



Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar, Ciudad de México, México.
ISSN 2707-2207 / ISSN 2707-2215 (en línea), julio-agosto 2026,
Volumen 10, Número 4.

https://doi.org/10.37811/cl_rcm.v10i4

MODELADO DE LA ACEPTABILIDAD GENERAL DE UN DULCE FORMULADO CON POLVO DE NOPAL MEDIANTE UN DISEÑO RESTRINGIDO DE MEZCLAS.

**MODELING THE OVERALL ACCEPTABILITY OF A CANDY
FORMULATED WITH NOPAL POWDER USING A
RESTRICTED MIXTURE DESIGN.**

Alondra Ponce-Luna

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Jesús Guadalupe Pérez-Flores

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Laura García-Curiel

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Emmanuel Pérez-Escalante

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Elizabeth Contreras-López

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Judith Jaimez-Ordaz

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Marisol García-Asunción

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo

Modelado de la aceptabilidad general de un dulce formulado con polvo de nopal mediante un diseño restringido de mezclas.

Alondra Ponce-Luna¹

po376962@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0004-6940-1328>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Jesús Guadalupe Pérez-Flores

jesus_perez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9654-3469>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Laura García-Curiel

laura.garcia@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-8961-2852>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Emmanuel Pérez-Escalante

emmanuel_perez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-4268-9753>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Elizabeth Contreras-López

elizac@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0002-9678-1264>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Judith Jaimez-Ordaz

jjaimiez@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0000-0001-6655-0759>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

Marisol García-Asunción

ga407796@uaeh.edu.mx

<https://orcid.org/0009-0007-5790-1992>

Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo
México

RESUMEN

Se modeló la aceptabilidad general de un dulce elaborado con polvo de nopal (x_1), azúcar glass (x_2) y chile en polvo (x_3) mediante un diseño de vértices extremos. La región experimental se delimitó por $0.30 \leq x_1 \leq 0.60$, $0.20 \leq x_2 \leq 0.50$ y $0.10 \leq x_3 \leq 0.20$, con la condición de que $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Se estudiaron nueve formulaciones y la respuesta observada varió entre 3 y 16 unidades. El mayor valor correspondió a la mezcla 0.60:0.30:0.10 y el menor, a 0.60:0.25:0.15, lo que demuestra la sensibilidad del producto a cambios pequeños en el balance azúcar-chile. El modelo cuadrático de Scheffé presentó $R^2 = 0.9752$, R^2 ajustado = 0.9256, error estándar residual = 2.337 y $p = 0.01658$. Las interacciones $x_1 \cdot x_3$ y $x_2 \cdot x_3$ fueron negativas, lo que indicó una respuesta curvada en presencia del componente pungente. La solución numérica reportada (32.1, 21.4 y 21.4 unidades) sumó 0.70 respecto de la base composicional y, por tanto, quedó fuera de la región de mezclas. El modelo permite reconocer zonas de respuesta y contrastes composicionales, aunque la formulación candidata requiere optimización con cierre unitario, lotes confirmatorios y el registro completo del protocolo sensorial.

Palabras clave: Aceptabilidad sensorial; confitería; polvo de nopal; diseño de mezclas; modelo de Scheffé.

¹ Autor principal.

Correspondencia: ga407796@uaeh.edu.mx

Modeling the overall acceptability of a candy formulated with nopal powder using a restricted mixture design.

ABSTRACT

General acceptability of a candy formulated with powdered nopal (x_1), glass powdered sugar (x_2), and chili powder (x_3) was modeled using an extreme-vertices mixture design. The experimental region was bounded by $0.30 \leq x_1 \leq 0.60$, $0.20 \leq x_2 \leq 0.50$, and $0.10 \leq x_3 \leq 0.20$, with $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. Nine formulations were evaluated, and the observed response ranged from 3 to 16 units. The highest value occurred at 0.60:0.30:0.10, whereas the lowest was recorded at 0.60:0.25:0.15, revealing the sensitivity of the product to small changes in the sugar–chili balance. The quadratic Scheffé model yielded $R^2 = 0.9752$, adjusted $R^2 = 0.9256$, a residual standard error of 2.337, and $p = 0.01658$. Negative $x_1 \cdot x_3$ and $x_2 \cdot x_3$ interactions described a curved response involving the spicy component. The reported numerical solution (32.1, 21.4, and 21.4 mass units) reached a compositional sum of 0.70 and therefore fell outside the mixture region. The fitted model identifies response patterns and formulation contrasts, although selection of a candidate product requires unit-sum optimization, confirmatory batches, and complete documentation of the sensory protocol

Keywords: Sensory acceptability; confectionery; nopal flour; mixture design; Scheffé model.

