

Identificación de parámetros para la extracción de glucósidos de *Stevia Rebaudiana* en base seca como una alternativa a los edulcorantes artificiales

Maria Fernanda Castillo-Vargas ¹, Eusebio Bolaños Reynoso ^{1,*}, Leticia Lopez Zamora ¹, René Reyes Estudillo ² y Juan Manuel Mendez Contreras ¹

¹ División de Estudios de Posgrado e Investigación, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Orizaba. Orizaba, Ver., México.

² Departamento de Ingeniería Química, Tecnológico Nacional de México/Instituto Tecnológico de Minatitlan. Minatitlan, Ver., México.

* Autor de correspondencia: eusebio.br@orizaba.tecnm.mx

Artículo de divulgación científica

Recibido: 22 de septiembre de 2025

Aceptado: 28 de octubre de 2025

Publicado: 16 de diciembre de 2025

DOI: <https://doi.org/10.56845/terys.v4i3.644>

Resumen: Según la Secretaría de Salud (2025), en México más del 75 % de la población adulta tiene sobrepeso u obesidad. Esta condición es el inicio de enfermedades como diabetes y cáncer. Frente a esta problemática, los edulcorantes naturales bajos en calorías, como los derivados de *Stevia Rebaudiana* Bertoni, representan una alternativa viable a los edulcorantes artificiales. Esta planta contiene glucósidos de esteviol (GE), principalmente Rebaudiósido A y Esteviósido, con un alto potencial como sustitutos del azúcar. El presente estudio analizó la influencia de diferentes variables en la eficiencia de extracción de estos compuestos, aplicando un diseño factorial 2⁴ para evaluar sistemáticamente el efecto de la temperatura, el tiempo, el tamaño de partícula y el medio de extracción. Los resultados mostraron que en las variables de respuesta para una mayor concentración de grados Brix (°Bx) e índice de refracción (IR) el factor más significativo es el medio de extracción, siendo el mejor la mezcla 70% etanol- 30 % agua, para el caso del pH el factor más significativo fue el tamaño de partícula siendo mejor utilizar la hoja completa, para maximizar la densidad lo mejor es utilizar baja temperatura, tiempos cortos, partícula en granel y medio agua.

Palabras clave: edulcorantes; glucósidos de esteviol, extracción, diseño de experimentos

Introducción

En las últimas décadas, los hábitos alimenticios han experimentado una transformación significativa, impulsada en gran medida por la creciente conciencia sobre la salud y la nutrición. Una de las principales preocupaciones ha sido el elevado consumo de azúcar y sus efectos negativos, como la obesidad, lo cual es el inicio para enfermedades como la diabetes, cáncer, presión arterial, colesterol alto, triglicéridos elevados y problemas articulares (Potthoff *et al.*, 2024; Jiménez-León, 2021). Esto no sólo afecta la calidad de vida de millones de personas, si no que representan un problema de salud pública en México (Secretaría de salud, 2025). Frente a este panorama, ha surgido un interés particular por los edulcorantes naturales que ofrezcan un sabor dulce sin las calorías ni las consecuencias adversas del azúcar refinado. En este contexto, la *Stevia Rebaudiana* Bertoni (Figura 1), una planta originaria de Sudamérica, se presenta como una opción prometedora (Benítez-Villalba *et al.*, 2022).



Figura 1. Plántula de *Stevia Rebaudiana* Bertoni

La *Stevia* contiene compuestos denominados glucósidos de esteviol (GE) (Tabla 1), principalmente el Esteviósido y el Rebaudiósido A, responsables de su poder edulcorante, el cual puede ser hasta 300 veces superior al del azúcar común. Para que estos compuestos sean utilizados en alimentos y bebidas, es necesario extraer y purificar los glucósidos de sus hojas. Sin embargo para aprovechar estos compuestos es indispensable optimizar el proceso de extracción, la cual depende de varios factores fisicoquímicos como la temperatura, el tipo de solvente, el tiempo de contacto, los cuales determinan la cantidad y calidad del extracto obtenido. Una extracción no adecuada puede disminuir la concentración de los GE, afectar el perfil sensorial y elevar los costos de producción, lo que limita su aplicación a gran escala. Por ello la investigación en técnicas de extracción sólido-líquido representa un paso fundamental para el aprovechamiento de la *Stevia*, fortalecer la producción local y fomentar la innovación en productos naturales con valor agregado.

