP, S.A.A..

Tras la evaluación de características reológicas de las pruebas preliminares, se definieron como valores mínimo y máximo 0,5% y 1,5% respectivamente.

En el caso de la variable contenido de aceite vegetal (X_2), para determinar el nivel mínimo de la variable, se tomó como referencia lo mencionado por Glass y Doyle (1991), citados por Davidson *et al.* (2005), en lo referente al porcentaje de ácido acético en fase acuosa y las recomendaciones del equipo de desarrollo tecnológico de la empresa ALICORP, S.A.A. Por lo que, el nivel mínimo para el contenido de aceite fue 35%. Por otro lado, para determinar el nivel máximo de la variable, se tomó como base lo mencionado por el FDA (2008) en lo que respecta a las definiciones de contenido nutricional y la formula estándar de mayonesa regular de la empresa ALICORP, S.A.A.. Ante esto, el nivel máximo en lo que respecta al contenido de aceite se definió en 39%, tomando en cuenta que el contenido de aceite que se está empleando en la formula estándar de mayonesa regular es igual a 78%.

Los valores de los niveles de las variables se muestran en el Cuadro 4.

Cuadro 4: Variables independientes para la etapa de screening

Variable	Unidad	Símbolo	Niveles		
			-1	0	1
Contenido Goma de Tara	%	x_1	0,5	1	1,5
Contenido de Aceite Vegetal	%	x_2	35	37	39

En esta etapa se usó un diseño completamente al azar con arreglo factorial (2^h) con réplicas en el punto central del diseño, lo cual sirvió para dar una estimación del efecto curvatura y el efecto interacción entre variables, si es que lo hubiese (Ayala y Pardo, 1995).

El diseño completamente al azar con arreglo factorial 2^k asume la linealidad del modelo, en base a dos niveles, por lo que el punto central del diseño debería ajustarse a este criterio. Si no es así, se puede afirmar que el modelo matemático lineal no es suficiente para explicar las respuestas en dicha región experimental y se puede asumir una posible existencia de curvatura (Ayala y Pardo, 1995).

En el Cuadro 5 se presenta el diseño experimental 2^k con cuatro réplicas en el punto central, aleatorizado.

Cuadro 5: Diseño experimental 2^k con réplicas en el punto central

Puntos Experimentales	X₁ % Goma de Tara	X₂ % Aceite Vegetal
1	1	37
2	1	37
3	1	37
4	1,5	35
5	1,5	39
6	0,5	39
7	0,5	35
8	1	37

Posteriormente, en base a lo mencionado por Montgomery (2005), se realizó el análisis de varianza para verificar la significancia del modelo estimado y de las variables en estudio, así como también el efecto curvatura e interacción de coeficientes. Esto, con el fin de establecer si el modelo matemático lineal era o no suficiente para explicar las respuestas en dicha región experimental y así poder asumir, la proximidad a la zona óptima. Se consideraron como significativas aquellas fuentes de variación cuyo valor de probabilidad P de estadístico F ($\text{Prob} > F$) fue menor al nivel de significación elegido ($\alpha = 0,05$). Adicionalmente, la bondad de ajuste de la ecuación de regresión de las observaciones experimentales fue establecida mediante el coeficiente de regresión (R^2), y coeficiente de regresión ajustado (R^2_{adj}).

3.5.2.2 Etapa II: Escalamiento

La etapa de escalamiento se obvió, debido a que el efecto curvatura fue positivo, por lo que el siguiente paso fue el análisis de superficie de respuesta de segundo orden, mediante un Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial (Pinto, 1995; citado por Morales, 2003).

3.5.2.3 Etapa III: Estimación de los modelos matemáticos de segundo orden

El análisis de superficie de respuesta de segundo orden para la variable nivel de agrado (Y), se realizó mediante el uso del software Statgraphics Centurion XVI Versión 16.1.11, aplicando un Diseño Completamente al Azar con Arreglo Factorial de 3 niveles: 3^2 , y una réplica del diseño; dando un total de 18 puntos experimentales.

El Cuadro 6 muestra los niveles de las variables a optimizar para el DCA con arreglo factorial de 3 niveles.

El Cuadro 7 presenta el DCA con arreglo factorial de 3 niveles, aleatorizado, utilizado para la optimización.

Cuadro 6: Variables independientes correspondientes al DCA con Arreglo Factorial de 3 niveles

Variable	Unidad	Símbolo	Niveles		
			-1	0	1
Contenido Goma de Tara	%	x_1	0,5	1	1,5
Contenido de Aceite Vegetal	%	x_2	35	37	39

Adicionalmente se evaluaron los atributos de textura y las características fisicoquímicas por triplicado, con el fin de evaluar las influencias de las variables:

contenido de goma de tara (x_1) y contenido de aceite vegetal (x_2), en las características reológicas y las características fisicoquímicas.

Cuadro 7: DCA con Arreglo Factorial de 3 niveles con una replica del diseño

Puntos Experimentales	X₁ % Goma de Tara	X₂ % Aceite Vegetal
1	1	39
2	1	37
3	0,5	35
4	1,5	39
5	0,5	39
6	1,5	37
7	0,5	37
8	1	35
9	1,5	35
10	1	39
11	1	37
12	0,5	35
13	1,5	39
14	0,5	39
15	1,5	37
16	0,5	37
17	1	35
18	1,5	35

3.5.3 VALIDACIÓN DE LOS NIVELES ÓPTIMOS DE LAS VARIABLES

Considerando los niveles óptimos de las variables, se procedió a elaborar la mayonesa light y posteriormente se realizó una evaluación sensorial, con el fin de comparar los valores estimados por el modelo y los valores reales resultantes.

3.5.4 CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

Finalmente, se realizó una caracterización fisicoquímica y un análisis químico proximal del tratamiento óptimo.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 GOMA DE TARA

Los resultados del análisis químico proximal de la goma de tara (Moligum 5000), se encuentran en el Cuadro 8.

Cuadro 8: Análisis proximal de la goma de Tara

Análisis	Resultado (%)
Humedad	10,08 ± 0,02
Grasa	0,66 ± 0,01
Proteína	2,70 ± 0,05
Fibra Cruda	0,82 ± 0,01
Ceniza	0,88 ± 0,01
Ext. Libre Nitróg. (*)	84,86

(*) El porcentaje de carbohidratos o extracto libre de nitrógeno se obtuvo por diferencia (100% menos la suma de los demás componentes), por lo que no se halló desviación estándar en ese caso.

Los resultados obtenidos se encuentran dentro de los valores teóricos. De acuerdo al FSANZ (2006) la goma de Tara tiene una humedad por debajo del 15%, un contenido proteico por debajo del 3.5%, un contenido de ceniza por debajo del 1.5%, un contenido de fibra cruda por debajo del 2% y un contenido de galactomanano por encima del 75%, el cual concuerda con el resultado del extracto libre de nitrógeno obtenido.

Por otro lado, cabe señalar que los datos teóricos se encuentran en rangos, por existir variabilidad en los resultados de los mismos. Esta variabilidad, se debería principalmente a la tecnología utilizada para la obtención de la goma de tara, así como también a su procedencia (FSANZ, 2006).

4.2 OPTIMIZACIÓN

4.2.1 ETAPA I: SCREENING

Con el fin de evaluar la significancia de los factores; se realizó la evaluación sensorial, mediante la prueba de nivel de agrado, de los 8 puntos experimentales del modelo. Los resultados de la evaluación sensorial, fueron obtenidos tras la medición de cada una de las líneas que marcaron los jueces en las cartillas de evaluación (Anexo 2).

Los valores del nivel de agrado observado y estimado para cada uno de los puntos experimentales son presentados en el Cuadro 9. Asimismo, en el Anexo 3 se muestran cada uno de los resultados.

Posteriormente, tras realizar el análisis de regresión múltiple con los valores observados, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado:

$$\hat{y} = -5,325 + 11,925x_1 + 0,2125x_2 - 0,275x_1x_2 \quad (11)$$

donde \hat{y} representa el nivel de agrado estimado; mientras que x_1 y x_2 el contenido de goma de tara y contenido de aceite vegetal, respectivamente, en su forma codificada.

Adicionalmente, en el Cuadro 10 se presenta el Análisis de Varianza, el cual incluye la prueba de falta de ajuste, para este modelo.

La prueba de falta de ajuste está diseñada para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos observados ó si se debería usar un modelo más complicado. La prueba se realiza comparando la variabilidad de los residuos del modelo actual con la variabilidad entre observaciones obtenidas en condiciones repetidas de los factores (Montgomery, 2005).

En base a lo mostrado en el Cuadro 10, se puede apreciar que el efecto de curvatura es significativo, por lo que se puede decir que el modelo de primer orden no es una

aproximación adecuada y no es suficiente para explicar las respuestas en la región experimental elegida.

El DCA con Arreglo Factorial (2^2), dio lugar a una ecuación lineal de primer grado, la cual no ajusto a los valores observados de los puntos centrales; por lo que se asume la existencia de un efecto curvatura positivo.

Asimismo, los resultados mostrados en el Cuadro 10, demuestran que a un nivel de significancia $\alpha=0,05$ la variable contenido de goma de tara afecta significativamente al proceso, puesto que presenta un valor de probabilidad F (Prob > F) inferior a 0,05. Esto guarda relación con lo mencionado por Mitchell (1986), Imeson (1997), y Williams (2003); citados por McClements (2005), los cuales señalan que la función principal de un agente espesante para el caso de emulsiones alimentarias consiste en incrementar la viscosidad de la fase acuosa de la emulsión aceite/agua; obteniéndose así, una modificación de la textura y sabor en boca, lo cual influye directamente en el nivel de agrado del producto.

Cuadro 9: Puntajes obtenidos en la prueba de nivel de agrado

Puntos Experimentales	X1 Contenido Goma de Tara (%)	X2 Contenido Aceite Vegetal (%)	Nivel de agrado observado* (y)	Nivel de agrado estimado (\hat{y})
1	1	37	5,7	4,29
2	1	37	5,6	4,29
3	1	37	5,9	4,29
4	1,5	35	4,1	5,56
5	1,5	39	3,3	4,76
6	0,5	39	2,1	3,56
7	0,5	35	1,8	3,26
8	1	37	5,8	4,29

*Cada valor representa el promedio de 50 observaciones

Adicionalmente, en lo que respecta a la variable contenido de aceite vegetal, se podría decir que este factor no afecta al proceso significativamente, ya que presenta un valor de probabilidad mayor a 0,05. No obstante la interacción entre ambas variables, presenta un valor de probabilidad inferior a 0,05 significativa, lo cual indica que existe una influencia de la variable contenido de aceite en el proceso. Ante esto, Montgomery (2006), señala que el conocimiento de las interacciones suele ser más importante que el conocimiento de los efectos principales.

Cuadro 10: Análisis de Varianza de la prueba de nivel de agrado

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	3,06	1	3,06	183,75	0,0009
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	0,06	1	0,06	3,75	0,1482
X ₁ .X ₂	0,30	1	0,30	18,15	0,0237
Falta de ajuste	17,11	1	17,11	1026,68	0,0001
Error puro	0,05	3	0,02	-	-
TOTAL	20,59	7	-	-	-
R-cuadrada = 0,1665					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0					

Por otro lado, Montgomery (2005) señala que para el coeficiente de determinación múltiple (R^2), es evidente obtener valores entre 0 y 1, siendo deseables los valores más grandes y cercanos a 1. Ante esto, debido a que el coeficiente de determinación múltiple (R^2) tuvo un valor igual a 16,65%, no se puede afirmar que el modelo sea altamente significativo.

