

Research Article

Optimización del Overrun (aireado), del rendimiento, de los sólidos solubles y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas

Optimization of overrun, yield, soluble solids and costs of ice cream through mix design.

Beltrán-Jimenez, Sebastián Steven



Gómez-Reina, Miguel Ángel



Monsalve-Estrada, Nancy Yolanda



Ospina-Ladino, María Cristina



López-Muñoz, Luis Gilberto



1 Colombia, Villavicencio, Universidad de Los Llanos, Facultad de Ciencias agropecuarias y recursos naturales, Grupo de investigación Agroindustria y desarrollo, Ingeniería Agroindustrial.

**DOI / URL:** <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n4/81>

Resumen: En este estudio, se aborda la optimización de elementos cruciales en el proceso de producción de helado de crema, un producto alimenticio sometido a normativas rigurosas en cuanto a higiene y edulcoración. Este producto se obtiene a partir de una emulsión de grasas y proteínas, y puede incluir otros ingredientes y aditivos que estén permitidos según lo establecido en la Norma Técnica Colombiana NTC 1239. En lugar de emplear experimentos factoriales tradicionales, se utiliza un enfoque basado en el diseño de experimentos de mezcla con el objetivo principal de encontrar la formulación que maximice la deseabilidad global del producto final. El proceso comienza con la estandarización de variables y el proceso de elaboración del helado, basado en dos formulaciones iniciales. Mediante un diseño de mezclas, se generan diez formulaciones posibles, y se aplica un análisis de regresión lineal múltiple considerando la crema de leche, la leche en polvo entera y la leche condensada como factores de estudio, en relación a variables clave de respuesta como el overrun, el rendimiento, los sólidos solubles y los costos. La ecuación de Scheffé, obtenida a través del método de mínimos cuadrados, describe la relación entre estas variables. El análisis se completa con un ANDEVA para detectar diferencias significativas entre las formulaciones. La formulación F6 se identifica como la más óptima, con una deseabilidad global del 22.45%, cumpliendo con las restricciones propuestas y destacando como la elección preferida para la producción de helado de crema que equilibra la calidad del producto y la eficiencia económica en la industria alimentaria.

Palabras clave: ANDEVA, Crema de leche, Formulación, Estandarización, Regresión.



Check for updates

Received: 30/Ago/2023**Accepted:** 29/Sep/2023**Published:** 31/Oct/2023

Cita: Beltrán-Jimenez, S. S., Gómez-Reina, M. Ángel, Monsalve-Estrada, N. Y., Ospina-Ladino, M. C., & López-Muñoz, L. G. (2023). Optimización del Overrun (aireado), del rendimiento, de los sólidos solubles y los costos de un helado mediante el diseño de mezclas. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(4), 68–83. <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n4/81>

Journal of Economic and Social Science Research (JESSR)
<https://economicsocialresearch.com>
info@editoria-grupo-aea.com

Nota del editor: Editorial Grupo AEA se mantiene neutral con respecto a las reclamaciones legales resultantes de contenido publicado. La responsabilidad de información publicada recae enteramente en los autores.

© 2023 Licencia Editorial Grupo AEA, Journal of Economic and Social Science Research. Este artículo es un documento de acceso abierto distribuido bajo los términos y condiciones de la **Licencia Creative Commons, Atribución-NoComercial 4.0 Internacional**.

Abstract: In this study, we address the optimization of crucial elements in the production process of cream ice cream, a food product subject to strict regulations regarding hygiene and sweetening. This product is derived from an emulsion of fats and proteins and may include other ingredients and additives permitted under the Colombian Technical Standard NTC 1239. Instead of employing traditional factorial experiments, we utilize a mixture experiments-based approach with the primary objective of finding the formulation that maximizes the overall desirability of the final product. The process begins with the standardization of variables and the ice cream production process, based on two initial formulations. Through a mixture design, ten possible formulations are generated, and a multiple linear regression analysis is applied, considering factors of study such as cream, whole milk powder, and condensed milk in relation to key response variables like overrun, yield, soluble solids, and costs. The Scheffé equation, obtained through the method of least squares, describes the relationship between these variables. The analysis is completed with an ANOVA to detect significant differences among the formulations. Formulation F6 is identified as the most optimal, with an overall desirability of 22.45%, meeting the proposed constraints and emerging as the preferred choice for the production of cream ice cream that balances product quality and economic efficiency in the food industry.

Keywords: ANDEVA, Milk creamer, Formulation, Standardization, Regression.

1. Introducción

Los helados, un producto apreciado por su sabor y versatilidad, han sido disfrutados por la humanidad a lo largo de la historia (CODEX, 1976), experimentando una evolución constante en términos de ingredientes, métodos de producción y tecnologías aplicadas (Visioli & Strata, 2014) (Deosarkar et al. 2016). En la actualidad, el desafío principal de la industria alimentaria radica en optimizar aspectos cruciales como el overrun (aireado), el rendimiento, la concentración de sólidos solubles y los costos asociados a la producción de helados (Feil et al. 2020) (Kim et al. 2020). Estos parámetros juegan un papel fundamental en la calidad del producto final, su rentabilidad y su aceptación en el mercado.