Tabla 1. Principales glucósidos de esteviol de la Stevia (Preciado Vargas *et al.*, 2020)

Glucósidos	Contenido en % de las hojas en peso seco		
	Makapugay <i>et al.</i> , (1985)	Garnada <i>et al.</i> , (2003)	Goyal y samsher (2010)
Esteviósido	5 a 10	5.8 ± 1.3	9.1
Rebaudiósido A	2 a 4	1.8 ± 0.2	3.8
Rebaudiósido C	1 a 2	1.3 ± 0.4	0.6
Dulcósido	0.4 a 0.7	ND	0.3

El proceso de extracción (Figura 2) comienza con la deshidratación y molienda de las hojas, seguida de la ebullición con agua o solventes hidroalcohólicos a una temperatura entre 80 y 90 °C. Posteriormente, se eliminan impurezas mediante filtración. El extracto resultante, que contiene una mezcla de glucósidos, se concentra y se somete al proceso de cristalización (González *et al.*, 2017). En este trabajo se desarrollaron técnicas de extracción siguiendo un diseño experimental (DoE) y análisis estadístico (ANOVA) para evaluar la influencia de variables clave como temperatura, tiempo, tamaño de partícula y medio de extracción sobre los parámetros como grados Brix, densidad, índice de refracción y pH. Por lo tanto, el objetivo final es maximizar la extracción de los glucósidos de esteviol y producir Stevia líquida de manera eficiente, reproducible y sustentable ofreciendo una alternativa natural.

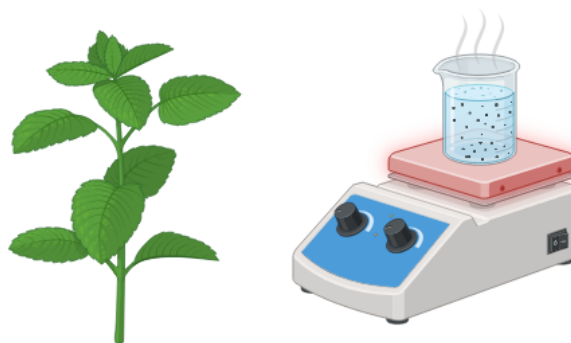


Figura 2. Extracción de Stevia

Desarrollo

Extracción por ebullición

La extracción por ebullición es un método eficiente y sencillo para obtener GE (Esteviósido y Rebaudiósido A) a partir de las hojas de Stevia seca de 3.5 cm de largo. Este método se basa en la solubilización de los compuestos bioactivos en agua caliente, facilitando su separación del material vegetal.

Para llevar a cabo la extracción por ebullición (Figura 3), primero se pesaron 5 g de la muestra y se pusieron dentro de la esfera de ebullición metálica con apertura de 3 mm, posteriormente se midieron 540 mL del solvente y se vertieron en un recipiente de acero inoxidable. Se introdujo la esfera y se llevó a una ebullición controlada manteniendo la temperatura a 90 °C para el caso del agua y a 70 °C en el caso del etanol-agua, empleando un sistema de control de temperatura tipo On/Off (relevador de estado sólido); hasta que el solvente se redujo a la mitad, se retiró la muestra, se dejó enfriar a temperatura ambiente y se filtró al vacío para eliminar los residuos sólidos y obtener un extracto líquido más puro, por último se almacenaron en frascos a 4 °C, con el fin de cuantificar las variables de respuesta °Bx, índice de refracción, densidad y pH.

Grados Brix

Se realizó bajo la NMX-F-103-1982. El procedimiento inicia con la calibración del refractómetro utilizando agua destilada, asegurando que el equipo marque un valor de 0°Bx, lo que garantiza mediciones precisas. La medición se

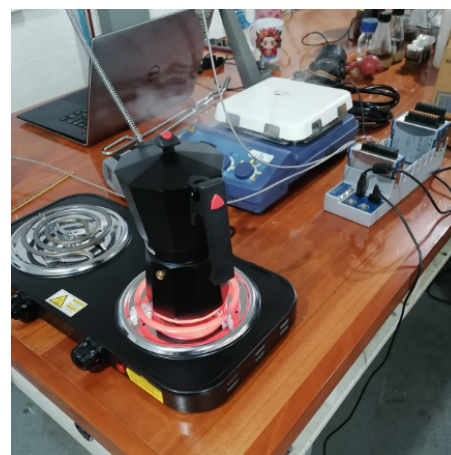


Figura 3. Extracción por ebullición

llevó a cabo con un refractómetro portátil ATAGO HSR 500 con un rango de 0 a 90 °Bx, se colocaron cuatro gotas de la muestra sobre la superficie del prisma del refractómetro, se cerró la tapa y se observó a través del visor, donde se identifica el punto en el que la línea de demarcación entre luz y sombra coincide con la escala de Brix., se realizaron cuatro lecturas de cada extracto.

