UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

JEEOS

Journal of Energy, Engineering Optimization and Sustainability

2026



Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Reserva de Derechos al Uso Exclusivo

No. 04-2026-050410175100-102. ISSN: 2448-8186

Esta revista está citada en:

Sistema Regional de Información en Línea para Revistas Científicas de América Latina y el Caribe, España y Portugal LATINDEX.http://www.1atindex.unam.mx/ JOURNAL OF ENERGY, ENGINEERING OPTIMIZATION AND SUSTAINABILITY, Vol 10, No. 3, Año 2026, es una publicación continúa editada por la Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, C.P. 86040, Villahermosa, Tabasco, México. Tel. (+52) (933) 358 1500 Ext. 5040, https://revistajeeos.ujat.mx/JEEOS/es/, Email: jeeos@ujat.mx. Indizada en LATINDEX. Editora responsable: Laura Lorena Díaz Flores. Reserva de derechos al uso exclusivo No. 04-2026-050410175100-102, ISSN: 2448-8186, ambos otorgados por el Instituto Nacional del Derecho de Autor. Responsable de la última actualización de este número: Pauly González Mayo, Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, Av. Universidad S/N, Zona de la Cultura, Col. Magisterial, Centro, Tabasco. C.P. 86040. Fecha de última actualización, 15 de diciembre 2026.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution- NonCommercialShareAlike 4.0 International License.

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

JEEOS
UJAT
Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
"Estudio en la duda. Acción en la fe"

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Transformación material en la vivienda chontal, caso de estudio: Huimango, Cunduacán, Tabasco 1-12
Campos-de Dios P.C.[1*], Govea-Ek A.[1]

Inhibición de corrosión en acero API 5L-X52 mediante extracto etanólico de *Tradescantia spathacea Sw* 13-25
Estrada-Hernández G. V., Figueroa-Ramírez S.J.[*], Sierra-Grajeda J.M.T., Santis Espinosa L.F., Benavides O., De la Cruz-May L.

Efecto de las nanoparticulas metálicas sobre el crecimiento de la microalga *Coelastrella sp.* para la producción de biocombustible 26-37
Santis-Espinosa L.F[1*], Figueroa-Ramírez S.J.[1], Vargas-Estrada L.[2], López-Vidaña E.C.[3]

Influence of dopant material on a silicone polymer subjected to low-pressure air plasma treatments 38-52
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Paredes-Olguín M.[2], Avelar-Domínguez F.[1], Gadea-Pacheco J.L.[1], Sandoval-González A.[3]

Cambio en la producción de potencia empleando Na_2SO_4 en el cátodo de una celda de combustible microbiana 53-60
Fuentes-Albarrán M. del C.[1]*, Alarcón-Hernández F.B.[1], Cornejo-Tapia C.P.[1], Sandoval-González A.[2]

Estudio exploratorio del contenido de etanol en la pulpa de la T*hevetia peruviana* (Pers.) K. Schum en Yucatán, México 61-79
Koh-Echeverría L.E.[1], Amado-Méndez K.[2], Díaz-Ballote, L.F.J.[2], Herrera-Zamora, D.M.[2]*

Determinación de carbohidratos por HPLC: comparación de detectores UV-Vis *vs* índice de refracción 80-93
Fernández-Orozco I.V.[1], Grijalva-Haro M.I.[2], Madrigal-Diaz S.C.[1], Ojeda-Morales M.E.[1], Díaz-Reyes C.C.[1], García-López S.[1], Juárez-Zirate S.J.[3]*

Efecto de un plasma pulsado de aire en las propiedades superficiales de caucho butílico 94-103
Alarcón-Hernández F.B.[1]*, Fuentes-Albarrán M. del C.[1], Garay-Galicia J.A.[1], Sandoval-Gonzáles A.[2]

Estudio del tiempo de fraguado en pastas de cemento con sustitución parcial por biocemento de ostión 104-116
Segundo-Díaz T. de J.[1], Mora-Ortiz R.S.[1]*, Díaz-Alvarado S.A.[1], Ramón-de los Santos C. [2]

Estudio teórico de un captador solar de aire con y sin material de cambio de fase 117-128
Álvarez-Alor B.[1*], Cruz-Valdez J. A. [2], Montalvo D. [3], López-Santos F.[1], Alvarado-Méndez P. E.[4], Zetina-Ríos I. I.[5].

Índice Vol. 10 Núm. 3 (2026)

Determinación de carbohidratos por HPLC: comparación de detectores UV-Vis *vs* índice de refracción

Determination of carbohydrates by HPLC: comparison of UV-Vis detectors *vs* refractive index

Fernández-Orozco I.V.[1], Grijalva-Haro M.I.[2], Madrigal-Diaz S.C.[1], Ojeda-Morales M.E.[1], Díaz-Reyes C.C.[1], García-López S.[1], Juárez-Zirate S.J.[3]*

[1]Universidad Juárez Autónoma de Tabasco
Carretera Cunduacán-Jalpa Km. 1, Colonia La Esmeralda CP 86690 Cunduacán Tabasco México
[2]Centro de Investigación en Alimentación y Desarrollo, A.C.
Carretera Gustavo Enrique Astiazarán Rosas 46, CP 83340 Hermosillo Sonora México
[3]Tecnológico Nacional de México
*Av. Tecnológico 1500, Colonia Lomas de Santiaguito CP 58120 Morelia Michoacán México
*zirate.juarez@gmail.com