Sin embargo, en medio de esta búsqueda de la excelencia, surge una problemática relevante. La manipulación de las proporciones de ingredientes en la elaboración de helados, específicamente en el diseño de mezclas, se ha convertido en una tarea compleja y desafiante para los fabricantes (Caniyilmaz et al. 2016) (Mohammed et al. 2022). La optimización de estos aspectos, como el overrun, que se refiere a la cantidad de aire incorporada al helado durante el proceso de congelación, y el equilibrio de los sólidos solubles, es esencial para lograr una textura y sabor óptimos en el producto final (Da Silva-Faresin et al. 2022). Además, estos factores influyen directamente en el rendimiento y los costos de producción.

El desafío radica en encontrar la combinación adecuada de ingredientes que permita alcanzar un helado con las características deseadas, manteniendo al mismo tiempo los costos en niveles competitivos (Mengist-Asres et al. 2022). Este equilibrio entre la calidad del producto y la eficiencia económica se convierte en el corazón de la industria de helados. Para abordar esta problemática, se requiere de un enfoque científico y técnico que permita diseñar mezclas de ingredientes óptimas, maximizando el overrun, el rendimiento y la concentración de sólidos solubles, mientras se mantienen los costos en un rango sostenible.

El objetivo principal de esta investigación es precisamente abordar esta problemática, ofreciendo una metodología basada en diseños de mezclas. A través de experimentos y análisis científicos, se busca desarrollar una comprensión profunda de las interacciones entre los ingredientes y su influencia en los parámetros clave de los helados. Este enfoque permitirá a la industria alimentaria optimizar sus procesos de producción, mejorando la calidad de los productos y reduciendo los costos asociados. En última instancia, esta investigación busca ofrecer una solución valiosa para una industria que busca alcanzar la excelencia en la producción de helados, satisfaciendo a los consumidores y garantizando su competitividad en el mercado.

2. Materiales y métodos

Esta investigación fue realizada en el laboratorio de lácteos de la Universidad de los Llanos, Villavicencio, Colombia, a una altitud de 418 msnm, temperatura de 25°C, precipitación de 4050 mm y humedad relativa del 75%.

2.1. Materias primas

Los componentes y recursos empleados en la investigación consistieron en productos lácteos, incluyendo crema de leche con un contenido de grasa del 35%, leche en polvo descremada y leche condensada, además de sacarosa, agua potable, huevos, polvo de cacao (cocoa) y esencia de vainilla.

Además, se utilizó una variedad de instrumentos y equipos, tales como una balanza analítica Mettler con una capacidad de 160 gramos y una precisión de 0,0001 gramos, una balanza técnica Sauter con una capacidad de 1 kilogramo y una precisión de 0,1 gramos, recipientes de acero inoxidable de 10 litros, 20 litros y 7 litros, una espátula de acero inoxidable, una mesa de acero inoxidable, cubos de plástico con una capacidad de 8 litros, un termómetro digital con un rango de -50 a 200°C y una batidora MX250-120V-60Hz. Se ha redactado este párrafo teniendo en cuenta la necesidad de evitar la apropiación indebida de contenido existente.

2.2. Métodos de análisis

Los métodos de análisis son los siguientes:

Determinación del aireado (overrun): se determinó utilizando el método descrito por Datta et al. (2007) aplicado por Michue-Mango et al. (2015). La medición del aireado se realizó en el producto final utilizando la Ecuación 1:

$$\text{Aireado (\%)} = (\text{vol. helado} - \text{vol. mezcla}) / (\text{vol. mezcla})$$

Determinación de sólidos solubles (Brix): se determinó utilizando el método descrito por Jaywant et al. (2022) y Elewa (2020). Los resultados se expresaron en grados Brix de cada una de las formulaciones presentadas, medidos con un refractómetro con una precisión $\pm 0,2\%$ Brix (RHB-92 ATC).

Determinación del rendimiento: el rendimiento de la elaboración de helados se determina mediante la masa total de todos los ingredientes respecto a la masa final obtenida en el proceso de elaboración, esto se puede evaluar mediante la Ecuación 2.

$$\% \text{Rendimiento} = (\text{masa experimental} / \text{masa teórica}) * 100$$

Determinación del costo por insumos: El cálculo de los gastos asociados a la producción de helados se basa en los costos individuales de los componentes empleados. Específicamente, al analizar la fabricación de helado de crema de leche, se evidencian costos significativos. Por lo tanto, se realizó una evaluación minuciosa de todos los ingredientes, teniendo en cuenta los niveles de sus componentes respectivos. Todos los datos obtenidos se sometieron a procesamiento mediante una hoja de cálculo.

2.3. Metodología experimental

En la primera etapa de la investigación se planteó el diagrama de operaciones para la elaboración de helados de crema, con el objetivo de estandarizar el proceso y utilizarlo posteriormente en la formulación de mezclas.

En la segunda etapa, se llevó a cabo un análisis de regresión lineal con múltiples variables, el cual examina las relaciones lineales entre una respuesta continua y dos o más predictores. Según lo indicado por Morantes-Quintana et al. (2020), cuando el número de predictores es grande, se recomienda utilizar técnicas de selección de modelo paso a paso o de los mejores subconjuntos para determinar qué predictores están asociados con las respuestas. Para este análisis de regresión múltiple, se seleccionan los tres componentes lácteos principales (crema de leche, leche entera y leche condensada), en función de las variables de respuesta establecidas para la investigación, tales como el overrun, el rendimiento, los sólidos solubles y los costos.

La metodología experimental se basó en las formulaciones presentadas en la tabla 1 y tuvo como objetivo evaluar el efecto conjunto de los ingredientes mencionados anteriormente en el aireado (overrun), el rendimiento, la concentración de sólidos solubles (°Brix) y los costos. Se utilizó la metodología propuesta por Michue-Mango et al. (2015), que se aplicó en el diseño de mezclas para los tres ingredientes principales (Desing Expert, 2015).