Índice de Refracción

El índice de refracción es una constante óptica que caracteriza a cada sustancia y es dependiente de la temperatura. Se utiliza para determinar la composición, pureza, concentración, comportamiento óptico, entre otros. Se realizó bajo la NMX-F-807-SCFI-2018, se utilizó un refractómetro Abbe, Antes de realizar cualquier medición, se calibra el refractómetro utilizando agua destilada como estándar de referencia. Se coloca una gota de agua destilada en el prisma y se ajusta el tornillo de calibración hasta que la lectura indique el índice de refracción del agua ($n_D = 1.3330$ a 20°C) Se limpia el prisma con un paño suave y sin pelusas, se vertieron 4 gotas de la muestra en el prisma inferior, se cerró el prisma superior y se aseguró con la perilla, asegurarse que la muestra cubra de forma uniforme el prisma y sin burbujas, girar el tornillo de ajuste hasta que la escala muestre el valor de referencia.

pH

Se realizó por el método potenciométrico de la NMX-F-317-NORMEX-2013 para el cual se utilizó un potenciómetro de bolsillo modelo HI98130 de Hanna instruments, primero se realizó la calibración del equipo con soluciones buffer de 4, 7 y 10. Posteriormente se enjuagó con agua destilada y se procedió a introducir el bulbo hasta que queda cubierto por la muestra, se agitó y se tomó la lectura cuando el equipo se estabilizó, una vez tomada la lectura se saca el equipo se enjuaga con agua destilada y se secó con un paño suave antes de utilizarlo nuevamente. Se realizaron cuatro lecturas por cada muestra.

Densidad por picnómetro

Se realizó bajo la ISO 758:1976. Primero se procedió a lavar el picnómetro y secarlo en estufa hasta peso constante, se sacó y se dejó enfriar para tomar su peso con una balanza analítica (anotar el peso del picnómetro vacío, se llenó el picnómetro con la muestra hasta el borde y se cerró con el capilar el cual debe quedar completamente lleno, se secó el picnómetro y se vuelve a pesar con balanza analítica, anotar el peso con la muestra.

Diseño Experimental factorial

Los diseños factoriales se emplean comúnmente en experimentos donde intervienen múltiples factores, permitiendo analizar su efecto combinado sobre una variable de respuesta. Dentro de estos diseños, existen variantes que son ampliamente utilizadas en la investigación debido a su aplicabilidad práctica y a que sirven como base para el desarrollo de otros modelos experimentales de gran utilidad.

Uno de los casos más relevantes es aquel en el que se consideran k factores, cada uno evaluado en dos niveles, los cuales pueden ser cuantitativos o cualitativos. Un diseño factorial completo con esta configuración implica la realización de 2^k corridas experimentales, por lo que se denomina diseño factorial 2^k . Este tipo de diseño es particularmente valioso en las etapas iniciales de un estudio experimental, ya que permite analizar simultáneamente varios factores con un número mínimo de ensayos.

Dado que en este enfoque cada factor solo tiene dos niveles, se asume que la relación entre la respuesta y los niveles de los factores es aproximadamente lineal dentro del intervalo de estudio. Esta característica hace que el diseño 2^k sea una herramienta eficiente para identificar factores significativos y orientar futuras optimizaciones en los experimentos (Montgomery, 2017). El análisis estadístico de estos diseños permite hacer inferencias sobre una población a través de un muestreo aleatorio y puede ser replicado o no. El análisis requiere de un intervalo de confianza específico (95%) para determinar la significancia de $p < 0.05$ de los factores puros e interacciones establecidos por el experimentador (modelo de efectos fijos), así como el error experimental.