Artículo recibido 20 junio 2026

Aceptado para publicación: 20 julio 2026



INTRODUCCIÓN

Los cladodios de *Opuntia* pueden transformarse en harinas con fibra, minerales, pigmentos y polisacáridos capaces de modificar la hidratación, el color y la textura de un alimento. Estas propiedades amplían su uso en galletas, botanas, geles y productos de confitería. No obstante, el nivel de aceptación es dosis-dependiente, puesto que su incorporación, que aporta cuerpo o identidad vegetal, puede generar oscurecimiento, notas herbáceas o cambios de firmeza (Bouazizi et al., 2020; Dick et al., 2020; Martins et al., 2023; Rodrigues et al., 2023).

En productos de confitería de perfil dulce y picante, el agrado proviene del equilibrio entre estímulos que actúan por vías sensoriales distintas. El azúcar aporta dulzor y modula la percepción de notas vegetales; el chile introduce pungencia, una respuesta quimioestésica cuya intensidad y preferencia varían con la exposición, la cultura y la experiencia individual. Por esa razón, el contenido de polvo de nopal carece de efecto aislado y su desempeño depende de las proporciones en las que se encuentran los demás componentes de la formulación (De Albuquerque et al., 2019; Ruiz-Capillas & Herrero, 2021; Siebert et al., 2022).

Los diseños de experimentos de mezclas representan esta dependencia mediante la condición de cierre, según la cual el aumento de un ingrediente obliga a reducir al menos otro ingrediente. Cuando existen límites tecnológicos, los vértices extremos y sus centroides cubren la región factible con un número reducido de formulaciones y permiten ajustar los modelos canónicos de Scheffé. El análisis debe centrarse en mezclas admisibles y en contrastes composicionales, porque los coeficientes aislados pueden corresponder a vértices puros ajenos al dominio experimental (Galvan et al., 2021; Lawson & Willden, 2016; Squeo et al., 2021).

El objetivo de este estudio fue modelar la relación entre las proporciones de polvo de nopal, azúcar glass y chile en polvo en conjunto con la aceptabilidad general para el consumo de un dulce, mediante un diseño restringido de mezclas de vértices extremos y el ajuste de un modelo cuadrático de Scheffé, con el fin de identificar patrones de respuesta dentro de la región experimental y determinar si la solución numérica reportada cumplía las restricciones composicionales necesarias para orientar una posterior validación experimental.

METODOLOGÍA



Desarrollo del producto

El dulce se elaboró con polvo de nopal (x_1), azúcar glass (x_2) y chile en polvo (x_3) como componentes variables. El proceso siguió el protocolo interno de desarrollo del producto inspirado en la presentación sensorial de un dulce de tamarindo conocido en México como “tamachew”. Para proteger la información empresarial, se omiten las condiciones operativas específicas, las proporciones de los ingredientes auxiliares, las marcas y los proveedores. Las nueve formulaciones se prepararon mediante un procedimiento común, de modo que la composición variable constituyó la fuente de variación experimental.

Diseño restringido de mezclas

El diseño se generó en R con la función ‘Xvert’ del paquete ‘mixexp’, usando tres componentes, cotas inferiores de 0.30, 0.20 y 0.10, y cotas superiores de 0.60, 0.50 y 0.20 para x_1 , x_2 y x_3 , respectivamente. Se incluyeron centroides de primer orden ($ndm = 1$). Las proporciones cumplieron la condición $x_1 + x_2 + x_3 = 1$. El arreglo resultante comprendió cuatro vértices de la región factible, cuatro centroides de arista y un centroide global. La Figura 1 reproduce el diseño entregado, sin modificaciones ni recálculos. La composición de las nueve formulaciones y sus valores de aceptabilidad general se presentan en la Tabla 1.

Figura 1. Región experimental y nueve puntos del diseño de vértices extremos proporcionados. Los ejes corresponden a x_1 , x_2 , y x_3 ; las líneas discontinuas muestran las cotas composicionales.

