

Determinación de compuestos furánicos en café por cromatografía de líquidos de alta resolución con detección espectrofotométrica UV/Vis

Determination of furanic compounds in coffee by high-performance liquid chromatography with UV/Vis spectrophotometric detection

Paola Orozco Fernandez¹, Beatriz Sarahi Rosas Hernandez¹, Saul Chávez del Valle², Alexa Yael Garcia Fimbres¹, Katarzyna Wrobel¹, Francisco Javier Acevedo Aguilar¹

¹ Departamento de Química, sede Pueblito de Rocha, División de Ciencias Naturales y Exactas, Universidad de Guanajuato, Cerro de la Venada s/N, C.P. 36040, Guanajuato, Guanajuato, México. foace@ugto.mx

² Ingeniería Química, Instituto Tecnológico de Mexicali, Tecnológico Nacional de México.

Resumen

El proceso de tostado tiene una importancia crucial para propiedades organolépticas del café. Entre diversos productos generados durante tostado y otras etapas de fabricación del café hay que mencionar los compuestos furánicos. Dependiendo de su estructura individual, estos compuestos pueden ejercer diferentes efectos adversos en los consumidores y por ello es importante su determinación en café presente en el mercado. En este trabajo se ha puesto a punto un procedimiento para la cuantificación de 2-furaldehído, 2-furilmetilcetona, 5-metil-2-furaldehído, 5-hidroximetil-2-furaldehído y del syringaldehído por cromatografía de líquidos en fase inversa con detección espectrofotométrica, previa derivatización con 2,4-dinitrofenilhidrazina y extracción de respectivas 2,4-dinitrofenilhidrazonas a cloroformo. Se decidió utilizar *o*-fluorbenzaldehído como estándar interno. El procedimiento se utilizó en el análisis de 39 muestras de café adquiridos en mercados locales; dichos productos incluían café de grano, soluble con cafeína y descafeinado y el polvo para preparar “café de olla” con piloncillo y canela, café soluble en polvo con chocolate, vainilla y leche como aditivos. Los resultados obtenidos fueron consistentes con intervalos de concentración de los cinco compuestos furánicos reportados en cafés por otros autores, utilizando diferentes procedimientos y analizando cafés adquiridos en otras regiones del mundo. De manera interesante, se detectaron diferencias entre las concentraciones de 5-hidroximetil-2-furaldehído, 2-furaldehído, 5-metil-2-furaldehído y syringaldehído dependiendo del tipo de café. El procedimiento propuesto es una buena alternativa para llevar a cabo el análisis de largas series de muestras con el fin de controlar los niveles de compuestos furánicos en productos comerciales.

Palabras clave: café; compuestos furánicos, cromatografía de líquidos.

Introducción

Los compuestos que contienen el grupo heterociclo de furano se pueden generar durante el tratamiento térmico de alimentos, siendo un ejemplo de ello el proceso de tostado y fabricación de café. Las dos principales rutas de formación de compuestos furánicos involucran la reacción de Maillard, la cual se refiere a una gran variedad de mecanismos no enzimáticos que inician por la unión del grupo carbonilo, presente principalmente en azúcares reductores como la glucosa y la fructosa, con el grupo amino de proteínas u otras biomoléculas, ver Figura 1 (Martins et al., 2022). Los compuestos furánicos son muy diversos, pero el 5-hidroximetil-2-furaldehído (5H2F) es el más reportado en la literatura. Algunos estudios toxicológicos han demostrado que la ingesta de altas concentraciones de 5H2F pueden provocar irritación de la piel, los ojos, las vías respiratorias superiores y alteración del sistema nervioso, así como enfermedades neurodegenerativas, cardiovasculares y diabetes. Además, de que el 5H2F puede ser metabolizado en el organismo y generar diversos compuestos que a su vez generan efectos adversos, incluida cierta genotoxicidad y citotoxicidad para el cuerpo humano (Choudhary et al., 2021; Lee et al., 2019).

La Norma Oficial Mexicana NOM-142-SSA1-1995 establece un procedimiento colorimétrico que permite la cuantificación de compuestos furánicos totales en bebidas alcohólicas, el cual se basa en la reacción del grupo furano con anilina en medio ácido y el registro a 520 nm de la absorbancia generada por el complejo de color rojo-cereza obtenido (NORMA Oficial Mexicana NOM-142-SSA1-1995, Bienes y servicios. Bebidas