Diseño Factorial 2⁴Tabla 2. Diseño completo 2⁴

Nivel	Factores				Variables de respuesta			
	Temperatura (°C)	Tiempo de extracción (min)	Tamaño de partícula (cm)	Medio de extracción	Grados Brix (°Bx)	IR	Densidad (g/ml)	pH
Alto	90	18	Granel (3.5)	Agua	Etanol 70 % - Agua 30 %			
Bajo	80	12	pulverizado					
Alto	70	18	Granel (3.5)					
Bajo	60	12	pulverizado					

El diseño factorial 2⁴ se compuso de cuatro factores, cada uno con un nivel bajo (-1) y un nivel alto (+1), con 4 variables de respuesta definidos en la Tabla 2. El diseño factorial 2⁴ genera 16 combinaciones experimentales, lo cual permitió evaluar el efecto de cada factor y sus interacciones (Tabla 2) (Montgomery, 2017).

Resultados y discusión*Resultados de las extracciones de glucósidos de esteviol*

La Tabla 3 muestra los resultados de los factores evaluados donde el factor A representa a la temperatura, B el tiempo de extracción, C el tamaño de partícula y D el medio de extracción, se realizó un DoE 2⁴ sin réplica con 4 mediciones, (Montgomery, 2017) se hizo un promedio en el cual se empleó el software Minitab 18.1 2017 (Minitab, LLC, Estados Unidos) para el análisis estadístico del proceso a partir de los datos experimentales. Se llevó a cabo un análisis de varianza (ANOVA) con un intervalo de confianza de 0.95 95 y criterio de rechazo de la hipótesis nula Ho con un valor de probabilidad P de $\alpha < 0.05$.

Tabla 3. Experimentos de extracción de azúcares levógiros de Stevia

Orden estándar	Orden de corrida	A	B	C	D	°Bx prom	IR prom	ρ prom	PH prom
1	9	-1	-1	-1	-1	18.13	1.624	0.9906	6.31
2	12	1	-1	-1	-1	14.75	1.621	0.9242	6.34
3	16	-1	1	-1	-1	18.50	1.627	0.9930	6.77
4	14	1	1	-1	-1	14.00	1.621	0.9904	6.30
5	5	-1	-1	1	-1	18.88	1.628	0.9144	7.93
6	6	1	-1	1	-1	18.13	1.623	0.9242	7.98
7	8	-1	1	1	-1	11.13	1.620	0.9150	6.66
8	2	1	1	1	-1	17.50	1.625	0.9289	6.88
9	10	-1	-1	-1	1	1.25	1.611	0.9894	6.21
10	11	1	-1	-1	1	2.00	1.614	0.9143	6.11
11	13	-1	1	-1	1	1.00	1.611	0.9906	6.92
12	15	1	1	-1	1	3.00	1.615	0.9930	6.85
13	3	-1	-1	1	1	2.00	1.615	0.9899	6.82
14	4	1	-1	1	1	1.00	1.612	0.9150	7.45
15	7	-1	1	1	1	1.25	1.610	0.9899	6.14
16	1	1	1	1	1	0.00	1.614	0.9929	7.01

Tabla 4. Valores descodificados

Factor	Bajo (-)	Alto (+)
A: Temperatura	60-70 °C	80-90°C
B: Tiempo de extracción	90 min	120 min
C: Tamaño de partícula	Granel	Pulverizado
D: Medio de extracción	Alcohol /Agua	Agua

Análisis de resultados Grados Brix

Tabla 5. Análisis de Varianza de °Brix

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	9	917.816	101.980	17.84	0.00113858
Lineal	4	899.121	224.780	39.33	0.00019289
A	1	0.191	0.191	0.03	0.86082513
B	1	5.941	5.941	1.04	0.34726851
C	1	0.473	0.473	0.08	0.78334890
D	1	892.516	892.516	156.16	0.00001606
Interacciones de 2 términos	5	18.695	3.739	0.65	0.67093638
A*B	1	3.063	3.063	0.54	0.49175909
A*C	1	4.516	4.516	0.79	0.40829908
A*D	1	0.473	0.473	0.08	0.78334890
B*C	1	6.891	6.891	1.21	0.31430180
B*D	1	3.754	3.754	0.66	0.44863619
Error	6	34.293	5.715		
Total	15	952.109			

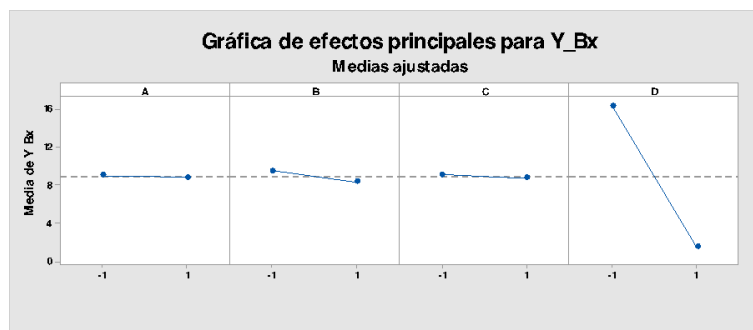
El ANOVA (Tabla 5) muestra suficientes grados de libertad, donde no hay interacciones significativas ya que todas presentan un valor $p > 0.05$. Se determina que es un modelo de efectos fijos ya que los niveles de los factores fueron especificados por el experimentador.

