

Análisis de compuestos carbonílicos en Córdoba: impacto en la calidad del aire

Analysis of carbonyl compounds in Cordoba: impact on air quality

Autores: BAPTISTA, Andrea¹ ; VILLANUEVA, Florentina^{2 3}; FILIPPI, Iohanna⁴; CABAÑAS, Beatriz ^{2 5}; TERUEL, Mariano A^{1 *}

Filiación Institucional: ¹ Laboratorio Universitario de Química y Contaminación del Aire, LUQCA. Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba. INFIQC - CONICET. Córdoba- Argentina. ² Instituto de Investigación en Combustión y Contaminación Atmosférica, Universidad de Castilla. La Mancha- Spain. ³ Parque Científico y Tecnológico de Castilla. La Mancha- Spain. ⁴ Departamento de Bioquímica Clínica, Facultad de Ciencias Químicas, Universidad Nacional de Córdoba. CIBICI- CONICET. Córdoba- Argentina. ⁵ Departamento de Química Física, Facultad de Ciencias y Tecnologías Químicas, Universidad de Castilla. La Mancha- Spain.

Fecha de Recepción: Octubre de 2023

Fecha de Aceptación: Noviembre de 2023

Contacto: mariano.teruel@unc.edu.ar

Resumen

Los compuestos orgánicos volátiles (COVs) carbonílicos pueden ser liberados al aire a partir de diversas fuentes, como lo son fuentes biogénicas como las plantas, y de fuentes antropogénicas como las relacionadas con la actividad del ser humano. La presencia de los compuestos carbonílicos en el aire urbano tiene un impacto negativo sobre la salud de los seres humanos y la biota. Además, la mayoría de estos compuestos son precursores de contaminantes atmosféricos secundarios como el ozono troposférico, el cual es el principal componente del smog fotoquímico.

En el presente trabajo se midieron las concentraciones de 11 compuestos carbonílicos en el microcentro de la ciudad de Córdoba, durante el período comprendido de abril a diciembre del 2021.

Los compuestos carbonílicos fueron medidos usando captadores comerciales pasivos Radiello[®], los cuales fueron expuestos durante una semana y posteriormente analizados usando HPLC-PDA, las concentraciones se determinaron a partir de curvas de calibración. Se obtuvieron concentraciones promedio anuales en el intervalo de 11,75-29,59 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en total, para todos los compuestos carbonílicos medidos. El formaldehído y

el acetaldehído fueron los más abundantes, representando aproximadamente el 40-57% del total de compuestos carbonílicos medidos, con concentraciones promedio anuales de $4,44 \pm 1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y $3,85 \pm 1,44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivamente.

El compuesto carbonílico más abundante en el aire urbano de Córdoba es el formaldehído, donde en general los valores de concentración medidos se correlacionaron estadísticamente con las variables meteorológicas, revelando que para algunos compuestos carbonílicos existe una posible influencia de dichas variables sobre la concentración. Por otro lado, el estudio del posible origen en la emisión de dichos compuestos, demostró que las principales fuentes de los compuestos carbonílicos medidos son las de origen antropogénico. Además, se encontró que durante las temporadas de primavera y verano la concentración de compuestos carbonílicos es mayor, con el consecuente incremento en la producción de ozono troposférico.

Palabras claves

Compuestos carbonílicos, Córdoba, aire urbano, monitoreo pasivo.

Abstract

Carbonyl compounds could be emitted into urban air from biogenic sources such as plants, and from anthropogenic sources related to human activity. The presence of carbonyl compounds in urban air has a negative impact on the health of humans and biota. In addition, the majority of these compounds are precursors of secondary atmospheric pollutants such as tropospheric ozone, the main component of photochemical smog.

In the present work, 11 carbonyls were measured in the microcenter of the city of Córdoba, during the period from April to December 2021.

Carbonyl compounds were measured using passive commercial Radiello® samplers, which were exposed for one week and posteriorly analyzed using HPLC-PDA.

Annual average concentrations between 11.75 - $29.59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ were obtained for all the carbonyls measured. Formaldehyde and acetaldehyde were the most abundant, representing approximately 40-57% of the total carbonyls measured, with mean annual concentrations of $4.44 \pm 1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ and $3.85 \pm 1.44 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectively. The measured concentration values were statistically correlated with meteorological variables, suggesting that for some carbonyls there is a possible influence of these variables on the concentration.

The study of possible emission sources showed that the main sources of the measured carbonyls are anthropogenic sources, related to vehicular traffic. In addition, it was found that during the spring and summer seasons the concentration of carbonyls increases, and this could result in an increase in the production of tropospheric ozone.

Keywords

Carbonyls compound, Córdoba, urban air, passive monitoring.