alcohólicas. Especificaciones sanitarias, 1997). Debido a que no todos compuestos furánicos presentan el mismo carácter nocivo, resulta interesante y pertinente contar con procedimientos selectivos, que permitan la cuantificación de especies individuales. En la bibliografía se encuentran reportados varios procedimientos analíticos para llevar a cabo la determinación de compuestos furánicos en muestras de café, sin embargo, involucran el uso de técnicas analíticas y de algunos reactivos de relativamente difícil acceso para la mayoría de los laboratorios (Liu et al., 2023; Macheiner et al., 2021). Como antecedente a ello, en nuestro grupo de investigación se llevó a cabo la determinación de 5-hidroxiacetil-2-furaldehído (5H2F), 2-furaldehído (2F), 5-metil-2-furaldehído (5M2F) y syringaldehído (SA) en diferentes marcas de tequila por cromatografía de líquidos de alta resolución previa derivatización con 2,4-dinitrofenilhidrazina (2,4-DNFH). Los resultados obtenidos en este trabajo permitieron llevar a cabo la cuantificación de cada uno de los compuestos antes mencionados en las muestras de tequila estudiadas. Aunado a ello, con base en los niveles de 2F y 5M2F determinados en las muestras estudiadas, fue posible diferenciar, entre tequilas 100% de agave y mixtos (Rodríguez et al., 2005). En este contexto, se tiene reportado en la bibliografía la cuantificación de 5H2F en muestras de café empleando cromatografía de líquidos con detección espectrofotométrica, sin realizar la derivatización pre-columna de los compuestos furánicos (Alcantara et al., 2021; Prata et al., 2021). El objetivo del presente trabajo ha sido emplear la derivatización con 2,4-DNFH para la determinación de 2F, 5M2F, 5H2F, SA y 2-furilmetilcetona (2FMC) en cafés disponibles en el mercado local, mediante cromatografía de líquidos de alta resolución con detección espectrofotométrica.

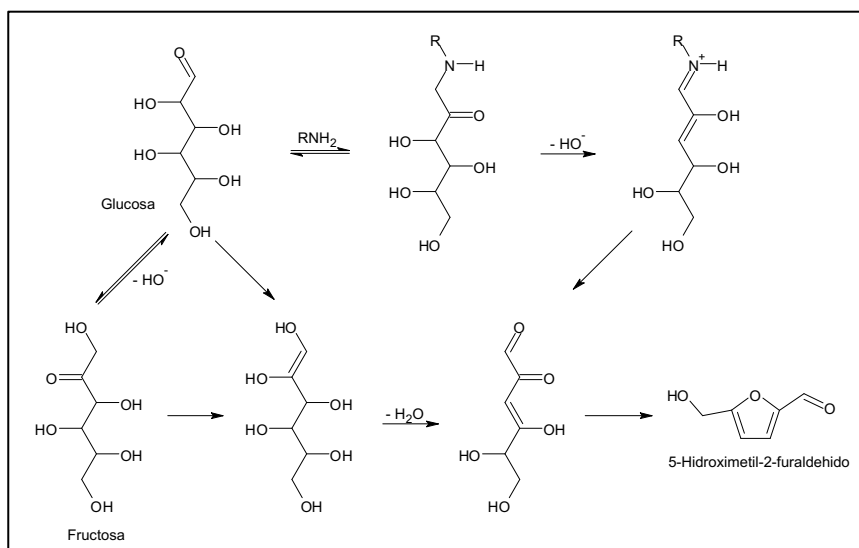


Figura 1. Esquema que ilustra la formación de 5-hidroxiacetil-2-furaldehído (5H2F) mediante la reacción de Maillard a partir de la glucosa y fructosa.

Sección Experimental

Equipo de laboratorio

Cromatógrafo de líquidos de alta resolución modelo 1200 de Agilent Technologies equipado con automuestreador, detector espectrofotométrico de arreglo de diodos. Se empleó la columna Hypersil C18 3 μm (125 mm \times 4.0 mm, Metachem Technologies), a una temperatura de 40°C. El agua desionizada empleada fue obtenida del sistema Labconco (18.2 M Ω cm).

Reactivos y muestras empleadas

Los estándares de los compuestos furánicos estudiados en este trabajo fueron 2F, 2FMC, 5M2F, 5H2F y SA; todos los reactivos empleados fueron de grado analítico. El acetonitrilo y metanol empleados fueron grado cromatográfico de Karal. Las muestras de café fueron adquiridas en el mercado local y consistieron en: café de grano molido (1-5), café soluble en polvo (6-10), café soluble en polvo descafeinado (11-15), café soluble

en polvo "de olla" (con piloncillo y canela) (16-19), café soluble en polvo con chocolate y leche (20-24), café soluble en polvo con vainilla (25-29), café expreso en polvo en cápsulas (30-34) y café soluble con caramelo (35-39).

