

Manejo integral de residuos de formaldehído: una evaluación *in situ* de su toxicidad

**Irene Fuentes-Domínguez, Carlos E. Lobato-García, Marcia E. Ojeda-Morales,
L. Lorena Vázquez-Vázquez, Sugey López-Martínez, Carlos M. Morales-Bautista***

Laboratorio de Análisis de Suelos e Hidrocarburos. Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, México. Tabasco, C.P 86690. Carretera Cunduacán-Jalpa de Méndez Kilómetro 1, La Esmeralda, 86690 Cunduacán, Tabasco México.

(*) carlos.morales@ujat.mx

Recibido: 11/07/2023

Revisado: 09/09/2023

Aceptado: 31/12/2023

Resumen

Como parte de la gestión integral de residuos de contenedores de formaldehído se evaluó la toxicidad de aguas residuales contaminadas con este compuesto. Para esto, se realizaron dos ensayos de toxicidad aguda (*Artemia salina* y *Escherichia coli*). Se encontró que el formaldehído tiene efectos sobre el crecimiento (50%) de *E. Coli* a concentraciones mayores de 6 mg/L a 24 h y a 48 h solo se inhibe el desarrollo de esta bacteria a partir de concentraciones mayores de 125 mg/L. En contraste, el ensayo de mortandad de *A. salina* alcanzó un 70% a una hora de observación a partir de concentraciones de 6 mg/L y un 100% para 3 h. Se concluye que, aunque ambos organismos presentan toxicidad a valores por debajo del límite normativo mexicano (0,9 mg/L en agua), *A. salina* es la especie más sensible y cuyas concentraciones coinciden con otros reglamentos internacionales. Por estas razones, *A. salina* puede emplearse como prueba de campo para la movilidad y manejo integral de contenedores de formaldehído que han sido tratados y son enviados a disposición final.

Palabras claves: agua residual; crecimiento; formaldehído; mortandad; toxicidad.

Abstract

As part of the comprehensive management of formaldehyde packaging waste, the toxicity of wastewater contaminated with this compound was evaluated. For this, two acute toxicity tests were carried out (*Artemia salina* and *Escherichia coli*). It was found that formaldehyde has effects on the growth (50%) of *E. Coli* at concentrations higher than 6 mg/L at 24 h and at 48 h the development of this bacteria is only inhibited from concentrations higher than 125 mg/L. On the contrary, the mortality test for *A. salina* reached 70% after one hour of observation from concentrations of 6 mg/L and 100% for 3 h. It is concluded that, although both organisms present toxicity at values below the Mexican regulatory limit (0.9 mg/L in water), *A. salina* is the most sensitive species whose concentrations coincide with other international regulations. For these reasons, *A. salina* can be used as a field test for the mobility and comprehensive management of formaldehyde containers that have been treated and sent for final disposal.

Keywords: residual water; growth; formaldehyde; mortality; toxicity.

Introducción

En la última década la industria petrolera mexicana ha tenido diversos cambios en materia legislativa, en los que destaca la reforma energética de 2013. Este evento permitió la reactivación de diversos sitios petroleros, pero a la vez se identificaron diversas zonas contaminadas. Actualmente, solo un bajo porcentaje de estos sitios han sido saneados, esto se debe a que en la mayoría de los casos no se han identificado los componentes que podrían representar riesgos a la salud y el medio ambiente^{1,2}. Por estas razones, una de las grandes problemáticas ambientales que enfrenta la industria petrolera mexicana es la remediación de pasivos ambientales, la cual conlleva la aplicación de tecnologías específicas y la gestión integral de los residuos peligrosos (RP)^{3,4}.