Introducción

Los compuestos carbonílicos, como cetonas y aldehídos, son emitidos a la atmósfera por fuentes biogénicas y por fuentes antropogénicas como la industria y los automóviles (1). Los aldehídos de estructura simple, como el formaldehído, se originan a partir de la degradación troposférica de otros compuestos orgánicos volátiles (1). Estos compuestos orgánicos carbonílicos son degradados por fotólisis y por oxidantes atmosféricos como radicales OH, Cl y NO₃, Las reacciones iniciadas por el radical OH constituyen el principal proceso de eliminación de estos compuestos en la atmósfera. La degradación iniciada por los radicales troposféricos y/o fotólisis de los compuestos carbonílicos se considera una fuente significativa de ozono troposférico, así como también son considerados productores de contaminantes secundarios, que pueden tener efectos negativos para la salud, como por ejemplo el nitrato de peroxiacetilo (PAN)(2)(3). El formaldehído es el aldehído más reactivo y es el principal productor de ozono troposférico en entornos urbanos (4). Los riesgos para la salud derivados de exposiciones prolongadas al formaldehído ya han sido estudiados y reportados (5)(6). El monitoreo urbano de compuestos carbonílicos abarca diferentes tipos de monitoreo, activo y/o pasivo, ambos destinados a cuantificar y caracterizar la presencia de estos compuestos en la atmósfera. El comportamiento espacio-temporal de los compuestos carbonílicos varía según el área de estudio. En este sentido, los niveles de los compuestos carbonílicos suelen verse influenciados por diversos factores como: las variables meteorológicas, la dinámica de población y posibles fuentes externas que también podrían afectar las mediciones. Por otro lado, diferentes trabajos muestran resultados de monitoreo de esta familia de compuestos utilizando cartuchos recubiertos con 2,4-DNPH (2,4-dinitrofenilhidrazina), este recubrimiento se ha empleado en monitoreos de tipo pasivo y activo, obteniéndose buenos resultados (7).

Actualmente, no se han informado estudios de monitoreo de compuestos carbonílicos en ambientes externos en Argentina. Mientras que, si se han informado determinaciones de compuestos carbonílicos para la ciudad de Salvador-Bahia, Brasil, durante un muestreo realizado para un período de 7 días (8). Entre los compuestos carbonílicos medidos se reportaron valores de promedios anuales de formaldehído en el rango de 2,80-4,35 µg/m³ para la temporada de lluvias y en el rango de 4,35-18,12 µg/m³ para la temporada seca, para el acetaldehído se informaron concentraciones en el rango de 1,19-1,81 µg/m³ y 5,8-9,52 µg/m³ para las temporadas de lluvia y seca, respectivamente. Los valores indicados muestran concentraciones mayores para la temporada seca donde la radiación y temperatura son mayores. Bajo estas condiciones de radiación y temperatura la producción de compuestos carbonílicos puede verse favorecida y esto explicaría la tendencia de los compuestos carbonílicos, donde las concentraciones más altas se obtienen durante el verano y concentraciones más bajas durante el invierno (9)(10). Dada la ausencia de información sobre la presencia de esta familia de compuestos en el aire urbano de la ciudad de Córdoba, en el presente trabajo se propone como objetivo, identificar y cuantificar los compuestos carbonílicos para las diferentes estaciones del año, además de correlacionar las concentraciones medidas con las variables meteorológicas como: radiación, temperatura, precipitación y dirección del viento. Además, se utilizaron herramientas estadísticas para correlacionar e identificar posibles fuentes.

Materiales y Métodos

Descripción del área de estudio

El muestreo pasivo usando captadores comerciales Radiello® se llevó a cabo en un punto del microcentro de la ciudad de Córdoba ((31.42 S 64.17 W), ubicado a 100 metros de la Av. Humberto Illia como se muestra en la Figura 1., donde esta avenida principal es concurrida diariamente por tráfico vehicular de diferentes líneas de transporte público. Los captadores comerciales fueron ubicados aproximadamente a 2 metros del suelo y a 2 metros de la calle principal. La exposición de los captadores se realizó durante una semana, después de la exposición, se recolectaron y se colocaron en un tubo de vidrio cerrado y se mantuvieron a 4 °C en la oscuridad para su conservación en el laboratorio hasta el análisis. El muestreo se realizó en los períodos de abril a diciembre de 2021, específicamente para las estaciones: otoño (12 de abril al 10 de mayo), invierno (19 de julio al 16 de agosto); primavera (28 de septiembre al 26 de octubre), mientras que, debido a la imposibilidad de muestrear durante el mes de enero se muestreó el período de verano desde el 16 de noviembre al 13 de diciembre, considerando que estas semanas las condiciones meteorológicas podrían ser representativas del verano. Se recolectaron y analizaron un total de 16 cartuchos durante todo el período, y 12 cartuchos sin exponer considerados como blancos.