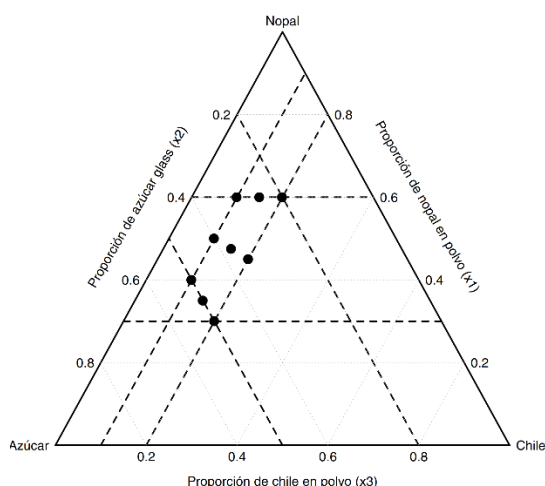


Tabla 1. Matriz experimental y aceptabilidad general proporcionadas.

Ensayo	x ₁ : nopal	x ₂ : azúcar	x ₃ : chile	Dimensión	Aceptabilidad
1	0.6	0.2	0.2	0	7
2	0.3	0.5	0.2	0	8
3	0.6	0.3	0.1	0	16
4	0.4	0.5	0.1	0	11
5	0.6	0.25	0.15	1	3
6	0.35	0.5	0.15	1	4
7	0.5	0.4	0.1	1	9
8	0.45	0.35	0.2	1	7
9	0.48	0.38	0.15	2	4

Evaluación de la aceptabilidad general

La variable de respuesta fue la aceptabilidad general agregada registrada para cada formulación, con un rango de 3 a 16 por ensayo.

Ajuste y representación del modelo

La respuesta se ajustó mediante el modelo cuadrático canónico de Scheffé sin intercepto: $\hat{y} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_{12} x_1 x_2 + \beta_{13} x_1 x_3 + \beta_{23} x_2 x_3$. El ajuste se realizó con lm en R y las visualizaciones se generaron con mixexp. La inferencia reportada incluyó estimaciones, errores estándar, estadísticos t, valores p, error estándar residual, R^2 , R^2 ajustado y la prueba F global. El gráfico de Piepel se utilizó para describir la respuesta predicha al desplazarse desde el centroide en cada una de las direcciones de los componentes. Las superficies se presentaron tanto en el espacio real como en los pseudocomponentes. Todos los valores y gráficos incluidos corresponden a las salidas suministradas; no se efectuaron nuevos cálculos.

Optimización reportada y criterio de auditoría

La función de predicción se optimizó en el script mediante L-BFGS-B, con límites individuales para los tres componentes y una base de 107 unidades de masa. El archivo de salida se reprodujo literalmente. Para la interpretación, se verificó únicamente la coherencia documental entre las cantidades impresas y

la condición de cierre declarada en el diseño. Esta revisión no reemplazó la salida, no generó otra solución ni modificó la superficie.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Cobertura de la región y respuesta experimental

Los nueve puntos cubrieron los vértices, los centroides de arista y el centroide de la región restringida (Figura 1). Esta distribución permitió estimar los seis términos del modelo cuadrático, aunque dejó tres grados de libertad residuales y no hubo réplicas identificables para separar el error puro de la falta de ajuste. La superficie debe leerse como una exploración de la región Ω y no como una validación exhaustiva de la forma polinómica (Galvan et al., 2021; Squeo et al., 2021).

La aceptabilidad alcanzó su máximo observado de 16 en $x_1 = 0.60$, $x_2 = 0.30$ y $x_3 = 0.10$, y su mínimo de 3 en $x_1 = 0.60$, $x_2 = 0.25$ y $x_3 = 0.15$. Ambas mezclas contienen la misma fracción de polvo de nopal; el intercambio de 0.05 entre azúcar y chile coincidió con una diferencia de 13 unidades. Este contraste tiene un carácter informativo que permite identificar que, en el extremo alto de nopal, el producto parece tolerar esa fracción cuando el componente dulce mantiene una proporción suficiente y el picante permanece cerca de su límite inferior.