En el caso de los residuos, la composición suele depender del proceso donde son generados. Por ejemplo, durante exploración y producción de pozos petroleros, se generan aguas resi-

duales con altos contenidos de sólidos y sales metálicas, así como sólidos impregnados con hidrocarburos; en cambio, en los procesos petroquímicos se generan residuos ácidos (nitrógeno y sulfúrico), solventes (residuos de formaldehído y sales de urea) y fondos de tanques (asfáltenos). Un caso especial son los residuos peligrosos, ya que la normativa mexicana clasifica a estas sustancias como corrosivas, reactivas (compatibilidad química), explosivas, tóxicas e infecto-biológicas. Además, se debe tener en cuenta que estas propiedades se les confieren a los recipientes que las contengan, por lo que se les debe dar gestión y disposición final^{4,5,6}.

En este sentido, algunos reportes mencionan que en los sitios petroleros reactivados en México se han identificados diversos componentes situados en fosas de residuos y antiguas líneas de producción (recortes de perforación, derrames de hidrocarburos y alta conductividad eléctrica de derrames de aguas de producción)⁷. Así mismo, diversos residuos fueron retirados de

grandes contenedores y enviados a disposición final⁸. Por consiguiente, es necesario realizar la limpieza de los tanques y establecer concentraciones por debajo de los límites normativos, de modo que se realicen los trabajos de desmantelamiento para el envío a confinamiento, tratamiento o disposición final.

Por estas razones, la presente investigación tuvo como objetivo evaluar dos pruebas toxicológicas en campo, en las cuales se estimó la inhibición de crecimiento y la mortandad de organismos sometidos a diferentes concentraciones de formaldehído comercial. Lo anterior, con el fin de estimar las concentraciones de formaldehído en el agua que se empleó en el tratamiento de tanques que contuvieron formaldehído, y de este modo, poder realizar el desplazamiento y desmantelamiento dentro de un complejo petroquímico, así como su envío a disposición final de forma segura considerando la salud pública y la prevención de la contaminación del agua.

Sección experimental

El sitio de estudio se sitúa en el Complejo petroquímico Pajaritos en Coatzacoalcos, Veracruz, México (15 Q 339596,00 m E, 2005838,82 m N). Esta zona industrial ha operado durante décadas y es uno de los principales productores de gasolinas y otros derivados del petróleo en el sureste mexicano. No obstante, paralelamente se han suscitado emergencias ambientales y sanitarias debido a diversos accidentes industriales mayores, así como derrames accidentales, algunos de ellos han causado contaminación del medio ambiente y pérdidas humanas^{9,10}. Además, se han reportado impactos acumulativos en la zona, principalmente de metales pesados e hidrocarburos que ponen en riesgo la salud pública, el equilibrio ambiental y la producción de otros sectores económicos^{11,12}. Por estas razones, todos los trabajos que se realicen dentro del Complejo deben cumplir con protocolos señalados en las normas de seguridad e higiene en el trabajo, así como de protección ambiental^{13,14}.

En este sentido, dentro del complejo industrial existen diversas líneas de producción que fueron rehabilitadas. Los residuos generados fueron gestionados, pero en algunos casos como en la línea de urea, existen diversos contenedores (12 m³) de formaldehído cuyo contenido fue recolectado y enviado a disposición final. Pero, debido a que la normativa mexicana establece la peligrosidad que dicha sustancia le confiere a los contenedores, se lavó un tanque (7 m³) con soluciones de espuma dispersante (5% en agua potable), en total se aplicaron 5 lavados de 0,5 m³. Luego de cada lavado, se recolectó el agua residual y fue almacenada en recipientes, de los cuales se recolectó 1 L (n=3) y se les nombró como muestras problemas. Además, con el fin de reducir los riesgos de trabajos en sitios confinados, cada trabajador portaba equipo de respiración autónomo (ERA), equipo de seguridad para trabajos con sustancias químicas¹⁵ y un detector de formaldehído (HCHO/TVOC, Tangxi, con rango de detección para concentraciones > 0,004 mg/L).

