

OPTIMIZACIÓN DE UNA MEZCLA Y ESTABILIZACIÓN EN LA PRODUCCIÓN DEL LICOR CREMA DE AGUAJE (*Mauritia flexuosa*)¹

The Optimization of a Mix and the Stabilization During the Production of Cream Liquor from Moriche Palm (*Mauritia flexuosa*)

Edgar Recavarren Ríos² 

¹: Extracto de tesis para la obtención del grado de Maestro en Ingeniería de Alimentos, Mención Ingeniería Agroindustrial

²: Ingeniero en Industrias Alimentarias por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Magister en Gestión Ambiental por la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Dirección legal: Av. Universitaria s/n, Carretera central km 1.3, Tingo María. Código ORCID: 0000-0003-2510-7907. Correo electrónico: edgar.recavarren@unas.edu.pe

Recibido: 03/08/2024

Aceptado: 05/08/2024

Publicado: 03/09/2024

RESUMEN

La investigación buscó mejorar la estabilidad en la producción del licor crema de aguaje mediante la determinación de la mezcla óptima. Se emplearon las metodologías Taguchi y superficie de respuesta, optimizando la producción y evaluando la estabilidad mediante la viscosidad aparente. Taguchi usó un arreglo ortogonal interno y externo con 4 factores de control, mientras que la superficie de respuesta utilizó el diseño experimental de Box-Behnken con 3 factores. Los tratamientos más aceptados fueron T5, T7 y T8, con valor hedónico entre 7.32 y 7.81. En cuanto a propiedades reológicas, todos los tratamientos mostraron ser fluidos no newtonianos pseudoplásticos. En propiedades fisicoquímicas, el pH osciló entre 6.63 y 8.50, la acidez entre 0.10 y 0.34 g de ácido oleico/100ml, los grados brix de 20.8 a 26.2, y la densidad de 1.041 a 1.067. La estabilidad después de 60 días de almacenamiento fue del 51.5%. La viscosidad aparente aumentó en tratamientos con más del 50% de estabilidad y disminuyó en aquellos con menos del 50%. Se concluyó que el índice de consistencia es representativo de las viscosidades aparentes, siendo óptimo a 9.73754. Las temperaturas óptimas fueron 62.0002 °C, CMC de 2.61871 g/l, y goma Xantana de 2.2261 g/l.

Palabras claves: taguchi, superficie de respuesta, estabilidad, licor crema de aguaje, optimización.

ABSTRACT

In the research it was sought to improve the stabilization during the production of cream liquor from moriche palm through the determination of the optimal mix. The Taguchi and surface response methodologies were used to optimize the production and evaluate the stability through the apparent viscosity. Taguchi used an internal and external orthogonal arrangement with four control factors, while for the surface response, Box-Behnken's experimental design with three factors was used. The most accepted treatments were T5, T7, and T8, with hedonic values between 7.32 and 7.81. With respect to the rheological properties, all of the treatments proved to be non-Newtonian pseudoplastic fluids. For the physicochemical properties, the pH oscillated between 6.63 and 8.50, the acidity between 0.10 and 0.34 g of oleic acid/100ml, the Brix degrees from 20.8 to 26.2, and the density from 1.041 to 1.067. The stability after sixty days of storage was 51.5%. The apparent viscosity increased in the treatments that had more than 50% stability and decreased in those with less than 50%. It was concluded that the consistency index was representative of the apparent viscosities, with 9.73754 being optimal. The optimal temperature was 62.0002 °C, a CMC of 2.61871 g/l, and xanthan gum 2.2261 g/l.

Keywords: taguchi, surface response, stability, cream liquor from moriche palm [fruit], optimization.

I. INTRODUCCION

El licor crema de aguaje, derivado del fruto *Mauritia flexuosa*; Otayza (2021) menciona que es una planta nativa de la región amazónica de Sudamérica, denominada comúnmente aguaje, moriche o buriti. La optimización y estabilización de su producción no solo permite mejorar la calidad del producto final, investigaciones como la de Lataza (2016) desarrollaron un modelo de optimización del proceso de estabilización de bebidas fermentadas. La producción de licor crema de aguaje se enfrenta a problemas de inconsistencia en la calidad del producto debido a variaciones en la mezcla y estabilidad durante el proceso de producción.

Estudios anteriores como los obtenidos por Moya (2013) y Vega (2021) han demostrado la importancia de encontrar la combinación óptima de ingredientes para asegurar la estabilidad a largo plazo de las bebidas alcohólicas. Incluso algunos estudios intentan aprovechar el aguaje de diferentes maneras tal es el caso descrito por Carrasco (2019) en donde desarrollaron bombones de chocolate con valor agregado relleno de frutos nativos como el Aguaje. De acuerdo Banks & Muir (1985), la historia de la elaboración de licores de crema se remonta a formulaciones de bebidas escocesas antiguas elaboradas a base de crema, whisky y otros ingredientes; mientras que la historia más reciente describe formulaciones de bebidas australianas con leche entera evaporada, azúcar, alcohol y saborizante. Optimizar la mezcla y estabilización podría llevar a una mejora significativa en la calidad del producto.

Existen pocos estudios que aborden específicamente la optimización y estabilización del licor crema de aguaje. Una de estas pocas investigaciones como Valera (2019), el objetivo de aquel estudio fue evaluar el efecto del caseinato de sodio y del homogenizado en las características del licor de crema de aguaje (*Mauritia flexuosa*) evaluado en 10 meses. La mayoría de las investigaciones disponibles se centran en licores cremosos de otros frutos o regiones, lo que limita la aplicabilidad directa de estos hallazgos al aguaje. Los estudios existentes sobre licor crema de aguaje a menudo carecen de enfoques sistemáticos para la optimización de la mezcla y la estabilización. Como es el caso de algunos productores de licores cremas en Guatemala donde Morales (2007) manifiesta que cometieron errores de manipulación durante la fabricación de estos productos, al no utilizar empaques apropiados y no ejercer un adecuado control de calidad sobre la crema láctea, provocando falencias en las formulaciones que terminaron con la obtención de productos de baja calidad sin poder entrar a competir con otros de su naturaleza.

El estudio propuso optimizar la mezcla con dos metodologías, primero Taguchi y luego superficie de respuesta. En la Metodología Taguchi Naranjo-Palacios et al. (2020) nos indica que la razón

fundamental es que los arreglos ortogonales de Taguchi se diseñan de tal manera que un arreglo puede usarse para una variedad de factores, pero el número de corridas permanece constante. La metodología superficie de respuesta como plantea Figueroa (2003), el objetivo de la metodología de superficie de respuesta es optimizar una o más respuestas mediante el análisis de la relación entre una o más respuestas y un conjunto de factores o variables independientes. Kuehl (2000) nos menciona que una de las mayores ventajas es que con ella se puede visualizar las respuestas para todos los niveles de los factores en el experimento. Se uso el diseño Box Bequen; Gutiérrez & De la Vara (2008) señala que este diseño se aplica cuando hay tres o más factores involucrados y suele ser efectivo en cuanto al número de corridas.