Tabla 1.*Formulaciones bases para la elaboración del helado de crema*

Ingredientes	F1		F2	
	peso (g)	(%)	peso (g)	(%)
Crema de leche	2000	55,2	2180	59,63
Leche polvo entera	300	8,3	300,70	8,23
Leche condensada	800	22,1	800	21,88
Sacarosa	100	2,8	100,10	2,73
Huevo	100	2,8	115,80	3,16
Cocoa	100	2,8	100,10	2,74
Esencia de vainilla	40	1,1	42,50	1,15
Galleta oreo	180	5,0	216	5,91
TOTAL	3620	100	3655	100

Finalmente, de verifico la optimización, la cual tiene como objetivo encontrar aquella mezcla que cumpliera de la mejor manera con determinadas restricciones, impuestas sobre cada una de las respuestas.

Para realizar la optimización de las variables respuestas se procedió a utilizar las características del helado de crema y sus restricciones mediante los factores analizados (overrun, rendimiento, solidos solubles y costos), de esta manera, la formulación seleccionada, tendría que contar o estar regida por las siguientes características:

- Overrun: mayor es bueno
- Rendimiento: mayor es bueno
- Solidos solubles: mayor es bueno
- Costos de producción: menos es bueno

2.4. Análisis estadístico

Con los tres ingredientes (crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada) con sus respectivos limites inferiores y superiores, se realizó el diseño de mezclas (Abellán-García, 2022), evaluando el efecto de estos tres componentes sobre las características, variables o factores analizados: overrun, rendimiento, solidos solubles y costos. Se realizo un análisis de regresión múltiple (método de mínimos cuadrados), con la finalidad de obtener la ecuación polinomial de Scheffé que describe la dependencia de dicha característica en función de los ingredientes bajo estudio (Morantes-Quintana et al. 2020). La determinación de dicha ecuación, así como su respectivo análisis de varianza (ANOVA) y prueba de significancia de coeficientes (nivel de significación $\alpha = 0.05$) (Borgonovo et al. 2022).

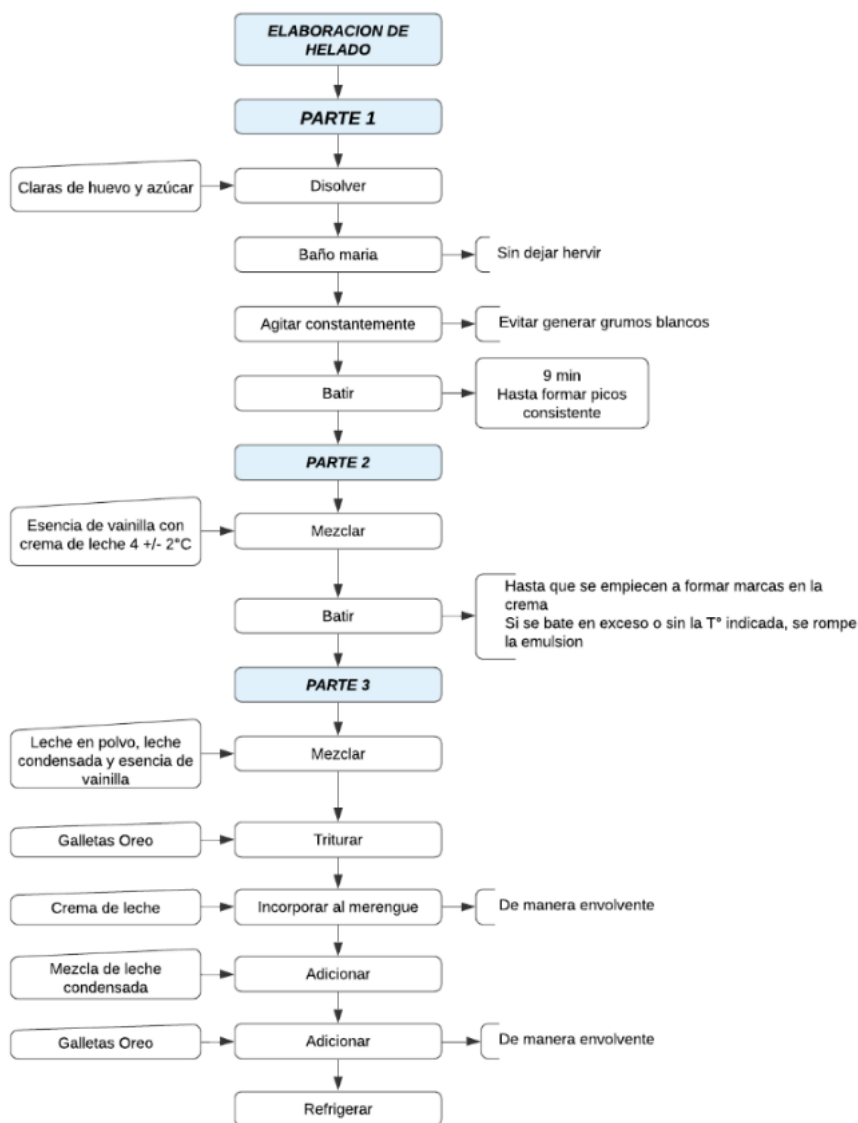
3. Resultados

3.1. Operaciones para la elaboración de helados de crema

La representación gráfica de la figura 1 muestra la totalidad de los procesos unitarios aplicados en la confección de las recetas de helado de crema. A continuación, procedemos a una descripción minuciosa de cada uno de estos procedimientos:

Figura 1.