Artículo Científico
Publicado: 15 diciembre 2026

RESUMEN

El análisis de carbohidratos mediante cromatografía líquida representa un desafío debido a su alta polaridad y ausencia de cromóforos intensos, lo que limita su detección directa. En este estudio se comparó el desempeño de dos detectores convencionales acoplados a cromatografía líquida de alta resolución (HPLC) en modo de interacción hidrofílica (HILIC) para la cuantificación de fructosa, glucosa y sacarosa. Se evaluó la detección ultravioleta-visible (UV-Vis) a 192 nm y la detección mediante índice de refracción (DIR), utilizando una bebida gaseosa comercial como matriz real. Ambos sistemas presentaron linealidad ($R^2 > 0.998$) y repetibilidad (CV < 3%). Los límites de detección (LoD) y cuantificación (LoQ) fueron de 0.234-0.310 y 0.709-0.941 mg·mL^{-1} para UV-Vis, y de 0.140-0.189 y 0.424-0.571 mg·mL^{-1} para DIR, respectivamente. En la muestra, ambos detectores proporcionaron resultados comparables para fructosa (2.25 *vs.* 2.15 g·100 mL^{-1}) y sacarosa (6.81 *vs.* 6.71 g·100 mL^{-1}); sin embargo, la detección UV-Vis sobreestimó la glucosa (3.7 *vs.* 2.1 g·100 mL^{-1}) debido a una interferencia atribuida a la matriz. Las discrepancias observadas estuvieron asociadas a limitaciones de selectividad frente a la matriz y no a la linealidad del método analítico. En conjunto, los resultados indican que la detección UV-Vis directa a 192 nm constituye una alternativa viable para la cuantificación de carbohidratos mediante HILIC cuando se dispone de adecuada resolución cromatográfica y la matriz presenta baja susceptibilidad a interferencias.

Palabras clave: Comparación de detectores; cuantificación de carbohidratos; cromatografía líquida de interacción hidrofílica; índice de refracción; UV-Vis.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

ABSTRACT

Carbohydrate analysis by liquid chromatography remains challenging because of their high polarity and the absence of strong chromophores, which limits their direct detection. In this study, the performance of two conventional detectors coupled to high-performance liquid chromatography (HPLC) operating in hydrophilic interaction liquid chromatography (HILIC) mode was compared for the quantification of fructose, glucose, and sucrose. Ultraviolet-visible (UV-Vis) detection at 192 nm and refractive index detection (RID) were evaluated using a commercial carbonated soft drink as a real sample matrix. Both detection systems exhibited linearity ($R^2 > 0.998$) and repeatability (CV < 3%). The limits of detection (LoD) and quantification (LoQ) were 0.234 - 0.310 and 0.709 - 0.941 mg·mL^{-1} for UV-Vis, and 0.140-0.189 and 0.424-0.571 mg·mL^{-1} for RID, respectively. In the sample, both detectors provided comparable results for fructose (2.25 *vs.* 2.15 g·100 mL^{-1}) and sucrose (6.81 *vs.* 6.71 g·100 mL^{-1}); however, UV-Vis detection overestimated glucose (3.7 *vs.* 2.1 g·100 mL^{-1}) because of matrix-related interference. The observed discrepancies were attributed to matrix-related selectivity limitations rather than to any lack of linearity in the analytical method. Overall, the results indicate that direct UV-Vis detection at 192 nm constitutes a viable alternative for carbohydrate quantification by HILIC when adequate chromatographic resolution is achieved and the sample matrix exhibits low susceptibility to interference.

Keywords: Detector comparison; carbohydrate quantification; hydrophilic interaction liquid chromatography; refractive index detection; UV-Vis.

INTRODUCCIÓN

El estudio de los carbohidratos es esencial, ya que, además de constituir elementos estructurales y de reserva energética, regulan procesos biológicos clave, como la señalización celular y la modulación de rutas metabólicas [1]. En nutrición y ciencia de los alimentos, determinan propiedades funcionales, digestibilidad y calidad sensorial de productos alimentarios [2]. En farmacología, participan en la formulación de excipientes, fármacos y sistemas de liberación controlada [3]. Asimismo, en materiales de construcción, su adición como aditivo puede influir en procesos de nucleación y morfología de carbonatos y mejorar ciertas propiedades de sistemas cementantes [4, 5]. Debido a su presencia en sistemas biológicos, alimentarios, farmacéuticos y de materiales, la caracterización de los carbohidratos resulta fundamental.

Los carbohidratos son compuestos hidrosolubles, polares y no volátiles que, en su mayoría, carecen de cromóforos y pueden presentar múltiples estereoisómeros, lo que dificulta su separación y detección analítica [6, 7]. Entre las alternativas para la identificación y cuantificación de carbohidratos, la cromatografía HPLC destaca por su capacidad para separar compuestos altamente polares presentes en mezclas complejas [6-9]. Para el análisis de carbohidratos por HPLC se dispone de detectores especializados como el detector de aerosol cargado (Charged Aerosol Detector, CAD), el detector de dispersión de luz por evaporación (Evaporative Light Scattering

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

Detector, ELSD) y el detector amperométrico pulsado (Pulsed Amperometric Detector, PAD), que permiten detectar carbohidratos sin necesidad de cromóforos [9-11]. Aunque CAD y PAD ofrecen elevada sensibilidad y un amplio rango de aplicación, sus requerimientos instrumentales y condiciones específicas de operación pueden limitar su implementación en laboratorios de análisis rutinario [10-12].

En este contexto, el detector de índice de refracción (DIR) constituye una alternativa convencional para la detección de carbohidratos, cuya simplicidad operativa y disponibilidad en plataformas HPLC rutinarias contrastan con los requerimientos instrumentales de detectores especializados. El DIR detecta compuestos cuyo índice de refracción difiere del de la fase móvil; no obstante, su respuesta es susceptible a variaciones de temperatura y presenta limitaciones de sensibilidad e incompatibilidad con elución en gradiente, aspectos que restringen su aplicación en muestras complejas [7,10-12]. Otro detector ampliamente disponible en los laboratorios de HPLC es el UV-Vis. Sin embargo, la detección directa de carbohidratos mediante este sistema se ve limitada por la ausencia de cromóforos en la mayoría de estos compuestos. Por ello, su análisis suele requerir procedimientos de derivatización que modifican químicamente los grupos hidroxilo o carbonilo para incorporar grupos cromofóricos y mejorar la respuesta espectral [6-8].