Asimismo, de acuerdo a lo mencionado por Gao y Jiang (2005) y Aktas (2005), citados por Coronado (2007), respecto al coeficiente de determinación ajustado (R^2_{adj}), el cual fue 0,0%, se puede afirmar que el modelo de la Ecuación (11) no se ajusta a los datos experimentales referidos en el Cuadro 9.

4.2.2 ETAPA II: ESCALAMIENTO

Debido a que el análisis de varianza, de la etapa de screening, comprobó un efecto curvatura positivo; y tomando en cuenta lo mencionado por Pinto (1995) y Montgomery (2005). No fue necesario llevar a cabo una etapa de escalamiento, por lo que se prosiguió con la estimación del modelo de segundo orden y la ubicación del punto óptimo.

4.2.3 ETAPA III: ESTIMACIÓN DEL MODELO MATEMÁTICO DE SEGUNDO ORDEN

Los valores observados y estimados de nivel de agrado, correspondientes a cada uno de los puntos experimentales estudiados, son presentados en el Cuadro 11. Asimismo, en el Anexo 4 se muestran cada uno de los resultados.

Cabe señalar que de los 18 tratamientos propuestos en el Cuadro 11, 6 ya habían sido evaluados en la etapa de screening y ya se contaba con sus resultados correspondientes a la prueba de nivel de agrado; por lo que en esta etapa, solo se realizó la prueba de nivel de agrado para los 12 tratamientos restantes.

Posteriormente, tras realizar un análisis de regresión múltiple con los valores observados, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de segundo grado:

$$\hat{y} = -87,2562 + 32,2458x_1 + 4,2458x_2 - 11,3x_1^2 - 0,2125x_1x_2 - 0,0563x_2^2 \quad (12)$$

donde \hat{y} representa el nivel de agrado estimado; mientras que x_1 y x_2 el contenido de goma de tara y contenido de aceite vegetal, respectivamente, en su forma codificada.

En el Cuadro 12 se presenta el Análisis de Varianza (ANVA), para el modelo cuadrático de la Ecuación 12.

En base a lo mostrado en el Cuadro 12, se puede decir que el modelo propuesto es altamente significativo a un 95% de nivel de confianza. Asimismo, el estadístico R^2 indica

que el modelo, así ajustado, explica 96,51% de la variabilidad del Nivel de Agrado, siendo por lo tanto significativo y suficiente para representar la relación existente entre la respuesta (nivel de agrado) y las variables (contenido de goma de tara y contenido de aceite). La correlación entre los valores observados y estimados de la respuesta nivel de agrado, se muestra en la Figura 11.

Cuadro 11: Puntajes obtenidos en la prueba de nivel de agrado

Puntos Experimentales	X ₁ Contenido Goma de Tara (%)	X ₂ Contenido Aceite Vegetal (%)	Nivel de agrado observado* (y)	Nivel de agrado estimado (ŷ)
1	1	39	4,9	5,44
2	1	37	5,9	5,92
3	0,5	35	1,8	2,03
4	1,5	39	3,3	3,29
5	0,5	39	2,1	1,93
6	1,5	37	4,1	3,99
7	0,5	37	2,2	2,21
8	1	35	6,6	5,96
9	1,5	35	4,1	4,23
10	1	39	5,1	5,43
11	1	37	5,7	5,91
12	0,5	35	1,7	2,02
13	1,5	39	3,7	3,28
14	0,5	39	2,2	1,92
15	1,5	37	4,0	3,98
16	0,5	37	2,3	2,19
17	1	35	6,4	5,94
18	1,5	35	3,8	4,22

*Cada valor representa el promedio de 50 observaciones

Cuadro 12: Análisis de Varianza de la prueba de nivel de agrado

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	9,54	1	9,54	61,14	0,0000
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	0,80	1	0,80	5,13	0,0447
X ₁ .X ₁	31,92	1	31,92	204,57	0,0000
X ₁ .X ₂	0,36	1	0,36	2,31	0,1563
X ₂ .X ₂	0,20	1	0,20	1,30	0,2788
Error total	1,72	11	0,16	-	-
TOTAL	44,55	17	-	-	-
R-cuadrada = 0,9615					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,9404					

Asimismo, el estadístico R^2 ajustado, que es más adecuado para comparar modelos con diferente número de variables independientes, es 94,04%, por lo cual es posible establecer que el modelo de la Ecuación (12) se ajusta a los datos experimentales presentados en el Cuadro 11.

Adicionalmente, en referencia al análisis de los coeficientes del modelo estimado, se puede decir que todos ellos, con la excepción de los términos $X_1.X_2$ y $X_2.X_2$, fueron significativos al 95% de nivel de confianza.

Por otro lado, en las Figuras 12, 13, 14 y 15 se muestran la gráfica de efectos principales, la gráfica de interacciones, la superficie de respuesta y el gráfico de contornos, respectivamente, para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (X_1) y porcentaje de aceite vegetal (X_2).

Figura 11: Resultado del nivel de agrado observado versus el nivel de agrado estimado por el modelo de segundo orden

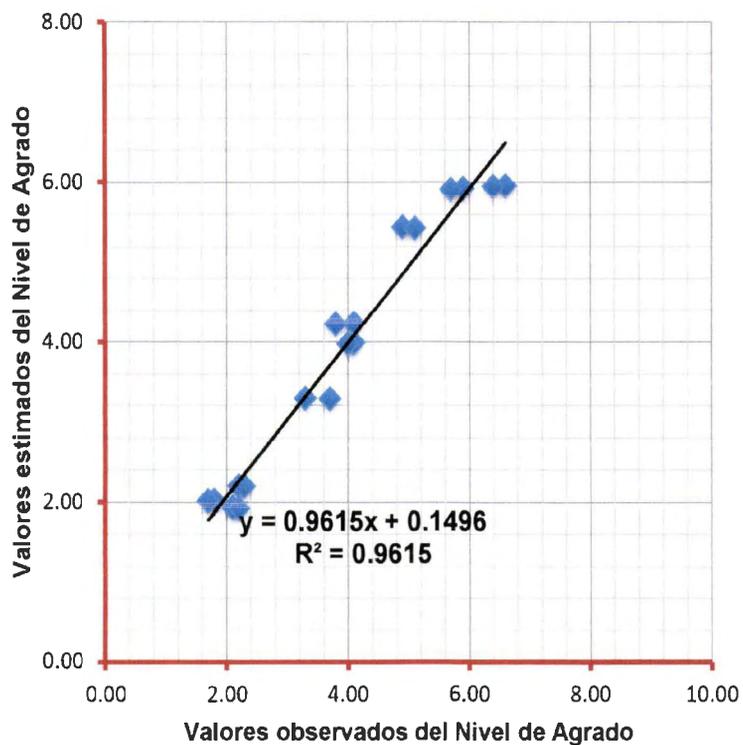


Figura 12: Gráfica de efectos principales para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

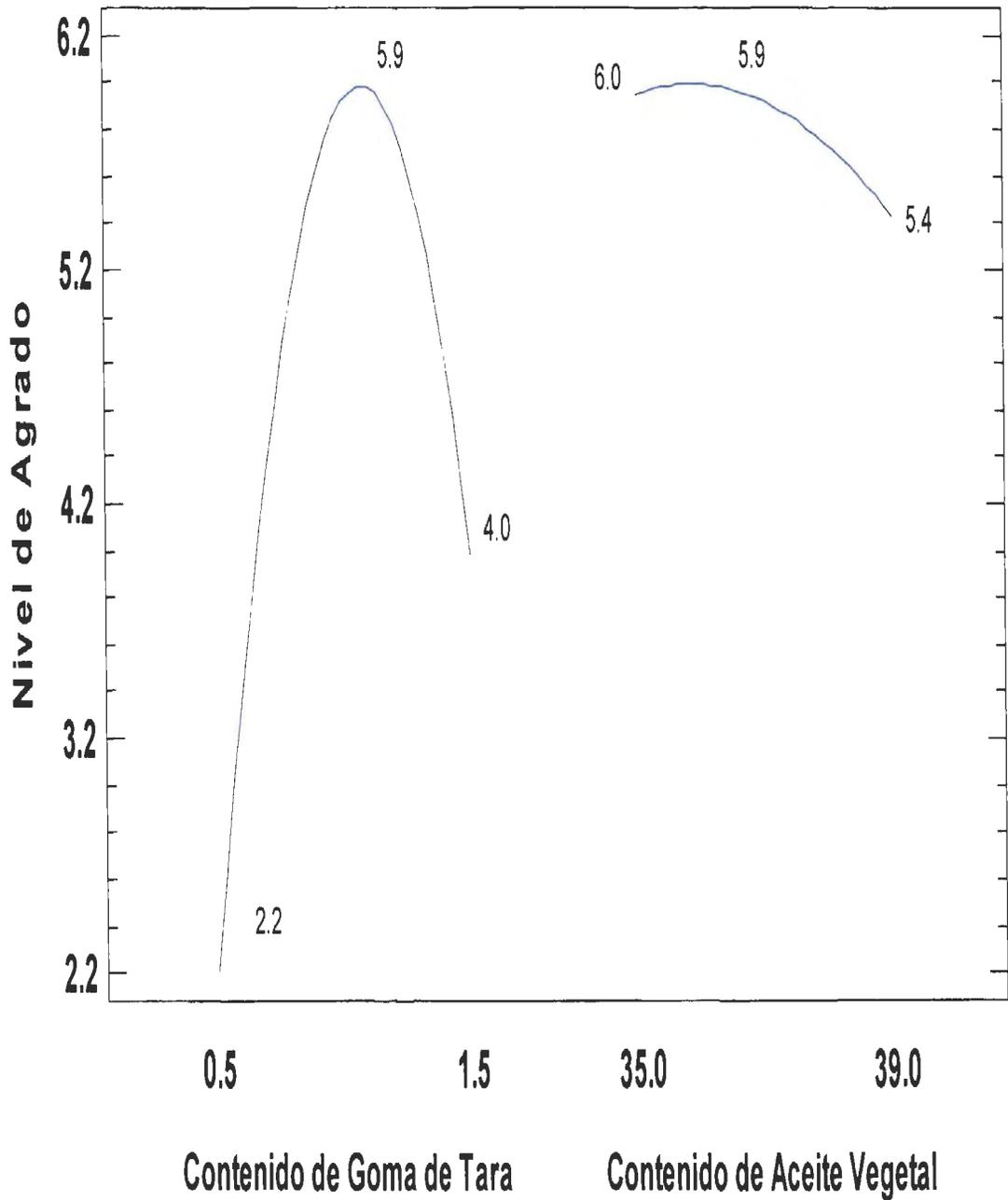


Figura 13: Gráfica de interacción para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