Protocolo

Para la derivatización y extracción de los compuestos furánicos presentes en las muestras de café se adaptó un procedimiento previamente reportado por nuestro equipo de trabajo (Rodríguez et al., 2005). En cuanto al tratamiento de muestra, se simuló las condiciones cotidianas de preparar el café, para conocer las concentraciones de los cinco compuestos furánicos a las cuales un consumidor de café se encuentra típicamente expuesto. Para ello se pesaron 4.0 g de la muestra de café soluble o de grano y se añadieron a un volumen aproximado de una taza de café (200 mL agua desionizada a 100 ° C) y se mezcló. Se dejó en reposo hasta que se enfriara la muestra. Se recolectó 1.0 mL del café preparado en un tubo eppendorff y se agregaron 100 µL de una solución de *o*-fluorbenzaldehído 0.3 mmolL⁻¹ en etanol como estándar interno (ISTD:2FB) y se agitó en vortex. Se agregaron 250 µL de una solución de 2,4-DNPH 7.0 mmol L⁻¹ en HCl 2.0 mol L⁻¹. Se dejaron las muestras en incubación durante 30 min. Las respectivas 2,4-dinitrofenilhidrazonas fueron extraídas con tres porciones de cloroformo (400 µL). Los extractos fueron recolectados y combinados en un solo tubo y se dejaron evaporar a temperatura ambiente. Los residuos sólidos fueron disueltos en 1.0 mL de una mezcla de acetonitrilo:agua 1:1, en paralelo se analizaron las soluciones preparadas en el laboratorio para elaborar las curvas de calibración de los estándares estudiados. Los estándares de los derivados de los compuestos furánicos con 2,4-DNFH fueron preparados de la siguiente manera. Se mezclaron 0.13 g de 2,4-DNFH con 1.0 mL de agua desionizada, 0.7 mL de HCl concentrado y 0.5 mL de etanol. La solución anterior se mezcló con 0.08 g del compuesto furánico o del estándar interno, se agitó y se dejó en reposo durante 10 min. Se filtró, se lavó con agua desionizada y se recolectó el precipitado obtenido. Las 2,4-dinitrofenilhidrazonas obtenidas fueron purificadas mediante recristalización con etanol (Lodge Jr, 1988). Para la calibración se prepararon cinco soluciones, cubriendo el rango de concentración de 2.0 a 40 µg mL⁻¹ para cada compuesto furánico derivatizado. Todas las muestras analizadas, así como también las soluciones preparadas en el laboratorio para elaborar las curvas de calibración de los compuestos furánicos estudiados, contenían ISTD:2FB a una concentración de 20 µg mL⁻¹. La fase móvil empleada consistió en una mezcla de agua desionizada (A), acetonitrilo (B) y metanol (C); al inicio (0.0 min) A:B:C 50:40:10; a 8.0 min 40:50:10; a 12.0 min 5:85:10; a 12.5 min se regresó a las condiciones iniciales; tiempo de paro 12.5 min. La velocidad de flujo fue de 0.8 mLmin⁻¹. Como se mencionó en la Sección Experimental, se empleó la columna Hypersil C18 3 µm (125 mm×4.0 mm) a una temperatura de 40°C. Se inyectó un volumen de muestra de 5µL, la detección espectrofotométrica para los derivados de los aldehídos furánicos fue a 390 nm, cada muestra se analizó por triplicado. En paralelo siempre se preparó y analizó el blanco.

Resultados y Discusión

Durante el proceso de tostado y fabricación de café se generan compuestos furánicos que contribuyen en agradables propiedades sensoriales; sin embargo, debido a sus efectos adversos en los seres humanos, el objetivo de este trabajo ha sido establecer un procedimiento analítico que permita la determinación de cinco compuestos de este grupo en café, basado en la derivatización con 2,4-DNFH y posterior separación/cuantificación por cromatografía de líquidos con detección espectrofotométrica. Comparando con el estudio realizado previamente en tequila (Rodríguez et al., 2005), las muestras de café representan una matriz químicamente más compleja debido al contenido de melanoidinas, fenólicos, diterpenos, grasas, polisacáridos y también algunos aditivos, como azúcares o saborizantes, lo que podría afectar en la extracción de las 2,4-dinitrofenilhidrazonas formadas a la fase orgánica. En este sentido, se probaron dos disolventes, el hexano que se indica en el trabajo reportado y el cloroformo; después de varias pruebas realizadas, se observó que se obtenían mayores porcentajes de extracción de los analitos estudiados con cloroformo. Así mismo, se detectó que, tanto con el hexano como con el cloroformo, durante la extracción la separación de fases no era buena y no era posible recuperar por completo la fase de cloroformo. Para compensar por posibles errores cometidos en esta etapa, se decidió utilizar el método de estándar interno, examinando los siguientes compuestos: (1) el *m*-nitrobenzaldehído y (2) el *o*-fluorbenzaldehído. Ambos compuestos poseen grupo carbonilo en sus estructuras y por ello son susceptibles a la derivatización con la 2,4-DNFH; además, se comprobó que, no se encuentran presentes de manera natural en las muestras de café estudiadas. Debido a su baja solubilidad en el disolvente empleado para resuspender las muestras obtenidas después de evaporar el cloroformo, se desechó el *m*-nitrobenzaldehído y se utilizó el *o*-fluorbenzaldehído como estándar interno (ISTD:2FB). Finalmente, las condiciones de separación cromatográfica fueron seleccionadas