Con el propósito de prescindir de etapas de derivatización, desde los primeros desarrollos cromatográficos se ha explorado la detección directa de carbohidratos mediante UV-Vis en la región del UV profundo (190-210 nm), donde estos compuestos presentan una absorción débil atribuida a transiciones electrónicas de alta energía asociadas a los átomos de oxígeno presentes en su estructura [13]. En años recientes, esta estrategia también ha sido empleada en combinación con cromatografía líquida de interacción hidrofílica (Hydrophilic Interaction Liquid Chromatography, HILIC), una técnica particularmente adecuada para la separación de carbohidratos y otros compuestos altamente polares [7, 14]. Aunque esta aproximación simplifica la preparación de la muestra, su aplicación puede verse limitada por la baja absortividad molar de los carbohidratos en esta región espectral y por posibles interferencias provenientes de la fase móvil o de la matriz [6, 15].

Aunque se ha descrito el uso de la detección UV-Vis y de índice de refracción para el análisis de carbohidratos, los estudios que comparan sistemáticamente ambos sistemas bajo condiciones cromatográficas equivalentes y en matrices reales siguen siendo limitados [7, 15, 16]. Por ello, el presente estudio tuvo como objetivo comparar el desempeño de los detectores UV-Vis (192 nm) y DIR acoplados a HPLC en modo HILIC para la cuantificación de fructosa, glucosa y sacarosa en una bebida gaseosa comercial. La evaluación incluyó parámetros de desempeño analítico, como sensibilidad, selectividad, linealidad, precisión y desempeño cuantitativo, con el fin de aportar criterios objetivos para seleccionar el sistema de detección más adecuado en laboratorios que emplean plataformas convencionales de HPLC.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

METODOLOGÍA

Preparación de soluciones estándar. Se prepararon mezclas de fructosa, glucosa y sacarosa de grado analítico (Sigma-Aldrich) para determinar los tiempos de retención y evaluar la respuesta de los detectores DIR y UV-Vis. La solución madre se obtuvo disolviendo 0.2 g de cada estándar en 5 mL de agua destilada filtrada (0.22 µm), obteniendo una concentración de 40 $mg \cdot mL^{-1}$. Posteriormente, se prepararon soluciones de trabajo de 4, 20 y 28 $mg \cdot mL^{-1}$ mediante dilución de 100, 500 y 700 µL de la solución madre hasta un volumen final de 1 mL.

Curvas de calibración. Para evaluar la linealidad del método con los detectores UV-Vis y DIR, se construyeron curvas de calibración para los tres carbohidratos analizados, empleando las soluciones previamente preparadas (4, 20, 28 y 40 $mg \cdot mL^{-1}$).

Límites de Detección y Cuantificación. Los límites de detección (LoD) y cuantificación (LoQ) se estimaron de acuerdo con la guía *International Council for Harmonisation* (ICH) Q2(R1), empleando la desviación estándar de la respuesta correspondiente al nivel de concentración más bajo evaluado (4 $mg \cdot mL^{-1}$) como estimación de σ y la pendiente de la curva de calibración (S), mediante las expresiones $LoD = 3.3\sigma/S$ y $LoQ = 10\sigma/S$ [17, 18].

Condiciones Cromatográficas. El sistema HPLC consistió en una bomba ProStar modelo 220 (Varian, USA) acoplada a dos detectores conectados en serie: un detector UV-Vis 9050 (Varian, USA) operado a una longitud de onda de 192 nm y un detector de índice de refracción ProStar 350 (Varian, USA), con una sensibilidad de 5.2×10^{-4} RIU (Refractive Index Units).

Columna y Condiciones de Separación. La separación se realizó en una columna aminopropil Microsorb NH_2 (100 mm × 4.6 mm ID) rellena con partículas de 3 µm y poros de 100 Å. El inyector fue una válvula Rheodyne 7125 con loop de 10 µL. La temperatura de operación se mantuvo en 25 °C.

Fase Móvil. Se empleó una solución acetonitrilo:agua (80:20), filtrada (0.22 µm) y desgasificada al vacío, la cual se bombeó isocráticamente a un flujo de 1.0 $mL \cdot min^{-1}$, en condiciones características del modo HILIC.

Preparación de la Muestra. Se analizó una bebida gaseosa comercial tipo cola (Coca-Cola®, The Coca-Cola Company, USA) previamente desgasificada por agitación y filtrada a 0.22 µm.

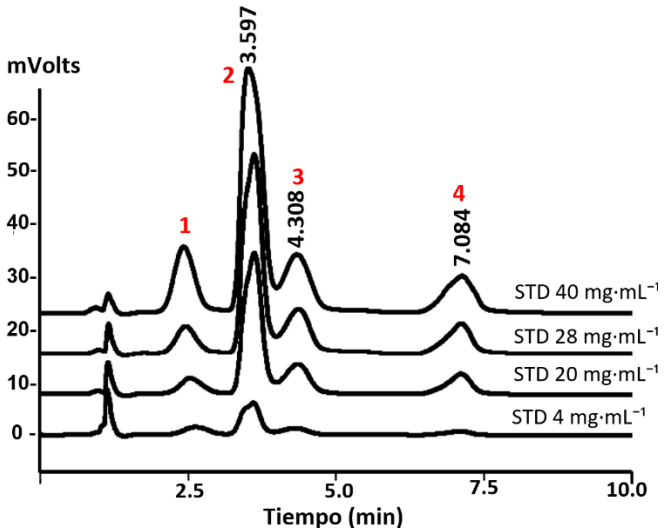
Análisis de Datos. La sensibilidad instrumental se estimó a partir de la pendiente de las curvas de calibración. La linealidad se evaluó mediante regresión lineal y el coeficiente de determinación (R^2). La precisión se expresó como coeficiente de variación (CV%), la normalidad se verificó con la prueba de Shapiro-Wilk y la comparación de medias mediante t pareada con un nivel de confianza de $\alpha = 0.05$. Se empleó el software estadístico Minitab versión 17. Para asegurar la repetibilidad instrumental y validez estadística de resultados se realizaron cinco inyecciones repetidas (n = 5) tanto de la solución estándar como de la muestra.