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y_{Bx} = 8.906 - 0.109A - 0.609B - 0.172C - 7.469D + 0.437A * B + 0.531A * C + 0.172A * D - 0.656B * C + 0.484B * D \quad (1)$$

Se observó (Figura 4) que el Factor A (temperatura) no tiene un efecto importante en los °Brix ya que la línea es casi plana, el Factor B (Tiempo de extracción) muestra que tiempos más largos tienden a disminuir un poco el °Brix, en el caso del Factor C (Tamaño de partícula) no influye en los °Bx. Siendo el único factor significativo el D (medio de extracción). Entre mayor sea la pendiente es más significativo el factor. Factor D (medio de extracción).

Utilizando el método de optimización en Minitab para encontrar un máximo (Figura 4), A se debe trabajar en bajo (pero puede ser en alto al no ser significativo), B en bajo (pero puede ser en alto al no ser significativo), C en bajo (pero puede ser en alto al no ser significativo) y D en bajo (significativo). El mayor contenido de °Bx que se obtuvo de las extracciones fue de 18.9 cuyo rendimiento fue de 48.5 %.



(a)

Solución

Solución	A	B	C	D	Y_Bx Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	-1	-1	-1	-1	18.2344	0.966060

(b)

Figura 4. (a) Gráfica de efectos puros para °Bx y (b) Tabla de optimización para °Bx

Análisis de resultados para pH

Del ANOVA (Tabla 6), para el modelo con interacciones dobles se obtuvo el valor de $p = 0.00302$, lo que indica que es altamente significativo, es decir que explica de forma adecuada la variación del pH. El factor C y la interacción AC son significativos al igual que BC y CD, lo cual coincide con la gráfica normal de efectos.

Tabla 6. ANOVA para pH

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	4.99783	0.49978	16.91	0.00302
Lineal	4	2.02381	0.50595	17.12	0.00402
A	1	0.08410	0.08410	2.85	0.15244
B	1	0.16402	0.16402	5.55	0.06509
C	1	1.60656	1.60656	54.36	0.00072
D	1	0.16913	0.16913	5.72	0.06222
Interacciones de 2 términos	6	2.97402	0.49567	16.77	0.00358
A*B	1	0.00019	0.00019	0.01	0.93936
A*C	1	0.34663	0.34663	11.73	0.01874
A*D	1	0.14062	0.14062	4.76	0.08098
B*C	1	1.79895	1.79895	60.87	0.00055
B*D	1	0.33062	0.33062	11.19	0.02045
C*D	1	0.35701	0.35701	12.08	0.01774
Error	5	0.14778	0.02956		
Total		15	5.14561		

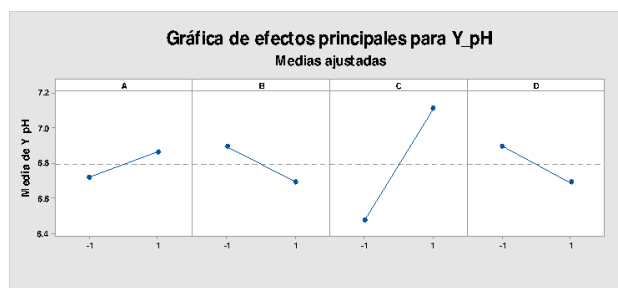
A continuación, se menciona el modelo obtenido:

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y_{pH} = 6.7903 + 0.0725A - 0.1013B + 0.3169C - 0.1028D + 0.1472A * C - 0.3353B * C + 0.1437 B * D - 0.1494C * D \quad (2)$$

La gráfica de efectos principales (Figura 5a) muestra cómo se deben trabajar los valores para una maximización, la línea de en medio tiene un valor de 6.8 lo cual significa la media. Para maximizar la temperatura se debe mantener en un rango de 80 a 90 °C, el tiempo de extracción a 90 min, con un tamaño de partícula a granel y el medio de extracción se debe utilizar la mezcla etanol 70 % - Agua 30 %. La tabla de optimización (Figura 5b) indicó que para obtener un pH

óptimo de 7, A debe trabajarse en nivel bajo, B debe trabajarse en nivel bajo, C debe trabajarse en nivel alto y D en nivel alto. El mejor pH obtenido fue 7.01 con un rendimiento en la extracción del 50 %.