Mediante la optimización de la proporción de ingredientes, la mezcla óptima influye significativamente para mejorar la estabilidad de la producción del licor de crema de aguaje. Para probar esta hipótesis, se llevaron a cabo experimentos utilizando diferentes formulaciones según se obtuvo de las metodologías Taguchi y superficie de respuesta, evaluando el impacto de estas variables en las propiedades finales del licor. Una investigación realizada por Vega (2021), donde la investigación trato de la optimización de la fórmula de un licor alcohólico, denominado "Leche de monja", indica que la característica principal de este tipo de producto es su alta inestabilidad en el tiempo debido a que no se conoce una formulación óptima de sus ingredientes. De acuerdo a Banks & Muir (1985), la historia de la elaboración de licores de crema se remonta a formulaciones de bebidas escocesas antiguas elaboradas a base de crema, whisky y otros ingredientes; El resultado fue la invención del Bailey's Original Irish Cream Liqueur. En este contexto la investigación tuvo como objetivo determinar la mezcla óptima para mejorar la estabilidad en la producción del licor crema de aguaje.

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Tipo y diseño de investigación

La investigación es experimental, ya que para la misma fue necesario manipular 4 factores, que fueron la temperatura, goma Xantana, CMC y el Alcohol extra Neutro con el fin de lograr una mezcla optimizada, según Arias (2012), la investigación experimental es el proceso de colocar un objeto o grupo de personas en condiciones, estímulos o tratamiento específicos (variable independiente) y observar sus efectos o reacciones (variable dependiente).

2.2. Metodología experimental

2.2.1. Optimización

Gutiérrez Pulido & de la Vara Salazar (2008), nos indica que el diseño experimental se desarrolló según

el método de Geinichi Taguchi, en el cual el diseño experimental permite controlar el proceso experimental por medio de matrices (arreglo ortogonal del diseño) en la que se incluyen las variables del sistema, generando un resultado aleatorio y representativo para obtener la mejor muestra según las variables de respuesta. El método de Taguchi permite diseños que brindan resultados representativos y permiten menos experimentos que otros diseños de ingeniería experimental. El tamaño de la matriz depende de los factores (variables) y niveles (los valores que toma cada variable). Para esta tesis se usó 2 nivel y dentro de los arreglos internos y externos se usó solo los arreglos internos así como nos menciona Naranjo-Palacios et al., (2020), en casos en que no existe interés en hacer al producto robusto, se puede correr solamente el arreglo interno sin la necesidad de agregar el arreglo externo.

La **Tabla 1** muestra los factores y niveles seleccionados según la recopilación bibliográfica. La tabla muestra la matriz de diseño experimental correspondiente al arreglo ortogonal $L_8(2^7)$, indicando que se deben realizar 8 muestras. Para obtener la matriz se usó el software Statgraphics Centurión XV donde primero se creó un diseño nuevo y para usar la metodología Taguche se usó arreglos internos y externos.

Tabla 1
Primer Rango experimental y niveles de variables independientes

Código	Variables	Nivel de variable		Medida de cambio de valor ΔZi
		-1	1	
X1	Temperatura (°C)	62	70	8
X2	CMC (gr/lit)	2,2	2,6	0,4
X3	Goma xantana (gr/lit)	1,8	2,2	0,4
X4	Alcohol extra neutro a 42°G1 (%)	45	55	10
Constantes	Bicarbonato (gr/litro)		0,32	
	Azúcar (gr/litro)		160	
	Leche (gr/litro)		208,69	
	Aguaje (gr/litro)		152,18	
	Agua (gr/litro)		291	
	Colorante (gr/litros)		0,652	
	Sorbato de potasio (gr/litro)		1,3	

Diseño experimental que estimará los efectos de 4 factores de control y 0 factores de ruido. El arreglo interno, en el cual se han variado los factores de control, contiene 8 corridas. El arreglo externo, en el cual se han variado los factores de ruido, contiene 1 corridas. Esto da como resultado un total de 8 corridas.

En el diseño experimental realizado, se empleó un enfoque de arreglo interno/externo con un total de 8 corridas. Se trabajó con 4 factores de control y 0 factores de ruido. Se contó con una única respuesta en el estudio. En el arreglo interno, se llevaron a cabo 8 corridas variando los factores de control, mientras que en el arreglo externo se realizó una corrida modificando los factores de ruido. Se aleatorizó únicamente el arreglo externo.

Se usó arreglos internos/externos con 4 factores de control (X1, X2, X3 y X4) de 2 niveles (-1 y 1). Según Peace (1993), cuando se tiene entre 4 y 7 factores nos

da como esto nos da un arreglo ortogonal L_8 con 8 corridas. Por tanto, la Matriz de diseño de experimentos es $L_8(2^7)$.

En el estudio, se consideraron cuatro factores con sus respectivos niveles y unidades. Los factores analizados fueron la Temperatura, medida en 2 grados Celsius; el CMC, con una concentración de 2 gramos por litro; la Goma Xantana, también a 2 gramos por litro; y el Alcohol Extran neutro, con una proporción del 2%.

Una vez introducidos los datos al software Statgraphics Centurión ya que se busca realizar un diseño de experimentos Taguchi con 4 factores, 2 niveles y 1 variable de respuesta, se tendrá una matriz de diseño de experimentos L_8 . A partir de aquí, se puede continuar con el análisis de los datos para identificar los factores más importantes y optimizar la respuesta

2.2.2. Elaboración del licor crema

Para la elaboración del licor crema se tiene que seguir una serie de operaciones que se describen a continuación:

- Recepción:** La pulpa de Aguaje que se refina para obtener pulpa en masa que luego es refrigerada, se suministra en bloques de 1 kg preenfriados y sellados por el proveedor. Se utilizó como materia prima lechada de aguaje refinada, caracterizada y luego mezclada con los demás ingredientes en una proporción de 152.18 g/L, es decir 15.2%, para obtener la crema de aguaje.
- Maceración:** Una vez obtenida la pulpa de aguaje se procede a mezclar con alcohol extra neutro graduado a 42 °G1, la maceración se da en un tiempo de 2 semanas como mínimo para que la fruta pueda liberar todos sus sabores. Según Miranda & Tula (2014), el tiempo de maceración fue de 30 días a temperatura ambiente en el cual se logra la extracción de la parte soluble de la fruta. Bordeu & Gonzales (2004) menciona que la maceración es un proceso fisicoquímico en el cual se emplea alcohol etílico para la extracción de compuestos fenólico tales como aromas, sabores, colorantes y otros derivados que se encuentran en materias primas como planta, frutas o vegetales
- Mezclado:** En este parte del proceso se mezclan todos los ingredientes teniendo variables constantes las cuales son azúcar, leche, agua, colorante, sorbato de potasio, bicarbonato, vainilla y alcohol extraneutro a utilizar en esta primera mezcla dependió de los experimentos Taguchi con 4 factores, 2 niveles y 1 variable de respuesta, donde se tendrá una matriz de diseño de experimentos L_8 tal como se muestra en la:

Ira homogenización: En esta etapa se agrega la goma xantana y el CMC, la primera homogenización se usó una licuadora marca Oster por un periodo de 30 a 60 segundos, se realizó a temperatura ambiente ya que

esto facilitara la mezcla. Pero sin embargo según Valera Lopez (2019), la homogeneización óptima se realizó con un rotor fino y una frecuencia de 85 Hz, lo que muestra el efecto del homogeneizador en el mantenimiento de las propiedades organolépticas de la crema de Aguaje.