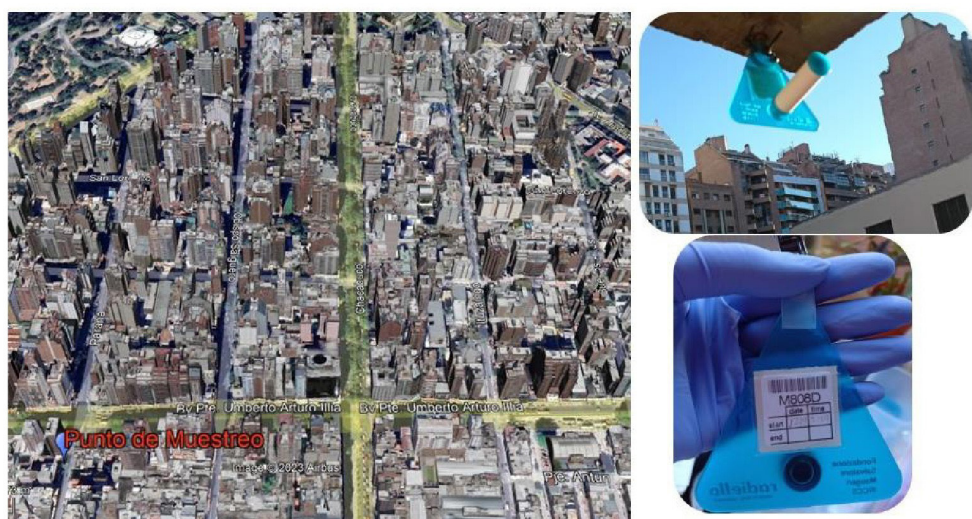


Figura 1.

Punto de muestreo en el microcentro ubicado a 100 metros de la avenida Pte. Humberto Arturo Illia, y vista de los captadores Radiello®

Análisis de los captadores Radiello®

Después de la exposición los captadores fueron extraídos, agregando 2 mL de acetonitrilo (Ultra Gradiente para HPLC $\geq 99.9\%$, J.T. BAKER®) al tubo de vidrio y se agitaron durante 30 minutos. La solución se filtró usando un filtro de politetrafluoroetileno (PTFE) de 0,45 μm . Las muestras se analizaron en un cromatógrafo HPLC Waters 2998 con un detector de arreglo de fotodiodo (PDA).

Controles de calidad

La cuantificación de los compuestos carbonílicos se realizó a partir de una curva de calibración de cinco concentraciones, en un intervalo de (0,05 a 5) $\mu\text{g/mL}$ preparados a partir

de una mezcla estándar de carbonílicos-DNPH (Supelco, EE.UU.). El estándar comercial de una concentración de 15 µg/mL, contenía 15 compuestos carbonílicos derivatizados en acetonitrilo, entre los cuales se tiene: formaldehído, acetaldehído, acetona, acroleína, propionaldehído, crotonaldehído, butiraldehído, benzaldehído, iso-valeraldehído, valeraldehído, o-tolualdehído, m-p-tolualdehído, hexaldehído y 2,5-dimetilbenzaldehído. Se obtuvo una tendencia lineal ($R^2 > 0,99$) entre la concentración y la respuesta del equipo para todos los COVs carbonílicos.

Para el control de calidad de los resultados se determinó el límite de detección, LOD, a partir de los blancos, para esto se analizaron cuatro blancos, incluidos los blancos de laboratorio y de campo. El LOD se calculó como ($3\sigma_{\text{blanco}}$), los valores calculados para los compuestos carbonílicos fueron (en µg/m³): formaldehído 0,96, acetaldehído 1,10, acetona 0,36; acroleína 0,60, crotonaldehído 0,27; propionaldehído 0,22, benzaldehído 0,03; valeraldehído + iso-valeraldehído 0,29, hexaldehído 0,33, butiraldehído 0,50 y o-tolualdehído 0,30. Además de esto se determinó la precisión del método mediante el coeficiente de variación porcentual del análisis de varianza, donde todos los compuestos mostraron un valor inferior al 8%, lo que indica la reproducibilidad de los resultados.

Tratamiento estadístico de los resultados

Los valores de concentración obtenidos para todos los compuestos carbonílicos medidos se analizaron estadísticamente usando el software SPSS para Windows (versión 28.0.1) e Infostat versión 2020(11). La normalidad de los resultados obtenidos se verificó aplicando la prueba de normalidad de Kolmogorov-Smirnov. Se aplicó el coeficiente de correlación de Pearson para estudiar la relación entre las concentraciones de los compuestos carbonílicos y las variables meteorológicas. Además, se aplicó el análisis de ANOVA de una vía para estudiar diferencias entre las concentraciones estacionales, y se realizó la prueba de Tukey como prueba post hoc, con un valor de significancia de $p < 0,05$.