CC BY NC SA
Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los cromatogramas correspondientes a la mezcla de estándares en distintas concentraciones se presentan en la **Figura 1** para el detector UV-Vis y en la **Figura 2** para el DIR. Los tiempos de retención obtenidos para fructosa, glucosa y sacarosa fueron de 3.597, 4.308 y 7.084 min en UV-Vis, y de 3.749, 4.445 y 7.214 min en DIR, respectivamente. Las ligeras variaciones en los tiempos de retención pueden asociarse a la conexión en serie de los detectores, la cual introduce un desfase mínimo en el registro de la señal. En los cromatogramas UV-Vis se observó un pico adicional a ~2.5 min, ausente en el DIR, cuya identidad no pudo establecerse; por lo tanto, se reportó como pico desconocido. Asimismo, las respuestas registradas con el detector UV-Vis fueron menores que las obtenidas con el DIR para glucosa y fructosa, particularmente a la concentración más baja evaluada (4 mg·mL^{-1}).

La **Tabla 1** muestra las áreas cromatográficas promedio obtenidas de los estándares de fructosa, glucosa y sacarosa a concentraciones de 4, 20, 28 y 40 mg·mL^{-1} con los detectores UV-Vis y DIR. En ambos sistemas se evidenció un incremento progresivo del área conforme aumentó la concentración de los carbohidratos, confirmando la relación directa entre la concentración del analito y la respuesta instrumental. El detector DIR registró áreas cromatográficas considerablemente mayores para los tres carbohidratos evaluados en todo el intervalo analizado, siendo más evidente para glucosa y sacarosa. Los coeficientes de variación inferiores al 3% indicaron una adecuada repetibilidad instrumental, por lo que las diferencias observadas entre detectores pueden atribuirse principalmente a su respuesta analítica y no a variaciones experimentales.



Pico: 1 = Desconocido, 2 = Fructosa, 3 = Glucosa, 4 = Sacarosa.

Figura 1. Cromatograma de la mezcla de estándares por UV-Vis.Columna Microsorb-NH_2; fase móvil acetonitrilo:agua (80:20)/1.0 mL·min^{-1}.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

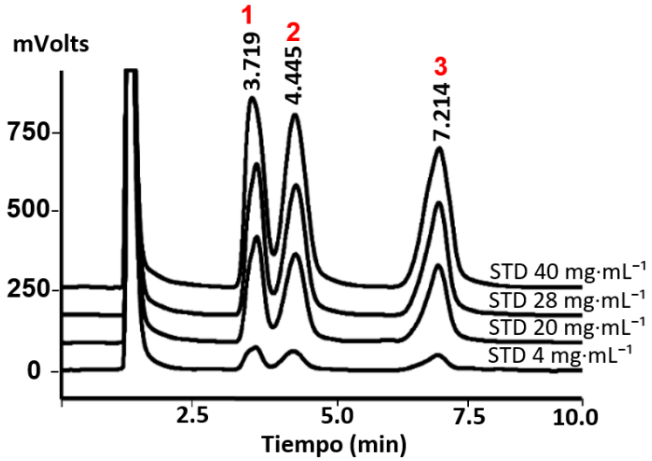


Figura 2. Cromatograma de la mezcla de estándares por DIR. Columna Microsorb-NH_2; fase móvil acetonitrilo: agua (80:20)/1.0 mL·min^{-1}.

Tabla 1. Áreas de respuesta cromatográfica de estándares de carbohidratos obtenidas con detector UV-Vis y DIR

Estándar mg·mL^{-1}	UV-Vis			DIR		
	Fructosa	Glucosa	Sacarosa	Fructosa	Glucosa	Sacarosa
	Área (DE)	Área (DE)	Área (DE)	Área (DE)	Área (DE)	Área (DE)
4	129722 (2041)	35452 (820)	23362 (534)	1551278 (21013)	1785297 (18058)	1383960 (15865)
20	571932 (15756)	163126 (2029)	115393 (1978)	7068646 (46799)	7948198 (101310)	6938518 (88991)
28	831901 (3354)	236055 (6254)	171751 (1349)	10471541 (117752)	12044655 (152130)	10430042 (82036)
40	1149868 (28014)	323794 (4556)	236240 (6622)	14710914 (149742)	17060226 (184651)	14585864 (130160)

Nota. Valores expresados como media del área (n = 5); DE = desviación estándar; coeficiente de variación < 3 %.

Las curvas de calibración para fructosa, glucosa y sacarosa obtenidas con los detectores UV-Vis (**Figura 3a**) y DIR (**Figura 3b**) mostraron una adecuada relación lineal entre la concentración y el área cromatográfica. Los parámetros de linealidad (pendiente, intercepto y R^2), junto con los límites de detección (LoD) y cuantificación (LoQ), se resumen en la **Tabla 2**. Ambos sistemas mostraron coeficientes de determinación (R^2) superiores a 0.998, confirmando la linealidad del método en el intervalo de 4-40 mg·mL^{-1} para los tres sacáridos.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