- a. **Pasteurización:** La pasteurización se realizó a 2 temperaturas de 62 y 70 °C. Esta esterilización parcial se define según la Real Academia Española (2001). Este proceso de calentamiento lleva el nombre de la persona que lo realizó. Fue propuesto por primera vez por el científico y químico francés Louis Pasteur (Louis Pasteur, 1822-1895). El propósito de la pasteurización es reducir la presencia de patógenos (como bacterias, protozoos, moho, levadura, etc.). Este proceso de tratamiento térmico se realiza sobre un líquido (generalmente alimento). Uno de los objetivos del tratamiento térmico es "esterilización parcial" los productos alimenticios líquidos alterando lo menos posible su estructura física, composición química y propiedades organolépticas. A diferencia de la esterilización, la pasteurización no destruye por completo las esporas, ni destruye por completo todas las células de los microorganismos termófilos.

2da homogenización: Esta segunda homogenización se realizó en caliente para que todas las partículas que quedaron aglutinadas puedan homogenizarse de manera correcta con la mezcla

- a. **Reposo:** Después del homogenizado del producto es necesario dejarlo en reposo por un periodo de 8 a 16 horas para que la espuma formada en la homogenización desaparezca esto se debe realizar en un envase estéril y hermético con un buen sellado.
- b. **Envasado:** La cantidad preparada por cada tratamiento fue de 1 litro y se envasó en botella de vidrio de 500 ml de capacidad. Luego se procedió a taponar los envases con tapón sintético de 19.5 mm y por último se procede a encapsular con capsulas termoencogibles, el encapsulado es necesario para tener un sello de seguridad y garantía para el producto.
- c. **Etiquetado y Rotulado:** Es necesario etiquetar y rotular cada botella indicando sus características y el tipo de corrida que este representa.
- d. **Embalado y Almacenamiento:** El proceso de embalado y almacenamiento se debe realizar en cajas de cartón corrugado con espacios, cajas de 12 unidades.

Figura 1
Flujograma de proceso en la fabricación de licor crema de aguaje



2.2.3. Prueba sensorial de aceptación.

Para la prueba de medición sensorial se empleó jueces entrenados y se aplicó la ficha de evaluación sensorial: Prueba Hedónica estructurada de 9 puntos.

2.2.4. Optimización con superficie de respuesta

Una vez obtenido las variables más representativas se procederá a realizar la metodología de superficie (RSM) que es un método de análisis estadístico para utilizar información cuantitativa del diseño experimental apropiado para identificar condiciones óptimas. Se realizó un análisis estadístico para estudiar el efecto de diferentes parámetros independientes en todos variables dependientes por Metodología de superficie de respuesta (RSM) utilizando el software statgraphics Centurión XVII versión 17.2.00. El experimental de Box-Behnken el diseño (BBD) se seleccionó específicamente ya que requiere menos ejecuciones que un compuesto central diseño (CCD) en casos de tres o cuatro variables. Box-Behnken es una respuesta giratoria y esférica diseño de metodología de superficie que proporciona soluciones eficientes en comparación con un factor completo de tres niveles Diseñar y reducir el número de experimentos necesarios, lo que se vuelve más significativo a medida que aumenta el número de factores (Box & Behnken, 1960) (Borkowski, 1995) (White et al., 2001)

En la **Tabla 2** se puede observar los rangos experimentales siendo este de 3 factores y 3 niveles, donde las variables constantes son 8.

Tabla 2

Segundo rango experimental y niveles de variables independientes

Código	Variables	Nivel de variable			Medida de cambio de valor ΔZi
		-1	0	1	
X1	Temperatura (°C)	62	66	70	4
X2	CMC (gr/lit)	2,2	2,4	2,6	0,2
X3	Goma Xantana (gr/lit)	1,8	2	2,2	0,2
Constantes	Alcohol extra neutro a 42 °Gl (%)	45			
	Bicarbonato (gr/litro)	0,32			
	Azúcar (gr/litro)	160			
	Leche (gr/litro)	208,69			
	Aguaje (gr/litro)	160			
	Agua (gr/litro)	291			
	Colorante (gr/litros)	0,652			
	Sorbato de potasio (gr/litro)	1,3			

2.2.5. Obtención de la matriz de experimentos

Una vez obtenido las variables más representativas se procedió a realizar la metodología de superficie (RSM) ya que este método nos podrá identificar condiciones óptimas. El experimental de Box-Behnken el diseño (BBD) se seleccionó específicamente ya que requiere menos ejecuciones que un compuesto central diseño (CCD) en nuestro caso tenemos 3 variables. Estos datos fueron introducidos al Statgrafic Centurión y nos dio como resultado 15 tratamientos el cual todas estas mezclas se procederán a prepararlas para luego analizar sus características reológicas y fisicoquímicas.

2.2.6. Características reológicas

Para la medición de la viscosidad se utiliza el Viscosímetro rotacional Brookfield DV III ULTRA1, según la fuente de la norma Brookfield. Es importante destacar que la medición debe realizarse con triplicado para obtener resultados más precisos.

2.2.7. Características fisicoquímicas

Para los análisis físicos y químicos realizados en triplicado, se emplearon diversos métodos para medir las características fisicoquímicas del producto. El pH se determinó mediante el método potenciométrico siguiendo la norma A.O.A.C 981.12 (AOAC International, 2000). La acidez total se midió a través de titulación según la norma AOAC 939.05(AOAC International, 1980). Para los sólidos solubles totales, se utilizó un refractómetro siguiendo la norma AOAC 932.12. La densidad se determinó con un picnómetro siguiendo la norma A.O.A.C. 945.06 (AOAC International, 1980). La separación de fases se realizó mediante observación directa. Finalmente, la estabilidad de almacenamiento se evaluó almacenando el producto durante 60 días a una temperatura ambiente promedio de 25°C y midiendo la altura de la fase inestable (Vega, 2021).

2.2.8. Análisis de la viscosidad después de almacenamiento

En esta etapa, se procederá a medir la viscosidad según el método de Brookfield, ya descrito. El análisis deberá realizarse después del almacenamiento de las muestras durante un período de 60 días, con el fin de observar la

estabilidad y determinar si ha habido algún cambio en su viscosidad en relación con el tiempo.

III. RESULTADOS

Tabla 3

Promedios de resultados obtenidos en el laboratorio

Bloque	Variables Independientes				Variables constantes				
	X1	X2	X3	X4	Bicarbonato	Sorbato de Potasio	Leche	Azúcar	Agua
	Temp. °C	CMC gr/lit	Goma xantana gr/lit	Alcohol extraneuro ml					
1	70	2,614	2,2035	550	0,3314	1,3326	209	160	257
2	62	2,219	1,8005	450	0,3292	1,3329	209	160	357
3	62	2,6114	1,8071	550	0,3268	1,3034	209	160	257
4	62	2,2136	2,2139	550	0,3236	1,3036	209	160	257
5	70	2,2111	2,2059	450	0,3241	1,3035	209	160	357
6	70	2,2132	1,8255	550	0,3256	1,3189	209	160	257
7	62	2,6098	2,2164	450	0,3222	1,3294	209	160	357
8	70	2,6027	1,804	450	0,3224	1,3466	209	160	357

Tabla 4

Resultados de la evaluación de la aceptabilidad sensorial.