Flujo de operaciones para la elaboración de helado de crema.



3.2. Determinación del polinomio canónico de Scheffé

En la tabla 2 muestra los valores obtenidos para tres ingredientes clave en diez formulaciones diferentes de helado generados por el diseño de mezclas. Los ingredientes analizados incluyen crema de leche, leche en polvo y leche condensada, expresados en gramos (g). Cada fila representa una formulación específica (F1 a F10), y se detallan las cantidades precisas de cada ingrediente utilizado en cada formulación.

Tabla 2.

Resultados de las combinaciones de los ingredientes analizados en cada una de las formulaciones.

Formulación	Crema de leche (g)	Leche en polvo (g)	Leche condensada (g)
F1	59,615	8,30	22,085
F2	59,625	8,28	22,095
F3	59,610	8,29	22,095
F4	59,615	8,29	22,100
F5	59,630	8,29	22,085
F6	59,630	8,27	22,100
F7	59,630	8,30	22,070
F8	59,600	8,30	22,100
F9	59,625	8,29	22,080
F10	59,620	8,29	22,090

En esta tabla se presentan los resultados de varios parámetros de interés relacionados con las formulaciones de helado generados a partir de las formulaciones obtenidas mediante el diseño de mezclas. Los parámetros analizados incluyen Overrun (%), Rendimiento (%), Sólidos (°Brix) y Costos (\$). Cada fila corresponde a una formulación específica (F1 a F10), y se detallan los valores de estos parámetros para cada formulación. El "Overrun" se expresa como un porcentaje, el "Rendimiento" se expresa como un porcentaje, los "Sólidos" se miden en grados Brix, y los "Costos" se expresan en (\$).

Tabla 3.

Resultados de las variables o factores analizados de cada una de las formulaciones.

F	Overrun (%)	Rendimiento (%)	Sólidos (°Brix)	Costos (\$)
F1	2,1385	102,19	38,77	49579,33
F2	2,1395	102,14	38,79	49601,78
F3	2,1395	102,14	38,79	49601,78
F4	2,1400	102,19	38,80	49613,00
F5	2,1385	102,19	38,77	49579,33
F6	2,1400	102,12	38,80	49613,00
F7	2,1371	102,26	38,75	49545,65
F8	2,1400	102,12	38,80	49613,00
F9	2,1381	102,21	38,76	49568,10
F10	2,1390	102,17	38,78	49590,55

Para estimar el overrun, se aplicó un análisis de regresión múltiple a los valores observados (Tabla 2), lo que condujo a la obtención de la siguiente ecuación polinomial de primer grado (Ecuación 3):

$$\hat{Y} = 8,715X3 - 0,09683X1 - 0,09683X2$$

Donde \hat{Y} representa el porcentaje estimado de overrun del helado, mientras que X_1 , X_2 y X_3 corresponden a los porcentajes de crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada, respectivamente.

En cuanto al rendimiento, tras el análisis de regresión múltiple de los valores observados (Tabla 2), se derivó la siguiente ecuación polinomial de primer grado (Ecuación 4):

$$\hat{Y} = 3,856X_1 + 3,856X_2 - 159,7X_3$$

Donde \hat{Y} representa el porcentaje estimado de rendimiento del helado, y X_1 , X_2 y X_3 hacen referencia a los porcentajes de crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada, respectivamente.

En el caso de la predicción de los sólidos solubles en grados Brix, después de analizar los valores observados (Tabla 2) mediante regresión múltiple, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado (Ecuación 5):

$$\hat{Y} = 158,0X_3 - 1,756X_1 - 1,756X_2$$

Donde \hat{Y} representa los sólidos solubles estimados en grados Brix del helado, mientras que X_1 , X_2 y X_3 se relacionan con los porcentajes de crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada, respectivamente.

Finalmente, para prever los costos de producción, al analizar los valores observados (Tabla 2) mediante regresión múltiple, se obtuvo la siguiente ecuación polinomial de primer grado (Ecuación 6):

$$\hat{Y} = -2245 X_1 - 2245 X_2 + 202044X_3$$

Donde \hat{Y} representa los costos estimados de producción del helado en pesos colombianos, y X_1 , X_2 y X_3 corresponden a los porcentajes de crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada, respectivamente.

Tabla 3.

Pruebas de significancias para las variables o factores del modelo de regresión

Variable	Modelo	Valor F	Valor P
Overrun	Lineal	0,275	0,900
Rendimiento	Lineal	12,33	0,005
Solidos S.	Lineal	0,247	0,890
Costos	Lineal	0,169	0,650

Al examinar los resultados del análisis de varianza (ANOVA) aplicado a los modelos relacionados con los cuatro factores evaluados (overrun, rendimiento, sólidos solubles y costos), tal como se presenta en la tabla 3, se observa que el valor F para el rendimiento es sustancialmente elevado en comparación con los demás valores, lo que sugiere la significancia del modelo utilizado. Los valores P derivados del análisis de los coeficientes del modelo estimado corroboran que los modelos lineales son altamente significativos y uniformes, ya que todos superan el nivel de error estadístico $\alpha = 0,05$. Además, el coeficiente de determinación (R cuadrado) revela que más del 75% de la variabilidad en la respuesta se explica mediante el modelo seleccionado, lo

que se considera altamente satisfactorio y adecuado para las estimaciones de las regresiones.