(a)

Solución

Solución	A	B	C	D	Y_pH Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	-0.8630	-0.9621	0.9495	0.8141	7	1

(b)

Figura 5. (a) Gráfica de efectos principales para pH y (b) Tabla de optimización pH=7

Análisis de resultados para densidad

En la Tabla 7 (ANOVA), se observa que los factores A, B, C y D son significativos sobre la variable de respuesta (densidad). La interacción AB y CD son significativas. Cuando hay interacciones dobles significativas resulta más importante concluir en base a ellas. En el ANOVA se observa que el valor de p para A = 0.0493, B = 0.0252, C = 0.0326, D = 0.0457 y las interacciones AB = 0.0288 y CD = 0.0322; todos ellos menores al $\alpha = 0.05$, por lo que se determina que son significativas.

Tabla 7. ANOVA para densidad

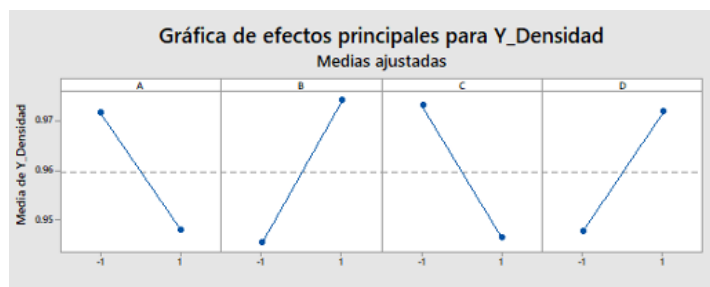
Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	0.018755	0.001876	5.56	0.03605
Lineal	4	0.010854	0.002714	8.04	0.02098
A	1	0.002249	0.002249	6.67	0.04930
B	1	0.003353	0.003353	9.94	0.02530
C	1	0.002893	0.002893	8.58	0.03268
D	1	0.002359	0.002359	6.99	0.04573
Interacciones de 2 términos	6	0.007901	0.001317	3.90	0.07828
A*B	1	0.003114	0.003114	9.23	0.02881
A*C	1	0.000546	0.000546	1.62	0.25935
A*D	1	0.000618	0.000618	1.83	0.23378
B*C	1	0.000266	0.000266	0.79	0.41541
B*D	1	0.000440	0.000440	1.30	0.30537
C*D	1	0.002918	0.002918	8.65	0.03221
Error	5	0.001687	0.000337		
Total	15	0.020442			

A continuación, se menciona la ecuación del modelo obtenido:

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y_{densidad} = 0.95973 - 0.01186A + 0.01448B - 0.01345C + 0.01214D + 0.01395A * B + 0.00584A * C - 0.00622 A * D - 0.00408B * C + 0.00524B * D + 0.01350C * D \quad (3)$$

La gráfica de efectos (Figura 6a) indica que todo los efectos son significativos y para maximizar la densidad A se debe trabajar en bajo, B en alto, C en bajo y D en alto. De la tabla de optimización (Figura 6b), para obtener la maximización en la densidad A se debe trabajar en bajo, B en alto, C en bajo y D en alto lo cual coincide con la gráfica de efectos principales. La distribución normal de los datos es confiable al 95 % en el rango de densidad de 0.96 a 1.04. La densidad más alta obtenida en los experimentos fue de 0.9930 con un rendimiento del 70.4 %.



(a)

Solución

Solución	A	B	C	D	Y_Densidad Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	-1	-1	-1	-1	18.2344	0.966060

(b)

Figura 6. (a) Gráfica de efectos principales para densidad y (b) Tabla de optimización para maximizar densidad

Análisis de resultados para índice de refracción

El ANOVA con para IR (Tabla 8) mostró que el modelo es significativo $p=0.0279$ con una R^2 del 92.63 %, al menos un factor en las variaciones del IR. Temperatura (A) no significativa, Tiempo de extracción (B) no significativo, Tamaño de partícula (C) no significativa, medio de extracción (D) altamente significativo, ninguna interacción fue significativa.