experimentalmente examinando diferentes columnas de fase inversa, diferentes fases móviles (acetonitrilo, metanol, agua en diferentes proporciones). Los criterios de selección de las condiciones finales fueron correcta resolución de la señal analítica de cada uno de los estándares estudiados, relativamente corto tiempo de separación y buena sensibilidad de detección espectrofotométrica. Las condiciones seleccionadas en base a estos experimentos se presentan detalladamente en la parte experimental, mientras que en la Figura 2 se muestra un cromatograma típico obtenido para una solución preparada en el laboratorio que contenía los estándares de los compuestos estudiados en este trabajo. La identificación de los compuestos presentes en las muestras de café fue en base a la comparación de sus tiempos de retención con los auténticos estándares. En cuanto a la cuantificación de los analitos estudiados, se realizó en base a la altura de pico de cada compuesto normalizada por la altura de la señal de estándar interno (ISTD:2FB). Los principales parámetros analíticos evaluados en base a proceso de calibración se resumen en la Tabla 1. En esta tabla, se presentan límites de detección y de cuantificación instrumentales, experimento de recobro se realizó adicionando los estándares de 2,4-dinitrofenilhidrazonas respectivos a la solución de calibración. En la Figura 3 se muestran típicos cromatogramas obtenidos de algunas muestras de café analizadas.

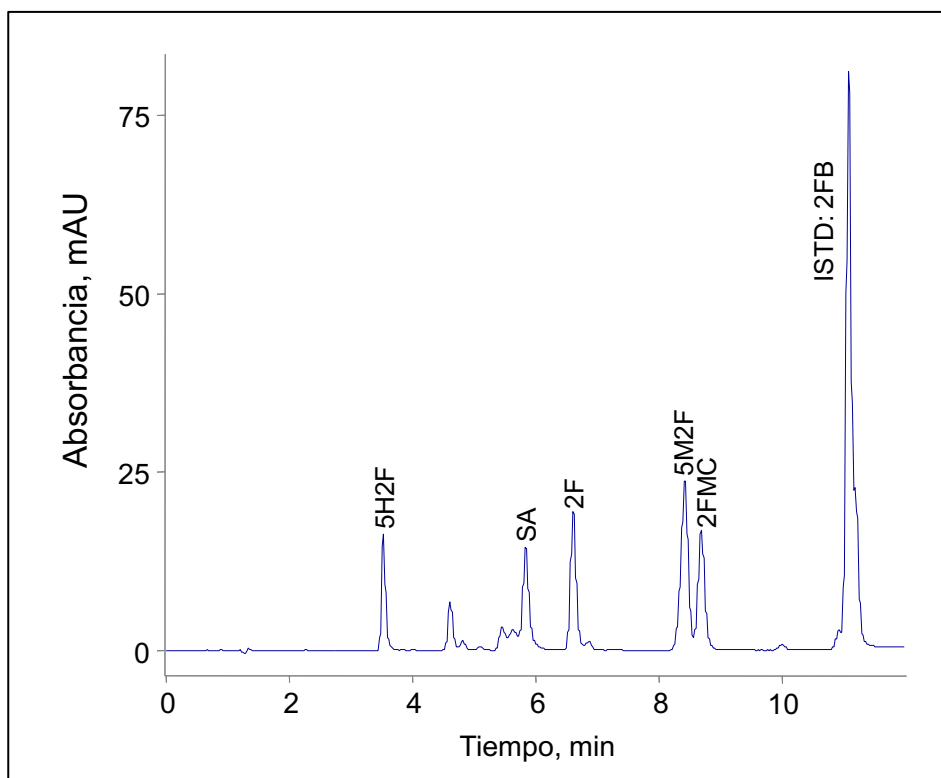


Figura 2. Típico cromatograma obtenido de una solución preparada en el laboratorio que contenía los estándares de las 2,4-dinitrofenilhidrazonas de los compuestos estudiados: 5H2F, SA y 5M2F ($8.0 \mu\text{g mL}^{-1}$); 2F y 2FMC ($4.0 \mu\text{g mL}^{-1}$); y ISTD: 2FB ($20 \mu\text{g mL}^{-1}$).