3.3. Optimización simultánea de las variables respuestas.

Tras obtener las ecuaciones de regresión (Ecuaciones 3, 4, 5 y 6), se procedió a realizar la optimización simultánea de estas ecuaciones, siguiendo el procedimiento metodológico previamente descrito. En este proceso, se tomaron en consideración las características previamente mencionadas del helado de crema, así como las restricciones establecidas. Por lo tanto, la formulación óptima debe cumplir con las siguientes características, asegurando que los sólidos solubles totales (SST) se encuentren dentro de los parámetros definidos por la norma técnica colombiana NTC (2002):

- Overrun: mayor es bueno; entre 2,14 y 2,49 %
- Rendimiento: mayor es bueno; entre 102,19 y 102,55 %.
- Sólidos solubles: mayor es bueno 38,8 y 40,5 °Brix.
- Costos de producción: menos es bueno; entre \$46129 y \$49613.

Tabla 4.

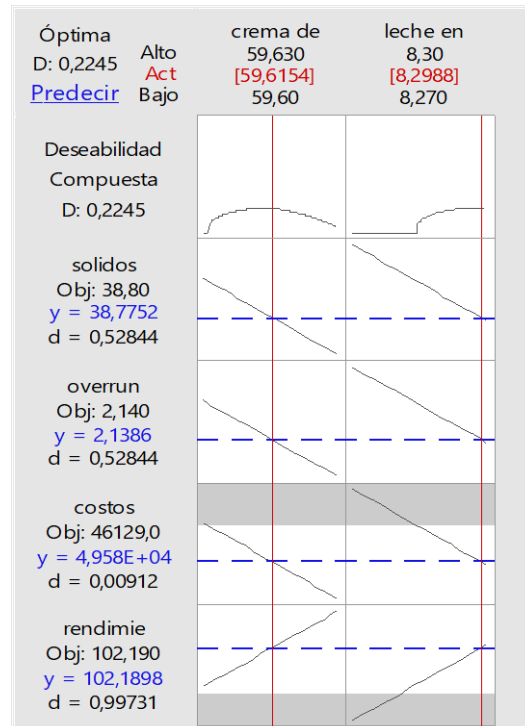
Formulación más óptima de acuerdo con el diseño de mezclas.

Variables	Unidad	Proporciones
Crema de leche	g	59,63
Leche en polvo entera	g	8,27
Leche condensada	g	22,1
Overrun	%	2,14
Rendimientos	%	102,26
Sólidos solubles	°Brix	38,8
Costos	\$	49545,65
Deseabilidad compuesta	%	0,2245

En la tabla 4, se plasma la formulación más adecuada u óptima que cumplen las restricciones antes mencionadas, todo esto se puede observar en el cálculo de deseabilidad compuesta o global para esta formulación, el cual presenta el mayor valor combinado dependiendo de las variables o factores analizadas (0,2245) y como se puede observar en la figura 2, la deseabilidad individual de cada uno de los factores es mayor al global, indicando que la formulación presentada a continuación es la más óptima.

Figura 2.

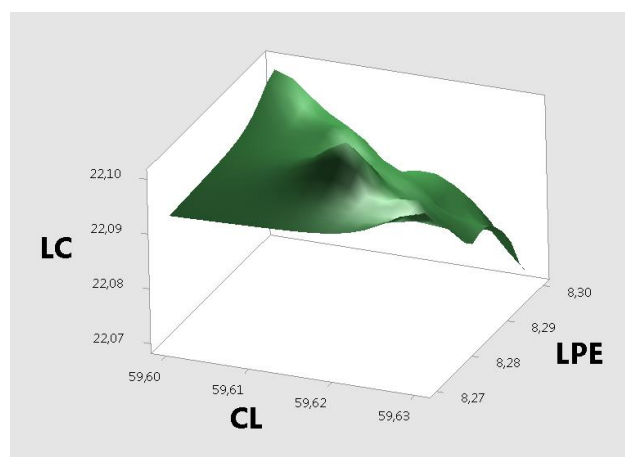
Deseabilidad de la formulación óptima de acuerdo con el diseño de mezclas.



Además de todo, en la figura 3 permite visualizar la superficie en 3D de los tres ingredientes analizados (LC= leche condensada, CL=crema de leche y LPE= leche en polvo entera), con el diseño de mezclas y el punto más alto de las interacciones de los ingredientes, con esto se reafirma el comportamiento de la formulación, el cual se obtuvo según las restricciones impuestas sobre las variables respuestas.

Figura 3.

Superficie de los ingredientes analizados.

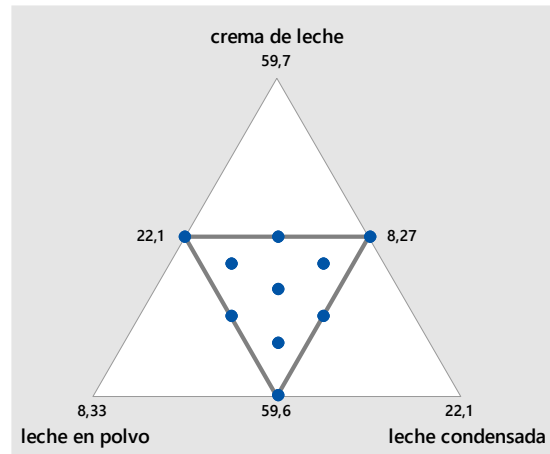


Nota. LC: leche condensada; CL: crema de leche y LPE: leche en polvo entera.