La variación concuerda con el comportamiento dependiente de la matriz descrito para ingredientes de *Opuntia*. En galletas sin gluten, la incorporación de 5 % de harina de cladodio fue mejor aceptada que las incorporaciones de 10 y 15 %, mientras que una harina de cáscara de tuna alcanzó buena aceptación a 20–30 g/100 g en otra formulación. Los porcentajes no son transferibles al dulce estudiado, aunque muestran que la aceptación puede variar según el tipo de producto, el procesamiento y el balance de ingredientes (Bouazizi et al., 2020; Dick et al., 2020).

La pungencia aporta heterogeneidad a la respuesta. La capsaicina activa receptores asociados con calor e irritación, y el agrado por alimentos picantes cambia con la exposición habitual y el contexto cultural. Al disponer de una sola respuesta global por formulación, el estudio no permite reconocer segmentos con distinta tolerancia a la pungencia ni estimar la variación entre jueces; la amplitud de 3 a 16 debe interpretarse en la escala agregada del experimento (De Albuquerque et al., 2019; Siebert et al., 2022).

Desempeño del modelo cuadrático

El modelo explicó el 97.52 % de la variación y conservó el 92.56 % después del ajuste por complejidad.



La prueba global fue $F = 19.67$ ($p = 0.01658$) y el error estándar residual fue de 2.337 unidades. Estas cifras muestran concordancia con los nueve datos utilizados para estimar el polinomio; la precisión predictiva permanece condicionada por los tres grados de libertad residuales y por la ausencia de validación externa.

Los residuos se distribuyeron entre -2.62 y 2.05 unidades (Tabla 3). Su magnitud es cercana al error estándar residual y no revela, por sí sola, una observación que domine el ajuste. En términos prácticos, diferencias predichas del orden de dos unidades pueden quedar dentro de la incertidumbre del modelo, por lo que la selección de una formulación debe acompañarse de intervalos de predicción y de repetición independientes. Las estimaciones, los errores estándar y los valores de significancia de los términos del modelo se presentan en la Tabla 2.

Tabla 2. Coeficientes del modelo cuadrático de Scheffé suministrados.

Término	Estimación	Error estándar	t	p
x_1	94.92	28.28	3.36	0.04
x_2	58.81	37.25	1.58	0.21
x_3	1696.68	477.29	3.56	0.04
$x_1 \cdot x_2$	-56.96	98.17	-0.58	0.6
$x_1 \cdot x_3$	-2525.84	668.18	-3.78	0.03
$x_2 \cdot x_3$	-2283.66	668.18	-3.42	0.04

La ecuación estimada fue (Ecuación 1):

$$\hat{y} = 94.92x_1 + 58.81x_2 + 1696.68x_3 + 56.96x_1x_2 + 2525.84x_1x_3 - 2283.66x_2x_3 \quad \text{Ec. 1}$$

Los términos lineales x_1 y x_3 y las interacciones $x_1 \cdot x_3$ y $x_2 \cdot x_3$ presentaron $p < 0.05$. Los coeficientes lineales no representan respuestas observables de ingredientes puros, ya que $x_1 = 1$, $x_2 = 1$ o $x_3 = 1$ quedan fuera de la región restringida. Sus magnitudes, en especial β_3 , proceden de la compensación entre términos dentro de un dominio estrecho; por ello, la interpretación debe basarse en predicciones de mezclas factibles y no en la lectura aislada de cada β (Lawson & Willden, 2016; Squeo et al., 2021). Las interacciones $\beta_{13} = -2525.84$ y $\beta_{23} = -2283.66$ indican una desviación negativa respecto de la

interpolación lineal cuando el chile se combina con polvo de nopal o con azúcar. El contraste entre los ensayos 3 y 5 evidencia esa curvatura en los datos observados: con x_1 fijo en 0.60, reducir x_2 de 0.30 a 0.25 y elevar x_3 de 0.10 a 0.15 disminuyeron la respuesta de 16 a 3. La explicación compatible con los datos es un balance sensorial estrecho; atribuirlo a la capsaicina, a la textura o al enmascaramiento requiere mediciones específicas y respuestas individuales (Siebert et al., 2022).

Tabla 3. Respuestas observadas y residuos reportados por el modelo.