Cálculos del potencial de formación de ozono troposférico

Los compuestos carbonílicos en la atmósfera se degradan principalmente por la reacción con el radical OH y por procesos de fotooxidación (4). Las reacciones con este radical y los procesos de fotólisis conducen a la formación de ozono troposférico. Es posible estimar el potencial de ozono troposférico (PFO) a partir de la concentración registrada por estación (en µg/m³) para cada compuesto carbonílico. El cálculo implica el uso del valor de la reactividad máxima incrementada (MIR)(12)(13) mediante la siguiente ecuación:

$$\text{OFP } (\mu\text{g}/\text{m}^3) = [\text{compuesto carbonílico}] \times \text{MIR} \quad (1)$$

Resultados

Se cuantificaron un total de 11 compuestos carbonílicos en la zona centro de la ciudad de Córdoba, siendo los compuestos muestreados: formaldehído, acetaldehído, acetona, acroleína, crotonaldehído, propionaldehído, benzaldehído, butiraldehído, iso-valeraldehído + valeraldehído, o-tolualdehído y hexaldehído. La Tabla 1 resume las concentraciones promedio medidas para todo el período de muestreo, o-tolualdehído y butiraldehído sólo se detectaron y cuantificaron durante el invierno, mientras que en las demás estaciones no se detectaron. Por otro lado, el 2,5-dimetilbenzaldehído estuvo por debajo del límite de detección durante todo el período de muestreo.

La Tabla 1 presenta los valores promedio anuales medidos para: formaldehído $4,44 \pm 1,75 \mu\text{g}/\text{m}^3$, acetaldehído $3,48 \pm 1,26 \mu\text{g}/\text{m}^3$, acetona $2,68 \pm 1,50 \mu\text{g}/\text{m}^3$; acroleína $1,94 \pm 1,19 \mu\text{g}/\text{m}^3$, crotonaldehído $1,23 \pm 0,71 \mu\text{g}/\text{m}^3$, propionaldehído $0,88 \pm 0,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$; iso-valeraldehído+valeraldehído $0,64 \pm 0,42 \mu\text{g}/\text{m}^3$; benzaldehído $0,20 \pm 0,07 \mu\text{g}/\text{m}^3$, hexaldehído $0,46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y benzaldehído $0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Estos valores medidos se encuentran dentro del intervalo de valores reportados para algunas ciudades de América del Sur. En este sentido valores similares se han medido durante la temporada seca entre 2017-2018 en la ciudad de Río de Janeiro, Brasil (14), para el formaldehído $2,33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, acetaldehído $5,48 \mu\text{g}/\text{m}^3$, benzaldehído $0,39 \mu\text{g}/\text{m}^3$, propionaldehído $0,83 \mu\text{g}/\text{m}^3$ y butiraldehído $0,17 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mientras que se ha informado una concentración promedio de acroleína de $1,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ para la ciudad de Fortaleza, Brasil (15). Las variaciones estacionales fueron analizadas para cada compuesto muestreado y son mostradas en la Figura 2. Las concentraciones de COVs carbonílicos más altas se registraron durante la temporada de primavera $21,49 \pm 7,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mientras que en verano se midió una concentración media de $15,94 \pm 2,93 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En otoño, la concentración fue de $14,47 \pm 1,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$, y un valor de concentración ligeramente más bajo se registró durante la temporada de invierno de $14,00 \pm 0,78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por otro lado, durante la temporada de primavera, se registró la mayor concentración promedio de formaldehído $5,95 \pm 2,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$. El análisis estacional a partir del análisis estadístico, mostró diferencias significativas ($p < 0,05$) sólo para las concentraciones de formaldehído y crotonaldehído, a partir de los resultados de la prueba de varianza de una (ANOVA) de una vía. Para el formaldehído, estas diferencias se encontraron únicamente entre invierno y primavera, mientras que para el crotonaldehído se observaron variaciones entre primavera e invierno, primavera y otoño, así como también diferencias entre primavera y verano. Para el resto de los COVs carbonílicos, no se encontraron diferencias significativas ($p > 0,05$), lo que indica que las concentraciones son aproximadamente estables durante todo el año para el resto de los compuestos carbonílicos.

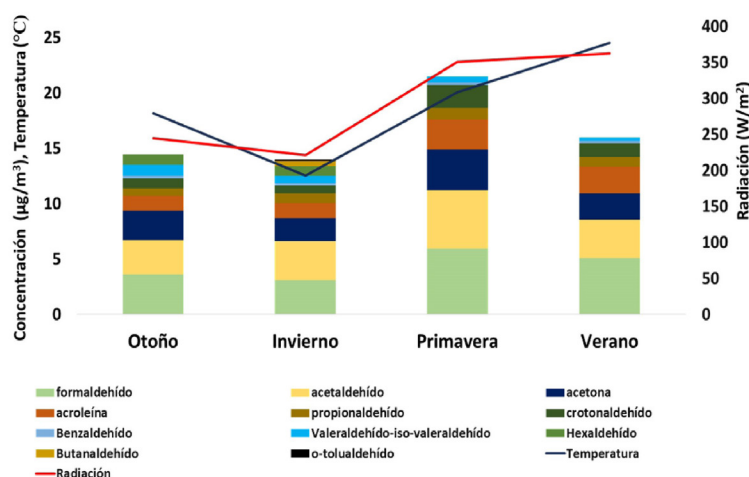


Figura 2.

