



APORTE TOXICOLÓGICO EN VÍCTIMAS CALCINADAS MEDIANTE LA DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE CARBOXIHEMOGLOBINA EN SANGRE

Palabras clave: monóxido de carbono, hemoglobina, gas, oxígeno, análisis toxicológico.

Keywords: carbon monoxide, hemoglobin, gas, oxygen, toxicological analysis.

RESUMEN

El monóxido de carbono posee características que lo hacen pasar inadvertido y ser el causante de muchos decesos porque no genera alerta en la persona que se encuentra expuesta a este, por lo cual es conocido también como “asesino silencioso”.

En el cuerpo este gas se une de manera reversible a la hemoglobina formando carboxihemoglobina, limitando el suministro de oxígeno a órganos, generando signos y síntomas, los cuales por sí solos son insuficientes para concluir e indicar que estos se deban a la exposición aguda o crónica a este gas, por lo que el análisis toxicológico es vital para confirmar su presencia en la sangre, utilizando para ello técnicas de análisis más específicas, como la espectrofotometría ultravioleta visible (UV/VIS) que permite determinar el porcentaje de este gas unido a la hemoglobina.

Diálogo Forense
Núm. 10, Vol. 5, 2024
ISSN: 2789-8458

Eugenia Floridalma Ejcalón Xinico
Laboratorio de Toxicología
Instituto Nacional de Ciencias Forenses
de Guatemala -INACIF-
eejcalon@inacif.gob.gt

Ingrid Morales Castillo
Laboratorio de Toxicología
Instituto Nacional de Ciencias Forenses
de Guatemala -INACIF-
imorales@inacif.gob.gt

Lesbia Marlene Guerra Alvarez
Laboratorio de Toxicología
Instituto Nacional de Ciencias Forenses
de Guatemala -INACIF-
lguerra@inacif.gob.gt

Luis Rodolfo Rivas González
Laboratorio de Toxicología
Instituto Nacional de Ciencias Forenses
de Guatemala -INACIF-
lrivas@inacif.gob.gt

Raúl Andrés Cabrera Hidalgo
Laboratorio de Toxicología
Instituto Nacional de Ciencias Forenses
de Guatemala -INACIF-
rcabrera@inacif.gob.gt

Recibido: 3/07/2024
Aceptado: 7/11/2024

ABSTRACT

Carbon monoxide has characteristics that make it go unnoticed and cause many deaths because it does not generate alert in the person who is exposed to it, which is why it is also known as the “silent killer.”

In the body, this gas binds reversibly to hemoglobin, limiting the supply of oxygen to the organs, generating signs and symptoms, which alone are insufficient to conclude and indicate that these are due to acute or

chronic exposure to this gas, so toxicological analysis is vital to confirm its presence in the blood, using more specific analysis techniques, such as ultraviolet-visible (UV-VIS) spectrophotometry, which allows indicating the percentage of this gas bound to hemoglobin.

INTRODUCCIÓN

La identificación y procesamiento de cadáveres calcinados presenta múltiples desafíos debido a las transformaciones morfológicas que sufren los cuerpos expuestos al fuego. Estos cuerpos pueden mostrar quemaduras superficiales, retracción de la piel, y contracción de músculos y tendones. Los órganos internos pueden estar significativamente reducidos debido a la pérdida de líquidos y el consumo por el fuego (Bohnert, 2004).

Además de la identificación del individuo, es crucial determinar si la víctima estaba viva antes de ser quemada. En este tipo de casos, es crucial la diferenciación entre quemaduras *ante mortem* y *post mortem* en la investigación forense, y se realiza mediante exámenes histopatológicos. Estos exámenes son esenciales, ya que la presencia de reacciones vitales en los tejidos puede indicar que las quemaduras ocurrieron mientras la víctima aún estaba viva (Chawla et al., 2014).