Ensayo	Aceptabilidad observada	Residuo
1	7	0.23
2	8	-0.75
3	16	2.05
4	11	0.57
5	3	-1.65
6	4	0.72
7	9	-2.62
8	7	0.52
9	4	0.93

Efectos direccionales de los componentes

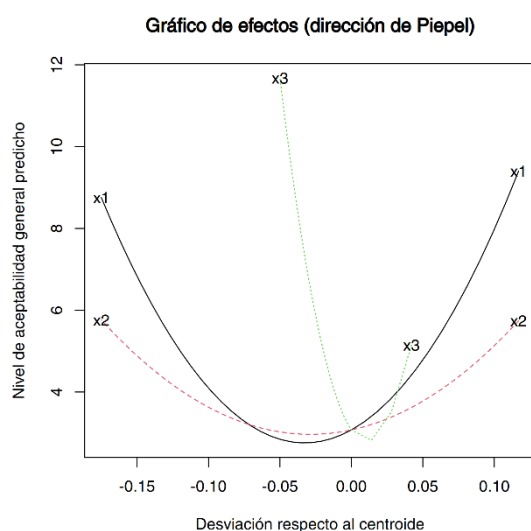
El gráfico de Piepel muestra sustituciones coordinadas desde el centroide (Figura 2). Cada trayectoria puede expresarse como $x(t) = c + tv_i$ y solo tiene sentido mientras $x(t)$ permanezca en Ω . Por tanto, las curvas describen cambios composicionales: el movimiento hacia un componente implica una reducción proporcional de los componentes restantes (Lawson & Willden, 2016).

Las direcciones x_1 y x_2 presentaron perfiles en U, mientras que x_3 presentó la curvatura más abrupta. Esta forma coincide con las interacciones negativas que involucran al chile y con la caída observada entre las formulaciones 3 y 5. Los extremos visuales deben limitarse al intervalo factible, porque la prolongación de las curvas fuera de ese intervalo representa el polinomio, pero ya no una formulación admisible.

Una respuesta curvada resulta sensorialmente plausible en una matriz en la que convergen el dulzor, la

pungencia, el color y la textura. La fibra y el mucílago del cladodio pueden alterar la retención de agua y la sensación en la boca, mientras que el azúcar y el chile modifican el equilibrio gustativo y quimioestésico. En ausencia de color instrumental, textura, humedad o capsaicinoides, estas propiedades funcionan como contexto para interpretar la formulación y no como mecanismos demostrados (Bouazizi et al., 2020; Dick et al., 2020; Monteiro et al., 2023; Rodrigues et al., 2023).

Figura 2. Gráfico de efectos en la dirección de Piepel para la aceptabilidad general. Las curvas corresponden a desplazamientos desde el centroide en las direcciones x_1 , x_2 , y x_3 .



Superficie de respuesta en espacio real y de pseudocomponentes

Las Figuras 3 y 4 presentan la misma superficie en coordenadas reales y en coordenadas de pseudocomponentes. En esta segunda representación se reescala la región restringida para facilitar su lectura; la semejanza cualitativa entre ambas es consecuencia de la transformación y no constituye una validación independiente del ajuste (Lawson & Willden, 2016).

Las isolíneas de 50 a 250 superan ampliamente el intervalo observado de 3 a 16. Este comportamiento se observa cuando un polinomio sin límites de respuesta se evalúa cerca de zonas mal condicionadas o fuera del soporte útil de los datos. Las figuras permiten reconocer la dirección de la curvatura, pero esas magnitudes no deben presentarse como niveles alcanzables de aceptabilidad. La interpretación admisible se restringe a mezclas que cumplen las cotas y el cierre, y a valores cercanos al rango experimental.

El crecimiento aparente hacia x_3 tampoco implica que un aumento continuo de chile eleve el agrado. La caída observada al pasar de $x_3 = 0.10$ a 0.15 , con x_1 constante, y las interacciones negativas describen el

comportamiento opuesto en una zona ensayada. La superficie, por tanto, debe usarse para plantear corridas de confirmación dentro de Ω y no para extrapolar una preferencia general por la pungencia (De Albuquerque et al., 2019; Siebert et al., 2022).

Figura 3. Superficie de respuesta en el espacio real de los componentes: polvo de nopal (x_1), azúcar glass (x_2) y chile en polvo (x_3).