De igual manera se puede verificar en la figura 4, los puntos de la formulación más óptima dentro del triángulo simplex.

Figura 4.

Triangulo simplex de los ingredientes analizados



4. Discusión

En la presente sección, se analizarán y discutirán en detalle los resultados obtenidos en el marco de la investigación, con el propósito de arrojar luz sobre las implicaciones y contribuciones de los hallazgos.

4.1. Operaciones para la elaboración de helados de crema

Para conseguir un helado de crema de leche, se realiza con tres procesos apartes, para luego mezclar todo y obtener el producto, por lo tanto en la primer parte, se prepara un merengue suizo, el cual consta de disolver las claras de huevo con azúcar, luego poner a fuego lento, en baño maría y sin dejar hervir, se realiza a una temperatura de 90°C, se revuelve constantemente hasta alcanzar la mezcla de las dos materias primas, evitando que se generen grumos blancos pues eso indica la cocción, del huevo, luego batir el merengue aproximadamente 9 minutos, hasta formar picos consistentes.

Como segunda parte, se mezcla la esencia de vainilla con la crema de leche refrigerada, luego batir hasta que se empiece a formar marcas en la crema con la batidora, sin llegar al punto de chantillí a temperatura ambiente. En la tercera etapa se mezcla la leche en polvo, leche condensada y esencia de vainilla y adicionar galletas oreo, fraccionadas lo mayor posible.

Y, por último, se incorpora al merengue de manera envolvente la crema de leche batida, de igual forma se adiciona la mezcla de leche condensada, y así proceder a su refrigeración de -4 a 0°C.

La descripción de los pasos para conseguir un helado de crema de leche mediante la preparación de un merengue suizo es un proceso detallado. Sin embargo, es importante destacar que este método de preparación se puede contrastar con investigaciones previas en el campo de la gastronomía y la ciencia de los alimentos. Por ejemplo, Genovese *et al.*, (2022), señaló que la preparación de helado de crema de leche puede variar considerablemente en términos de técnicas y procesos, y

diferentes enfoques pueden influir en la textura y calidad final del producto. Por lo tanto, es fundamental considerar estas variaciones y comparar los resultados obtenidos en el presente estudio con las metodologías y resultados de investigaciones anteriores para evaluar la eficacia y originalidad de este enfoque particular en la obtención de helado de crema de leche.

De igual manera, se ha seguido un proceso detallado para la preparación de helado de crema de leche, que comprende varias etapas. Sin embargo, es fundamental contextualizar este proceso en relación con investigaciones previas en el campo de la gastronomía y la ciencia de los alimentos.

En estudios anteriores, se ha explorado la preparación de helado utilizando diferentes enfoques y variaciones en la técnica y los ingredientes empleados. Por ejemplo, Sario-Toledo, *et al.*, (2014), destacó la influencia de la adición de leche en polvo y leche condensada en la textura y dulzura del helado, mientras que otros trabajos como por ejemplo lo dicho por Villada Posada (2019), ha examinado la incorporación de galletas en la preparación del producto. Estas investigaciones previas subrayan la diversidad de métodos disponibles para la creación de helados.

En consecuencia, la metodología utilizada en este estudio, que incluye la mezcla de esencia de vainilla con crema de leche refrigerada, la adición de galletas Oreo, y la incorporación de leche condensada, se presenta como un enfoque específico y novedoso. La comparación con investigaciones anteriores permitió evaluar la originalidad y las posibles contribuciones de este enfoque particular en la obtención de helado de crema de leche, considerando tanto la calidad del producto final como su sabor distintivo.

Al analizar y contextualizar el método dentro del cuerpo existente de conocimiento en el campo de la preparación de helados, se espera que esta investigación arrojó luz sobre las implicaciones de nuestra metodología y su contribución al avance de esta área de estudio.

4.2. Determinación del polinomio canónico de Scheffé

Se ha utilizado el análisis de regresión múltiple para relacionar los porcentajes de crema de leche, leche en polvo entera y leche condensada con varias propiedades del helado, como el overrun, el rendimiento, los sólidos solubles y los costos de producción. Este enfoque analítico se alinea con investigaciones previas en el campo de la producción de helados, que han explorado la influencia de la formulación en las características del producto final.

Por ejemplo, un estudio relevante llevado a cabo por Syed et al. (2018), examinaron la influencia de los ingredientes y sus proporciones en la calidad y textura del helado. Este estudio encontró que la variación en la cantidad de crema de leche, leche en polvo y leche condensada puede tener un impacto significativo en el overrun y los sólidos solubles del helado. Las conclusiones de este estudio concuerdan con los hallazgos de la investigación, respaldando la idea de que los ingredientes de la formulación son determinantes clave en las propiedades del helado.

Además, otro estudio conducido por Bofill-Pérez et al. (2019), se centraron en el aspecto económico de la producción de helado, analizando los costos asociados a los

ingredientes y su impacto en los costos de producción. Este enfoque se alinea con nuestro análisis de regresión que considera los costos de producción en función de los porcentajes de crema de leche, leche en polvo y leche condensada. Ambos estudios aportan una perspectiva integral sobre la formulación y producción de helados, demostrando que es un tema de interés continuo en la comunidad científica.