Tratamientos	Atributos			
	Creemosidad	Olor	Sabor	Color
	gr/lit	gr/lit	gr/lit	gr/lit
T1	6,57 ± 1,61 ^{bc}	6,59 ± 1,19 ^{bc}	6,78 ± 1,62 ^{bcd}	7,27 ± 1,35 ^{abc}
T2	6,81 ± 1,35 ^{abc}	6,49 ± 1,12 ^{bc}	7,11 ± 1,47 ^{abc}	7,03 ± 1,14 ^c
T3	6,24 ± 1,32 ^c	6,24 ± 1,40 ^c	5,97 ± 1,42 ^d	7,05 ± 1,22 ^{bc}
T4	6,62 ± 1,66 ^{bc}	6,59 ± 1,17 ^{bc}	6,38 ± 1,46 ^{cd}	7,22 ± 1,06 ^{abc}
T5	7,30 ± 1,33 ^{ab}	6,76 ± 1,30 ^{abc}	7,49 ± 1,10 ^{ab}	7,81 ± 1,08 ^a
T6	7,00 ± 1,55 ^{abc}	6,73 ± 1,35 ^{abc}	7,08 ± 1,42 ^{abc}	7,65 ± 1,16 ^{ab}
T7	7,05 ± 1,51 ^{abc}	7,03 ± 1,26 ^{ab}	7,35 ± 1,46 ^{ab}	7,81 ± 1,02 ^a
T8	7,70 ± 1,49 ^a	7,32 ± 1,36 ^a	7,68 ± 1,40 ^a	7,81 ± 1,10 ^a

Nota. Valores de la misma columna con súper índices diferentes presentan diferencia estadísticamente significativa.

Que todos los valores de los atributos que tienen la letra "a" son estadísticamente similares, entre los valores que corresponden en la escala hedónica entre 7.32 (me agrada moderadamente) y 7.81 (me agrada mucho) que corresponden al tratamiento 8 que se trabajó a 70 °C con 2.6027 gramos/litro de CMC, 1.804 gramos/litro de Goma Xantana 450 ml de Alcohol extraneuro, dentro del cuadro de resultados se puede identificar otros resultados estadísticamente similares las cuales son los tratamientos T5 y T7, en conclusión los mejores tratamientos más aceptados sensorialmente son los tratamientos T5, T7 y T8 los cuales tuvieron los mejores resultados en cuanto a aceptabilidad del color, olor, sabor y Creemosidad de las mezclas de licor crema de aguaje.

En la **tabla 5** se muestra los tratamientos que tuvieron más aceptación por los panelistas, si observamos los rangos de cada tratamiento se puede determinar con la concentración de Alcohol Extra neutro tuvo como aceptación el 45% pasando este a ser un valor contante dentro de las variables de estudio, por lo tanto, nos quedaríamos con 3 factores de estudio.

Tabla 5

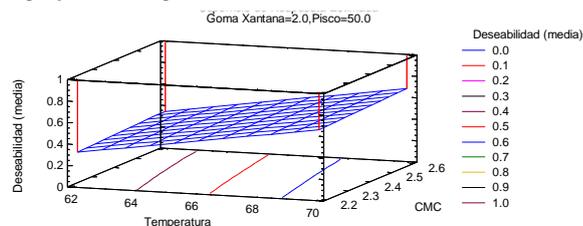
Tratamientos con más aceptabilidad

Bloque	Temperatura °C	CMC gr/litro	Goma xantana gr/litro	Alcohol extra neutro %
5	70	2,2	2,2	45
7	62	2,6	2,2	45
8	70	2,6	1,8	45

3.1. Optimización de respuesta por medio de resultados de los arreglos internos y externos (Metodología Taguche)

Figura 2

Superficie de respuesta estimada de la deseabilidad media



Interpretación: sugiere que hay una relación positiva entre la temperatura y la deseabilidad media en el rango de 62 a 70 grados centígrados. Además, se señala que ciertos valores específicos de temperatura y porcentaje de CMC, junto con la presencia de la goma xantana y el alcohol Extra neutro, conducen a un nivel máximo de deseabilidad media, alcanzando un valor de 0.897694. Este conjunto de condiciones puede considerarse como las condiciones óptimas para el sistema estudiado en términos de las variables mencionadas.

Tabla 6

Optimizar deseabilidad.

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	62	70	70
CMC (gr/lit)	2.2	2.6	2.6
Goma Xantana (gr/lit)	1.8	2.2	2.17227
Alcohol Extraneutro (%)	45	55	45.0032

Nota. Valor óptimo = 0.897694

Las respuestas óptimas para cada uno de los factores estudiados en el análisis. En primer lugar, la cremosidad alcanzó un valor óptimo de 7.402, destacándose por su suavidad y textura agradable. El olor, con un valor óptimo de 7.128, se caracterizó por ser agradable y atractivo. El sabor obtuvo la puntuación más alta con un óptimo de 7.667, indicando una preferencia notable por su gusto. Finalmente, el color logró un valor óptimo de 7.884, reflejando una apariencia visualmente atractiva y deseable.

3.2. Segunda etapa de optimización por superficie de respuesta

3.2.1. Reología

a) **Índice de consistencia:** Es un valor representativo de las viscosidades aparentes a las diferentes velocidades: para el caso de la crema de aguaje el

índice de consistencia de todos los tratamientos está en el rango de 2.9003 a 10.2860 Pa*Sⁿ.

El tratamiento con el valor más alto de índice de consistencia fue el T12 con un valor promedio de 10.2860 PaSn, mientras que el tratamiento con el valor más bajo de índice de consistencia fue el T9 con un valor promedio de 2.9003 PaSn. La mayor desviación estándar se observó para el tratamiento T6 con 1.0911 PaSn, mientras que la menor desviación estándar se observó para el tratamiento T7 con 0.0652 Pa*S_n. El coeficiente de variabilidad más alto se observó para el tratamiento T5 con un valor de 16% y el más bajo para el tratamiento T7 con un valor de 1%.

b) **Índice de flujo:** Todos los valores del índice de flujo para cada tratamiento de la crema de aguaje. Todos los tratamientos demostraron ser fluidos no newtonianos pseudoplásticos ($n < 1$) cumpliendo con la ley de potencia newtoniana. El tratamiento con el valor más bajo del índice de flujo fue el T6 con un valor promedio de 0.3743, mientras que el tratamiento con el valor más alto del índice de flujo fue el T9 con un valor promedio de 0.5439. La desviación estándar más alta se observó para el tratamiento T5 con 0.0385, mientras que la menor desviación estándar se observó para el tratamiento T4 con 0.0043. El coeficiente de variabilidad más alto se observó para el tratamiento T5 con un valor de 10% y el más bajo para el tratamiento T1 con un valor de 2%.

c) **Características fisicoquímicas del licor crema de aguaje.**

Tabla 7

Valores promedios de los análisis fisicoquímicos.