Concentraciones promedio medidas para los compuestos carbonílicos ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) para las estaciones otoño, invierno, primavera y verano, extraída de (16): Los colores indican cada compuesto carbonílico medido, la línea roja y azul corresponden a radiación y temperatura, respectivamente.

Tabla 1.

Valores promedio para las concentraciones de compuestos carbonílicos registradas durante todo el período de muestreo en ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Meses 2021	Formaldehído	Acetaldehído	Acetona	Acroleína	Propionaldehído	Crotonaldehído	Benzaldehído	Butiraldehído	Isovaleraldehído + valeraldehído	O-tolualdehído	Hexaldehído	Total COVs carbonílicos
Otoño												
Abril-Mayo												
12-19	4,78	1,26	2,93	1,50	1,11	0,91	0,28	ND	1,13	ND	2,43	16,33
19-26	3,30	2,99	1,60	2,62	0,49	0,83	0,16	-	1,74	-	ND	13,73
26-03	3,04	3,79	3,57	0,71	0,57	0,90	0,18	-	0,83	-	ND	13,59
03-10	3,39	4,41	2,39	0,65	0,50	0,98	0,19	-	0,34	-	1,39	14,24
Medias±SD	3,62±0,78	3,11±1,36	2,62±0,83	2,49±1,27	0,67±0,30	0,91±0,06	0,20±0,05	ND	1,01±0,59	ND	0,95±1,18	4,47±1,27
Fracción (%)	23	20	17	16	4	6	1	0	7	0	6	100
Invierno												
Jul-Agost												
19-26	4,66	2,55	0,75	1,32	0,94	0,13	0,28	1,91	0,48	ND	2,14	15,16
26-02	2,31	4,03	2,80	1,66	0,82	0,64	0,17	ND	0,71	0,55	ND	13,69
02-09	2,77	3,87	1,72	1,19	1,06	0,95	0,16	ND	0,68	ND	1,35	13,75
09-16	2,71	3,67	3,01	1,08	0,86	1,06	0,23	ND	0,80	ND	ND	13,42
Medias±SD	3,11±1,05	3,53±0,66	2,07±1,04	1,31±0,25	0,92±0,11	0,70±0,42	0,21±0,06	0,48±0,95	0,67±0,14	0,14±0,27	0,87±1,06	14,00±0,78
Fracción (%)	22	25	15	9	7	5	2	3	5	1	6	100
Primavera												
Sep-Oct												
28-05	4,60	4,91	4,10	1,30	0,76	1,41	0,15	ND	0,34	ND	ND	17,57
05-12	4,39	3,20	1,14	1,32	0,97	1,66	0,22	-	0,62	-	-	13,52
12-19	8,97	7,21	3,68	5,42	1,02	2,75	0,23	-	0,31	-	-	29,59
19-26	5,86	5,79	5,77	2,79	1,41	2,51	0,24	-	0,91	-	-	25,28
Medias±SD	5,95±2,11	5,28±1,68	3,68±1,91	2,77±1,87	1,04±0,27	2,08±0,64	0,21±0,04	ND	0,55±0,28	ND	ND	21,49±7,28
Fracción (%)	28	24	17	13	5	10	1	0	3	0	0	100
Verano												
Nov-Dic												
16-23	3,34	3,73	4,27	1,88	1,07	1,25	0,26	ND	0,60	ND	ND	16,40
23-30	4,28	3,69	3,79	3,29	0,81	1,86	0,17	-	0,67	-	-	18,56
29-06	6,19	4,77	1,18	1,93	1,46	1,50	ND	-	ND	-	-	17,03
06-13	6,52	1,74	0,25	2,42	0,24	0,29	0,29	-	ND	-	-	11,75
Medias±SD	5,08±1,52	3,48±1,26	2,37±1,96	2,38±0,65	0,90±0,51	1,23±0,67	0,18±0,13	ND	0,32±0,37	ND	ND	15,94±2,93
Fracción (%)	32	22	15	15	5	8	1	0	2	0	0	100
Annual n=16												
Medias±SD	4,44±1,75	3,85±1,44	2,68±1,50	1,94±1,19	0,88±0,33	1,23±0,71	0,20±0,07	-	0,64±0,42	-	-	16,48±4,72
Max	8,97	7,21	5,77	5,42	1,46	2,75	0,29	-	1,74	-	-	29,59
Min	2,71	1,26	0,25	0,65	0,24	0,13	0,15	-	0,31	-	-	11,75
Fracción (%)	27	23	16	12	6	8	1	0	4	0	0	100