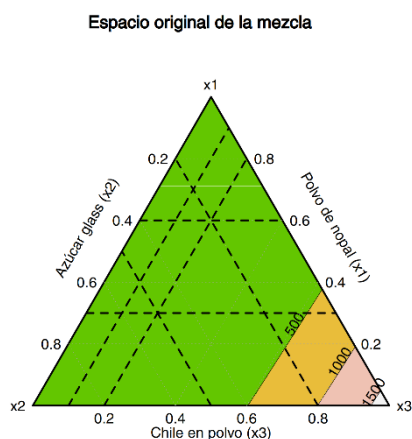
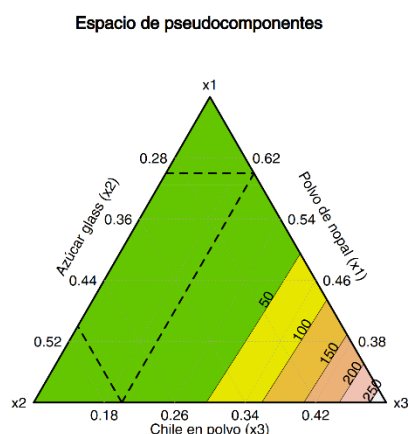


Figura 4. Superficie de respuesta proporcionada en el espacio de pseudocomponentes para la misma región restringida.



Interpretación de la salida de optimización

La salida informó 32.1 unidades de polvo de nopal, 21.4 de azúcar glass y 21.4 de chile en polvo, con una respuesta predicha de 133.26. Sobre la base de 107 unidades, la coordenada es $x = (0.30, 0.20, 0.20)$: cada componente respeta su límite individual, pero la suma es 0.70. La solución pertenece a la caja definida por los límites y queda fuera del simplex restringido, por lo que no constituye una formulación completa.

La diferencia se debe a la formulación matemática del problema. L-BFGS-B impone $l_i \leq x_i \leq u_i$, mientras que un experimento de mezclas exige, además, que $1^T x = 1$. La predicción de 133.26 fue evaluada en una coordenada sin cierre y, al sumarla a la distancia respecto del rango observado, no puede considerarse aceptable. El resultado útil de esta revisión es la detección de una restricción ausente en el flujo de optimización.

La siguiente iteración debe resolver el máximo dentro de Ω , verificar que la candidata permanezca en una zona respaldada por el diseño y elaborar lotes independientes. La concordancia puede evaluarse mediante $|y_{\text{obs}} - \hat{y}|$ y mediante un intervalo de predicción. Esta verificación forma parte del uso responsable de los modelos de mezcla en la formulación alimentaria (Galvan et al., 2021; Squeo et al., 2021). La salida numérica de la optimización y la comprobación de su suma composicional se presentan en la Tabla 4.

Tabla 4. Salida de optimización proporcionada, reproducida sin recálculo.

Resultado	Valor impreso	Proporción respecto de 107
Polvo de nopal (x_1)	32.1	0.3
Azúcar glass (x_2)	21.4	0.2
Chile en polvo (x_3)	21.4	0.2
Suma		0.7
Aceptabilidad predicha	133.26	

Alcance y limitaciones

El estudio ofrece una descripción inicial de la relación entre composición y aceptabilidad en nueve mezclas seleccionadas por su posición geométrica. La fortaleza principal radica en tratar las proporciones como variables dependientes y en comparar formulaciones dentro de una región tecnológicamente delimitada. El tamaño del diseño, la falta de réplicas y la ausencia de una corrida confirmatoria reducen la precisión con la que puede localizarse un máximo.

La interpretación sensorial también se ve limitada por la falta de metadatos del panel. Sin el número de jueces, la escala, los anclajes y el método de agregación, los valores de 3 a 16 no pueden compararse directamente con las medias hedónicas de otros estudios ni utilizarse para estimar la variabilidad entre consumidores (Ruiz-Capillas & Herrero, 2021).

Las propiedades fisicoquímicas del polvo de nopal permiten proponer explicaciones sobre la hidratación, el color y la textura, aunque el estudio no midió dichas respuestas. Una validación compacta podría incorporar la humedad o la actividad de agua, el color, la textura instrumental y la escala de pungencia, lo que permitiría relacionar mejor este conjunto de características con la aceptabilidad del producto (Dick et al., 2020; Martins et al., 2023; Monteiro et al., 2023).

CONCLUSIONES

El nivel de aceptabilidad general del dulce estuvo condicionado por el equilibrio sensorial proporcionado por el polvo de nopal, el azúcar glass y el chile en polvo, en particular por la relación entre el dulzor y la pungencia. Una proporción elevada de polvo de nopal resultó compatible con una respuesta favorable cuando el azúcar y el chile se mantuvieron en equilibrio adecuado. La hipótesis se



cumple parcialmente: el modelo cuadrático permitió reconocer tendencias composicionales y formulaciones potencialmente favorables, aunque la solución numérica obtenida no satisfizo las restricciones de cierre ni permitió establecer un óptimo reproducible. Por lo tanto, la formulación con mayor aceptación representa una candidata en la región estudiada, pero aún no es definitiva para su elaboración a mayor escala.