No obstante, el diagnóstico de reacciones vitales en cadáveres quemados únicamente por histopatología presenta ciertas dificultades debido a la presencia de factores que limitan la capacidad de determinar exposición *ante mortem* al calor (Bohnert et al., 2003). Para esto, es posible utilizar otro conjunto de técnicas basadas también en reacciones vitales, como la expresión de mi-ARN o estudios toxicológicos de los niveles de carboxihemoglobina.

La carboxihemoglobina (COHb) es el complejo formado cuando la hemoglobina se une a una molécula de monóxido de carbono (CO) (ver figura 1). La afinidad del CO por la hemoglobina es mucho mayor que la del oxígeno, lo que da como resultado un complejo altamente estable (Ohba, 2020). La inhalación de monóxido de carbono permite que este gas entre al torrente sanguíneo y desplace al oxígeno, formando carboxihemoglobina. Esto produce una disminución en el suministro de oxígeno a los tejidos, lo cual resulta en anoxia (figura 2).

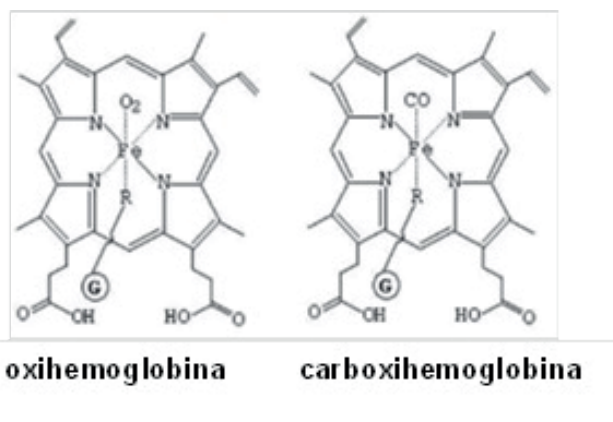


Figura 1. Estructura química de la hemoglobina asociada al oxígeno y al monóxido de carbono. Tomada de *¿Cuál es la diferencia entre el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO₂)?*, por Siafa SRL, 2024, <https://siafa.com.ar/notas-tecnicas/cual-es-la-diferencia-entre-el-monoxido-de-carbono-co-y-el-dioxido-de-carbono-co2>

El CO es producido por reacciones de combustión incompleta y es muy común encontrarlo en incendios, chimeneas, calentadores, explosiones y humo de automóviles estacionados en espacios con poca ventilación. Cuando una persona respira este gas, se favorece la formación de COHb. Algunos autores establecen que una saturación del 10 % de COHb en sangre es considerada indicativa de que la víctima respiró durante el incendio, implicando que la persona estaba viva (Sully et al., 2018). Es aquí donde entra en juego el análisis toxicológico para obtener información sobre las circunstancias que rodearon el suceso. El análisis toxicológico proporciona con frecuencia información que ayuda a la comprensión del caso.

En el presente artículo se describe un caso recibido en el Laboratorio de Toxicología del Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala -INACIF- en el 2020, el cual pretende destacar la contribución a la investigación forense para esclarecer el hecho mediante el dictamen toxicológico.