Las variables analizadas fueron la concentración del formaldehído en muestras problemas y la respuesta toxicidad aguada de *E. coli* y *A. salina*. Para esto, se determinó la concentración

de formaldehído por cromatografía de líquidos con detector UV-Vis (10 µL de muestra, 70 °C, 360 nm, disolvente A: H₂O 4 mg del RP/mL agua ultrapura, disolvente B: Acetonitrilo 500 mg de RP/mL de acetonitrilo, columna analítica Agilent Zorbax XDB-C18, modo isocrático (equipo Agilent Serie 1200 con límite de detección (LD) = 0,0341 µg/mL)¹⁶. Con la finalidad de comparar las concentraciones de los diversos componentes, se empleó como testigo formaldehído comercial (Baker, 40% en agua-alcohol).

Para cada prueba de toxicidad, primero se esterilizó todo el material de vidrio mediante calor seco a una temperatura 180 °C por 4 h en estufa Memmert y, luego calor en húmedo (autoclave modelo Felisa FE-396, condiciones: 121 °C/15 min, P=1,3 Kg/cm²). También, se preparó una solución problema, este proceso consistió en pesar 500 mg de formaldehído comercial (Baker, 40% en agua-alcohol), el cual se transfirió a un matraz y se aforó con agua a un volumen de 0,5 L. A partir de esta solución, se prepararon diferentes soluciones de formaldehído de entre 1000 mg/L a 6 mg/L¹⁷.

Prueba de toxicidad por inhibición en el crecimiento de E. coli

Para evaluar los efectos del formaldehído sobre *E. coli*, primero se preparó el medio de cultivo agar Mueller-Hinton (Sigma-Aldrich), posteriormente se inoculó *E. coli* en este medio (condiciones axénicas). Previo a realizar el vaciado se agregó 1 mL de la muestra problema con 9 mL del agar Mueller-Hinton, se homogeneizó hasta solidificarse. Así mismo, se preparó una solución madre, la cual consistió en tomar biomasa de la caja de Petri que contenía la bacteria y fue agregada en un tubo de ensayo que contenía 3 mL de solución salina (0,9 % PiSA) hasta alcanzar una turbidez. Posteriormente, se introdujo un asa en la suspensión (biomasa-agua salina) y fue sembrada en forma de zigzag en toda la superficie de la placa. Finalmente, fue llevada a incubación durante 24 y 48 h a 35 °C. Durante este tiempo se observó el crecimiento de colonias bacterianas¹⁸.

Prueba de letalidad de A. salina

Para la prueba de letalidad de *A. salina* se usaron especímenes maduros (~1 cm de longitud). Las condiciones de la solución salina donde se desarrollaron fueron de 22,7 °C; pH 7,45; salinidad 9,27 mS/cm y turbidez de 1 mg/Kg. Para el ensayo, se colocaron diez especímenes en cada una de las cajas de Petri empleadas en el experimento (8 concentraciones con 5 repeticiones cada una). Cada caja contenía un volumen de 9 mL de solución salina y a cada una de ellas se agregó 1 mL de la solución de formaldehído preparadas con las concentraciones establecidas. La evaluación consistió en observar el movimiento de los nauplios durante 3 h, detectando aquellos especímenes que mostraran falta de respuesta a estímulos, falta de movimiento autónomo y deformación en sus extremidades¹⁹.

Finalmente, se realizó una prueba ANOVA (valor *p*, $\alpha = 0,05$) y un análisis de Tukey (diferencia honestamente significativa o HSD y nivel de significancia de 0,05) en Project-R para determinar diferencias significativas entre las muestras analizadas²⁰.

Discusión de resultados

Durante los trabajos de limpieza, los detectores manuales de formaldehído no registraron lecturas, aunque los trabajos se realizaron en ambientes confinados, se retiraron tapas y bridas, lo que posiblemente favoreció la dispersión de vapores. Además, los detectores de gases explosivos de la planta (que incluyen el formaldehído) tampoco registraron lecturas. Por su parte, las concentraciones de formaldehído encontradas en las mues-

tras de agua residual, se observó que la concentración decrece con respecto al número de lavados (tabla 1) y que las muestras presentan diferencias significativas entre sí ($p < 0,05$). Así mismo, se observó que después de cada lavado se reduce la concentración de formaldehído, haciendo evidente su disolución en agua y que el tratamiento es efectivo. Ambos comportamientos coinciden con la literatura^{21,22}.