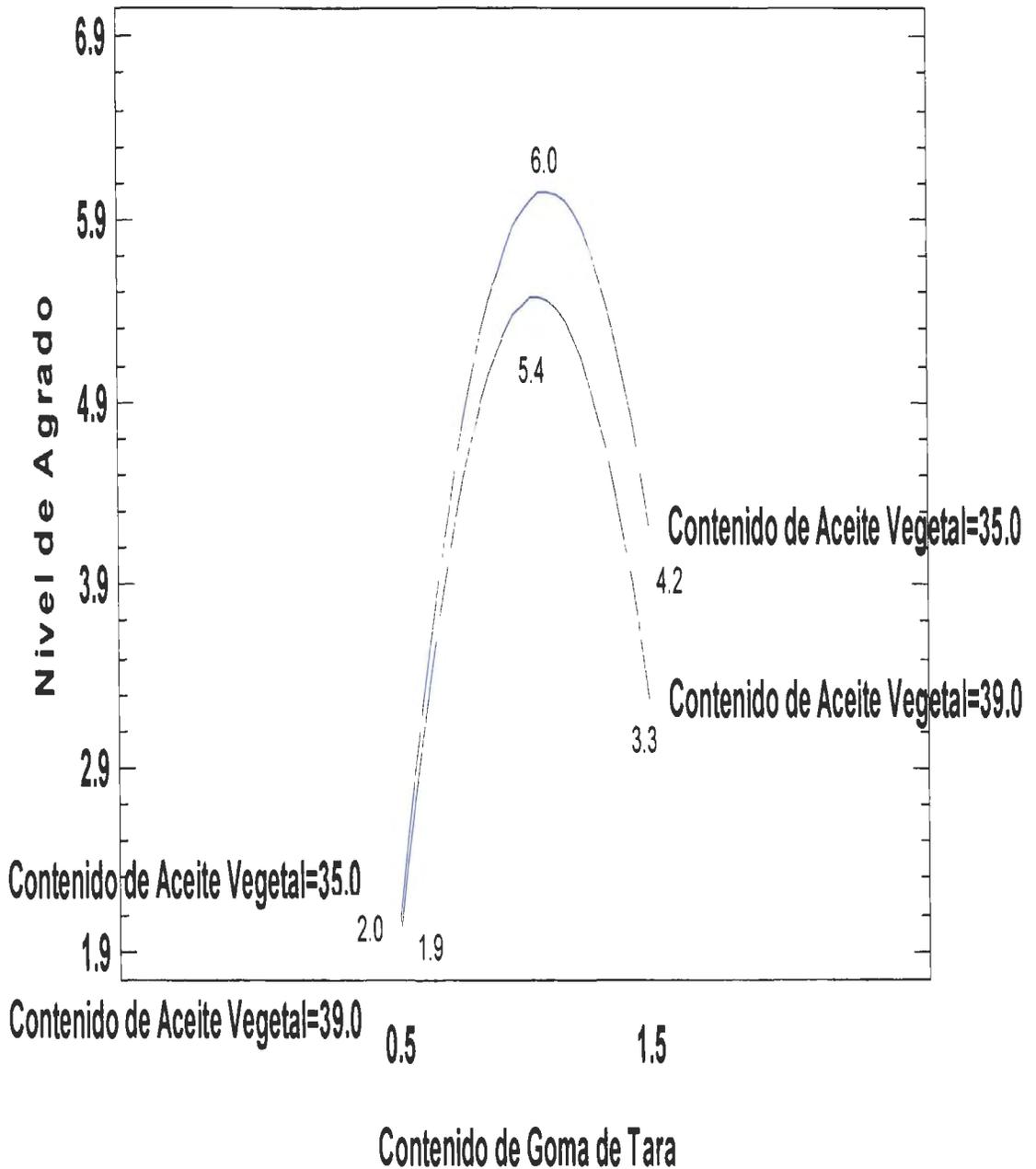


Figura 14: Superficie de respuesta para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

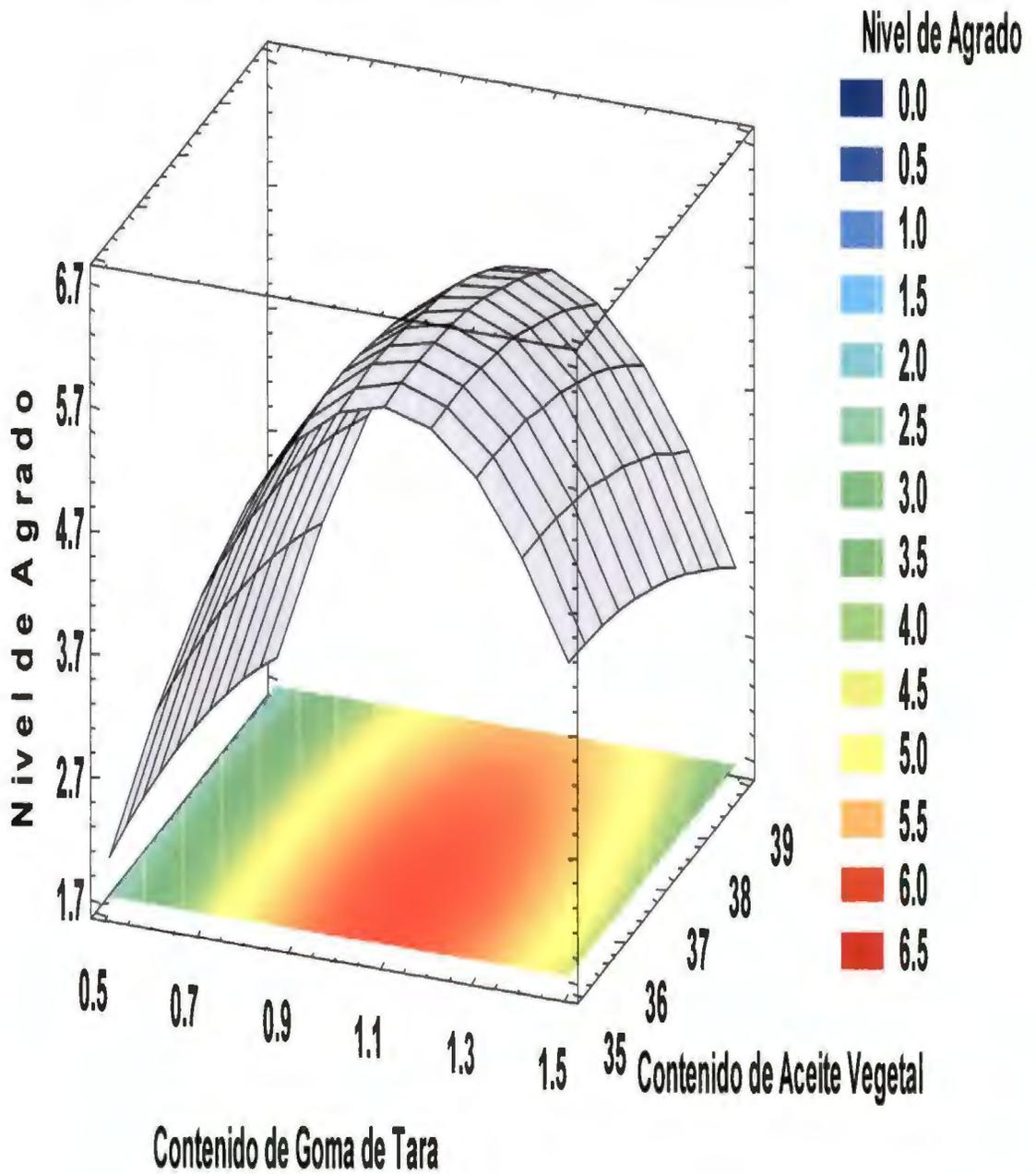
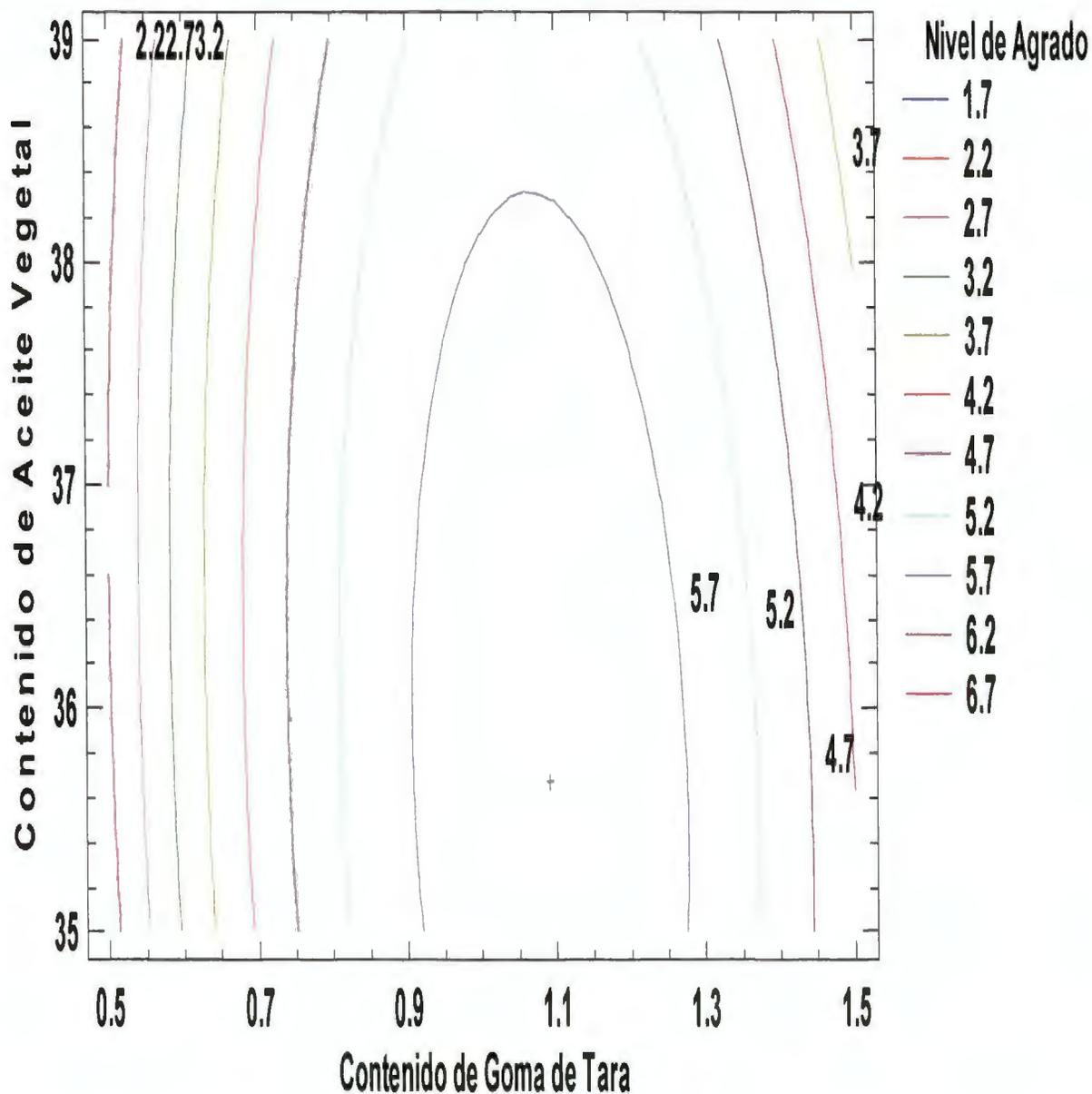


Figura 15: Gráfico de contornos para el nivel de agrado de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial



Tanto en las Figuras 12, 13, 14 y 15, como en el análisis de varianza del Cuadro 12, podemos observar que la goma de tara es el factor que influye en mayor proporción, en el nivel de agrado de la mayonesa light. Tanto niveles bajos, como niveles altos de goma de tara, dan lugar a un pobre nivel de agrado, mientras que concentraciones entre 0,9% y 1,3%, dan lugar a niveles de agrado superiores.

Niveles de agrado bajos, en los tratamientos con concentraciones altas de goma de tara, guardarían relación con lo mencionado por Pettitt *et al.* (1995) y Wendin *et al.* (1997); citados por McClements (2005), los cuales señalan que el gusto percibido de las emulsiones alimentarias varía normalmente por la presencia de biopolímeros que influyen su microestructura y textura. Adicionalmente, McClements (2005), menciona que un número de ingredientes comúnmente encontrados en emulsiones alimentarias son capaces de decrecer el ratio de salida de sabor, por su habilidad para adherir y solubilizar sabores y retardar la transferencia de masa de las moléculas de sabor. Entre estos ingredientes tenemos a los polisacáridos, grupo al cual pertenece la goma de tara.