Método	Valor promedio mínimo				Valor promedio máximo			
	Trat.	\bar{x}	σ	S ²	Trat.	\bar{x}	σ	S ²
pH	T4	6.63	0.0208	0.0004	T15	8.50	0.0361	0.0013
Acidez	T4	0.34	0.016	0.00024	T15	0.10	0.016	0.00024
Brix	T6	20.800	0.1000	0.0100	T8	26.200	0.1000	0.0100
Densidad	T4	1.041			T15	1.067		

d) **Separación de fases y estabilidad:** La separación de fases fue evaluada mediante observación y se determinó si existía separación de fases con un (Si) ya que en su mayoría existía separación de fases. La estabilidad del licor crema de aguaje será determinada después de estar en almacenamiento en condiciones ambientales temperatura promedio de 25°C por 60 días. Luego se procedió a medir la altura de separación de la fase no estable y se pudo determinar el porcentaje de estabilidad mediante esta metodología.

Tabla 8
Medida de estabilidad promedio en porcentaje de cada tratamiento

Tratamiento	No estable	Estabilidad
1	19.1%	80.9%
2	51.1%	48.9%
3	42.3%	57.7%
4	44.4%	55.6%
5	42.2%	57.8%
6	20.9%	79.1%
7	52.7%	47.3%
8	50.6%	49.4%
9	91.7%	8.3%
10	58.0%	42.0%
11	25.0%	75.0%
12	52.6%	47.4%
13	49.7%	50.3%
14	45.0%	55.0%
15	81.8%	18.2%
Promedio total	48.5%	51.5%

En la **Tabla 8** se puede concluir que la estabilidad del licor crema después de estar en almacenamiento por 60 días es del **51.5%**. Cabe señalar que todas las muestras al ser agitadas el contenido de todos regresaban a su estado homogéneo.

3.2.2. Superficie de respuesta.

Se realizó la metodología de superficie (RSM) con el diseño experimental de Box-Behnken el diseño (BBD) ya que es un compuesto central diseño (CCD) en nuestro caso tenemos 3 variables. Estos datos fueron introducidos al Statgrafic Centurion y nos dio como resultado 15 tratamientos, una vez obtenido estos 15 tratamientos se procedió a hacer las mezclas en el laboratorio usando una balanza digital se pesó las dos mezclas CMC y goma Xantana, y como un factor más se procedió a realizar las mezclas a diferentes temperaturas, dando como resultado 2 variables de respuesta siendo el índice de consistencia y el índice de flujo detallados en la **Tabla 9**.

Tabla 9
Matriz de diseño de experimentos con sus valores de respuesta

Tratamientos	Bloque	Temp.	CMC	Goma-Xantana	Índice-de-Consistencia	Índice-de-Flujo
		°C	gr/lit	gr/lit	Pa.s ^a	
1	1	62	2.2256	2.0822	6.116	0.467
2	1	70	2.2226	2.0816	5.975	0.458
3	1	62	2.6231	2.093	6.142	0.421
4	1	70	2.6383	2.0045	5.962	0.384
5	1	62	2.4045	1.8032	4.322	0.398
6	1	70	2.4061	1.8033	6.567	0.374
7	1	62	2.4063	2.2088	7.775	0.455
8	1	70	2.4357	2.2261	7.239	0.466
9	1	66	2.2176	1.8126	2.900	0.544
10	1	66	2.6061	1.8231	4.676	0.506
11	1	66	2.2178	2.2166	7.951	0.458
12	1	66	2.6243	2.2	10.286	0.474
13	1	66	2.4148	2.0168	3.849	0.476
14	1	66	2.4175	2.0395	5.417	0.458
15	1	66	2.4223	2.059	6.758	0.478

a) **Optimización por índice de consistencia:** La tabla Análisis de varianza desglosa la variabilidad del índice de Consistencia en componentes separados para cada efecto. Luego se prueba la significancia estadística de cada efecto comparando su raíz cuadrática media con una estimación del error experimental. En este caso, el valor P = 0,0226 para la goma c: xantano es inferior a 0,05, lo que indica que es significativamente diferente de cero en un nivel de confianza del 95,0%, pero A y B son mayores que 0,05, lo que significa que no son significativos.

La ecuación del modelo ajustado es:

$$\begin{aligned} \text{Índice de Consistencia} = & 53.7673 + 0.947428* \\ & \text{Temperatura} - 28.5103*\text{CMC} - 60.7186* \\ & \text{Goma Xantana} + 0.00488538*\text{Temperatura}^2 + \\ & 0.157614*\text{Temperatura}*\text{CMC} - 0.939521* \\ & \text{Temperatura}* \text{Goma Xantana} + 3.83341*\text{CMC}^2 + \\ & 1.2481*\text{CMC}* \text{Goma Xantana} + 32.0436* \\ & \text{Goma Xantana}^2 \end{aligned}$$

En donde los valores de las variables están especificados en sus unidades originales.

3.3. Optimizar respuesta

La **Tabla 10** muestra la combinación de niveles de factores que maximiza el índice de consistencia dentro de un rango determinado. Se indica cual son los valores más bajos, altos y el valor óptimo.

Tabla 10
Valores optimizados por Índice de Consistencia

Factor	Bajo	Alto	Óptimo
Temperatura (°C)	62	70	62.0002
CMC (gr/lit)	2.2176	2.6383	2.61871
Goma Xantana (gr/lit)	1.8032	2.2261	2.2261

Nota. Valor óptimo = 9.73754

Por lo tanto, el valor óptimo para el índice de consistencia es de 9.73754 y para la mezcla optima es de 62 °C para la temperatura, 2.61871 gr/lit para el CMC y 2.2261 gr/lit para la Goma Xantana.

3.4. Efectos de los factores

En la **Figura 3** se observa que la goma xantana tuvo el mayor efecto sobre el índice de consistencia, a medida que la concentración de la goma xantana se eleva también se eleva el efecto sobre el índice de consistencia.

Figura 3
Gráfica de efecto principales para índice de consistencia

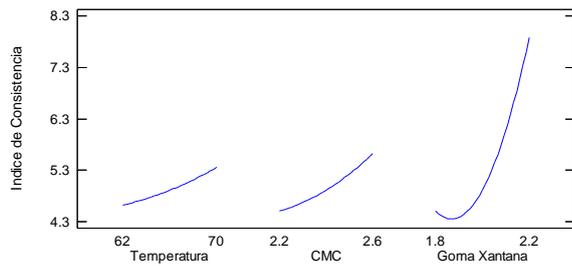
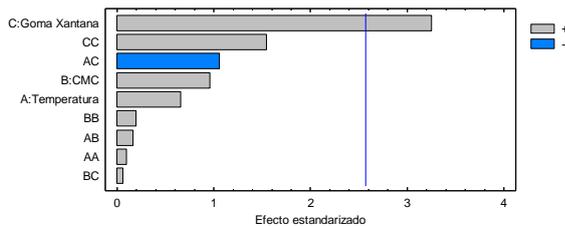


Diagrama de Pareto estandarizada para el índice de consistencia es una herramienta valiosa para identificar y priorizar las áreas que afectan más la consistencia, es la Mezcla AC (Temperatura; Goma Xantana) da un efecto negativo no supera la línea límite de la derecha solo la goma xantana, siendo este factor significativo y el que más actúa en mejorar la calidad y la eficiencia del proceso para producción de licor crema de aguaje.