Tabla 1. Concentración de formaldehído en agua residual de lavado de tanques.

Componente (mg/L)	Tr (min)	Testigo	Número de lavado				
			1	2	3	4	5
Formaldehído	6	56,11 ± 0,43	11,10 ± 0,01	2,50 ± 0,01	1,21 ± 0,01	0,80 ± 0,01	0,10 ± 0,01
Acetaldehído	8	36,12 ± 0,21	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Butanal	16	5,32 ± 0,03	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD
Hexanal	26	1,10 ± 0,01	< LD	< LD	< LD	< LD	< LD

Tabla 2. Efectos de formaldehído sobre el *E. coli* y *A. salina*.

Formaldehído (mg/L)	<i>E. coli</i>		<i>A. salina</i>	
	24h	48h	% de mortandad 1 h	% de mortandad 3 h
1000	N	N	100	100
500	I	I	100	100
250	I	P	100	100
125	P	P	90	100
63	P	A	90	100
31	P	A	80	100
16	P	A	80	100
6	A	A	70	100

N (crecimiento nulo), I (crecimiento de colonias < 25%), P (crecimiento de colonias entre un 25-50%) y A (crecimiento de colonias > 50%).

Con el fin de determinar la fracción remanente de formaldehído en los tanques según el número de lavados, se realizó el cociente entre las concentraciones de este componente encontradas después de cada lavado (donde Cf = a las concentraciones de 11,100; 2,5011; 1,2112; 0,8011 y 0,1010 mg/L de formaldehído, respectivamente) con respecto a la concentración del formaldehído comercial empleado como testigo (Ci = 56,1120 mg/L). Posteriormente, se contrastó con la cantidad de agua potable añadida (figura 1). Se encontró que para cumplir con la concentración límite marcado por la norma mexicana NOM-201-SSA1-2002 (0,9 mg/L), para un tanque de 12 m³, se necesitarían un mínimo de 1,63 m³ de agua potable con dispersante²³⁻²⁶.

Por otro parte, los resultados de las pruebas toxicológicas muestran que el formaldehído tiene efectos sobre el crecimiento (50%) de *E. Coli* a concentraciones mayores de 6 mg/L a 24 h, en contraste, a 48 h solo se inhibe el desarrollo de esta bacteria a partir de concentraciones mayores de 125 mg/L (tabla 2).

Debido a que esta prueba expone actividad de la bacteria *E. Coli* a concentraciones por encima de la norma NOM-201-SSA1-2002²³ (0,9 mg/L) y que las operaciones son de 8 h, no

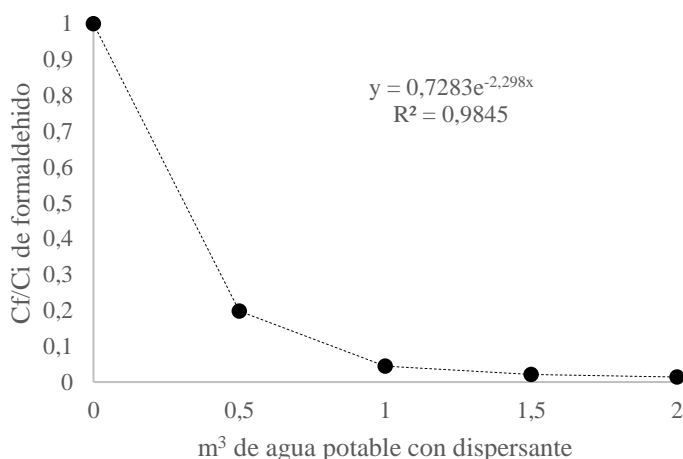


Fig. 1: Fracción de formaldehído remanente según la cantidad de agua añadida a los tanques.

se considera una prueba adecuada para emplearla en el sitio.