Para estimar la influencia de fuentes antropogénicas o biogénicas sobre las concentraciones de compuestos carbonílicos en el aire, se han propuesto relaciones diagnósticas como el cociente de las concentraciones formaldehído/acetaldehído (C_1/C_2) (17)(18). La relación de (C_1/C_2) está basada en la fuente de emisión del formaldehído y el acetaldehído. Específicamente el formaldehído se ha relacionado con fuentes biogénicas, donde la degradación y/o fotólisis de compuestos orgánicos volátiles (COVs) de origen biogénico conlleva a la generación de este aldehído (19). Mientras que, el acetaldehído se relaciona con fuentes antropogénicas y biogénicas. Se han obtenido valores altos de la razón C_1/C_2 , aproximadamente 10, en áreas de monitoreo muy cercanas a bosques donde hay influencia de fuentes biogénicas (20)(21). Por otro lado, se han relacionado valores pequeños de la relación entre 1-2 con fuentes antropogénicas y áreas urbanas (20) (21). En la Figura 3 se muestran los valores obtenidos por semana para esta relación. A partir de esta figura es posible observar que, durante todo el período de muestreo, los valores fueron inferiores a 2, lo que sugiere una mayor contribución de fuentes antropogénicas. Por otro lado, en la primera semana de otoño y (3,79) y en la cuarta semana (3,75) de verano, se registraron valores superiores a 3. Por lo tanto, para estas semanas, el formaldehído proveniente de la fotooxidación de los compuestos orgánicos volátiles (COVs) de origen biogénico podría ser importante, especialmente durante la tercera semana de verano. En dicho período la radiación solar fue menor que en las semanas anteriores, lo que podría favorecer la baja tasa de fotólisis del formaldehído y dar lugar a valores altos de la relación observada. Además, la concentración de acetaldehído es más baja en estas semanas, lo que podría estar asociado al aumento de la humedad relativa (aproximadamente 72%) y la consiguiente pérdida de este compuesto carbonílico por deposición húmeda. Esto concuerda con el coeficiente de correlación de Pearson obtenido ($r = -0,56$, $p < 0,05$) entre la humedad relativa y el acetaldehído.

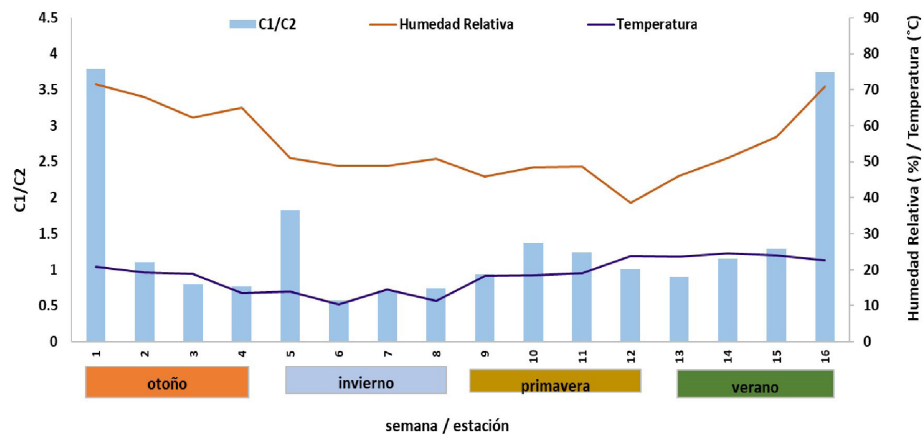


Figura 3. Valores para la relación C_1/C_2 obtenidos durante todo el período de muestreo y valores de humedad relativa y temperatura.

Potencial de formación de ozono troposférico (OFP)

Los valores calculados del potencial de ozono troposférico (OFP) se resumen en la Figura 4 donde se listan para los principales compuestos carbonílicos medidos en cada estación. Durante las estaciones de primavera y verano se obtuvieron valores estacionales de OFP de 143 y 110 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), respectivamente. Por otro lado, en otoño se determinó un valor ligeramente más alto $96,61 \mu\text{g}/\text{m}^3$ que en invierno $84 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Por lo tanto, se observa la influencia significativa de los procesos fotoquímicos que ocurren durante la primavera y el verano sobre el potencial de ozono troposférico para estos compuestos carbonílicos. Estos resultados muestran que el formaldehído, el acetaldehído, la acroleína y el crotonaldehído, son los carbonílicos más reactivos. El formaldehído y el acetaldehído representan entre el 60 % y el 70 % del total de los compuestos carbonílicos. Sin embargo, la acroleína y el crotonaldehído también contribuyen aproximadamente con un 29 % en todas las estaciones.