Figura 4
Diagrama de Pareto estandarizada para índice de consistencia

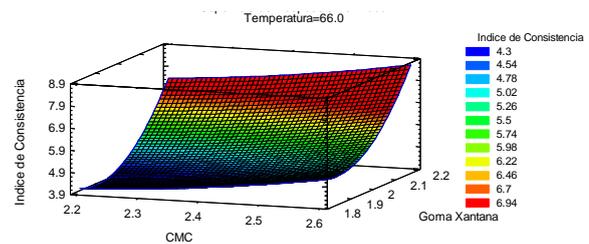


Un gráfico de superficie de respuesta estimada es una herramienta utilizada en el diseño de experimentos para visualizar cómo cambia una respuesta o resultado específico (como el índice de consistencia) en función de dos o más variables independientes o factores. Nuestros factores son la goma xantana, el CMC (carboximetilcelulosa) y la temperatura, y el resultado a analizar es el índice de consistencia.

Los ejes representan los valores de los dos factores y la superficie tridimensional muestra cómo varía la respuesta (índice de consistencia) a medida que cambian los valores de los factores.

Efecto de la goma xantana y el CMC: En el gráfico, puedes observar cómo cambia el índice de consistencia a medida que varían los niveles de Goma Xantana y CMC. Si la superficie tiene una forma inclinada hacia arriba hacia una dirección específica, esto indica que aumentar los valores de Goma Xantana y CMC (en esa dirección) resultará en un aumento en el índice de consistencia.

Figura 5
Superficie de respuesta para la optimización del Índice de Consistencia



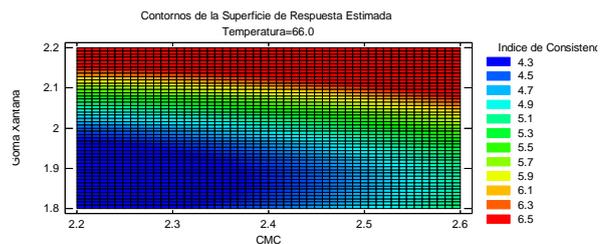
La interpretación de los contornos de la superficie de respuesta estimada del índice de consistencia implica visualizar cómo varía esta medida en función de dos variables independientes específicas (goma xantana y CMC). En este caso, se menciona que se tiene un rango de 4.3 a 6.5 para estas variables.

El índice de consistencia generalmente se utiliza para evaluar la homogeneidad de un conjunto de datos o muestras.

- Cuando la Goma Xantana sobrepasa el valor de 2.1 gramos por litros y el índice de consistencia se eleva considerablemente
- Cuando el CMC están en los extremos de 2.5 a 2.6 se eleva el índice de consistencia.

Los contornos en la superficie de respuesta se utilizan para identificar regiones donde el índice de consistencia tiene valores similares. Pueden formar líneas o curvas a lo largo del plano, y la distancia entre los contornos indica la rapidez con la que cambia el índice de consistencia en esas regiones.

Figura 6
Contornos de la superficie de respuesta estimada



3.5. Diferencia entre la metodología taguiche y la superficie de respuesta

Con respecto a si la superficie de respuesta pudo mejorar significativamente la optimización de las mezclas, se determinó que, en el caso de la temperatura, que fue la variable que tuvo la mayor diferencia (una variación de 8 grados), se logró una temperatura optimizada de 62 grados centígrados. Cabe destacar que, al realizar una segunda optimización, se deben llevar a cabo 15 tratamientos adicionales, lo que suma un total de 23 tratamientos. Además, en la segunda optimización se ajusta más el rango de niveles de 2 a 3.

En resumen, con la aplicación de esta metodología, se pueden reducir los factores de 4 a 3 y ajustar más los niveles de 2 a 3 (**Tabla 11**). La primera optimización se basó en los resultados del análisis sensorial, mientras que la segunda optimización se centró en el índice de consistencia (viscosidad aparente). Esto sugiere que el factor que más afectó la viscosidad fue la temperatura."

Tabla 11

Diferencia entre los métodos Taguche y Superficie de respuesta

Atributos	Métodos		Diferencia
	Taguche	SMR	
Factores	4	3	1
Niveles	2	3	1
Tratamientos o corridas	8	15	7
Variables			
CMC-(gramos/litro)	2.6	2.61871	0.01871
Goma-Xantana-(gramos/litro)	2.17227	2.2261	0.05383
Temperatura-(°C)	70	62	8
%Alcohol-Extraneuro	45	°	°

3.6. Análisis de la Reología con respecto a su estabilidad

Índice de consistencia después de 60 días de almacenamiento (viscosidad aparente) de todos los tratamientos de la crema de aguaje. Se realizaron tres repeticiones por muestra y se presentan los valores promedio, la desviación estándar y el coeficiente de variabilidad. Los tratamientos T1, T2, T3, T4 y T5 tuvieron un promedio de viscosidad aparente de 8.7897, 6.3461, 7.7606, 8.7049 y 5.3857 Pa.sⁿ respectivamente. Los tratamientos T6, T7, T8, T9, T10, T11, T12, T13, T14 y T15 también presentaron valores promedio de viscosidad aparente y desviación estándar.

Al no encontrar una relación clara sobre por qué la viscosidad aparente aumentó en algunas muestras y disminuyó en otras, se exploró también su relación con la estabilidad. Se encontró una conexión significativa entre estos factores, como se detalla en la **Tabla 12**.

Tabla 12

Promedios del Índice de Consistencia antes y después del almacenamiento

Trat.	Antes del almacenamiento Pa.s ⁿ	Después del almacenamiento Pa.s ⁿ	Viscosidad	Estabilidad (%)
T1	6.1158	8.7897	Aumento	81%
T2	5.9749	6.3461	Aumento	49%
T3	6.1417	7.7606	Aumento	58%
T4	5.9622	8.7049	Aumento	56%
T5	4.3217	5.3857	Aumento	58%
T6	6.5666	6.6440	Aumento	79%
T7	7.7745	6.2093	Disminuyo	47%
T8	7.2390	6.4601	Disminuyo	49%
T9	2.9003	2.7880	Disminuyo	8%
T10	4.6756	3.8846	Disminuyo	42%
T11	7.9514	8.3342	Aumento	75%
T12	10.2860	7.0111	Disminuyo	47%
T13	3.8490	5.2863	Aumento	50%
T14	5.4166	7.2713	Aumento	55%
T15	6.7581	5.0824	Disminuyo	18%

Según los resultados obtenidos se puede observar que la viscosidad Aparente Aumento en los tratamientos que tienen más del 50 % de estabilidad y disminuyeron en aquellos que tienen la estabilidad menor al 50 %.

Pudiendo expresar el siguiente resultado con la siguiente formula.

Cuando:

k2 Aumenta < 50% de Estabilidad

k2 Disminuye >50 % de Estabilidad.

Donde

k2: Índice de Consistencia después de almacenamiento de 60 días

En los tratamientos T1, T2, T3, T4, T5, T6, T11, T13, T14 la viscosidad aparente aumento mientras que los tratamientos T7, T8, T9, T10, T12 y T15 la viscosidad aparente disminuyo.