Por su parte, en el ensayo de mortandad de *A. salina*, ésta alcanzó un 70% a una hora de observación a partir de concentraciones de 6 mg/L y un 100% para 3 h en todas las muestras

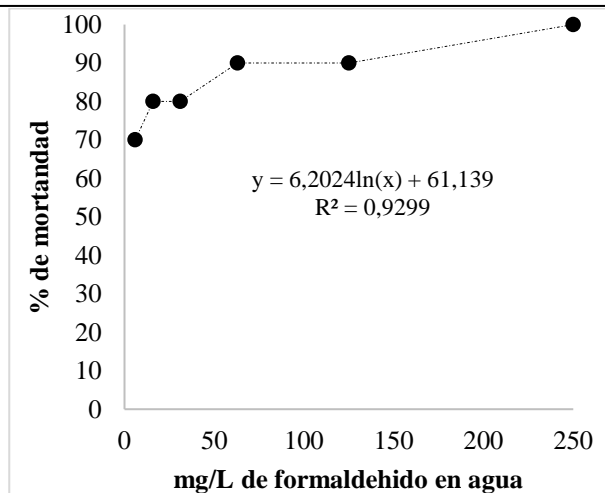


Fig. 2: Mortandad de *A. salina* en formaldehído a 1 h.

($p > 0,05$), por lo que se considera que este organismo un mejor indicador para una evaluación *in situ*.

En este sentido, considerando el cociente de las concentraciones (fracción de la concentración de formaldehído respecto a la concentración inicial, $C_i = 1000$ mg/L y $C_f = 500, 250, 125, 63, 31, 16$ y 6 mg/L, respectivamente), se contrastó con los porcentajes de mortandad de *A. salina* a 1 h (de 100% a 70% según sus respectivos valores) (figura 2). Se encontró que el 50% de mortandad ocurriría a concentraciones menores de $0,16$ mg/L, el cual se encuentra por debajo del límite establecido por la NOM-201-SSA1-2002²³ ($0,9$ mg/L).

Es importante resaltar que los efectos del formaldehído a largo plazo (crónico) sigue siendo una frontera de la ciencia, pero algunos estudios en ratas expuestas a vapores e ingesta de formaldehído (concentraciones entre 1 y 10 mg/kg de formaldehído en agua), han reportado acumulación de entre $0,73 \pm 0,27$ mg/kg y $1,13 \pm 0,22$ mg/kg, las cuales son consideradas como peligrosas para seres humanos²⁴⁻²⁶. Por ello, aunque se considere que $1,63$ m³ de agua potable con dispersante son suficientes para reducir la concentración de formaldehído a valores $< 0,9$ mg/L²³ para tanques de 12 m³ y que no se registró lectura de gases de formaldehído durante los trabajos, no quiere decir que los operadores no se encuentren en riesgo. Por lo tanto, los trabajadores deberán portar su equipo de protección personal (EPP) tipo 3, así como su respirador autónomo (ERA) y los trabajos serán máximos de 1 h dentro de los tanques^{15,27}. En cuanto a los operarios, podrán realizar trabajos usando máscaras de media cara con filtro para solventes según las recomendaciones de la normativa para formaldehído^{8,15}. Así mismo, el encargado de seguridad debe tener vigilancia sintomática de signos como hiperreactividad bronquial, dermatitis atópica, irritación ocular y dérmica que han sido reportados como efectos agudos por exposición a formaldehído^{16,28-30}.

Conclusiones

Las pruebas de toxicidad utilizando organismos vivos indicaron alta sensibilidad para *A. salina* a formaldehído, en comparación con *E. coli*. Por lo tanto, *A. salina* se considera como un

buen indicador como método de prueba de trabajos en campo para realizar maniobras de materiales tratados dentro del complejo petrolero. No obstante, debido a que la literatura establece toxicidad crónica por exposición, es importante considerar que las jornadas laborales sean pausadas (turnos de 1 h con equipos de protección) y, en el caso de los trabajos en sitios confinados, es necesario el uso de equipos de respiración autónoma y detectores portátiles de formaldehído.