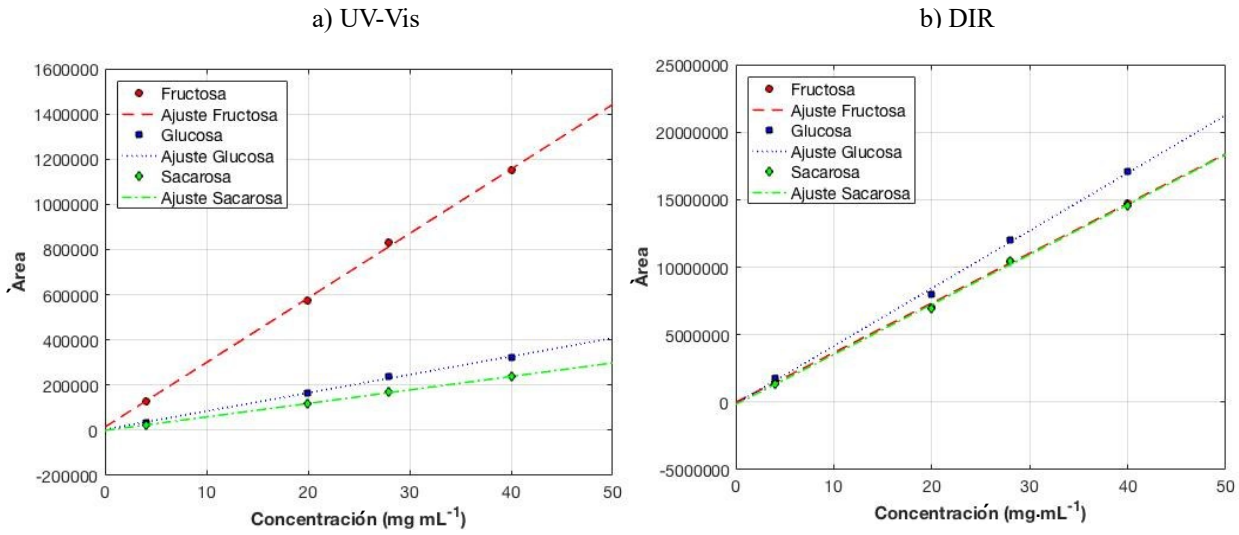


Figura 3. Curvas de calibración de fructosa, glucosa y sacarosa obtenidas mediante detección UV-Vis y DIR

Tabla 2. Parámetros de linealidad y límites de detección y cuantificación de fructosa, glucosa y sacarosa en UV-Vis y DIR.

Compuesto	Detector	Pendiente	Intercepto	R^2	Intervalo lineal mg·mL⁻¹	LoD mg·mL⁻¹	LoQ mg·mL⁻¹
Fructosa	UV-Vis	28785	7044.9	0.9993	4-40	0.234	0.709
Glucosa	UV-Vis	8138.2	1943.2	0.9992	4-40	0.310	0.941
Sacarosa	UV-Vis	5960.8	-329.72	0.9989	4-40	0.295	0.895
Fructosa	DIR	367823	-7473.1	0.9992	4-40	0.189	0.571
Glucosa	DIR	425522	-61937	0.9984	4-40	0.140	0.424
Sacarosa	DIR	367012	-85344	0.9989	4-40	0.143	0.432

Nota. Los valores de LoD y LoQ se calcularon empleando la desviación estándar en el nivel de 4 mg·mL⁻¹ y la pendiente de la curva de calibración, conforme a la guía ICH Q2(R1) [16, 17].

Los valores de LoD oscilaron entre 0.140-0.310 mg·mL⁻¹, mientras que los de LoQ se situaron entre 0.424-0.941 mg·mL⁻¹. En todos los casos, el detector DIR presentó menores límites de detección y cuantificación que el UV-Vis, lo que indica una mayor sensibilidad instrumental para la detección y cuantificación de bajas concentraciones de los carbohidratos evaluados. Además, los valores de LoD y LoQ obtenidos indicaron que ambos métodos permitieron detectar y cuantificar concentraciones inferiores al límite inferior del intervalo de calibración (4 mg·mL⁻¹), lo que evidencia que el intervalo seleccionado fue adecuado para la cuantificación de los carbohidratos evaluados.

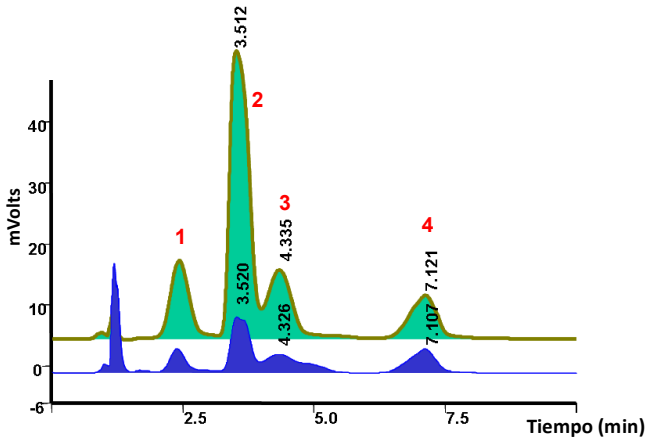
Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

Las pendientes obtenidas con el DIR fueron 12.8, 52.3 y 61.6 veces mayores que las registradas con UV-Vis para fructosa, glucosa y sacarosa, respectivamente, lo que indica una mayor respuesta del detector frente a estos analitos. La diferencia relativa entre pendientes sugiere que la respuesta de ambos detectores depende del carbohidrato analizado, lo cual coincide parcialmente con lo reportado por Jalaludin e Kim [16], quienes observaron diferencias entre ambos sistemas según el tipo de azúcar evaluado, con una ventaja del detector de índice de refracción particularmente para disacáridos bajo sus condiciones experimentales. En el presente estudio, la mayor respuesta del UV-Vis para fructosa respecto a glucosa y sacarosa sugiere diferencias en la absortividad aparente de estos carbohidratos a 192 nm, asociadas con sus características estructurales. En contraste, el DIR basa su respuesta en los cambios del índice de refracción de la fase móvil asociados con la presencia del analito, lo que es coherente con las mayores pendientes de calibración obtenidas bajo las condiciones evaluadas [6, 15].

Esta diferencia en la respuesta instrumental coincide con estudios comparativos previos. Serafim et al. [15] validaron un método de HPLC con detección simultánea UV-Vis a λ = 210 nm y RID, obteniendo una elevada linealidad ($R^2 > 0.995$) y menores límites de detección mediante RID, de acuerdo con lo observado en este estudio. Autores como Chen et al. [6] señalan que la escasa respuesta de los carbohidratos en la región UV se debe a la ausencia de cromóforos fuertes en su estructura, mientras que la detección mediante índice de refracción constituye una alternativa más adecuada para este tipo de analitos. En conjunto, la correspondencia entre los parámetros obtenidos y los reportados previamente respalda la confiabilidad del método desarrollado y la mayor sensibilidad analítica del detector DIR para la cuantificación de fructosa, glucosa y sacarosa.