El ratio de salida de sabor también se reduciría debido a la habilidad que tienen los modificadores de textura (goma de tara), para retardar el movimiento de las moléculas de sabor hacia la superficie del líquido, lo cual se debería al incremento de la viscosidad de la fase acuosa (Nahon *et al.*, 2000; citado por McClemmetns, 2005). Asimismo, Walstra (2003) y Nahon *et al.* (2000); citados por McClements (2005), señalan que el coeficiente de difusión translacional de una molécula es inversamente proporcional a la viscosidad del líquido circundante, por lo que un incremento en la viscosidad del líquido, generará una reducción en el ratio de liberación de sabor. Adicionalmente, es importante señalar que la viscosidad microscópica experimentada por una pequeña molécula, que se mueve a través de una solución, podría ser diferente a la viscosidad macroscópica de la emulsión. No obstante, se ha visto que redes de biopolímeros altamente concentradas, podrían proveer una barrera física a través de la cual las moléculas de sabor no podrían pasar directamente. Por lo que las moléculas tendrían que tomar un camino tortuoso a través de la red, lo cual repercutiría en el tiempo necesario para alcanzar la superficie.

Sabores altamente volátiles son los más afectados por la viscosidad, debido a que el paso limitante, en su liberación del alimento, tiene que ver más con el movimiento a través

del líquido, que con el movimiento requerido para escapar de la superficie del líquido (Overbosch *et al.*, 1991; citado por McClements, 2005). Mientras que por otro lado, sabores ligeramente volátiles son afectados en menor medida, puesto que el paso limitante en su liberación está más relacionado con el movimiento requerido para salir de la superficie del líquido, que con el movimiento a través del líquido (Roberts *et al.* 1996; citado por McClements, 2005). Adicionalmente, Michalski *et al.* (1998) y Malone *et al.* (2003); citados por McClements (2005), mencionan que, otro aspecto que influye en la liberación del sabor es la reducción de la percepción de intensidad de sabor, que producen los polisacáridos, debido a su habilidad para suprimir la mezcla de la comida en la boca durante la masticación. Asimismo esta habilidad de los biopolímeros para alterar las características reológicas de la emulsión podría también influenciar la forma en la que la emulsión encubre la superficie de la boca durante la masticación (Michalski *et al.*, 1998; Malone *et al.*, 2003; citados por McClements, 2005).

En lo que respecta al factor contenido de aceite (X_2), podemos observar que a medida que se va incrementando el contenido de aceite, el nivel de agrado va decreciendo (Figura 12). Tomando en cuenta que la percepción de los sabores, guarda una relación directa con la aceptabilidad general del producto (McKenna, 2003). Los resultados guardarían relación con los resultados obtenidos en la Figura 7, en donde McClements (2005), señala que para el caso de sabores apolares ($K_{OW} > 1$), el sabor en las fases acuosa y gaseosa decrecen, mientras el contenido de aceite se incrementa. Mientras que para el caso de sabores polares ($K_{OW} < 1$), la concentración de sabor en la fase gaseosa se incrementa ligeramente, mientras que la concentración de sabor en la fase acuosa decrece ligeramente, a medida que la fracción de volumen de fase dispersa (ϕ) se incrementa, a contenidos relativamente bajos de aceite.

Por otro lado, en los resultados mostrados en los Cuadros 13 y 14, se puede apreciar la gran diferencia entre los atributos de textura de los tratamientos con 0,5% y 1,5% de goma de tara, y los atributos de textura de una mayonesa regular referencial (Ambrosio, 2002). Cabe señalar que la mayonesa con mayor aceptación por parte de los consumidores peruanos, es la mayonesa regular (GFK Conecta, 2004).

Asimismo, Hou-Pin *et al.* (2009), señala que también obtuvo diferencias significativas en apariencia, sabor y aceptación general entre mayonesas bajas en grasa y mayonesas regulares comerciales. Adicionalmente, McKenna (2003), señala, que la calidad en conjunto de una emulsión en particular, estará determinada por la combinación de características fisicoquímicas y sensoriales, entre las cuales encontramos apariencia, aroma, gusto, tiempo de vida y textura.

Cuadro 13: Análisis de características reológicas a los puntos experimentales del modelo

% Goma de Tara	% Aceite Vegetal	Firmeza (g)	Consistencia (g.seg)	Cohesividad (g)	Índice de Viscosidad (g.seg)
0,5	35	27 ± 1,1	876 ± 32,1	-19 ± 0,6	58 ± 2,4
1	35	62 ± 0,6	211 ± 5,8	-116 ± 0,5	397 ± 2,3
1,5	35	176 ± 1,9	5898 ± 44,6	-306 ± 1,3	950 ± 23,8
0,5	37	29 ± 0,3	975 ± 15,4	-22 ± 1,0	68 ± 8,1
1	37	68 ± 3,2	2311 ± 104,8	-127 ± 5,6	427 ± 19,3
1,5	37	190 ± 2,2	6237 ± 66,0	-323 ± 3,7	1019 ± 42,5
0,5	39	30 ± 2,5	1000 ± 62,3	-23 ± 3,4	74 ± 15,7
1	39	75 ± 1,9	2556 ± 73,2	-138 ± 3,8	451 ± 20,7
1,5	39	202 ± 1,7	6580 ± 26,7	-330 ± 1,2	991 ± 28,7

Cuadro 14: Análisis de características reológicas de la mayonesa regular referencial

Firmeza (g)	Consistencia (g.seg)	Cohesividad (g)	Índice de Viscosidad (g.seg)
99 ± 3,0	3333 ± 17,4	-124 ± 4,7	397,3 ± 3,1

Por otro lado, en los Anexos 6, 7, 8 y 9, se pueden apreciar los resultados de los análisis de varianza de las características reológicas de la mayonesa light; observándose que los factores contenido de goma de tara (X_1) y contenido de aceite vegetal (X_2), son altamente significativos para un 95% de nivel de confianza. Asimismo, en las Figuras 16, 17, 18 y 19, se pueden visualizar las relaciones directamente proporcionales que existen entre los factores y las características reológicas.

Figura 16: Superficie de respuesta para el atributo firmeza de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

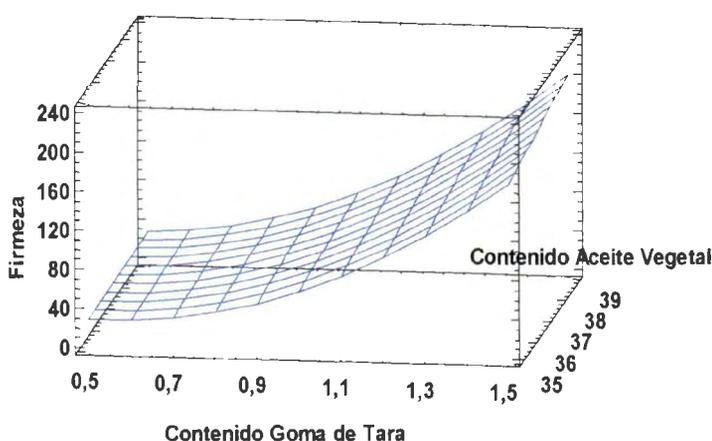


Figura 17: Superficie de respuesta para el atributo consistencia de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

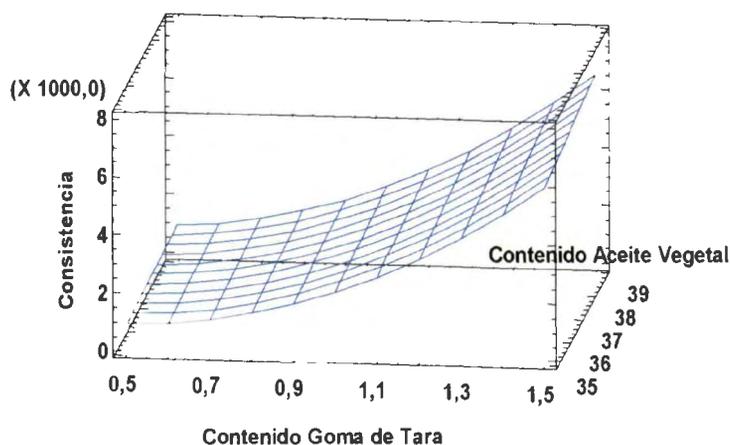


Figura 18: Superficie de respuesta para el atributo cohesividad de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial

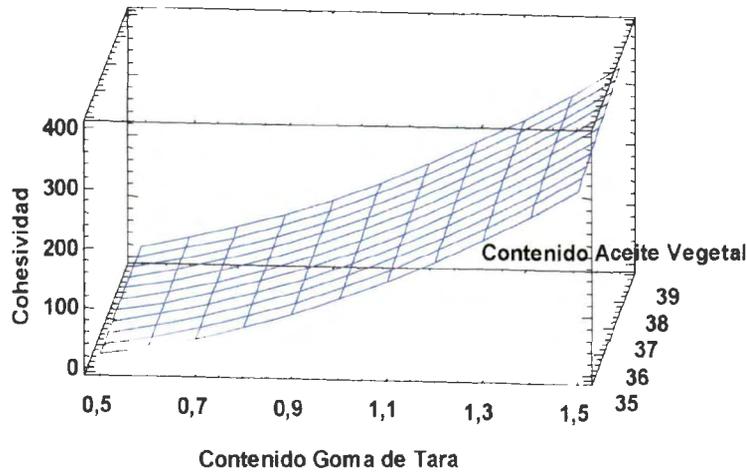
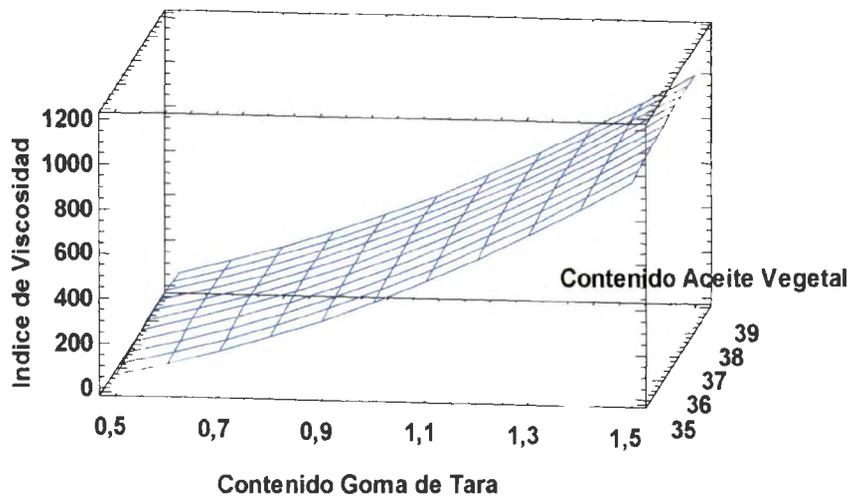


Figura 19: Superficie de respuesta para el atributo cohesividad de la mayonesa light, en función del porcentaje de goma de tara (x_1) y el porcentaje de aceite vegetal (x_2) en el diseño factorial



Adicionalmente, los valores del estadístico R^2 , fueron 99,96%, 99,96%, 99,95% y 99,72%; para las características reológicas, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad, respectivamente. Por lo que se puede decir, que estos valores son altamente

significativos y suficientes para representar las relaciones existentes entre las respuestas (firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad) y las variables (contenido de goma de tara y contenido de aceite).

Por otro lado, en los Cuadros 19 y 20, se pueden apreciar las principales características fisicoquímicas de los puntos experimentales del modelo y de la mayonesa regular referencial, respectivamente.