En trabajos futuros será necesario realizar una nueva optimización que imponga explícitamente la suma unitaria de los componentes y verificar las formulaciones candidatas mediante lotes independientes. La incorporación de réplicas experimentales, un protocolo sensorial completamente documentado y una muestra de consumidores más amplia permitirá estimar con mayor precisión la variabilidad de la respuesta y comprobar la capacidad predictiva del modelo. También es necesario evaluar las propiedades fisicoquímicas del producto, su estabilidad durante el almacenamiento y su composición nutrimental, con el fin de determinar si la aceptación sensorial puede mantenerse junto con características tecnológicas y funcionales adecuadas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Bouazizi, S., Montevecchi, G., Antonelli, A., & Hamdi, M. (2020). Effects of prickly pear (*Opuntia ficus-indica* L.) peel flour as an innovative ingredient in biscuits formulation. *LWT*, 124, 109155. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109155>
- De Albuquerque, J. G., De Souza Aquino, J., De Albuquerque, J. G., De Farias, T. G. S., Escalona-Buendía, H. B., Bosquez-Molina, E., & Azoubel, P. M. (2019). Consumer perception and use of nopal (*Opuntia ficus-indica*): A cross-cultural study between Mexico and Brazil. *Food Research International*, 124, 101–108. <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2018.08.036>
- Dick, M., Limberger, C., Cruz Silveira Thys, R., De Oliveira Rios, A., & Hickmann Flôres, S. (2020). Mucilage and cladode flour from cactus (*Opuntia monacantha*) as alternative ingredients in gluten-free crackers. *Food Chemistry*, 314, 126178. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.126178>
- Galvan, D., Effting, L., Cremasco, H., & Conte-Junior, C. A. (2021). Recent Applications of Mixture Designs in Beverages, Foods, and Pharmaceutical Health: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Foods*, 10(8), 1941. <https://doi.org/10.3390/foods10081941>



- Lawson, J., & Willden, C. (2016). Mixture Experiments in *R* Using mixexp. *Journal of Statistical Software*, 72(Code Snippet 2). <https://doi.org/10.18637/jss.v072.c02>
- Martins, M., Ribeiro, M. H., & Almeida, C. M. M. (2023). Physicochemical, Nutritional, and Medicinal Properties of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. and Its Main Agro-Industrial Use: A Review. *Plants*, 12(7), 1512. <https://doi.org/10.3390/plants12071512>
- Monteiro, S. S., Almeida, R. L., Santos, N. C., Pereira, E. M., Silva, A. P., Oliveira, H. M. L., & Pasquali, M. A. D. B. (2023). New Functional Foods with Cactus Components: Sustainable Perspectives and Future Trends. *Foods*, 12(13), 2494. <https://doi.org/10.3390/foods12132494>
- Rodrigues, C., Paula, C. D. D., Lahbouki, S., Meddich, A., Outzourhit, A., Rashad, M., Pari, L., Coelho, I., Fernando, A. L., & Souza, V. G. L. (2023). *Opuntia* spp.: An Overview of the Bioactive Profile and Food Applications of This Versatile Crop Adapted to Arid Lands. *Foods*, 12(7), 1465. <https://doi.org/10.3390/foods12071465>
- Ruiz-Capillas, C., & Herrero, A. M. (2021). Sensory Analysis and Consumer Research in New Product Development. *Foods*, 10(3), 582. <https://doi.org/10.3390/foods10030582>
- Siebert, E., Lee, S.Y., & Prescott, M. P. (2022). Chili pepper preference development and its impact on dietary intake: A narrative review. *Frontiers in Nutrition*, 9, 1039207. <https://doi.org/10.3389/fnut.2022.1039207>
- Squeo, G., De Angelis, D., Leardi, R., Summo, C., & Caponio, F. (2021). Background, Applications and Issues of the Experimental Designs for Mixture in the Food Sector. *Foods*, 10(5), 1128. <https://doi.org/10.3390/foods10051128>