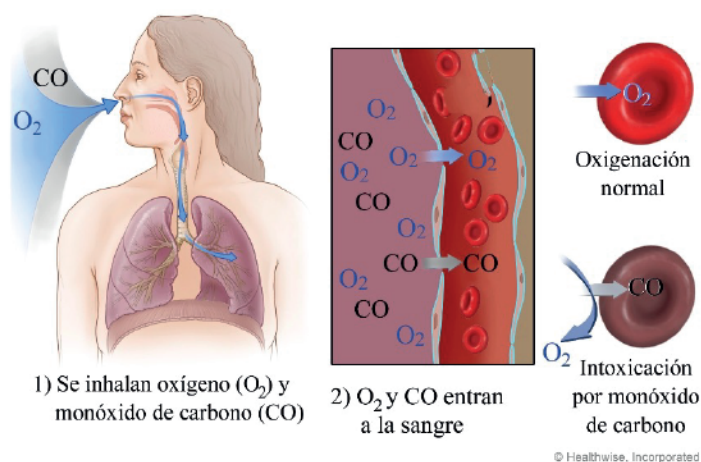


Figura 2. Proceso de intoxicación por monóxido de carbono (CO). La hemoglobina tiene una afinidad por el CO aproximadamente 240 veces mayor que el oxígeno. Tomada de *Intoxicación por monóxido de carbono*, por Healthwise Incorporated, 2024, <https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/intoxicacion-por-monxido-de-carbono-zm2552>

PRESENTACIÓN DEL CASO

En 2020 se activó una alerta por la desaparición de una persona, por lo que se iniciaron los operativos de búsqueda, que resultaron en el hallazgo de un cadáver calcinado. El caso involucraba a una persona encontrada sin vida y calcinada en una calle de un departamento de Guatemala. El cuerpo fue remitido a la morgue central del INACIF para ser identificado y determinar la causa de muerte.

Sin embargo, debido al estado del cuerpo, no se pudo determinar la causa exacta de la muerte. El victimario confesó haber matado a la víctima antes de quemar el cuerpo, pero la autoridad competente manejó la hipótesis de que la víctima podría haber sido quemada viva. Esta hipótesis necesitaba ser confirmada mediante análisis científico.

El Laboratorio de Toxicología utiliza el método de espectrofotometría UV/VIS para la identificación y cuantificación de carboxihemoglobina en muestras de sangre con preservante y anticoagulante, en casos de sospecha de intoxicación por monóxido de carbono. Para este caso, se enviaron muestras de sangre al laboratorio para realizar los análisis correspondientes.

La extracción de las muestras se realizó en la Morgue Central del INACIF siguiendo los protocolos institucionales establecidos. Las muestras fueron remitidas posteriormente al Laboratorio de Toxicología, donde se llevó a cabo el análisis para la cuantificación de carboxihemoglobina en las muestras de sangre mediante el método de reducción con ditionito de sodio (Na₂S₂O₄).

Se preparó un blanco conteniendo 2.5 ml de carbonato de sodio 0.1 %, 2 mg de Na₂S₂O₄ y 200 µl de hidróxido de sodio (NaOH) 5 M. A la muestra se le agregó 10 µl de

sangre total, y las soluciones se dejaron reaccionar por al menos 5 minutos. Las muestras se prepararon en duplicado, nombrando a cada una como muestra "A" y "B". El método utilizado fue el espectrofotométrico, empleando el ditionito de sodio como reductor de la forma oxigenada de la hemoglobina y metahemoglobina, sin modificar la carboxihemoglobina debido a su alta afinidad por el CO. Esto genera un espectro con dos picos de absorbancia en diferentes longitudes de onda. Se realizó un barrido espectral del blanco, control positivo y la muestra en un rango de 500 nm a 600 nm, utilizando el espectrofotómetro UV/VIS modelo EUV 8453 de la marca Hewlett.

Para el análisis cualitativo se compararon los espectros del blanco, el control positivo y la muestra. La cuantificación del porcentaje total de carboxihemoglobina se calculó a través de la siguiente fórmula:

$$\%COHb = \left(2.44 - \frac{A_{558}}{A_{532}} \right) \times 67$$

Donde A₅₅₈ y A₅₃₂ son los picos de absorbancia a la longitud de onda indicada. El ditionito de sodio es capaz de reducir tanto la oxihemoglobina como la metahemoglobina, dejando únicamente la carboxihemoglobina. En el presente análisis, se realizó un duplicado de la muestra, donde cada una arroja picos de absorbancia en dos longitudes de onda distintas (figura 3).

A partir de las mediciones de absorbancia a 532 nm y 558 nm y el cálculo del promedio, se obtuvo que la muestra de sangre contenía aproximadamente 30.51 % de COHb (cuadro 1).