Cuadro 19: Características fisicoquímicas de los puntos experimentales del modelo

% Goma de Tara	% Aceite Vegetal	Aw	pH	Acidez (% Ac. Acético)
0,5	35	0,97 + 0,000	4,00 ± 0,028	0,44 ± 0,007
1	35	0,97 ± 0,001	4,04 ± 0,018	0,45 ± 0,006
1,5	35	0,97 ± 0,001	3,95 ± 0,015	0,43 ± 0,005
0,5	37	0,97 ± 0,001	4,00 ± 0,019	0,42 ± 0,006
1	37	0,97 ± 0,001	4,03 ± 0,005	0,41 ± 0,006
1,5	37	0,96 ± 0,001	3,98 ± 0,021	0,42 ± 0,012
0,5	39	0,97 ± 0,000	4,02 ± 0,005	0,44 ± 0,007
1	39	0,96 ± 0,001	4,02 ± 0,002	0,43 ± 0,012
1,5	39	0,96 ± 0,002	3,98 ± 0,006	0,43 ± 0,011

En lo que respecta a la actividad de agua, se obtuvieron para los puntos experimentales del modelo, valores de Aw mayores, que los obtenidos para la mayonesa regular referencial. Esto guardaría relación con el mayor contenido de agua que existe en los tratamientos de mayonesa light.

Ante esto, Chirife *et al.* (1989), citado por Hou-Pin *et al.* (2009), señala que la Aw de mayonesas regulares (77-79% aceite) se encuentra alrededor de 0,93, mientras que para mayonesas bajas en grasa (37-42% aceite), la Aw se encuentra cerca de 0,95.

Cuadro 20: Características fisicoquímicas de la mayonesa regular

Aw	pH	Acidez (% Ac. Acético)
0,93 ± 0,004	3.92 ± 0,013	0,4 ± 0,005

En lo que respecta al pH, de acuerdo a Hatchcox *et al.* (1995), citado por Hou-Pin Su *et al.* (2009), el pH de las mayonesas bajas en grasas sería más alto que el de las mayonesas regulares, debido a la dilución del ácido acético en la fase acuosa de la mayonesa baja en grasa. Por lo que existe correlación entre los resultados obtenidos y los resultados experimentales del autor.

Asimismo, los resultados del análisis de varianza mostrados en los Anexos 11, 12 y 13, demuestran que a un nivel de significancia $\alpha=0,05$, las variables contenido de goma de tara (X_1) y contenido de aceite vegetal (X_2), no afectan significativamente a la Aw, el pH y la acidez (Ac. Acético), a los niveles evaluados; puesto que los valores de probabilidad F (Prob > F) fueron mayores a 0,05, para todos los casos. Adicionalmente, debido a que los coeficientes de determinación múltiple (R^2) tuvieron valores bajos, no se puede afirmar que los modelos sean altamente significativos.

Por otro lado, en el Cuadro 21 se muestra la combinación de los niveles de los factores, la cual maximiza el Nivel de Agrado sobre la región indicada, los cuales migran hacia el nivel medio y el nivel más bajo para la goma de tara y aceite vegetal, respectivamente.

Adicionalmente, en el Cuadro 22 se pueden observar los porcentajes de todos los ingredientes que forman parte de la formulación óptima.

Cuadro 21: Optimización de la variable respuesta Nivel de Agrado

Respuesta Optima			
Objetivo: Maximizar el Nivel de Agrado			
Valor óptimo = 6,08			
Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Contenido de Goma de Tara	0,5	1,5	1,09
Contenido de Aceite Vegetal	35	39	35,68

Cuadro 22: Formulación optimizada de la mayonesa light

Ingredientes/Insumos	Mayonesa Regular (%)
Aceite vegetal	35,68
Yema de huevo - 10% Sal	10,00
Vinagre extrafino	5,00
Sal extra refinada	1,50
Azúcar refinada	2,00
Goma de Tara	1,09
Harina de mostaza	0,30
Sorbato de potasio	0,10
Sabor pimienta negra	0,10
Glutamato de sodio	0,10
EDTA cálcico trisódico GA	0,08
Agua microfiltrada	44,05
Total fórmula	100,00

4.2.4 VALIDACIÓN DE LOS NIVELES ÓPTIMOS DE LAS VARIABLES

La comparación de los valores estimados del nivel de agrado en el tratamiento óptimo, con su respectivo valor observado, se llevó a cabo mediante una nueva evaluación sensorial, en la cual participaron 50 jueces no entrenados, los cuales evaluaron el nivel de agrado de la mayonesa light con su formulación optimizada. Estos resultados se pueden apreciar en el Anexo 14.

Al observar el Cuadro 23, podemos señalar que no existe una diferencia marcada entre el valor estimado y observado en el punto óptimo, lo cual implica que el modelo empírico obtenido por la Metodología de Superficie de Respuesta describe adecuadamente la relación entre los factores y la respuesta, siempre y cuando se trabaje en cualquier condición que se encuentre dentro de la zona experimental analizada.

Cuadro 23: Comparación del valor estimado y observado para la respuesta en el punto óptimo

Valores	Nivel de Agrado
Estimado	6,08
Observado	5,88

4.2.5 CARACTERIZACIÓN DE LA FORMULACIÓN ÓPTIMA

La muestra de mayonesa light correspondiente a la formulación óptima fue caracterizada respecto a su composición químico proximal y características fisicoquímicas (Cuadro 24 y Cuadro 25).

Puesto que la desviación estándar, presenta valores cercanos a cero, podemos afirmar que se tiene poca variabilidad de los datos en todos los casos, observando la más baja desviación estándar en el porcentaje de fibra cruda. Asimismo, los resultados guardan relación con los resultados obtenidos por Hou-Pin Su *et al.* (2009) y Liu *et al.* (2007).

Cuadro 24: Análisis químico proximal de la mayonesa light optimizada

Análisis	Resultado (%)
Humedad	55,85 ± 0,01
Grasa	37,06 ± 0,04
Proteína	1,23 ± 0,03
Fibra Cruda	0,05 ± 0,00
Ceniza	0,85 ± 0,05
Ext. Libre Nitróg. (*)	4,97

(*) El porcentaje de carbohidratos o extracto libre de nitrógeno se obtuvo por diferencia (100% menos la suma de los demás componentes), por lo que no se halló desviación estándar en ese caso.

Cuadro 25: Análisis fisicoquímico de la Mayonesa Light Optimizada

Análisis	Resultado
Aw	0,97 ± 0,002
pH	4.03 ± 0,015
Acidez (% Ac. Acético)	0.42 ± 0,015

Respecto a los análisis fisicoquímicos, también se puede decir que la desviación estándar, presenta valores cercanos a cero, por lo que existe poca variabilidad entre datos para todos los casos.

Por otro lado, respecto a la concentración de ácido acético en la fase acuosa y en base a los resultados obtenidos en los Cuadros 24 y 25, obtenemos una concentración de ácido acético en la fase acuosa igual a 0,75%, con un pH equivalente a 4. Por lo que de acuerdo a Glass y Doyle (1991); citados por Davidson *et al.* (2005), el producto será microbiológicamente seguro.

Adicionalmente, el porcentaje de grasa de la mayonesa light, obtenida con la formulación óptima, fue de 37,06% ± 0,04, por lo que en comparación con el porcentaje de grasa de la mayonesa regular referencial, equivalente a 78% y de acuerdo a lo mencionado por el FDA (2008), puede ser considerada como un producto light. Asimismo, De acuerdo a la NTP –

CODEX CAC/GL 23 (2012); al ser la diferencia relativa del contenido de grasa, entre el producto elaborado y la mayonesa regular, mayor al 25%, la mayonesa elaborada puede ser considerada como un producto “reducido” en su contenido graso, o considerada como un producto “ligero o light”.

V. CONCLUSIONES

- La formulación óptima, obtenida mediante la maximización del nivel de agrado, de la mayonesa light, presentó un contenido de goma de tara y aceite vegetal de 1,09% y 35,68%, respectivamente.
- En la etapa de screening se encontraron que la variable contenido de goma de tara; y la interacción entre el contenido de goma de tara y el contenido de aceite vegetal, afectan significativamente ($\alpha < 0,05$) la variable respuesta, nivel de agrado, del modelo experimental.
- El porcentaje de grasa de la mayonesa light, obtenida con la formulación óptima, fue de $37,06 \pm 0,04$, por lo que en comparación con los porcentajes de grasa la mayonesa regular referencial y de acuerdo a lo mencionado por el FDA (2008) y la NTP - CODEX CAC/GL 23 (2012), puede ser considerada como un producto light.
- Los factores contenido de goma de tara (X_1) y contenido de aceite vegetal (X_2), fueron altamente significativos, a un 95% de nivel de confianza, y tuvieron un efecto directamente proporcional, en las características reológicas: firmeza, consistencia, cohesividad e índice de viscosidad.
- Los factores, contenido de goma de tara (X_1) y contenido de aceite vegetal (X_2), no fueron significativos, a un 95% de nivel de confianza, en la A_w , el pH y la acidez (% ácido acético), para la zona experimental analizada.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios de vida útil para determinar el tiempo de vida de la mayonesa light con la formulación óptima.
- Preparar un grupo de jueces entrenados, con el fin de poder determinar los perfiles de sabor y textura de las mayonesas en estudios posteriores.

VII. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMBROSIO, T. 2002. Procedimiento de elaboración de mayonesa regular. Desarrollo Tecnológico, ALICORP. Lima – Perú.
- AYALA, J.; PARDO, R. 1995. Optimización por diseños experimentales con aplicaciones en ingeniería. Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología – CONCYTEC. Editorial A&B Editores. Lima – Perú.
- BECHER, P. 1985. Encyclopedia of emulsion technology, Vol. 2 Applications. Editorial Marcel Dekker Inc. New York – United States of America.
- COCHRAN, W. y COX, G. 1990. Diseños experimentales. Segunda edición. Editorial Trillas. México.
- CORONADO, M. 2007. Optimización de parámetros fisicoquímicos en la extracción de compuestos fenólicos a partir de bracteas externas de alcachofa (*Cynara scolymus L.*) aplicando la metodología de superficie de respuesta. Tesis UNALM. Perú.
- CUBERO, N.; MONFERRE, A. Y VILLALTA, J. 2002. Aditivos Alimentarios. Editorial, coedición: A. Madrid Vicente, Ediciones Mundi-Prensa. Madrid España.
- DAVIDSON, P.; SOFOS, J. AND BRANEN, A. 2005. Antimicrobials in food. Tercera Edición. Editorial CRC Press. Estados Unidos.
- FERNANDES, P. 1994. Determination of the physical functionality of galactomannans in kappa-carrageenan/galactomannan mixed systems by periodate oxidation. Food Chemistry. Vol. 49 : 367 – 361.

- FOOD AND DRUG ADMINISTRATION, 2008. Food Labeling Guide. Office of Nutrition , Labeling and Dietary Supplements. United States of America.
- FOOD STANDARDS AUSTRALIA NEW ZELAND (FSANZ). 2006. Tara gum as a food additive. Final Assessment Report. Application A546. Australia.
- GFK CONECTA. 2004. Estudio del mercado de mayonesas en el Perú. Informe ALICORP, S.A.A.
- GÓMEZ, J.; MÉNDEZ, I.; CASTILLO, A. y O'REILLY, F. (1978). Aplicaciones agronómicas de la superficie respuesta. Agrociencia. México. N° 32.
- HOU-PIN, S.; CHUANG-PING, L.; TAN-ANG, L. AND RUO-SYUAN, H.. 2009. Development of low-fat mayonnaise containing polysaccharide gums as functional ingredients. Wiley Interscience.
- ISRAELACHVILI, J.N.. 1992. Intermolecular surface forces. Academic Press, London, UK.
- KUEHL, R. (2001). Diseño de experimentos. Segunda edición. Thomson editores, S.A. de C.V. México.
- LAH, C.; CHERYAN, M. AND DeVOR, R. (1980). A response surface methodology approach to the optimization of whipping properties of an ultrafiltered soy product. Journal of Food Science. USA. Volume 45.
- LIU, H.; XU, X. AND GUO, SH.. 2007. Rheological, texture and sensory properties of low-fat mayonnaise with different fat mimetics. School of Food Science and Technology, Southern Yangtze University, Jiangsu. China.