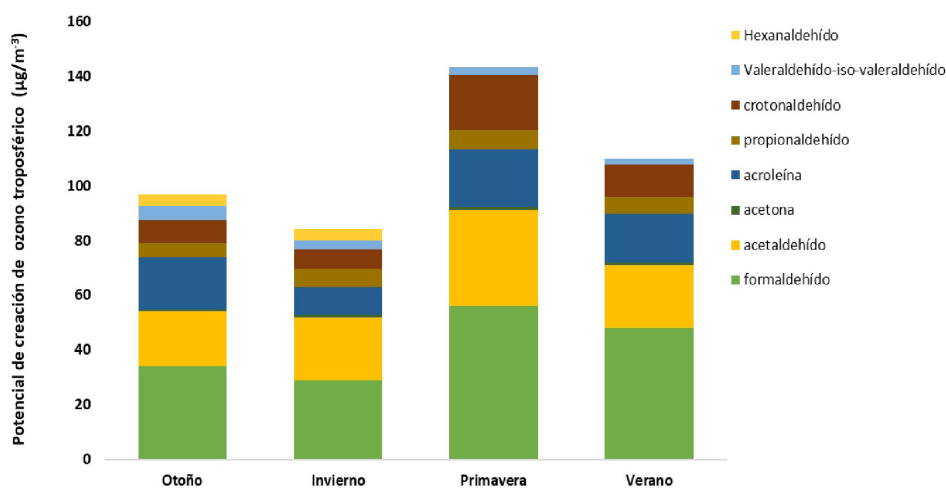


Figura 4. Potencial de creación de ozono troposférico (OFP) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ generado a partir de los compuestos carbonílicos medidos durante todo el período.

Discusión y Conclusiones

Las concentraciones de los compuestos carbonílicos medidas desde abril a diciembre del 2021, revelaron que el formaldehído es el carbonilo más abundante en el aire urbano de la ciudad de Córdoba, por lo que es necesario regular y controlar su emisión.

Dado que la presencia de los compuestos carbonílicos en el aire urbano está relacionada de forma directa con la formación de ozono troposférico, los resultados mostraron que durante la primavera y el verano son las estaciones donde la concentración de carbonílicos podría formar mayor cantidad de ozono troposférico. Así mismo, de todos los carbonílicos muestreados, el formaldehído fue el mayor productor potencial de ozono troposférico, lo que resalta aún más la importancia de regular este contaminante.

El análisis temporal mostró mayores concentraciones para los compuestos en la primavera, seguidas del verano. Por lo cual, es posible que las condiciones meteorológicas durante estas dos estaciones favorecieran la formación de dichos compuestos carbonílicos. Los valores de correlación de Pearson también confirmaron la influencia de las condiciones meteorológicas sobre las concentraciones de algunos de estos compuestos. En base a la cantidad de datos recolectados es posible concluir que algunos de los COVs carbonílicos monitoreados en este trabajo podrían seguir un patrón estacional. Sin embargo, es necesario continuar con el monitoreo en el aire de la ciudad, lo cual conducirá a una mejor caracterización de esta familia de compuestos. Asimismo, es importante profundizar y expandir los períodos de muestreo, incluyendo aquellos períodos donde ya es habitual los episodios de incendios forestales. Considerando que los incendios forestales podrían incidir sobre las concentraciones de compuestos carbonílicos en la ciudad.

Las principales fuentes de emisión de los compuestos carbonílicos durante el período muestreado son las fuentes antropogénicas, como el tráfico vehicular y la actividad industrial, mientras que, el aporte desde las fuentes biogénicas como las plantas fueron relevantes solo durante las semanas 1 de otoño y la semana 4 de verano.

Bibliografía

- (1)- Y.K. Seo, S.-O. Baek, Characterization of Carbonyl Compounds in the Ambient Air of an Industrial City in Korea, *Sensors*. 11 (2011) 949–963. <https://doi.org/10.3390/s110100949>.
- (2)- E. V. Fischer, D.J. Jacob, R.M. Yantosca, M.P. Sulprizio, D.B. Millet, J. Mao, F. Paulot, H.B. Singh, A. Roiger, L. Ries, R.W. Talbot, K. Dzepina, S. Pandey Deolal, Atmospheric peroxyacetyl nitrate (PAN): A global budget and source attribution, *Atmos Chem Phys*. 14 (2014) 2679–2698. <https://doi.org/10.5194/acp-14-2679-2014>.
- (3)- B.F.E. Blacet, J.G. Calvert, of the The Photolysis of the Aliphatic Aldehydes . concerning the primary processes proposed by, 272 (1951). <https://doi.org/10.1021/ja01146a048>.
- (4)- J. Calvert, A. Mellouki, J. Orlando, Mechanisms of Atmospheric Oxidation of the Oxygenates, 2011th ed., New York, 2011.
- (5)- V.L. Dellarco, A mutagenicity assessment of acetaldehyde, *Mutation Research/Reviews in Genetic Toxicology*. 195 (1988) 1–20. [https://doi.org/10.1016/0165-1110\(88\)90013-9](https://doi.org/10.1016/0165-1110(88)90013-9).
- (6)- G.D. Nielsen, S.T. Larsen, P. Wolkoff, Re-evaluation of the WHO (2010) formaldehyde indoor air quality guideline for cancer risk assessment, *Arch Toxicol*. 91 (2017) 35–61. <https://doi.org/10.1007/s00204-016-1733-8>.
- (7)- F. Sandner, W. Dott, J. Hollender, Sensitive indoor air monitoring of formaldehyde and other carbonyl compounds using the 2, 4-dinitrophenylhydrazine method, 279 (2001) 275–279.
- (8)- F.O. Santana, V.P. Campos, I.F. Santos, L.P.S. Cruz, A.V.S. Brito, Seasonal quimiometric study of formaldehyde and acetaldehyde atmospheric levels and health risk assessment, in urban areas of Salvador-Bahia, Brazil, *Microchemical Journal*. 147 (2019) 524–531. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2019.03.069>.