Tabla 8. ANOVA para datos de IR

Fuente	GL	SC Ajust.	MC Ajust.	Valor F	Valor p
Modelo	10	0.000519	0.000052	6.28	0.027925
Lineal	4	0.000475	0.000119	14.38	0.005969
A	1	0.000000	0.000000	0.01	0.934069
B	1	0.000002	0.000002	0.19	0.681789
C	1	0.000001	0.000001	0.07	0.804561
D	1	0.000473	0.000473	57.25	0.000639
Interacciones de 2 términos	6	0.000044	0.000007	0.89	0.564741
A*B	1	0.000014	0.000014	1.70	0.248848
A*C	1	0.000001	0.000001	0.07	0.804561
A*D	1	0.000018	0.000018	2.19	0.199320
B*C	1	0.000011	0.000011	1.28	0.309502
B*D	1	0.000000	0.000000	0.01	0.934069
C*D	1	0.000001	0.000001	0.07	0.804561
Error	5	0.000041	0.000008		
Total	15	0.000560			

La ecuación del modelo se menciona a continuación:

Ecuación de regresión en unidades no codificadas

$$Y_{IR} = 1.61819 - 0.000062A - 0.000312B + 0.000188C - 0.005437D + 0.000937A * B + 0.000188A * C + 0.001063A * D - 0.000812B * C + 0.000062B * D - 0.000187C * D \quad (4)$$

Tabla 9. Tabla de optimización para maximizar IR

Solución						
Solución	A	B	C	D	Y_IR Ajuste	Deseabilidad compuesta
1	-1	-1	1	-1	1.62706	0.947917

De la Tabla 9, se determina que A (temperatura) se puede trabajar en alto o bajo ya que no fue significativa, sin embargo de la tabla de optimización para una maximización en el IR, se observa que A se debe trabajar en bajo (60 - 70 °C), el tiempo de extracción (B) se puede trabajar en alto o bajo por no ser significativo, el optimizador establece que se debe trabaja en bajo (90 min), el tamaño de partícula (C) también se puede trabajar en alto o baja, pero en el optimizador se recomienda trabajarlo en alto (pulverizado), y el tiempo de extracción (D) debe trabajarse necesariamente en bajo con una mezcla de etanol 70 % - agua 30 %. El mayor índice de refracción obtenido fue de 1.6280 con un rendimiento del 48.5 %.

Conclusiones

A través de la caracterización de materias primas, la ingeniería de proceso, el diseño experimental y herramientas de optimización, es posible transformar un recurso natural, en este caso la Stevia en un producto de alto valor añadido. Así, el extracto no solo endulza, sino que también aporta soluciones saludables a una sociedad que busca alimentarse mejor sin renunciar al sabor.

El análisis estadístico del diseño 2^4 con cuatro variables de respuesta independientes permitió identificar los factores más relevantes en el proceso de extracción de glucósidos de esteviol. Para el contenido de °Brix, el factor determinante fue el medio de extracción (D) sin interacciones significativas, En el caso del pH, el comportamiento se explicó principalmente por el tamaño de partícula (C) con interacciones dobles significativas lo que evidencia que esta variable es más sensible a combinaciones de condiciones que a factores individuales. Respecto a la densidad ningún efecto puro fue significativo sin embargo, considerando las interacciones dobles, el Factor importante es B (tiempo de extracción) y algunas interacciones son significativas. Finalmente, para el índice de refracción, el medio de extracción (D) fue el único factor estadísticamente significativo, descartando los demás factores o interacciones dobles al no ser significativas.

En conjunto, los resultados demuestran que el medio de extracción es la variable más influyente en la mayoría de las respuestas, obteniendo mayor contenido de °Bx e IR en las extracciones donde se utilizó la mezcla etanol-agua lo cual coincide con lo reportado por Ciulu *et al.* (2017). Estas conclusiones aportan criterios claros para la optimización del proceso, permitiendo seleccionar las condiciones experimentales adecuadas en función de la variable de calidad que se busque priorizar y método de purificación que se requiera emplear.