- McCLEMENTS, D. 2005. Food Emulsions Principles, Practices, and Techniques. Second Edition. Editorial CRC PRESS. Florida – United States of America.
- MCKENNA, B. 2003. Texture in food, Volume 1: Semi-solid foods. Primera Edición. Editorial CRC Press. Estados Unidos.
- MONTGOMERY, D. 2005. Diseño y análisis de experimentos. Segunda Edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- MONTGOMERY, D. 2006. Probabilidad y estadística aplicada a la ingeniería. Segunda Edición. Grupo Editorial Iberoamérica. México.
- NTP-CODEX CAC/GL 23. 2012. Etiquetado. Uso de declaraciones nutricionales y saludables. Primera Edición. Perú
- MORALES, E. 2003. Optimización de los parámetros fisicoquímicos para la extracción alcalina de proteínas de hígado de bovino, aplicando el método de superficie de respuesta. Tesis UNALM. Perú.
- ORMEÑO, R. (2004). Optimización de la formulación de helados light aplicando los métodos Taguchi y superficie de respuesta. Tesis UNALM. Perú.
- OVERBOSCH, P., AFTEROFF, W.G.M., HARING, P.G.M.. 1991. Flavor release in the mouth. Food reviews International, 7, 137.
- PEDRERO, D.; PANGBORN, R.. 1996. Evaluación sensorial de los alimentos, Métodos analíticos. Primera reimpresión. Grupo Editorial Alhambra Mexicana. México.

- PINTO, J. (1995). Aplicación de la metodología de superficie de respuesta en la optimización del proceso de clarificación de jugo de manzana. Tesis UNALM. Perú.
- PSZCZOLA, D. 2003. Products & Technologies: Ingredients. Food Technology, Vol. 57, Nº 12 : 34 - 42.
- SALAZAR, L. 2006. Optimización del nivel de sustitución de tejido graso de cerdo por inulina en la formulación de un paté bajo en grasa. Tesis UNALM. Perú.
- SMITH, D.V., MARGOLSKEE, R.F.. 2001. Making sense of taste. Scientific American, 284, 32.
- SPIEGEL, M. (1991). Estadística. Segunda edición. Editorial McGraw – Hill. México.
- TAYLOR, A.J.. 1998. Physical chemistry of flavour. International journal of food science and technology, 33, 53.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Resultados del análisis químico proximal de la goma de tara

Análisis	R1	R2	R3	Promedio	Desviación Estándar
Humedad	10,11	10,08	10,07	10,0840	0,0242
Grasa	0,68	0,66	0,65	0,6630	0,0138
Proteína	2,67	2,75	2,67	2,6952	0,0500
Fibra Cruda	0,81	0,80	0,83	0,8152	0,0144
Ceniza	0,88	0,87	0,89	0,8833	0,0081
Ext. Libre Nitróg. (*)	84,85	84,83	84,89	84,8593	-

(*) El porcentaje de carbohidratos o extracto libre de nitrógeno se obtuvo por diferencia (100% menos la suma de los demás componentes), por lo que no se halló desviación estándar en ese caso.

Anexo 2: Cartilla de Evaluación sensorial para la prueba de nivel de agrado

PRUEBA DE NIVEL DE AGRADO – EVALUACIÓN DE PRODUCTO MAYONESA

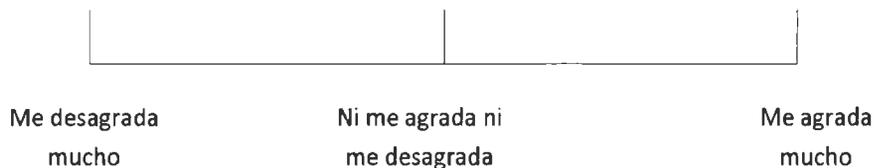
NOMBRE: FECHA:

Usted está recibiendo un producto para que lo emplee como acompañamiento de una porción de papas sancochadas. Por favor, evalúe la mayonesa presentada; y responda la siguiente pregunta según la escala señalada:

EVALUACIÓN:

1. Tomando en cuenta todo lo que le gusta y todo lo que no le gusta del producto, señale: ¿Cuál es su nivel de agrado? Marque con un aspa "x" ó con una "I" en la escala mostrada.

Código:



Comentarios acerca del producto:

¡Muchas gracias por su colaboración!

Anexo 3: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado en la etapa de Screening

3.1 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental N° 1: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,5
2	6,1
3	5,6
4	6,3
5	3,4
6	7,7
7	4,5
8	3,6
9	6,5
10	8,9
11	6,2
12	6,9
13	3,2
14	6,9
15	6,1
16	5,1
17	6,9
18	8,2
19	5,5
20	6,2
21	5,0
22	7,8

23	6,1
24	3,9
25	6,4
26	8,3
27	3,6
28	4,1
29	7,6
30	5,1
31	3,3
32	6,7
33	6,3
34	4,5
35	5,2
36	7,3
37	6,2
38	4,3
39	6,0
40	6,9
41	3,3
42	4,6
43	7,7
44	3,7
45	5,7
46	4,8
47	3,4
48	5,0
49	7,5
50	7,2

**3.2 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 2: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,7
2	5,6
3	6,1
4	4,5
5	3,9
6	7,3
7	4,1
8	3,9
9	5,3
10	8,5
11	4,7
12	6,3
13	3,7
14	7,7
15	5,5
16	4,1
17	7,7
18	7,3
19	4,9
20	5,9
21	3,4
22	7,1
23	5,8
24	4,6
25	5,9

26	8,7
27	2,8
28	4,5
29	7,0
30	4,3
31	4,1
32	7,3
33	6,3
34	4,3
35	5,9
36	8,1
37	7,1
38	4,8
39	6,3
40	7,7
41	3,5
42	3,9
43	6,9
44	4,5
45	5,2
46	4,9
47	3,3
48	5,0
49	7,0
50	8,0

**3.3 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 3: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,3
2	6,3
3	5,4
4	6,1
5	3,7
6	7,4
7	5,3
8	4,1
9	6,7
10	8,9
11	6,5
12	6,3
13	2,8
14	6,3
15	5,9
16	4,8
17	8,3
18	4,7
19	3,9
20	7,2
21	5,6
22	6,6
23	6,6
24	5,6
25	7,7

26	8,1
27	3,5
28	4,1
29	7,7
30	4,9
31	3,0
32	6,5
33	6,1
34	4,8
35	4,9
36	7,2
37	6,1
38	4,4
39	6,1
40	6,7
41	5,6
42	6,3
43	7,4
44	3,9
45	6,1
46	5,9
47	6,0
48	5,2
49	7,1
50	7,3

**3.4 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 4: 1,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,3
2	3,7
3	2,0
4	4,1
5	3,7
6	3,9
7	3,1
8	2,0
9	3,1
10	5,2
11	5,5
12	6,3
13	1,5
14	5,3
15	4,9
16	3,5
17	5,8
18	5,3
19	4,4
20	4,8
21	5,2
22	5,6
23	2,7
24	4,1
25	4,7

26	5,1
27	5,1
28	4,5
29	3,3
30	5,0
31	1,9
32	5,7
33	4,1
34	1,2
35	4,4
36	4,7
37	5,0
38	3,4
39	1,8
40	5,3
41	0,7
42	5,2
43	4,0
44	4,7
45	5,5
46	3,3
47	4,0
48	3,5
49	4,4
50	5,7

**3.5 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 5: 1,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	2,1
2	2,1
3	1,2
4	3,4
5	4,7
6	2,1
7	1,7
8	1,0
9	2,6
10	4,2
11	4,7
12	4,6
13	1,6
14	2,0
15	3,5
16	4,1
17	2,4
18	3,3
19	3,3
20	4,6
21	4,3
22	5,0
23	2,5
24	5,3
25	2,1

26	5,0
27	3,9
28	3,5
29	2,6
30	3,7
31	1,5
32	5,0
33	3,7
34	1,5
35	4,7
36	3,2
37	5,0
38	4,7
39	3,3
40	4,7
41	0,1
42	5,0
43	3,7
44	5,0
45	0,7
46	3,0
47	3,6
48	2,2
49	4,7
50	4,5

**3.6 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 6: 0,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	1,1
2	2,3
3	0,5
4	2,7
5	3,7
6	2,3
7	3,7
8	2,9
9	0,9
10	2,2
11	2,3
12	1,6
13	2,1
14	1,5
15	2,7
16	3,5
17	1,5
18	1,9
19	2,1
20	1,9
21	1,2
22	3,0
23	2,8
24	1,4
25	1,9

26	3,9
27	1,8
28	2,5
29	3,5
30	2,1
31	1,0
32	1,8
33	2,1
34	3,3
35	1,0
36	1,9
37	1,8
38	3,1
39	1,4
40	1,5
41	0,3
42	3,3
43	4,0
44	1,7
45	2,9
46	1,5
47	3,5
48	1,2
49	2,1
50	0,8

**3.7 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 7: 0,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	0,7
2	1,1
3	0,3
4	3,3
5	2,8
6	0,8
7	3,2
8	1,1
9	0,7
10	3,3
11	3,3
12	0,9
13	1,8
14	0,5
15	2,5
16	1,3
17	2,9
18	1,4
19	1,8
20	1,1
21	2,0
22	3,3
23	1,5
24	1,9
25	1,7

26	3,3
27	2,4
28	1,8
29	2,4
30	3,0
31	1,2
32	1,8
33	1,1
34	2,9
35	1,8
36	2,4
37	1,2
38	1,6
39	0,7
40	0,7
41	0,3
42	2,9
43	2,8
44	2,4
45	1,4
46	1,8
47	2,7
48	1,3
49	1,9
50	0,6

**3.8 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 8: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,7
2	5,3
3	5,1
4	6,9
5	4,1
6	8,3
7	6,3
8	4,7
9	6,3
10	8,7
11	5,9
12	6,7
13	3,5
14	5,8
15	4,2
16	5,5
17	7,7
18	5,3
19	4,0
20	6,8
21	6,0
22	6,3
23	6,2
24	5,3
25	7,1

26	7,7
27	4,0
28	4,3
29	7,2
30	5,2
31	3,3
32	6,7
33	6,3
34	4,3
35	4,7
36	6,9
37	6,3
38	4,3
39	5,3
40	7,4
41	6,1
42	5,1
43	8,0
44	3,4
45	5,7
46	6,2
47	5,2
48	5,3
49	6,5
50	7,6

Anexo 4: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado en la etapa de estimación del modelo matemático de segundo orden

4.1 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental N° 1: 1,0% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,1
2	4,6
3	5,0
4	5,5
5	4,4
6	6,1
7	4,6
8	5,0
9	8,1
10	5,9
11	4,3
12	5,5
13	6,5
14	4,9
15	6,1
16	4,6
17	3,6
18	4,8
19	3,9
20	3,7
21	4,3
22	7,0

23	3,7
24	5,9
25	3,9
26	4,1
27	2,5
28	2,9
29	5,7
30	3,2
31	3,5
32	7,1
33	5,5
34	6,2
35	6,0
36	3,8
37	4,3
38	6,9
39	5,0
40	4,1
41	2,4
42	3,1
43	6,5
44	5,3
45	3,5
46	5,2
47	4,1
48	3,4
49	5,5
50	6,3