IV. DISCUSION

Según la normativa ASTM E253-20, que establece los estándares para el análisis sensorial de alimentos y bebidas, los resultados de un análisis sensorial deben presentarse en forma de promedios más menos la desviación estándar y colocando el grado de significación entre ellos. Esto se hace para proporcionar una medida de la precisión y la variabilidad de los resultados, y para determinar si las diferencias entre los tratamientos son estadísticamente significativas. Por lo tanto, es recomendable seguir esta normativa y presentar los resultados de un análisis sensorial de acuerdo con los estándares establecidos para garantizar la precisión y la fiabilidad de los resultados obtenidos. (American Society for Testing and Materials, 2019).

En la primera etapa de optimización, se utilizó la metodología Taguchi con arreglos internos y externos con 4 factores de control de 2 niveles para obtener un arreglo ortogonal L8 con 8 corridas. cabe resaltar que según Kavanaugh (2022), la metodología de Taguchi enfatiza en:

- **Diseño robusto:** Encontrar el conjunto de condiciones para lograr un comportamiento óptimo del proceso.
- **Función de minimización de pérdidas:** es decir, reducción de las pérdidas financieras causadas por operar en condiciones subóptimas.
- **Maximizar la relación señal-ruido:** lograr el objetivo óptimo del proceso en condiciones incontrolables (ruido).
- **Elija un diseño experimental para probar gráficos lineales:** esto también le permite explorar interacciones de efectos deseados basados en procesos conocidos.

Los resultados obtenidos en esta etapa permitieron identificar las variables más importantes que afectan la calidad del licor de crema de aguaje y optimizar las condiciones de producción para obtener un producto de alta calidad.

En cuanto a la Reología, se evaluaron las propiedades reológicas del licor de crema de aguaje, y se encontró que la adición de pulpa de aguaje en la formulación del licor de crema puede mejorar su viscosidad y consistencia. Se analizó la mezcla de 3 factores X1: Temperatura (°C), X2: CMC (gr/lit), X3: goma xantana (gr/lit). En cuanto al Índice de consistencia (k) se determinó que el componente que afecta más al índice de consistencia es la goma Xantana (X3) de la misma manera en el gráfico de superficie de respuesta para el comportamiento del índice de consistencia (k) indicándose que en la región donde se hace máximo del valor (k) corresponde a la zona de la goma de xantana. Índice de fluido (n), se determinó que todos los tratamientos tienen como resultado $n < 1$ siendo este un fluido no Newtoniano Pseudoplastico. El componente que afecta más al índice de flujo es el CMC.

Como señala Vega Vega (2021), en su investigación titulada "Optimización de la mezcla de goma xanthan, Alcohol Extraneytro y huevo, para mejorar la estabilidad de licor alcohólico (Leche de monja)" para optimizar esta mezcla se usó el Diseño de Mezclas, se realizaron tres combinaciones en las siguientes proporciones: pisco 20 – 30%, huevo 10 – 20 % y goma Xanthan 0 – 1% dando como resultado el índice de fluido (n): 1,290, fluido no newtoniano, tipo expansión; (n) >1. (Fluido Dilatante) y el índice de consistencia (k) de 0,078.

Cabe señalar que dependiendo del tipo de factores en la mezcla como en el licor crema de Aguaje fueron Temperatura, CMC, Goma Xantana y en la otra mezcla señalada por Vega Vega, (2021) donde se usó Pisco, Huevo y Goma Xantana, que habiendo cambiado un solo factor de la mezcla como es el huevo el fluido pasa a ser de Pseudoplastico ($n < 1$) a Dilatante ($n > 1$) cambiando toda la reología de la mezcla.

En otro trabajo de investigación realizado por Mora Barandiarán (2013), explica sobre el índice reológico "n" fue de 0,5932 con concentraciones de 0,33% de CMC, 0,33% de goma guar y 0,33% de goma xantana y 0,7594 ($n < 1$), con concentraciones de 0,5% de goma guar y 0,5% de goma xantana.

Para determinar la mezcla optima se tomó en consideración el índice de consistencia por lo tanto los valores óptimos de la temperatura son de 62.0002 °C, CMC 2.61871 gramos/litro y para la goma Xantana 2.2261 gramos/litro.

Discusión de la segunda optimización

En la segunda etapa de optimización, se utilizó la metodología de superficie de respuesta para determinar las mezclas óptimas de licor de crema de aguaje en

términos de características sensoriales, reológicas y fisicoquímicas. Se obtuvo una matriz de experimentos con 3 factores y 3 niveles, y se evaluaron las variables independientes de temperatura, CMC y goma Xantana. Los resultados obtenidos en esta etapa permitieron obtener un licor de crema de aguaje de alta calidad mediante la selección cuidadosa de los ingredientes y la optimización de las condiciones de procesamiento

En la primera optimización se usó la metodología Taguche en la base a las respuestas que fueron el análisis sensorial tomando como atributos olor, color, sabor y Cremosidad.

En la segunda etapa de optimización se aplicó la metodología Taguche donde se optimizaron dando como resultado la temperatura a 70 °C, CMC a 2.6, Goma Xantana a 2.17227 y el Alcohol Extraneytro a 45.0032.

V. CONCLUSIONES

Se utilizó la metodología de Taguchi este diseño experimental permitió controlar el proceso experimental por medio de matrices (arreglo ortogonal del diseño) se trabajó con 4 factores de control (X1, X2, X3 y X4) de 2 niveles (-1 y 1), generando un resultado aleatorio y representativo con 8 corridas siendo una matriz $L_8(2^7)$, para obtener la mejor muestra según las variables de respuesta que fueron el análisis sensorial con los atributos olor, color, sabor y Cremosidad. Para determinar la mezcla optima se tomó en consideración el índice de consistencia ya que es un valor representativo de las viscosidades aparentes, para el licor crema de aguaje el valor optimo del índice de consistencia es de 9.73754 por lo tanto los valores óptimos de la temperatura son de 62.0002, CMC 2.61871 gramos/litro y para la goma Xantana 2.2261 gramos/litro. Las combinaciones más aceptadas por los jueces, destacando los tratamientos T5, T7 y T8. Taguchi proporcionó una combinación óptima de ingredientes, con una deseabilidad de 0.897694, donde se ajustaron la temperatura a 70 °C, la concentración de CMC a 2.6, la cantidad de goma xantana a 2.17227 y el contenido de alcohol extraneutro a 45.0032.

Mediante la metodología de Superficie de Respuestas. Se encontró que todas las muestras exhibieron comportamiento de fluido no newtoniano pseudoplástico, con un índice de consistencia (viscosidad aparente) variando entre 2.9003 Pa.sⁿ y 10.2860 Pa.sⁿ. Las características fisicoquímicas revelaron pH básico en su mayoría, con valores oscilando entre 6.63 y 8.50, la acidez expresada en porcentaje ácido oleico/100ml presentaron valores valor de 0.10 a 0.34. Los Solidos solubles expresados en grados °Brix obtuvo valores de 20.8 a 26.2 y la densidad con un valor de 1.041 a 1.067. La estabilidad, evaluada durante 60 días de almacenamiento, mostró un promedio del 51.5% de estabilidad. para poder

calcular el porcentaje de estabilidad se planteó la siguiente fórmula:

$$\text{Estabilidad(\%)} = \frac{\text{AFE (cm)}}{\text{AFE(cm)} + \text{AFNE(cm)}} * 100$$

Donde:

AFE: Altura de la fase estable

AFNE: Altura de la fase No estable.