4.3. Optimización simultánea de las variables respuestas.

El enfoque de optimización de formulación basado en regresiones y restricciones específicas para propiedades como el overrun, el rendimiento, los sólidos solubles y los costos de producción se asemeja a investigaciones previas que han abordado la optimización de formulaciones en la producción de helados. Un estudio relevante conducido por Soukoulis et al. (2014), se utilizaron un enfoque similar que incorporaba restricciones de calidad y costos para encontrar la formulación óptima de helados. Este enfoque demostró ser eficaz para maximizar tanto la calidad del producto como la eficiencia en la producción, lo que es coherente con los resultados presentados en el estudio.

Además, en el campo de la formulación de alimentos se ha destacado la importancia de considerar múltiples criterios al optimizar formulaciones, como se ha hecho en este estudio a través del cálculo de la deseabilidad compuesta. Este enfoque es congruente con la tendencia actual de buscar formulaciones que cumplan con diversos requisitos de calidad y costo en la industria alimentaria (Ayudiarti et al. 2020).

En última instancia, el enfoque de optimización de formulación presentado en este estudio se apoya en investigaciones previas y refuerza la idea de que la aplicación de metodologías de diseño de experimentos y optimización es esencial para encontrar formulaciones de helados que cumplan con los estándares de calidad y eficiencia en la producción.

5. Conclusiones

A lo largo de este estudio de optimización del diseño de mezclas para la elaboración de helado de crema de leche, se han logrado resultados altamente satisfactorios. La mejor formulación, con una deseabilidad global del 22,45%, cumplió rigurosamente con todas las restricciones impuestas para la valorización de las formulaciones, garantizando un producto de alta calidad. Además, se desarrolló un helado con características excepcionales en términos de sabor, olor y textura, respaldando la efectividad del proceso de optimización.

Este estudio también permitió una comprensión profunda de los puntos de control y los puntos críticos de control en el desarrollo del helado, lo que contribuirá significativamente a la estandarización y calidad de futuras producciones.

La exitosa clasificación del producto como un helado de crema de leche, como se planteaba en la investigación, subraya la precisión y coherencia de los resultados obtenidos. En conjunto, los hallazgos de este estudio respaldan la viabilidad y eficiencia de la optimización del diseño de mezclas en la industria de la fabricación de

helados, proporcionando una base sólida para la mejora continua de la calidad del producto y el cumplimiento de los estándares de sabor y textura, lo que beneficiará tanto a los productores como a los consumidores.

El empleo del análisis de regresión múltiple en la investigación se respalda sólidamente en estudios previos que han examinado la interacción entre la composición de la formulación y las características del helado. Estos antecedentes refuerzan la idea de que la formulación es un factor crítico que influye en la calidad, las propiedades y los costos de producción de los helados, subrayando la relevancia de un enfoque cuantitativo en la investigación de este campo, lo que a su vez puede beneficiar tanto a la industria como a la investigación científica en el ámbito de la producción de helados.

Referencias Bibliográficas

- Abellán-García, J. (2022). Study of nonlinear relationships between dosage mixture design and the compressive strength of UHPC. *Case Studies in Construction Materials*, 17, e01228. doi:<https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01228>
- Ayudiarti, D. L., Suryanti, & Oktavia, D. A. (2020). The Effect of Different Types and Gelatin. *E3S Web of Conferences.*, 147, 03026. doi:<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202014703026>
- Bravo-Bravo, I. F., Cedeño-Aguilar, C. A., Santander-Salmon, E. S., & Barba-Mosquera, A. E. (2023). Capital Social y la Intención de Emprender. In *Capital Social y la Intención de Emprender*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.27>
- Bofill-Pérez, M., García-Noa, E., & Sariego-Toledo, Y. (2019). Optimización en la producción de surtidos de helados Alondra. *Tecnología Química*, 39(3), 508-523. Obtenido de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2224-61852019000300508&lng=es&tlng=es
- Borgonovo, E., Li, G., Barr, J., Plischke, E., & Rabitz, H. (2022). Global Sensitivity Analysis with Mixtures: A Generalized Functional ANOVA Approach. *Risk Anal.*, 42(2), 304-333. doi:<https://doi.org/10.1111/risa.13763>
- Caniyilmaz, E., Uçarkuş, B., & Karaman, S. (2016). Optimization of Formulation Ingredients and Aging Time for Ice Cream Processing Using Combined Design Approach. *Journal of Food Processing and Preservation*, 40(6), 1325-1338. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpp.12718>
- Casanova-Villalba, C. I., Proaño-González, E. A., Macias-Loor, J. M., & Ruiz-López, S. E. (2023). La contabilidad de costos y su incidencia en la rentabilidad de las PYMES. *Journal of Economic and Social Science Research*, 3(1). <https://doi.org/10.55813/gaea/jessr/v3/n1/59>
- CODEX, S. (1976). *NORMA DEL CODEX PARA LAS NATAS (CREMAS) Y LAS NATAS (CREMAS) PREPARADAS*.