A continuación, el procedimiento se utilizó en el análisis de 39 muestras de café y los resultados obtenidos en base a tres réplicas de cada muestra, se presentan en la Tabla 2. De manera general, las concentraciones encontradas están dentro de intervalos reportados por otros autores (Liu et al., 2023; Macheiner et al., 2021; Martins et al., 2022).

Tabla 1. Parámetros analíticos evaluados en el proceso de calibración para cinco compuestos furánicos, utilizando el procedimiento propuesto basado en la derivatización con 2,4-DNFH y separación/cuantificación por cromatografía de líquidos de alta resolución con detección espectrofotométrica de arreglo de diodos (HPLC-DAD).

Parámetro	5H2F	SA	2F	5M2F	2FMC
Tiempo de retención, min	3.54 ± 0.01	5.85 ± 0.01	6.62 ± 0.01	8.42 ± 0.01	8.69 ± 0.01
Curva de calibración					
m($\times 10^{-2}$)	2.51	1.37	4.90	3.17	4.61
b($\times 10^{-3}$)	1.52	35.8	0.67	6.39	0.67
R ²	0.9997	0.9917	0.9996	0.9992	0.9996
Error típico de intercepto ($\times 10^{-3}$)	4.60	7.13	6.06	20.5	1.64
Error típico de pendiente ($\times 10^{-4}$)	2.38	3.43	5.09	8.02	1.52
Límite de detección, $\mu\text{g mL}^{-1}$	0.08	0.15	0.04	0.07	0.05
Límite de cuantificación, $\mu\text{g mL}^{-1}$	0.28	0.52	0.15	0.21	0.16

Tiempo de retención de ISTD: 2FB 11.10 ± 0.01 min, concentración 20 $\mu\text{g mL}^{-1}$.

Es necesario recordar que se analizaron ocho tipos del café; para determinar si existen algunas diferencias entre ellos, en la Tabla 3 se presentan valores promedio y los intervalos de concentraciones de cada uno de los compuestos furánicos encontrados en cada tipo de café. En esta tabla se puede observar de manera general que, en las muestras de café soluble en polvo descafeinado, en comparación con los otros tipos de café analizados, presentan los niveles más altos de la mayoría de los compuestos furánicos estudiados. La industria encargada de la elaboración de varios alimentos, entre los que se encuentra el café, emplea como marcador de calidad e indicador de adulteración el 5H2F (Lee et al., 2019). En el caso del 2F, es uno de los compuestos furánicos que puede provocar cambios en el color, textura y sabor de los alimenticios. Sin embargo, en varios estudios se ha observado que altos niveles de HMF y el 2F podrían tener impactos negativos en el sistema nervioso central humano, el hígado, los riñones, el corazón y otros órganos (Gong et al., 2020). En contra parte, Shahzad y col., demostraron que el SA presenta un potencial efecto antioxidante y antiinflamatorio en enfermos de infarto de miocardio; por lo cual el consumo de café podría ser benéfico para atenuar el estrés oxidativo y la inflamación en este tipo de pacientes (Shahzad et al., 2020).