Agradecimientos

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el apoyo de la beca de manutención para realizar los estudios de posgrado.

Referencias

1. RG Rodríguez. El Petróleo en México y sus impactos sobre el territorio. **Denarius**, (36), 209-209 (2019).
2. O Castrejon-Campos. Evolution of clean energy technologies in Mexico: A multi-perspective analysis. **Energy for Sustainable Development**, 67, 29-53 (2022).
3. N. Ferronato, V Torretta, Waste mismanagement in developing countries: A review of global issues. **International journal of environmental research and public health**, 16(6), 106 (2019).
4. LC Rodríguez-López, ME Ojeda-Morales, Y Córdova-Bautista, MA Hernández-Rivera, JS López-Lázaro. (2021). Recovery of impregnated hydrocarbon in drill cuttings using supercritical carbon dioxide. **Journal of Environmental Management**, 285, 112134 (2021).
5. D Pan, F Su, H Liu, C Liu, A Umar, L Castañeda, Z Guo. Research progress on catalytic pyrolysis and reuse of waste plastics and petroleum sludge. **ES Materials & Manufacturing**, 11(6), 3-15 (2021).
6. ML González-Arqueros, G Domínguez-Vázquez, R Alfaro-Cuevas-Villanueva, I Israde-Alcántara, O Buenrostro-Delgado. Hazardous solid waste confined in closed dump sites: an urgent environmental liability to attend. **Sustainability**, 13, 2557 (2021)
7. MM Yzquierdo-Ruíz, SA Torres-Sánchez, IM De la Garza-Rodríguez, ME Ojeda-Morales, E Hernández-Nuñez, CE Lobato-García, CM Morales-Bautista. Pre-evaluation of contaminated soil for oil field reactivation in Moloacan, Veracruz, Mexico. **Revista Mexicana de Ingeniería Química**, 21(2) (2022).
8. CM Morales-Bautista, QT Suaret, ME Morales-Ojeda, S Martínez-López. J Ramírez, JR Laines-Canepa, CE Lobato-García. Manejo integral del formaldehído como residuo peligroso generado en petroquímica: un caso práctico. **Avances en Química**, 17(2), 45-53 (2022).
9. NR Rivera. Asociaciones público-privadas en la reducción de riesgo de desastres. El caso de la industria química de Coatzacoalcos, México. **Gestión y política pública**, 26(1), 105-138 (2017).
10. HM Aquino-Gaspar, CO Díaz-Ovalle, A López-Molina, C Conde-Mejía, LM Valenzuela-Gómez. Incident analysis of the "Pajaritos" petrochemical complex. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, 70, 104404 (2021).
11. MDC Cuevas-Díaz, AH Hernández-Romero, D Vázquez-Luna, DA Lara-Rodríguez, O Guzmán-López, JE González-Arvizu, JI