**4.2 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 2: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,5
2	6,1
3	5,6
4	6,3
5	3,4
6	7,7
7	4,5
8	3,6
9	6,5
10	8,9
11	6,2
12	6,9
13	3,2
14	6,9
15	6,1
16	5,1
17	6,9
18	8,2
19	5,5
20	6,2
21	5,0
22	7,8
23	6,1
24	3,9
25	6,4

26	8,3
27	5,2
28	4,1
29	7,6
30	5,1
31	6,1
32	6,7
33	6,3
34	5,2
35	5,2
36	7,3
37	6,2
38	4,3
39	6,0
40	6,9
41	4,7
42	4,6
43	7,7
44	3,7
45	5,7
46	4,8
47	3,4
48	5,0
49	7,5
50	7,2

**4.3 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 3: 0,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	0,7
2	1,1
3	0,3
4	3,3
5	2,8
6	0,8
7	3,2
8	1,1
9	0,7
10	3,3
11	3,3
12	0,9
13	1,8
14	0,5
15	2,5
16	1,3
17	2,9
18	1,4
19	1,8
20	1,1
21	2,0
22	3,3
23	1,5
24	1,9
25	1,7

26	3,3
27	2,4
28	1,8
29	2,4
30	3,0
31	1,2
32	1,8
33	1,1
34	2,9
35	1,8
36	2,4
37	1,2
38	1,6
39	0,7
40	0,7
41	0,3
42	2,9
43	2,8
44	2,4
45	1,4
46	1,8
47	2,7
48	1,3
49	1,9
50	0,6

**4.4 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 4: 1,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	2,1
2	2,1
3	1,2
4	3,4
5	4,7
6	2,1
7	1,7
8	1,0
9	2,6
10	4,2
11	4,7
12	4,6
13	1,6
14	2,0
15	3,5
16	4,1
17	2,4
18	3,3
19	3,3
20	4,6
21	4,3
22	5,0
23	2,5
24	5,3
25	2,1

26	5,0
27	3,9
28	3,5
29	2,6
30	3,7
31	1,5
32	5,0
33	3,7
34	1,5
35	4,7
36	3,2
37	5,0
38	4,7
39	3,3
40	4,7
41	0,1
42	5,0
43	3,7
44	5,0
45	0,7
46	3,0
47	3,6
48	2,2
49	4,7
50	4,5

**4.5 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 5: 0,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	1,1
2	2,3
3	0,5
4	2,7
5	3,7
6	2,3
7	3,7
8	2,9
9	0,9
10	2,2
11	2,3
12	1,6
13	2,1
14	1,5
15	2,7
16	3,5
17	1,5
18	1,9
19	2,1
20	1,9
21	1,2
22	3,0
23	2,8
24	1,4
25	1,9

26	3,9
27	1,8
28	2,5
29	3,5
30	2,1
31	1,0
32	1,8
33	2,1
34	3,3
35	1,0
36	1,9
37	1,8
38	3,1
39	1,4
40	1,5
41	0,3
42	3,3
43	4,0
44	1,7
45	2,9
46	1,5
47	3,5
48	1,2
49	2,1
50	0,8

**4.6 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 6: 1,5% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	3,5
2	3,5
3	1,7
4	4,3
5	4,2
6	4,4
7	3,6
8	1,5
9	1,6
10	6,1
11	5,0
12	5,4
13	1,4
14	4,9
15	3,2
16	3,3
17	3,8
18	4,7
19	5,5
20	4,5
21	4,3
22	5,4
23	6,1
24	5,0
25	4,5

26	4,6
27	5,2
28	4,5
29	3,9
30	4,2
31	3,1
32	6,2
33	3,4
34	2,8
35	4,5
36	3,5
37	5,6
38	3,1
39	3,4
40	5,0
41	1,4
42	5,0
43	5,3
44	5,0
45	5,0
46	3,1
47	4,4
48	2,8
49	4,3
50	4,7

**4.7 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 7: 0,5% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	0,8
2	2,1
3	0,8
4	3,3
5	2,5
6	2,7
7	3,1
8	1,5
9	0,7
10	1,9
11	5,0
12	3,3
13	2,1
14	1,1
15	2,3
16	3,3
17	1,9
18	2,7
19	2,1
20	2,3
21	3,3
22	1,9
23	3,3
24	3,2
25	1,3

26	2,2
27	2,7
28	1,2
29	2,8
30	3,4
31	1,3
32	2,4
33	1,8
34	2,3
35	2,0
36	3,3
37	2,1
38	2,6
39	0,5
40	1,9
41	0,8
42	3,1
43	3,5
44	1,9
45	1,9
46	1,4
47	3,7
48	0,8
49	1,7
50	0,5

**4.8 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 8: 1,0% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,7
2	5,4
3	5,0
4	4,0
5	4,5
6	7,8
7	6,5
8	6,2
9	5,7
10	9,4
11	9,1
12	7,5
13	5,1
14	7,5
15	8,2
16	7,9
17	8,3
18	7,3
19	7,6
20	7,1
21	7,5
22	7,7
23	7,6
24	6,1
25	6,6

26	7,9
27	8,2
28	6,0
29	6,5
30	7,9
31	4,3
32	7,5
33	6,3
34	8,1
35	5,0
36	4,1
37	8,1
38	3,4
39	5,0
40	8,5
41	6,1
42	6,2
43	5,4
44	6,9
45	7,1
46	5,7
47	6,1
48	7,1
49	5,0
50	6,7

**4.9 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 9: 1,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,3
2	3,7
3	2,0
4	4,1
5	3,7
6	3,9
7	3,1
8	2,0
9	3,1
10	5,2
11	5,5
12	6,3
13	1,5
14	5,3
15	4,9
16	3,5
17	5,8
18	5,3
19	4,4
20	4,8
21	5,2
22	5,6
23	2,7
24	4,1
25	4,7

26	5,1
27	5,1
28	4,5
29	3,3
30	5,0
31	1,9
32	5,7
33	4,1
34	1,2
35	4,4
36	4,7
37	5,0
38	3,4
39	1,8
40	5,3
41	0,7
42	5,2
43	4,0
44	4,7
45	5,5
46	3,3
47	4,0
48	3,5
49	4,4
50	5,7

**4.10 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 10: 1,0% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,9
2	6,2
3	4,8
4	5,4
5	4,8
6	6,3
7	5,4
8	5,6
9	8,5
10	5,9
11	5,4
12	5,0
13	5,4
14	8,8
15	5,8
16	4,4
17	5,3
18	4,9
19	3,3
20	3,5
21	3,3
22	7,4
23	4,1
24	3,7
25	3,9

26	4,7
27	4,3
28	4,8
29	5,8
30	4,2
31	3,2
32	6,8
33	5,4
34	6,6
35	4,9
36	4,4
37	3,9
38	7,0
39	5,1
40	4,1
41	3,8
42	4,3
43	3,9
44	4,2
45	4,9
46	6,4
47	6,3
48	3,1
49	5,1
50	6,3

**4.11 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 11: 1,0% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	5,3
2	6,3
3	5,4
4	6,1
5	3,7
6	7,4
7	5,3
8	4,1
9	6,7
10	8,9
11	6,5
12	6,3
13	2,8
14	6,3
15	5,9
16	4,8
17	8,3
18	4,7
19	3,9
20	7,2
21	5,6
22	6,6
23	6,6
24	5,6
25	7,7

26	8,1
27	3,5
28	4,1
29	7,7
30	4,9
31	3,0
32	6,5
33	6,1
34	4,8
35	4,9
36	3,2
37	6,1
38	4,4
39	6,1
40	6,7
41	2,6
42	6,3
43	7,4
44	3,9
45	6,1
46	5,9
47	6,0
48	5,2
49	7,1
50	7,3

**4.12 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 12: 0,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	0,6
2	1,7
3	0,3
4	3,4
5	3,3
6	1,2
7	4,0
8	1,4
9	0,9
10	2,8
11	3,7
12	0,8
13	1,4
14	0,3
15	2,1
16	1,7
17	3,3
18	1,2
19	1,7
20	0,8
21	2,7
22	2,8
23	1,3
24	1,6
25	1,9

26	3,7
27	2,1
28	1,9
29	2,1
30	3,5
31	0,9
32	1,7
33	0,7
34	2,1
35	1,9
36	2,1
37	1,4
38	2,0
39	0,3
40	0,7
41	0,2
42	2,0
43	2,7
44	1,3
45	1,7
46	1,4
47	2,3
48	0,5
49	1,2
50	0,3

**4.13 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 13: 1,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	3,3
2	3,3
3	1,6
4	4,2
5	4,6
6	3,8
7	4,2
8	1,7
9	1,7
10	4,7
11	5,3
12	4,9
13	1,2
14	3,2
15	3,1
16	3,2
17	4,1
18	4,7
19	3,2
20	4,4
21	4,0
22	5,1
23	2,3
24	4,7
25	3,6

26	4,2
27	2,8
28	4,3
29	3,9
30	3,9
31	2,1
32	4,6
33	3,3
34	2,1
35	4,3
36	3,4
37	5,5
38	3,2
39	3,5
40	5,5
41	2,1
42	4,6
43	5,1
44	5,2
45	4,8
46	3,2
47	4,2
48	1,8
49	4,0
50	4,8

**4.14 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 14: 0,5% Goma de Tara; 39,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	1,4
2	2,7
3	0,3
4	2,7
5	3,0
6	3,2
7	3,9
8	3,2
9	0,8
10	1,5
11	2,3
12	1,1
13	1,7
14	1,0
15	2,2
16	4,4
17	3,8
18	1,9
19	2,7
20	2,4
21	4,5
22	2,5
23	2,5
24	1,2
25	2,1

26	3,4
27	2,5
28	2,1
29	3,0
30	3,4
31	0,8
32	1,4
33	1,4
34	3,2
35	1,4
36	3,1
37	3,4
38	2,1
39	1,7
40	1,6
41	0,3
42	3,2
43	3,8
44	1,4
45	2,7
46	1,2
47	2,1
48	1,3
49	1,3
50	0,4

**4.15 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 15: 1,5% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	3,4
2	3,4
3	1,6
4	4,5
5	4,7
6	3,8
7	4,3
8	1,7
9	1,7
10	4,8
11	5,4
12	5,0
13	1,2
14	3,3
15	3,1
16	3,2
17	5,1
18	5,7
19	3,9
20	5,4
21	4,6
22	5,3
23	5,4
24	4,3
25	4,9

26	3,5
27	4,6
28	5,5
29	4,1
30	5,9
31	4,4
32	5,5
33	4,0
34	2,8
35	2,8
36	3,9
37	4,4
38	3,1
39	4,9
40	4,5
41	4,7
42	4,1
43	3,5
44	2,9
45	4,5
46	2,2
47	4,4
48	3,5
49	4,3
50	3,9

**4.16 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 16: 0,5% Goma de Tara; 37,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	0,9
2	2,5
3	0,6
4	3,4
5	2,9
6	4,0
7	3,8
8	1,9
9	2,1
10	1,6
11	5,5
12	1,6
13	1,7
14	0,7
15	1,9
16	4,3
17	3,7
18	2,3
19	2,0
20	1,6
21	4,4
22	1,6
23	3,0
24	2,7
25	3,5

26	3,7
27	2,0
28	2,7
29	2,4
30	4,4
31	1,0
32	2,2
33	1,2
34	2,6
35	2,1
36	2,7
37	3,2
38	3,3
39	0,6
40	1,3
41	0,3
42	2,9
43	3,4
44	1,9
45	2,4
46	1,1
47	3,1
48	0,8
49	1,1
50	0,4