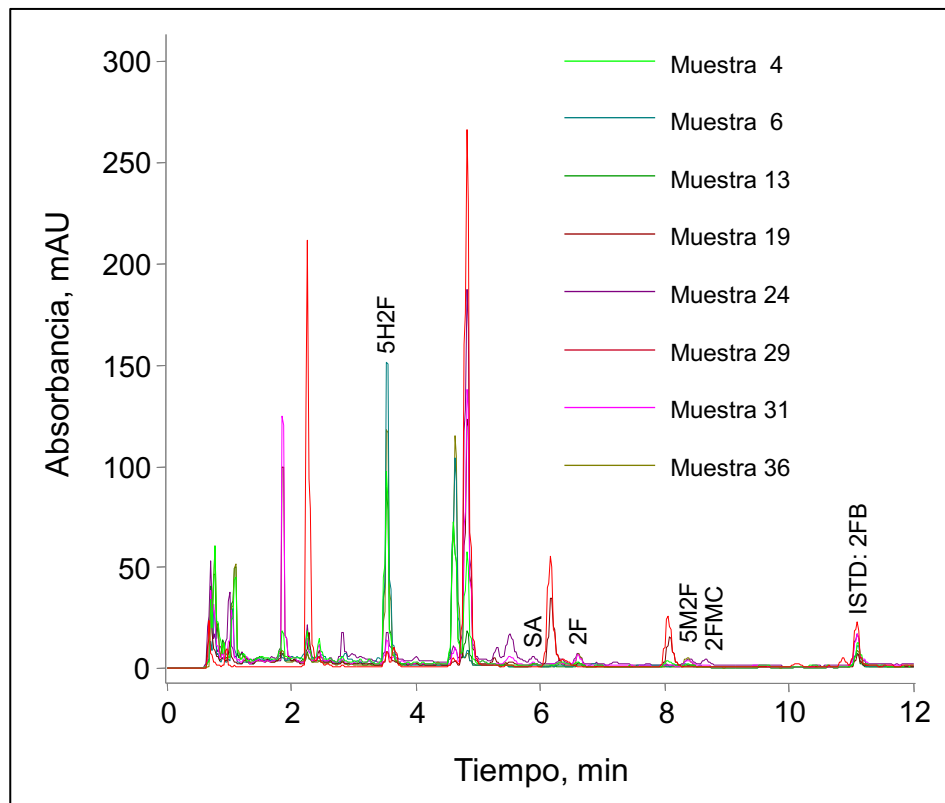


Figura 3. Típicos cromatogramas obtenidos de la determinación de compuestos furánicos en muestras de café estudiadas: Muestra 4: café de grano molido; Muestra 6: café soluble en polvo; Muestra 13: café soluble en polvo descafeinado; Muestra 19: café soluble en polvo "de olla" (con piloncillo y canela); Muestra 24: café soluble en polvo con chocolate y leche; Muestra 29: café soluble en polvo con vainilla; Muestra 31: café expreso en polvo en cápsulas; y Muestra 36: café soluble con caramelo. El número corresponde a la manera en la que se etiquetaron las muestras considerando el tipo de café a estudiar, ver Sección Experimental y Tablas 2 y 3.

Tabla 2. Resultados obtenidos de la cuantificación de los compuestos furánicos en las muestras de café analizados, se presenta el promedio obtenido de tres réplicas \pm desviación estándar.

Tipo de café	Muestra	5H2F, mg/g	SA, mg/g	2F, mg/kg	5M2F, mg/kg	2FMC, mg/kg
Café de grano molido	1	2.76 \pm 0.01	0.37 \pm 0.01	497 \pm 5	359 \pm 5	44.8 \pm 1.2
	2	1.81 \pm 0.06	0.36 \pm 0.02	414 \pm 15	332 \pm 14	41.5 \pm 1.1
	3	0.40 \pm 0.01	0.19 \pm 0.01	157 \pm 1	199 \pm 5	49.8 \pm 2.0
	4	2.15 \pm 0.12	1.35 \pm 0.03	497 \pm 30	429 \pm 26	159 \pm 8
	5	1.81 \pm 0.15	1.07 \pm 0.04	439 \pm 32	392 \pm 11	118 \pm 8

Café soluble en polvo	6	33.1 ± 0.64	1.03 ± 0.05	158 ± 21	89.2 ± 9.6	ND
	7	18.2 ± 0.90	0.63 ± 0.03	179 ± 16	94.3 ± 5.5	ND
	8	10.5 ± 0.76	0.77 ± 0.01	241 ± 9	265 ± 43	ND
	9	52.9 ± 0.03	0.42 ± 0.02	131 ± 7	92 ± 6	ND
	10	32.9 ± 1.76	0.82 ± 0.05	159 ± 8	136 ± 3	ND
Café soluble en polvo descafeinado	11	20.8 ± 0.76	0.86 ± 0.02	191 ± 2	136 ± 3	ND
	12	32.4 ± 5.79	0.25 ± 0.02	316 ± 7	359 ± 50	ND
	13	56.8 ± 0.25	1.17 ± 0.04	1327 ± 7	836 ± 12	ND
	14	47.8 ± 0.84	0.89 ± 0.08	506 ± 31	302 ± 10	ND
	15	3.18 ± 0.14	0.90 ± 0.04	569 ± 12	451 ± 14	130 ± 3
Café soluble en polvo "de olla" (con piloncillo y canela)	16	52.2 ± 2.15	0.29 ± 0.01	273 ± 7	180 ± 13	44.8 ± 0.3
	17	21.1 ± 0.89	0.16 ± 0.02	132 ± 9	159 ± 8	74.6 ± 4.7
	18	0.84 ± 0.09	0.48 ± 0.03	201 ± 10	134 ± 3	123 ± 5
	19	38.4 ± 0.65	0.17 ± 0.01	258 ± 1	212 ± 6	77.0 ± 3.3
Café soluble en polvo con chocolate y leche	20	19.9 ± 2.91	0.89 ± 0.03	357 ± 16	399 ± 26	ND
	21	45.8 ± 0.43	1.62 ± 0.01	832 ± 17	441 ± 20	ND
	22	1.32 ± 0.10	1.09 ± 0.04	264 ± 16	218 ± 10	64.2 ± 0.2
	23	1.32 ± 0.05	0.73 ± 0.04	366 ± 2	288 ± 2	63.3 ± 1.2
	24	2.35 ± 0.04	1.40 ± 0.02	399 ± 1	311 ± 7	91.5 ± 1.3
Café soluble en polvo con vainilla	25	48.3 ± 1.07	1.52 ± 0.06	612 ± 35	369 ± 12	ND
	26	41.3 ± 2.50	0.91 ± 0.04	452 ± 9	266 ± 517	ND