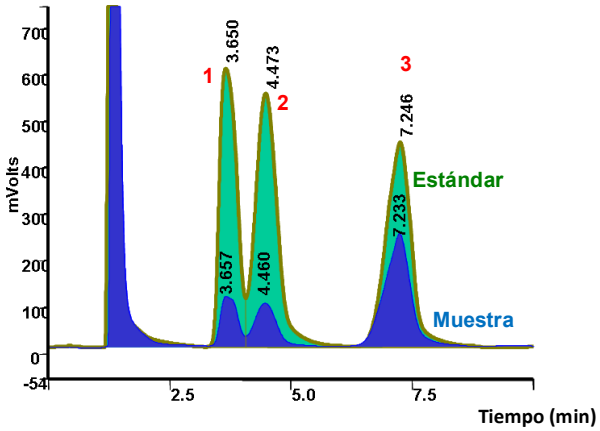
Respecto al análisis de la muestra, las señales obtenidas inicialmente excedieron el rango lineal de la curva de calibración, por lo que fue necesario realizar una dilución 1:2 con agua destilada. Los tiempos de retención registrados con el detector UV-Vis para fructosa, glucosa y sacarosa fueron 3.512, 4.335 y 7.121 min, respectivamente (**Figura 4**), mientras que en el DIR los tiempos obtenidos fueron 3.650, 4.473 y 7.246 min (**Figura 5**). Las ligeras diferencias observadas entre ambos detectores fueron consistentes con su configuración en serie. Adicionalmente, en el cromatograma UV-Vis se observó una señal parcialmente superpuesta en la región de elución de la glucosa. El orden de elución observado (fructosa, glucosa y sacarosa) fue consistente con el comportamiento esperado para separaciones HILIC en columnas aminopropilo [19], donde la retención depende de las interacciones hidrofílicas entre los grupos funcionales de los carbohidratos y la fase estacionaria [20, 21]. Si bien los tiempos de retención pueden variar entre sistemas cromatográficos, la secuencia de elución coincidió con la reportada previamente para carbohidratos analizados bajo condiciones HILIC.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687



Pico: 1 = Desconocido, 2 =Fructosa, 3 =Glucosa, 4 =Sacarosa.

Figura 4. Cromatograma de la muestra por detector UV-Vis/HPLC
Nota: Columna Microsorb-NH_2; fase móvil acetonitrilo:agua (80:20)/1.0 mL·min^{-1}.



Pico: 1 =Fructosa, 2 =Glucosa, 3 =Sacarosa.

Figura 5. Cromatograma de la muestra por DIR/HPLC.
Nota: Columna Microsorb-NH_2; fase móvil acetonitrilo:agua (80:20)/1.0 mL·min^{-1}.

En la **Tabla 3** se presentan las áreas cromatográficas promedio y las concentraciones de fructosa, glucosa y sacarosa determinadas en la bebida mediante ambos sistemas de detección. A partir de la suma de estos azúcares se estimó el contenido total de azúcares de la muestra, el cual se comparó con el valor declarado en el etiquetado nutricional de la bebida. Los resultados mostraron concordancia entre detectores sin diferencia significativa para fructosa (UV-Vis 2.25 g·100 mL^{-1} *vs* DIR 2.15 g·100 mL^{-1}; $p = 0.055$) y sacarosa (UV-Vis 6.81 g·100 mL^{-1} *vs.* DIR 6.71 g·100 mL^{-1}; $p = 0.172$). Esta concordancia se observó a pesar de que las áreas registradas por el DIR fueron

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

considerablemente mayores que las obtenidas con UV-Vis (fructosa: 2622731 *vs.* 222681; sacarosa: 8120887 *vs.* 134955), lo que sugiere que, a pesar de sus diferencias en respuesta instrumental, ambos detectores proporcionan resultados cuantitativos comparables bajo las condiciones evaluadas.

Tabla 3. Cuantificación de carbohidratos en la bebida gaseosa mediante HPLC con detector UV-Vis y DIR

Analito	UV-Vis			DIR		
	Área (DE)	Conc. diluida* mg·mL^{-1} (DE)	Conc. muestra g·100 mL^{-1}	Área (DE)	Conc. diluida* mg·mL^{-1} (DE)	Conc. muestra g·100 mL^{-1}
Fructosa	222681 (3547)	7.49 (0.12)	**2.25**	2622731 (62615)	7.15 (0.17)	**2.15**
Glucosa	101596 (1157)	12.25 (0.14)	**3.67**	2979624 (24666)	7.15 (0.06)	**2.14**
Sacarosa	134955 (2656)	22.69 (0.45)	**6.81**	8120887 (23721)	22.36 (0.06)	**6.71**
Total	-	-	**12.73**	-	-	**10.99**

Nota: Valores expresados como su media ($n = 5$); DE = desviación estándar; *Muestra diluida (1:2); CV < 3 %; Total = suma de fructosa + glucosa + sacarosa.

En contraste, la glucosa determinada en el detector UV-Vis fue significativamente mayor respecto a DIR (3.7 *vs.* 2.1 g·100 mL^{-1}; $p < 0.001$). La señal parcialmente superpuesta observada en el cromatograma UV-Vis (**Figura 4**) en la región de elución de la glucosa sugiere la presencia de un posible compuesto coeluyente o interferencia de matriz, lo que incrementó el área integrada del pico y ocasionó una mayor cuantificación de este analito. En contraste, el cromatograma obtenido mediante DIR no mostró una señal adicional evidente en esta región del cromatograma, permitiendo una cuantificación más confiable bajo las condiciones evaluadas.