**4.17 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 17: 1,0% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,5
2	5,6
3	4,8
4	5,4
5	5,5
6	7,5
7	7,6
8	5,9
9	6,0
10	6,8
11	9,3
12	6,9
13	4,5
14	7,1
15	6,1
16	7,5
17	6,7
18	7,5
19	6,1
20	6,4
21	7,0
22	7,3
23	8,2
24	5,8
25	6,1

26	5,0
27	5,8
28	6,7
29	7,5
30	6,5
31	8,2
32	7,2
33	6,1
34	6,8
35	4,7
36	7,3
37	6,5
38	7,1
39	5,1
40	6,1
41	6,0
42	5,8
43	5,4
44	7,1
45	6,8
46	5,1
47	7,4
48	6,9
49	4,7
50	6,8

**4.18 Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado del punto experimental
N° 18: 1,5% Goma de Tara; 35,0% Aceite Vegetal**

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	4,2
2	3,8
3	1,9
4	3,8
5	4,1
6	3,7
7	3,7
8	2,3
9	3,2
10	5,3
11	5,8
12	5,8
13	1,4
14	5,1
15	4,8
16	3,3
17	6,3
18	5,3
19	4,6
20	4,7
21	4,9
22	1,3
23	4,2
24	4,9
25	2,1

26	3,5
27	1,9
28	5,8
29	1,0
30	3,2
31	3,9
32	4,9
33	2,4
34	3,5
35	4,3
36	1,8
37	4,1
38	3,2
39	3,5
40	5,3
41	1,5
42	4,8
43	4,6
44	1,8
45	4,9
46	3,3
47	3,9
48	3,2
49	4,2
50	5,8

Anexo 5: Resultado del análisis de textura de los tratamientos

% Goma de Tara	% Aceite Vegetal	Repetición	Firmeza (g)	Consistencia (g.seg)	Cohesividad (g)	Índice de Viscosidad (g.seg)
0,5	35	R1	26	855	20	59
0,5	35	R2	27	860	19	59
0,5	35	R3	28	913	18	55
1	35	R1	62	2106	116	394
1	35	R2	62	2117	117	399
1	35	R3	61	2109	116	396
1,5	35	R1	176	5902	306	959
1,5	35	R2	178	5941	307	967
1,5	35	R3	174	5852	304	922
0,5	37	R1	29	988	22	71
0,5	37	R2	30	979	23	74
0,5	37	R3	29	958	21	59
1	37	R1	64	2192	121	405
1	37	R2	69	2352	129	435
1	37	R3	70	2389	131	441
1,5	37	R1	192	6306	327	1060
1,5	37	R2	191	6231	324	1021
1,5	37	R3	188	6174	319	975
0,5	39	R1	27	930	19	56
0,5	39	R2	32	1049	25	83
0,5	39	R3	31	1020	24	83
1	39	R1	73	2479	134	447
1	39	R2	77	2624	141	473
1	39	R3	75	2565	138	432
1,5	39	R1	200	6549	329	959
1,5	39	R2	202	6592	330	998
1,5	39	R3	204	6598	331	1015

Anexo 6: Análisis de varianza de los resultados del atributo de textura: firmeza

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	1,16E+05	1	1,16E+05	3,93E+04	0,0000
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	896,06	1	896,06	303,27	0,0000
X ₁ .X ₁	10086,00	1	10086,00	3413,57	0,0000
X ₁ .X ₂	396,75	1	396,75	134,28	0,0000
X ₂ .X ₂	1,50	1	1,50	0,51	0,4848
bloques	20,22	2	10,11	3,42	0,0538
Error total	56,14	19	2,95	-	-
TOTAL	1,28E+05	26	-	-	-
R-cuadrada = 99,956 porciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9398 porciento					

Anexo 7: Análisis de Varianza de los resultados del atributo de textura: consistencia

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	1,26,E+08	1	1,26,E+08	46268,15	0,0000
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	7,82,E+05	1	7,82,E+05	287,40	0,0000
X ₁ .X ₁	9,65,E+06	1	9,65,E+06	3549,15	0,0000
X ₁ .X ₂	2,33,E+05	1	2,33,E+05	85,76	0,0000
X ₂ .X ₂	109,80	1	109,80	0,04	0,8429
bloques	10858,30	2	5429,15	2,00	0,1633
Error total	51675,50	19	2719,77	-	-
TOTAL	1,37,E+08	26	-	-	-
R-cuadrada - 99,9622 porciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9482 porciento					

Anexo 8: Análisis de Varianza de los resultados del atributo de textura: cohesividad

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	4,01,E+05	1	4,01,E+05	3,67,E+04	0,0000
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	1216,89	1	1216,89	111,30	0,0000
X ₁ .X ₁	11324,50	1	11324,50	1035,74	0,0000
X ₁ .X ₂	320,33	1	320,33	29,30	0,0000
X ₂ .X ₂	29,63	1	29,63	2,71	0,1162
bloques	24,96	2	12,48	1,14	0,3403
Error total	207,74	19	10,93	-	-
TOTAL	4,14,E+05	26	-	-	-
R-cuadrada = 99,9498 porciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,9313 porciento					

Anexo 9: Análisis de Varianza de los resultados del atributo de textura: índice de viscosidad

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	3,81E+06	1	3,81E+06	6527,53	0,0000
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	6272,00	1	6272,00	10,76	0,0039
X ₁ .X ₁	62084,50	1	62084,50	106,48	0,0000
X ₁ .X ₂	468,75	1	468,75	0,80	0,3811
X ₂ .X ₂	1968,07	1	1968,07	3,38	0,0819
bloques	1036,52	2	518,26	0,89	0,4276
Error total	11078,40	19	583,08	-	-
TOTAL	3,89E+06	26	-	-	-
R-cuadrada = 99,7151 por ciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 99,6102 por ciento					

Anexo 10: Resultado de características fisicoquímicas de los tratamientos

% Goma de Tara	% Aceite Vegetal	Repetición	Aw	pH	Acidez
0,5	35	R1	0,968	4,0	0,45
0,5	35	R2	0,968	4,0	0,43
0,5	35	R3	0,968	4,0	0,44
1	35	R1	0,965	4,0	0,46
1	35	R2	0,966	4,0	0,45
1	35	R3	0,964	4,1	0,44
1,5	35	R1	0,964	3,9	0,43
1,5	35	R2	0,967	3,9	0,43
1,5	35	R3	0,966	4,0	0,43
0,5	37	R1	0,968	4,0	0,43
0,5	37	R2	0,967	4,0	0,43
0,5	37	R3	0,965	4,0	0,42
1	37	R1	0,969	4,0	0,41
1	37	R2	0,966	4,0	0,41
1	37	R3	0,968	4,0	0,42
1,5	37	R1	0,963	4,0	0,42
1,5	37	R2	0,963	4,0	0,42
1,5	37	R3	0,965	4,0	0,44
0,5	39	R1	0,967	4,0	0,43
0,5	39	R2	0,966	4,0	0,44
0,5	39	R3	0,967	4,0	0,44
1	39	R1	0,965	4,0	0,42
1	39	R2	0,963	4,0	0,43
1	39	R3	0,964	4,0	0,44
1,5	39	R1	0,966	4,0	0,43
1,5	39	R2	0,965	4,0	0,42
1,5	39	R3	0,963	4,0	0,44

Anexo 11: Análisis de Varianza de los resultados de Aw

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	5,00E-05	1	5,00E-05	2,67	0,1186
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	5,56E-06	1	5,56E-06	0,30	0,5922
X ₁ .X ₁	1,67E-05	1	1,67E-05	0,89	0,3572
X ₁ .X ₂	0,00E+00	1	0,00E+00	0,00	1,0000
X ₂ .X ₂	1,67E-05	1	1,67E-05	0,89	0,3572
bloques	2,22E-05	2	1,11E-05	0,59	0,5622
Error total	3,56E-04	19	1,87E-05	-	-
TOTAL	4,67E-04	26	-	-	-
R-cuadrada = 23,8095 porciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 0,0 porciento					

Anexo 12: Análisis de varianza de los resultados de pH

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	2,22E-03	1	2,22E-03	2,43	0,1359
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	5,56E-04	1	5,56E-04	0,61	0,4457
X ₁ .X ₁	2,96E-03	1	2,96E-03	3,23	0,0880
X ₁ .X ₂	3,33E-03	1	3,33E-03	3,64	0,0717
X ₂ .X ₂	1,85E-04	1	1,85E-04	0,20	0,6581
bloques	2,96E-03	2	1,48E-03	1,62	0,2246
Error total	1,74E-02	19	9,16E-04	-	-
TOTAL	2,96E-02	26	-	-	-
R-cuadrada = 41,25 por ciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 19,6053 por ciento					

Anexo 13: Análisis de varianza de los resultados de acidez (ac. acético)

Fuente de Variabilidad	Suma de Cuadrados	Grados de Libertad	Cuadrado Medio	Fc	Valor - P
X ₁ : Contenido de Goma de Tara	1,39E-04	1	1,39E-04	1,31	0,2674
X ₂ : Contenido de Aceite Vegetal	2,72E-04	1	2,72E-04	2,56	0,1262
X ₁ .X ₁	1,85E-06	1	1,85E-06	0,02	0,8964
X ₁ .X ₂	8,33E-06	1	8,33E-06	0,08	0,7826
X ₂ .X ₂	1,16E-03	1	1,16E-03	10,88	0,0038
bloques	1,41E-04	2	7,04E-05	0,66	0,5276
Error total	2,02E-03	19	1,06E-04	-	-
TOTAL	3,74E-03	26	-	-	-
R-cuadrada = 45,9653 por ciento					
R-cuadrada (ajustada por g.l.) = 26,0578 por ciento					

Anexo 14: Puntajes obtenidos para prueba de nivel de agrado de la formulación óptima

Juez	Nivel de agrado observado (y) (cm)
1	6,2
2	5,5
3	6,8
4	6,1
5	5,5
6	6,2
7	6,2
8	7,7
9	4,5
10	3,5
11	6,4
12	8,8
13	6,1
14	7,3
15	4,7
16	7,7
17	8,1
18	7,1
19	7,4
20	6,9
21	7,3
22	7,5
23	5,0
24	5,9
25	6,4

26	6,3
27	3,7
28	7,7
29	5,5
30	4,1
31	3,7
32	7,3
33	4,9
34	5,9
35	8,4
36	4,1
37	6,1
38	4,7
39	5,1
40	5,1
41	5,8
42	3,3
43	5,0
44	3,4
45	8,1
46	3,5
47	8,2
48	4,7
49	3,9
50	5,0

Anexo 15: Resultados del análisis químico proximal de la formulación óptima

Análisis	R1	R2	R3	Promedio	Desviación Estándar
Humedad	55,84	55,86	55,84	55,8467	0,0115
Grasa	37,09	37,08	37,01	37,0603	0,0430
Proteína	1,20	1,24	1,26	1,2333	0,0306
Fibra Cruda	0,04	0,05	0,05	0,0457	0,0015
Ceniza	0,85	0,85	0,84	0,8450	0,0046
Ext. Libre Nitróg. (*)	4,98	4,92	5,00	4,9690	-

(*) El porcentaje de carbohidratos o extracto libre de nitrógeno se obtuvo por diferencia (100% menos la suma de los demás componentes), por lo que no se halló desviación estándar en ese caso.

Anexo 16: Resultados de la caracterización fisicoquímica de la formulación óptima

Análisis	R1	R2	R3	Promedio	Desviación Estándar
Aw	0,966	0,967	0,970	0,97	0,002
pH	4,03	4,02	4,05	4,03	0,015
Acidez (ac. Acético)	0,44	0,41	0,42	0,42	0,015