Bibliografía

- Benítez-Villalba, J. C., Grau-Torales, M. L., Cristaldo-López, O. D., Bogado-Fernández, A. I., Arrúa-Martínez, L. A., y Villalba-Villalba, N. M. (2025). Determinación y cuantificación de glucósidos de esteviol en las hojas de Stevia comercial (*Stevia rebaudiana* Bertoni) mediante cromatografía de líquido de alta resolución (HPLC). *Reportes Científicos de la FACEN*, 13(2), 194–205. <https://doi.org/10.18004/rcfacen.2022.13.2.194>
- Castelló Mateo, R. (2023). *Efectos negativos de los azúcares simples y refinados sobre la salud y el rendimiento del deporte de resistencia* (Trabajo fin de grado). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Ciulu, M., Quirantes-Piné, R., Spano, N., Sanna, G., Borrás-Linares, I., y Segura-Carretero, A. (2017). Evaluation of new extraction approaches to obtain phenolic compound-rich extracts from *Stevia rebaudiana* Bertoni leaves. *Industrial Crops and Products*, 108, 106–112. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.06.024>
- Gardana, C., Simonetti, P., Canzi, E., Zanchi, R., y Pietta, P. (2003). Metabolism of stevioside A from *Stevia rebaudiana* extracts by human microflora. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51(22), 6618–6622. <https://doi.org/10.1021/jf0303619>
- González, J. J. H., Navarrete, A. T., López, A. C., Mercado, C. R., Uribe, J. A. R., y Ancona, D. B. (2017). Extracción de glucósidos edulcorantes de *Stevia rebaudiana* Bertoni por métodos de fluidos supercríticos. *Journal of Negative and No Positive Results (JONNPR)*, 2(5), 202–209. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5972918>
- Goyal, S., y Samsher, R. (2010). *Stevia (Stevia rebaudiana)* as a biosweetener: A review. *International Journal of Food Sciences and Nutrition*, 61, 1–10. <https://doi.org/10.3109/09637480903193049>

- ISO 758:1976. (1976). *Liquid chemical products for industrial use — Determination of density at 20 degrees C*. <https://www.iso.org/es/contents/data/standard/00/50/5035.html> Consultado el 16 de mayo de 2025.
- Jiménez-León, M. (2021). Consumo de azúcares libres y sus efectos negativos en la salud. *Revista Qualitas*, 22(22), 73–89. <https://doi.org/10.55867/qual22.06>
- Makapugay, H. C., Nanayakkara, N. D., Soejarto, D. D., y Kinghorn, A. D. (1985). High-performance liquid chromatographic analysis of the major sweet principle of Lo Han Kuo fruits. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 33(3), 348–350. <https://doi.org/10.1021/jf00063a007>
- Montgomery, D. C. (2017). *Design and analysis of experiments* (9th ed.). New York, Estados Unidos: John Wiley & Sons.
- NMX-F-103-1982. (2009). *Alimentos–frutas y derivados–determinación de grados Brix*. Diario Oficial de la Federación. https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5115493&fecha=22/10/2009#gsc.tab=0 Consultado el 25 de agosto de 2025.
- NMX-F-317-NORMEX-2013. (2013). *Alimentos. Determinación de pH en alimentos y bebidas no alcohólicas. Método potenciométrico*. <https://www.yucatan.gob.mx/mejora-regulatoria/regulacion.php?v=6444d8ac> Consultado el 13 de mayo de 2025.
- NMX-F-807-SCFI-2018. (2018). *Alimentos para humanos–aceites esenciales, aceites y grasas vegetales o animales–determinación del índice de refracción con refractómetro de Abbe*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/normasOficiales/7605/seeco14_C/seeco14_C.html Consultado el 17 de mayo de 2025.
- Potthoff, J., Polz, A., Ulbrich, D. A., Osmani, F., y Schienle, A. (2024). Consequences of positive vs. negative information concerning the amount of sugar consumption on appetite, mood, and visual food cue attention: Findings from two online interventions. *Eating Behaviors*, 52, 101842. <https://doi.org/10.1016/j.eatbeh.2024.101842>
- Preciado Vargas, A. G., Bolaños Reynoso, E., y Sánchez Sánchez, K. B. (2020). *Cristalización del glucósido de esteviol (Rebaudiósido A) como sustituto edulcorante de la sacarosa para la mejora de la DTC y masa formada*. Orizaba, México: Tecnológico Nacional de México, Instituto Tecnológico de Orizaba.
- Secretaría de Salud. (2025). *Secretaría de Salud llama a la población a sumarse a la lucha contra la obesidad*. <https://www.gob.mx/salud/prensa/044-secretaria-de-salud-llama-a-la-poblacion-a-sumarse-a-la-lucha-contra-la-obesidad> Consultado el 1 de junio de 2025.