- (9)- F. Villanueva, S. Lara, M. Amo-Salas, B. Cabañas, P. Martín, S. Salgado, Investigation of formaldehyde and other carbonyls in a small urban atmosphere using passive samplers. A comprehensive data analysis, *Microchemical Journal*. 167 (2021) 106270. <https://doi.org/10.1016/j.microc.2021.106270>.
- (10)- M. Possanzini, V. Di Palo, A. Cecinato, Sources and photodecomposition of formaldehyde and acetaldehyde in Rome ambient air, 36 (2002) 3195–3201.
- (11)- IBM software, IBM SPSS Statistics, (n.d.). <https://www.ibm.com/es-es/products/spss-statistics> (accessed August 15, 2023).
- (12)- A.L. Braga, B. Siciliano, G. Dantas, M. André, C.M. da Silva, G. Arbilla, Levels of Volatile Carbonyl Compounds in the Atlantic Rainforest, in the City of Rio de Janeiro, *Bull Environ Contam Toxicol*. 102 (2019) 757–762. <https://doi.org/10.1007/s00128-019-02615-z>.
- (13)- C.C. of R. Thomson Reuters Westlaw, Barclays California Code of Regulations, Maximum Incremental Reactivity, (2010).
- (14)- S.M. Corrêa, G. Arbilla, E.M. Martins, S.L. Quitério, C. de Souza Guimarães, L.V. Gatti, Five years of formaldehyde and acetaldehyde monitoring in the Rio de Janeiro downtown area – Brazil, *Atmos Environ*. 44 (2010) 2302–2308. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2010.03.043>.
- (15)- F.W. Sousa, R.M. Cavalcante, C.A. Rocha, R.F. Nascimento, A.G. Ferreira, Carbonyl compounds from urban activities and their associated cancer risks: The influence of seasonality on air quality (Fortaleza-Ce, Brazil), *Urban Clim*. 13 (2015) 110–121. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.03.004>.
- (16)- A. Baptista, F. Villanueva, I. Filippi, B. Cabañas, M.A. Teruel, Assessment of atmospheric levels of carbonyls in an urban environment of Argentina, *Chemosphere*. 342 (2023) 140168. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140168>.
- (17)- X. Yang, G. Zhang, S. Hu, J. Wang, P. Zhang, X. Zhong, H. Song, Summertime carbonyl compounds in an urban area in the North China Plain: Identification of sources, key precursors and their contribution to O₃ formation, *Environmental Pollution*. 331 (2023) 121908. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2023.121908>.
- (18)- P.B. Shepson, D.R. Hastie, H.I. Schiff, M. Polizzi, J.W. Bottenheim, K. Anlauf, G.I. Mackay, D.R. Karecki, Atmospheric concentrations and temporal variations of C₁–C₃ carbonyl compounds at two rural sites in central Ontario, *Atmospheric Environment. Part A. General Topics*. 25 (1991) 2001–2015. [https://doi.org/10.1016/0960-1686\(91\)90280-K](https://doi.org/10.1016/0960-1686(91)90280-K).
- (19)- J. Sun, Y. He, Y. Ning, Z. Xue, H. Wang, Y. Zhang, J. Ma, X. Chen, F. Chai, Pollution characteristics and sources of carbonyl compounds in a typical city of Fenwei Plain, Linfen, in summer, *Environmental Pollution*. 320 (2023) 120913. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2022.120913>.
- (20)- Z. Jiang, B. Gosselin, V. Daële, A. Mellouki, Y. Mu, Seasonal, diurnal and nocturnal variations of carbonyl compounds in the semi-urban environment of Orléans, France, *Journal of Environmental Sciences*. 40 (2016) 84–91. <https://doi.org/10.1016/j.jes.2015.11.016>.
- (21)- L.G. Anderson, Ethanol fuel use in Brazil: air quality impacts, *Energy Environ Sci*. 2 (2009) 1015. <https://doi.org/10.1039/b906057j>.

Para citación de este artículo: BAPTISTA, Andrea; VILLANUEVA, Florentin; FILIPPI, Iohanna; CABAÑAS, Beatriz; TERUEL, Mariano (2023) “Análisis de Compuestos Carbonílicos en Córdoba: impacto en la Calidad del Aire”, en Revista Bitácora Digital Volumen 10. N° 14 Pp.63-72 (FCQ-UNC) Córdoba, Argentina.



Esta obra está bajo una licencia de Creative Commons Reconocimiento- NoComercial - 4.0 Internacional.