	27	40.0 ± 2.66	0.88 ± 0.06	356 ± 22	199 ± 12	ND
	28	0.75 ± 0.07	ND	31.8 ± 2.3	ND	20.0 ± 0.1
	29	0.64 ± 0.04	ND	28.9 ± 0.4	ND	14.2 ± 0.7
Café expreso en polvo en cápsulas	30	1.89 ± 0.11	0.49 ± 0.01	436 ± 12	342 ± 5	51.2 ± 2.4
	31	1.36 ± 0.07	0.36 ± 0.02	358 ± 10	335 ± 5	51.2 ± 1.9
	32	1.53 ± 0.09	0.66 ± 0.03	431 ± 23	317 ± 17	66.6 ± 3.6
	33	0.97 ± 0.01	0.42 ± 0.01	267 ± 17	242 ± 10	48.2 ± 0.8
	34	1.39 ± 0.01	0.55 ± 0.03	352 ± 7	267 ± 7	52.5 ± 3.3
Café soluble con caramelo	35	21.1 ± 1.07	0.44 ± 0.03	236 ± 11	171 ± 8	27.8 ± 1.2
	36	15.7 ± 0.78	0.66 ± 0.03	229 ± 8	177 ± 3	25.9 ± 1.2
	37	19.8 ± 0.94	0.03 ± 0.01	136 ± 4	114 ± 4	89.7 ± 3.1
	38	0.56 ± 0.01	ND	ND	ND	5.91 ± 2.30
	39	1.26 ± 0.02	0.80 ± 0.01	311 ± 9	236 ± 11	52.9 ± 3.2

ND: no detectado.

Las diferencias que se acaban de mencionar entre los tipos de café estudiados pueden ser debidas al proceso de tratamiento térmico que involucra la elaboración de cada producto. Así mismo, la fabricación de algunos tipos de café resulta más complicada que otros, en ciertos casos, es necesario adicionar otras sustancias como grasas, azúcares o saborizantes; a diferencia del tipo de café que únicamente requiere la trituración física de los granos.

En los resultados obtenidos de la determinación de compuestos furánicos en las muestras de café analizadas en este trabajo, se observan diferencias dependiendo del tipo de café, cual lo podría provocar diversos efectos sobre la salud de los consumidores de estos productos. Así mismo, estos resultados muestran ser prometedores debido a que abren la pauta para el desarrollo de otros proyectos de investigación, con los que se pueden inicialmente, corroborar estos datos y/o emplear esta información para llevar a cabo el análisis estadístico que permita distinguir de manera contundente entre diferentes tipos de café; y de manera paralela, avanzar en el conocimiento del efecto de los compuestos furánicos sobre la salud de los consumidores de estos productos.

Tabla 3. Valores promedio y los intervalos de concentraciones de cada uno de compuestos furánicos encontrados en cada tipo de café.

Tipo de café	5H2F, mg/g		SA, mg/g		2F, mg/kg		5M2F, mg/kg		2FMC, mg/kg	
	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo	Promedio	Intervalo
Café de grano molido	1.79	0.40 - 2.76	0.67	0.19 - 1.35	401	157 - 497	342	199 - 429	82.6	41.5 - 159
Café soluble en polvo	29.5	10.5 - 52.9	0.74	0.42 - 1.03	174	131 - 241	135	89.2 - 265	ND	ND
Café soluble en polvo descafeinado	32.2	3.18 - 56.8	0.81	0.25 - 1.17	582	191 - 1327	417	136 - 836	25.9	ND - 130
Café soluble en polvo "de olla" (con piloncillo y canela)	28.1	0.84 - 52.2	0.27	0.16 - 0.48	216	132 - 273	171	134 - 212	79.8	44.8 - 123
Café soluble en polvo con chocolate y leche	14.1	1.32 - 45.8	1.15	0.73 - 1.62	444	264 - 832	332	218 - 441	43.8	ND - 91.5
Café soluble en polvo con vainilla	26.2	0.64 - 48.3	0.66	ND - 1.52	296	28.9 - 612	167	ND - 369	6.84	ND - 20.0
Café expreso en polvo en cápsulas	1.43	0.97 - 1.89	0.50	0.36 - 0.66	369	267 - 436	301	242 - 342	53.9	48.2 - 66.6
Café soluble con caramelo	11.7	0.56 - 21.1	0.39	ND - 0.80	182	ND - 311	139	ND - 236	40.4	5.91 - 89.7

ND: No detectado.