En cuanto al contenido total de azúcares determinado mediante DIR, este fue de 10.99 g·100 mL^{-1} (equivalente a 38.9 g por porción de 355 mL), en concordancia con el contenido declarado en el etiquetado nutricional de la bebida (39 g por 355 mL) [22] y con el intervalo reportado por Hafner et al. [23] para bebidas carbonatadas (9.5-11.0 g·100 mL^{-1}). Por el contrario, el valor obtenido mediante UV-Vis (12.73 g·100 mL^{-1}) presentó una sobreestimación, posiblemente asociada con la contribución de señales interferentes en la cuantificación de glucosa. Estos resultados evidencian la importancia de la resolución cromatográfica y de la selectividad del sistema de detección para la cuantificación de azúcares en matrices complejas [7, 8].

La concordancia observada para fructosa y sacarosa muestra que, cuando las señales cromatográficas están adecuadamente resueltas y libres de interferencias, tanto el detector UV-Vis como el DIR proporcionan resultados cuantitativos comparables. Este comportamiento fue consistente con lo observado en las soluciones estándar, donde ambos sistemas presentaron elevada linealidad ($R^2 > 0.998$) y precisión (CV < 3%). En contraste, la discrepancia observada en la

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

cuantificación de glucosa, ausente en los estándares, sugiere que la composición de la matriz influyó en la cuantificación obtenida mediante UV-Vis. Estudios previos han señalado que, en matrices alimentarias complejas, componentes adicionales pueden generar señales interferentes o contribuir a la absorción espectral en la región utilizada para la cuantificación [7, 15]. En conjunto, estos resultados evidencian que el desempeño del detector UV-Vis depende en mayor medida de la composición de la matriz, mientras que el detector DIR mostró una respuesta más robusta para la cuantificación de carbohidratos en la bebida evaluada.

Desde una perspectiva de aplicación, el método propuesto combina la separación HILIC con detección UV-Vis directa a 192 nm, permitiendo la cuantificación de carbohidratos sin recurrir a procedimientos de derivatización. Cuando la resolución cromatográfica es adecuada, esta estrategia presentó linealidad, precisión y capacidad de cuantificación comparables a las obtenidas con el detector DIR. El empleo de detectores convencionales como UV-Vis y DIR, ampliamente disponibles en laboratorios y con menores requerimientos de infraestructura que detectores especializados para carbohidratos (como CAD, PAD o ELSD) [10, 11, 15], favorece la implementación del método para análisis rutinarios y control de calidad de muestras con concentraciones relativamente elevadas de carbohidratos. En contraste, las metodologías basadas en detectores especializados requieren instrumentación y condiciones operativas específicas, lo que puede incrementar la complejidad de su implementación en determinados entornos analíticos [7, 10-12]. En este contexto, la combinación de HILIC con detección UV-Vis profunda directa representa una alternativa práctica y accesible para laboratorios que requieren análisis rutinarios de carbohidratos sin recurrir a instrumentación especializada.

Si bien los hallazgos permiten establecer tendencias claras en el desempeño de ambos sistemas de detección, éstos derivan del análisis de una única matriz alimentaria. La evaluación de muestras con composiciones más diversas permitirá ampliar el alcance de las conclusiones obtenidas y confirmar la aplicabilidad del método en diferentes alimentos. Asimismo, estrategias de procesamiento de señal o mejoras en la resolución cromatográfica podrían contribuir a reducir interferencias y mejorar el desempeño de la detección UV en estudios futuros.

CONCLUSIÓN

La comparación entre los detectores UV-Vis y de índice de refracción mostró que ambos sistemas permitieron la cuantificación de fructosa, glucosa y sacarosa mediante HPLC en modo HILIC, con adecuada linealidad y precisión en el intervalo evaluado. Sin embargo, la detección UV-Vis directa a 192 nm mostró mayor susceptibilidad a interferencias de matriz bajo las condiciones cromatográficas evaluadas, lo que se reflejó en la sobreestimación de glucosa en la bebida analizada. En contraste, el detector DIR presentó mayor sensibilidad instrumental bajo las condiciones evaluadas y proporcionó una estimación del contenido total de azúcares más consistente con el contenido esperado para la muestra, evidenciando un desempeño analítico más robusto.

CC BY NC SA
Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

Estos hallazgos, obtenidos en una única matriz alimentaria, permiten establecer tendencias claras sobre el desempeño de ambos sistemas de detección y sugieren la necesidad de ampliar su evaluación en matrices de mayor diversidad para confirmar su alcance. No obstante, los resultados obtenidos aportan criterios útiles para la selección del sistema de detección más apropiado de acuerdo con la complejidad de la matriz y los requerimientos del análisis.

REFERENCIAS

[1] A. Varki, "Biological roles of glycans," Glycobiology, vol. 27, no. 1, pp. 3–49, 2017, doi: 10.1093/glycob/cww086.

[2] L. Rong, M. Shen, Y. Zhang, H. Yu y J. Xie, "Food polysaccharides and proteins: Processing, characterization, and health benefits," Foods, vol. 13, no. 7, p. 1113, 2024, doi: 10.3390/foods13071113.

[3] D. Gaikwad, R. Sutar y D. Patil, "Polysaccharide mediated nanodrug delivery: A review," Int. J. Biol. Macromol., vol. 261, Art. no. 129547, 2024, doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.129547.

[4] C. Alisi, L. Bacchetta, E. Bojorquez, M. Falconieri, S. Gagliardi, M. Insaurralde et al., "Mucilages from different plant species affect the characteristics of bio-mortars for restoration," Coatings, vol. 11, no. 1, p. 75, 2021, doi: 10.3390/coatings11010075.

[5] M. Shivakumar, T. Selvaraj y M. P. Dhassaih, "Preparation and characterization of ancient recipe of organic lime putty: Evaluation for its suitability in restoration of Padmanabhapuram Palace, India," Sci. Rep., vol. 11, no. 1, Art. no. 13261, 2021, doi: 10.1038/s41598-021-91680-8.