Las ventajas del método taguche es que se usó pocas corridas solo 8 frente a las 15 corridas de la superficie de respuesta y solo se necesitó un análisis sensorial, en cambio en la Superficie de respuesta se aumentaron los niveles y los numero de tratamientos y se basó en el índice de consistencia como variable respuesta. Mediante la metodología Taguchi fue inicialmente de 70 grados Celsius. Al aplicar la optimización con la superficie de respuesta, logramos reducir la temperatura en 8 grados, obteniendo una temperatura final óptima de 62 grados Celsius. Adicionalmente se pudo ajustar más los niveles de 2 a 3 y se logró refinar aún más el proceso. Este enfoque permitió reducir los factores de 4 a 3, indicando una simplificación en las condiciones experimentales

La viscosidad aparente con respecto a su estabilidad se pudo determinar que después del almacenamiento por más de 60 días cambio y cuando se relacionó con la estabilidad se pudo determinar que en los tratamientos que tienen más del 50 % de estabilidad la viscosidad aparente aumento y aquellos que tienen la estabilidad es menor al 50 % la viscosidad aparente disminuyo.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- American Society for Testing and Materials. (2019). *ASTM E253-20: Standard test method for sensory evaluation of perceived flavor, odor, and taste changes of oxygenated solvents*. American Society for Testing and Materials. <https://www.astm.org/e0253-20.html>
- Association of official Analytical Chemist. International. (1980). *Official methods of analysis of AOAC International* (13th ed.). Association of official Analytical Chemist.
- Association of official Analytical Chemist. International. (2000). *Official methods of analysis of AOAC International* (16th ed.). Association of official Analytical Chemist.
- Arias, F. (2012). *El Proyecto de Investigación: introducción a la metodología científica* (6^a ed.). Editorial Episteme. <https://abacoenred.com/wp-content/uploads/2019/02/El-proyecto-de-investigaci%C3%B3n-F.G.-Arias-2012-pdf-1.pdf>
- Banks, W. & Muir, D. (1985). Effect of alcohol content on emulsion stability of cream liqueurs. *Food Chemistry*, 18(2), 139-152. [https://doi.org/10.1016/0308-8146\(85\)90137-2](https://doi.org/10.1016/0308-8146(85)90137-2)
- Bordeu, E. & Gonzales, A. (2004). Madurez de cosecha y fermentación alcohólica. *Revista Enología*, 1(5), 29-34.
- Borkowski, J. (1995). Spherical Prediction-Variance Properties of Central Composite and Box-Behnken Designs. *Technometrics*, 37(4), 399-410. <https://doi.org/10.2307/1269732>
- Box, G. & Behnken, D. (1960). Some New Three Level Designs for the Study of Quantitative Variables. *Technometrics*, 2(4), 455-475. <https://doi.org/10.1080/00401706.1960.10489912>
- Carrasco, D. (2019). *Aprovechamiento de productos nativos amazónicos (Aguaje y Ungurahui) para desarrollar bombones de chocolate con valor agregado* [Tesis de grado, Universidad Peruana Unión] Universidad Peruana Unión. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/1890>
- Figueroa, G. (2003). Optimización De Una Superficie De Respuesta Utilizando Jmp in. *Mosaicos Matemáticos*, (11). <https://semana.mat.uson.mx/Memorias/gudelia.pdf>
- Gutiérrez, H. & De la Vara Salazar, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2^a ed.). The McGraw-Hill. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Gutiérrez, H. & De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2.^a ed.). McGraw-Hill Interamericana. http://gc.initelabs.com/recursos/files/r161r/w19537w/analisis_y_diseno_experimentos.pdf
- Kavanaugh, C. F. (2022). Los diseños de taguchi contra los diseños clásicos de experimentos. *Conciencia Tecnológica*, (19). <https://www.redalyc.org/pdf/944/94401906.pdf>
- Kuehl, R. (2000). *Diseño de experimentos Principios estadísticos de diseño y análisis de investigación* (2^a ed.). Thomson Learning.
- Lataza, M. (2016). *Modelo de optimización del proceso de estabilización de bebidas fermentadas* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Misiones]. Repositorio Institucional. <https://hdl.handle.net/20.500.12219/2782>

- Miranda, J. & Tula, J. (2014). *Optimización de la tecnología para la formulación de macerado de aguaymanto (physalis peruviana)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/4191>
- Mora Barandiarán, F. J. (2013). *Efecto de la concentración de cmc, goma guar y goma xantana sobre la sinéresis, características reológicas y consistencia sensorial de salsa de alcachofa (Cynara scolymus L.) variedad imperial star* [Tesis de grado, Universidad Privada Antenor Orrego]. Repositorio Institucional. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/196>
- Morales, K. (2007). *Determinación de porcentaje de grasa, reductasa y ácido láctico en crema pasteurizada de marcas comerciales expandidas en supermercados de la ciudad de Guatemala* [Tesis de grado, Universidad de San Carlos de Guatemala]. Repositorio Institucional. http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/06/06_2540.pdf
- Moya, S. (2013). *Efecto de diferentes tipos de alteraciones sobre la estabilidad de los licores de crema* [Tesis de grado, Universitat Politècnica de Catalunya]. Repositorio Institucional. <https://core.ac.uk/reader/41808381>
- Naranjo-Palacios, F., Rios-Lira, A., Pantoja-Pacheco, Y. V., Tapia-Esquivias, M., Naranjo-Palacios, F., Rios-Lira, A. J., Pantoja-Pacheco, Y. V. & Tapia-Esquivias, M. (2020). Diseños ortogonales de Taguchi fraccionados. *Ingeniería, investigación y tecnología*, 21(2). <https://doi.org/10.22201/ifi.25940732e.2020.21n2.011>
- Otayza, L. (2021). *Informe de vigilancia tecnológica*. Comisión de Promoción del Perú para la Exportación y el Turismo. <https://boletines.exportemos.pe/recursos/boletin/InformePP%20-%20Aceite%20de%20aguaje%20en%20la%20industria%20cosmetica.pdf>
- Peace, G. (1993). *Taguchi methods: a hands-on approach*. Addison-Wesley.
- Real Academia Española. (2001). *Diccionario de la Lengua Española* (22.ª ed.). Real Academia Española.
- Valera Lopez, J. (2019). *Efecto del caseinato de sodio y del homogenizado en la elaboración del licor de crema de aguaje (Mauritia flexuosa)* [Tesis de grado, Universidad Nacional de San Martín]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unsm.edu.pe/handle/11458/3670>
- Vega Vega, L. S. (2021). *Optimización de la mezcla de goma xanthan, pisco y huevo, para mejorar la estabilidad de licor alcohólico Leche de monja* [Tesis de maestría, Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann]. Repositorio Institucional. <http://repositorio.unjbg.edu.pe/handle/UNJBG/4390>
- White, C. D., Willis, B. J., Narayanan, K., & Dutton, S. P. (2001). *Identifying and estimating significant geologic parameters with Experimental Design*, SPA Journal 6(3). 311-324. <https://onepetro.org/SJ/article/6/03/311/74755/Identifying-and-Estimating-Significant-Geologic>