Conclusiones

Se ha puesto a punto un procedimiento para la separación y cuantificación de 2F, 2FMC, 5M2F, 5H2F y SA por cromatografía de líquidos de alta resolución con detección espectrofotométrica UV/Vis previa derivatización con 2,4-DNFH y su aplicación para la evaluación de los perfiles de los compuestos antes mencionados en muestras que consistieron en diferentes tipos de café. En los resultados cuantitativos obtenidos en este trabajo, se observaron diferencias en los niveles de 5H2F, SA, 2F y 5M2F presentes en las muestras de café soluble en polvo descafeinado en comparación con los otros tipos de café analizados, lo cual podría provocar diversos efectos sobre la salud de los consumidores de estos productos.

Agradecimientos

Los autores agradecen las sugerencias y apoyo brindado por el Dr. Kazimierz Wrobel para la realización de este trabajo y a todo el Comité Organizador del XXIX Verano de la Ciencia de la Universidad de Guanajuato.

Bibliografía/Referencias

- Alcantara, G., Dresch, D., & Melchert, W. (2021). Use of non-volatile compounds for the classification of specialty and traditional Brazilian coffees using principal component analysis [Article]. *FOOD CHEMISTRY*, 360, Article 130088. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.130088>
- Choudhary, A., Kumar, V., Kumar, S., Majid, I., Aggarwal, P., & Suri, S. (2021). 5-Hydroxymethylfurfural (HMF) formation, occurrence and potential health concerns: recent developments [Review]. *TOXIN REVIEWS*, 40, 545-561. <https://doi.org/10.1080/15569543.2020.1756857>
- NORMA Oficial Mexicana NOM-142-SSA1-1995, Bienes y servicios. Bebidas alcohólicas. Especificaciones sanitarias. Etiquetado sanitario y comercial.
- Gong, M., Zhou, Z., Yu, Y., Liu, S., Zhu, S., Jian, D.,...Mao, J. (2020). Investigation of the 5-hydroxymethylfurfural and furfural content of Chinese traditional fermented vinegars from different regions and its correlation with the saccharide and amino acid content [Article]. *LWT-FOOD SCIENCE AND TECHNOLOGY*, 124, Article 109175. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.109175>
- Lee, C., Chen, K., Lin, J., Chen, Y., Chen, Y., Wu, J., & Hsieh, C. (2019). Recent advances in processing technology to reduce 5-hydroxymethylfurfural in foods [Review]. *TRENDS IN FOOD SCIENCE & TECHNOLOGY*, 93, 271-280. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2019.09.021>
- Liu, Q., Zhou, P., Luo, P., & Wu, P. (2023). Occurrence of Furfural and Its Derivatives in Coffee Products in China and Estimation of Dietary Intake [Article]. *FOODS*, 12, Article 200. <https://doi.org/10.3390/foods12010200>
- Lodge Jr, J. P. (1988). *Methods of Air Sampling and Analysis*. CRC Press.
- Macheiner, L., Schmidt, A., Karpf, F., & Mayer, H. (2021). A novel UHPLC method for determining the degree of coffee roasting by analysis of furans [Article]. *FOOD CHEMISTRY*, 341, Article 128165. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128165>
- Martins, F., Alcantara, G., Silva, A., Melchert, W., & Rocha, F. (2022). The role of 5-hydroxymethylfurfural in food and recent advances in analytical methods [Review]. *FOOD CHEMISTRY*, 395, Article 133539. <https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133539>
- Prata, R., Petrarca, M., Teixeira, J., & Godoy, H. (2021). Simultaneous determination of furfural, 5-hydroxymethylfurfural and 4-hydroxy-2,5-dimethyl-3(2H)-furanone in baby foods available in the Brazilian market [Article]. *JOURNAL OF FOOD COMPOSITION AND ANALYSIS*, 99, Article 103874. <https://doi.org/10.1016/j.jfca.2021.103874>
- Rodriguez, D., Wrobel, K., & Wrobel, K. (2005). Determination of aldehydes in tequila by high-performance liquid chromatography with 2,4-dinitrophenylhydrazine derivatization [Article]. *EUROPEAN FOOD RESEARCH AND TECHNOLOGY*, 221, 798-802. <https://doi.org/10.1007/s00217-005-0038-6>
- Shahzad, S., Mateen, S., Kausar, T., Naeem, S., Hasan, A., Abidi, M.,...Moin, S. (2020). Effect of syringic acid and syringaldehyde on oxidative stress and inflammatory status in peripheral blood mononuclear cells from patients of myocardial infarction [Article]. *NAUNYN-SCHMIEDEBERGS ARCHIVES OF PHARMACOLOGY*, 393, 691-704. <https://doi.org/10.1007/s00210-019-01768-2>