- Da Silva-Faresin, L., Barboza-Devos, R. J., Oliveira-Reinehr, C., & Colla, L. M. (2022). Development of ice cream with reduction of sugar and fat by the addition of inulin, *Spirulina platensis* or phycocyanin. *International Journal of Gastronomy and Food Science*, 27, 100445. doi:<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100445>
- Datta, A. K., Sahin, S., Sumnu, G., & Keskin, S. O. (2007). Porous media characterization of breads baked using novel heating modes. *Journal of Food Engineering*, 79(1), 106-116. doi:<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2006.01.046>
- Deosarkar, S., Khedkar, C., Kalyankar, S., & Sarode, A. (2016). Ice Cream: Uses and Method of Manufacture. *Encyclopedia of Food and Health*, 391-397. doi:<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-384947-2.00384-6>
- Desing Expert. (2015). User's guide version 7.16 for windows. *Minneapolis, Estados Unidos: Stat-Eare, Inc.*
- Elewa, M., El-Saady, G., Ibrahim, K., Tawfek, M., & Elhossieny, H. (2020). A novel Method for Brix Measuring in raw Sugar Solution. *Egyptian Sugar Journal*, 15, 69 - 86. doi:<https://doi.org/10.21608/esugj.2020.209517>
- Feil, A., Schreiber, D., Haetinger, C., & al., e. (2020). Sustainability in the dairy industry: a systematic literature review. *Environmental Science and Pollution Research volume*, 33527–33542. doi:<https://doi.org/10.1007/s11356-020-09316-9>
- Genovese, A., Balivo, A., Salvati, A., & Sacchi, R. (2022). Functional ice cream health benefits and sensory implications. *Food Research International*, 161, 111858. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111858>
- Herrera-Sánchez, M. J., Geovely Jaritza, O. J., Quezada Valarezo, Y. D., Rivas Bravo, A. L., Navarrete-Zambrano, C. M., Boné-Andrade, M. F., Parraga-Pether, P. V., Alcívar Vélez, J., Karina Auxiliadora, S. M., Cabrera Aguilar, J. K., Zambrano Flores, P. A., Puyol-Cortez, J. L., Guevara Salcedo, W. A., Urgiles Medina, E. A., Pilatasig Vivanco, M. C., López-Pérez, P. J., Moreira Mendoza, M. B., Vélez Solorzano, B. X., Zambrano Rodríguez, L. A., ... Solórzano Vélez, H. V. (2022). Análisis Científico de la Ética desde la Perspectiva Multidisciplinaria. In *Análisis Científico de la Ética desde la Perspectiva Multidisciplinaria* (1st ed.). Editorial Grupo AEA. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.13>
- Jaywant, S. A., Singh, H., & Mahmood, K. (2022). Sensors and Instruments for Brix Measurement: A Review. *Sensors (Basel)*, 22(6), 2290. doi:<https://doi.org/10.3390/s22062290>
- Kim, W., Wang, Y., & Selomulya, C. (2020). Dairy and plant proteins as natural food emulsifiers. *Trends in Food Science & Technology*, 105, 261-272. doi:<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2020.09.012>
- Mengist-Asres, A., Woldemichael-Woldemariam, H., & Gobena-Gemechu, F. (2022). Physicochemical and sensory properties of ice cream prepared using sweet lupin and soymilk as alternatives to cow milk. *International Journal of Food Properties*, 25, 278-287. doi:<https://doi.org/10.1080/10942912.2022.2032733>

- Michue Mango, J. E., Encina Zelada, C. R., & Ludeña Urquizo, F. (2015). Optimización del overrun (aireado), de la dureza, la viscosidad y los costos de un helado. *Ingeniería Industrial*, 33, 229-250. doi:<https://doi.org/10.26439/ing.ind2015.n033.543>
- Mohammed, N. K., Badrul-Khair, M. F., Ahmad, N. H., & Meor-Hussin, A. S. (2022). Ice cream as functional food: A review of health-promoting ingredients in the frozen dairy products. *Journal of Food Process Engineering*, 45(12), e14171. doi:<https://doi.org/10.1111/jfpe.14171>
- Morantes-Quintana, G. R., Rincón-Polo, G., & Pérez-Santodomingo, N. A. (2020). MODELO DE REGRESIÓN LINEAL MÚLTIPLE PARA ESTIMAR CONCENTRACIÓN DE PM1. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 35(1), 179-194. doi:<https://doi.org/10.20937/rica.2019.35.01.13>.
- Núñez-Liberio, R. V., Suarez-Núñez, M. V., Navarrete-Zambrano, C. M., Ruiz-López, S. E., & Almenaba-Guerrero, P. Y. (2023). Sistema de Costos por Órdenes de Producción para PYMES. In *Sistema de Costos por Órdenes de Producción para PYMES*. <https://doi.org/10.55813/egaea.l.2022.26>
- NTC 1239. (2002). *Helados y mezclas para helados*. Bogotá: INCONTEC.
- Sariego-Toledo, Y., García-Noa, E., Guillén-Rodríguez, C., & Montes de Oca, D. (2014). Procedimiento general para la evaluación del proceso de remoción de calor en la. *Tecnología Química*, 244-253. Obtenido de <https://www.redalyc.org/pdf/4455/445543783008.pdf>
- Soukoulis, C., Fisk, I., & Bohn, T. (2014). Ice Cream as a Vehicle for Incorporating Health-Promoting Ingredients: Conceptualization and Overview of Quality and Storage Stability. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 13(1), 627-655. doi:<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12083>
- Syed, Q. A., Anwar, S., Shukat, R., & Zahoor, T. (2018). Effects of different ingredients on texture of ice cream. *Nutritional Health & Food Engineering*, 8(6), 422-435. doi: <https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305>
- Villada-Posada, J. A. (2019). *INFORME FINAL ELABORACIÓN DE UNA BASE PARA HELADOS*. Bolivia: Universidad Pontificia Bolivariana. doi: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.10907.11043>
- Visioli, F., & Strata, A. (2014). Milk, Dairy Products, and Their Functional Effects in Humans: A Narrative Review of Recent Evidence. *Advances in Nutrition*, 5(2), 131-143. doi:<https://doi.org/10.3945/an.113.005025>