- Ontiveros. Efecto de las actividades antropogénicas sobre la cobertura de mangle en la cuenca baja del río Coatzacoalcos. **Ecosistemas**, **29(3)**, 1954-1954 (2020).
12. MA Morales-Mora, B. Rodríguez-Pérez, SA Martínez-Delgado, E Rosa-Domínguez, C Nolasco-Hipólito, C. Human and ecotoxicological impacts assessment from the Mexican oil industry in the Coatzacoalcos region, as revealed by the USEtox™ model. **Environmental Science and Pollution Research**, **21**, 9819-9831 (2014).
13. LG Pruneda-Alvarez, T Ruiz-Vera, IN Pérez-Maldonado, I. N. (2015). Exposición no ocupacional a tolueno en diferentes escenarios de México. **Rev. Iberoam. Cienc.**, **2(3)**, 1-8 (2015).
14. SM Duarte Castillo, MA Vega Campos. Perspectivas y retos de la NOM-035-STPS-2018 para la atención de riesgos psicosociales y la promoción de entornos organizacionales favorables en México. **Trascender, contabilidad y gestión**, **6(17)**, 48-86 (2021).
15. Norma Oficial Mexicana NOM-017-STPS-2008. Equipo de protección personal-Selección, uso y manejo en los centros de trabajo. Disponible en: <https://www.gob.mx/stps/documentos/norma-oficial-mexicana-nom-017-stps-2008-equipo-de-proteccion-personal-seleccion-uso-y-manejo-en-los-centros-de-trabajo>
16. MM Villadiego-Molinares, JA Ramírez-Martínez, AI Rodríguez-Pulido. Formaldehído en ambientes laborales: revisión de la literatura y propuesta de vigilancia ocupacional. **Revista de la Facultad de Medicina**, **68(3)**, 425-437 (2020).
17. J Cantillo, R Baldiris, B Jaramillo, J Olivero. Evaluación de la toxicidad aguda (CL50) frente a *Artemia franciscana* y la actividad hemolítica de los extractos acuosos, en diclorometano y metanólico parcial de Justicia secunda (Vahl.). **Scientia et Technica**, **13(33)**, 257-258 (2007).
18. T Madigan, J Michael, M Martinko, J Parker. Brock biology of microorganisms. Vol. 11. Upper Saddle River, NJ, Prentice Hall (1997).
19. O Pino Pérez, J Lazo. Ensayo de *Artemia*: útil herramienta de trabajo para ecotoxicólogos y químicos de productos naturales. **Rev. Protección Veg.**, **22(1)**, 34-43 (2021).
20. Y Wang, J Mi. Applying Statistical Methods to Library Data Analysis. The Serials Librarian. Vol. 76. Taylor & Francis Online (2019).
21. EFV Alamilla, JDU Contreras, JJR Hernández, LL Salas, SVF Córdova, A Metelin, AGB García. Evaluación de las concentraciones de formaldehído por la aplicación de aerosoles en espacios interiores. **Kuxulkab'**, **25(52)**, 15-21 (2019).
22. M Qu, J Lu, R He. Formaldehyde from Environment. In: Formaldehyde and Cognition. Springer, Dordrecht, 1-19 (2017).
23. Norma Oficial Mexicana NOM-201-SSA1-2015. Productos y servicios. Agua y hielo para consumo humano, envasados y a granel. Especificaciones sanitarias. Disponible en: https://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5420977&fecha=22/12/2015#gsc.tab=0.
24. P Paolini, L Mazón Cuadrado, M Rosado María, MV Sánchez-Cifuentes, E Colino Romay, P Ferrocál Fernández. ¿Se puede controlar el Formaldehído? **Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo**, **25(4)**, 204-210 (2016).
25. M Naya, J Nakanishi, J. Risk assessment of formaldehyde for the general population in Japan. **Regulatory Toxicology and Pharmacology**, **43(3)**, 232-248 (2005).
26. R Tasdemir, E Acar, T Colak, F Hunc, B Bamac, H Kir, Maral, F Eraldemir, Fatma Ceyla. Investigation of Possible Oxidative Damage Caused by Formaldehyde Exposure in the Rat's Heart and Aorta Tissue. **International Journal of Morphology**, **39(4)**, 1042-1047 (2021).
27. National Research Council, & Committee on Acute Exposure Guideline Levels. (2010). Formaldehyde. In: *Eighteenth Interim Report of the Committee on Acute Exposure Guideline Levels*. National Academies Press (US) (2010).
28. Ministerio de Trabajo y Asuntos Sociales de España. NTP 590: Prevención de la exposición a formaldehído (2010).
29. P Restani, AR Restelli, CL Galli, C. L. Formaldehyde, and hexamethylenetetramine as food additives: chemical interactions and toxicology. **Food Additives & Contaminants**, **9(5)**, 597-605 (1992).
30. EH Idrobo-Avila, JA Vasquez-López, R Vargas-Cañas. La exposición ocupacional al formol y la nueva tabla de enfermedades laborales. **Revista de Salud Pública**, **19**, 382-385 (2017).