[6] X. Chen, Y. Wang, Y. Ye, H. Yu y B. Wu, "The pre- and post-column derivatization on monosaccharide composition analysis: A review," Chem. Biodivers., vol. 21, no. 8, Art. no. e202400749, 2024, doi: 10.1002/cbdv.202400749.

[7] L. A. Kartsova, A. V. Maliushevska y E. A. Kolobova, "Analytical capabilities of the determination of carbohydrates by chromatographic and eelectrophoretic methods" J. Anal. Chem., vol. 78, no. 2, pp. 144–161, 22023, doi 10.31857/S0044450223020044.

[8] E. Akyüz, K. S. Başkan, E. Tütem y R. Apak, "High-performance liquid chromatographic method with post-column detection for quantification of reducing sugars in foods," J. Chromatogr. A, vol. 1660, Art. no. 462664, 2021, doi: 10.1016/j.chroma.2021.462664.

[9] H. S. Yates, J. F. Carter, A. Joseph, M. Chaussende, M. T. Fletcher, V. Santiago y N. L. Hungerford, "An introduction to simple saccharides and oligosaccharides, and a decadal review of their analysis in food by ion chromatography and ion chromatography/mass spectrometry," Food Sci. Nutr., vol. 13, no. 110, Art.no. e70855, 2025, doi: 10.1002/fsn3.70855.

[10] X. Yan, "Carbohydrate analysis by high-performance liquid chromatography (HPLC) with evaporative light-scattering detection (ELSD)," en Carbohydrate Analysis by

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

Modern Liquid Phase Separation Techniques, Z. El Rassi, Ed. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2022025, doi4, doi: 10.1016/B978-0-12-821447-3.00013-5.

[11] J. S. Rohrer, "A practical guide for carbohydrate determinations by high-performance anion-exchange chromatography with pulsed amperometric detection (HPAE-PAD)," en Ion Chromatography: Instrumentation, Techniques and Applications, N. A. Pohl, N. Avdalovic y K. Srinivasan, Eds. Amsterdam, Netherlands: Elsevier, 2021, pp. 233–257, doi: 10.1016/B978-0-12-813075-9.00011-X.

[12] W. W. Barnhart, M. Q. Farooq y I. A. H. Ahmad, "A simplified tutorial on charged aerosol detection:Understanding the basics, optimization, and troubleshooting," J. Chromatogr. Open, vol. 6, Art. no. 100181, 2024, doi: 10.1016/j.jcoa.2024.100181.

[13] X. Shen y H. Perreault, "Characterization of carbohydrates using a combination of derivatization, high-performance liquid chromatography and mass spectrometry," J. Chromatogr. A, vol. 811, no. 1–2, pp. 47–59, 1998, doi: 10.1016/S0021-9673(98)00238-6.

[14] G. Nagy, T. Peng y N. L. Pohl,"Recent liquid chromatographic approaches and developments for the separation and purification of carbohydrates," Anal. Methods, vol. 9, no. 24, pp. 3579–3593, 2017, doi: 10.1039/C7AY01094J.

[15] J. A. Serafim, R. F. Silveira y E. F. Vicente,"Fast determination of short-chain fatty acids and glucose simultaneously by ultraviolet/visible and refraction index detectors via high-performance liquid chromatography," Food Anal. Methods, vol. 14, no. 12, pp. 2489–2498, 2021, doi: 10.1007/s12161-021-01990-w.

[16] I. Jalaludin y J. Kim, "Comparison of ultraviolet and refractive index detections in the HPLC analysis of sugars," Food Chem., vol. 365, Art. no. 130514, 2021, doi: 10.1016/j.foodchem.2021.130514.

[17] International Council for Harmonisation of Technical Requirements for Pharmaceuticals for Human Use, Validation of Analytical Procedures: Text and Methodology Q2(R1), 2005. [En línea]. Disponible: https://database.ich.org/sites/default/files/Q2_R1__Guideline.pdf [Consultado: 09-nov-2025].

[18] P. Borman y D. Elder, "Q2(R1) Validation of Analytical Procedures," en ICH Quality Guidelines: An Implementation Guide, A. Teasdale, D. Elder y R. W. Nims, Eds. Hoboken, NJ, USA: Wiley, 2017, doi: 10.1002/9781118971147.ch5.

[19] C. Ma, Z. Sun, C. Chen, L. Zhang y S. Zhu, "Simultaneous separation and determination of fructose, sorbitol, glucose and sucrose in fruits by HPLC–ELSD," Food Chem., vol. 145, pp. 784–788, 2014, doi: 10.1016/j.foodchem.2013.08.135.

[20] P. Jandera y P. Janás, "Recent advances in stationary phases and understanding of retention in hydrophilic interaction chromatography: A review," Anal. Chim. Acta, vol. 967, pp. 12–32, 2017, doi: 10.1016/j.aca.2017.01.060.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687

[21] A. Y. Laptev, N. B. Rozhmanova y P. N. Nesterenko, “Retention behavior of carbohydrates on metal loaded chelating stationary phase under conditions of hydrophilic interaction liquid chromatography,” J. Chromatogr. A, vol. 1714, Art. no. 464551, 2024, doi: 10.1016/j.chroma.2023.464551.

[22] The Coca-Cola Company, “Coca-Cola Original: Nutrition facts & ingredients,” The Coca-Cola Company, Atlanta, GA, USA, 2025. [En línea]. Disponible: https://www.coca-cola.com/us/en/brands/coca-cola/products/original [Consultado: 09-nov-2025].

[23] E. Hafner, Ž. Lavriša, M. Hribar, S. Krušič, A. Kušar, K. Žmitek et al., “Verifying the use of food labeling data for compiling branded food databases: A case study of sugars in beverages,” Front. Nutr., vol. 9, Art. no. 794468, 2022, doi: 10.3389/fnut.2022.794468.

Registro ISSN 2448-8186
DOI:10.19136/Jeeos.a10n3.6687