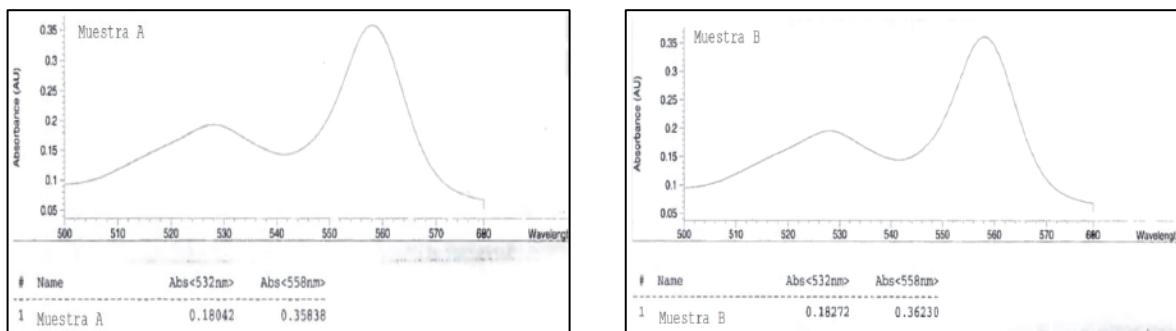


Figura 3. A) y B) Espectros de las muestras de sangre procesadas previamente mediante el método del ditionito de sodio. Ambos picos de los espectros corresponden a la forma característica de los espectros generados por la carboxihemoglobina.

Sangre con preservante y anticoagulante	Longitud de onda (nm)	Abs	% COHb
Muestra A	532	0.18042	30.39
	558	0.35838	
Muestra B	532	0.18272	30.63
	558	0.3623	
Promedio			30.51

Cuadro 1. Absorbancias obtenidas de la medición de las muestras A y B y resultados del cálculo de porcentaje del carboxihemoglobina.

DISCUSIÓN

En el caso presentado, el cuerpo de la víctima fue hallado calcinado, la incertidumbre de los familiares y de la autoridad competente era saber si la víctima aún contaba con vida o no cuando fue quemada y posteriormente calcinada; sin embargo, los hallazgos en necropsia no fueron los suficientes para responder a esta pregunta, debido a que el estado del cuerpo no permitió observar características de intercambio gaseoso, como coloración rojo-cereza del cuerpo y que solamente aparece después de la muerte (Córdoba, 2006).

Un análisis histopatológico de las vías respiratorias podría indicar si la víctima aún contaba con signos vitales, porque durante el intercambio gaseoso la víctima inhala aire caliente y humo lo cual causaría quemaduras, presencia de hollín o ceniza en estas vías, con lo cual se podría sugerir que aún se encontraba con vida; pero muchos combustibles no generan estos residuos (Gisbert y Pantoja, 2016).

Asimismo, la determinación de las quemaduras *ante mortem* y *post mortem*, indicarían si la víctima falleció antes o bien si contaba aún con vida al momento de ser

quemada. A nivel macroscópico es difícil o hasta imposible, diferenciar las quemaduras producidas ante mortem de las *post mortem*. En las lesiones producidas *ante mortem* a nivel celular habrá signos de congestión, exudado capilar e inflamación y en el examen interno signos de intoxicación por monóxido de carbono (como el color rojo cereza de sangre, músculo y vísceras) (Pulgar y Baculima, 2022).

El análisis toxicológico reveló un nivel de carboxihemoglobina del 30.51 % en la sangre de la víctima. Este nivel elevado de COHb sugiere que hubo inhalación de monóxido de carbono antes de la muerte. Los niveles normales en personas no fumadoras se consideran entre 0.4 % y 10 % (Czogala et al., 2006). Valores por encima del 10 % generalmente sugieren que la víctima estaba viva al momento de ser quemada.

Para determinar si la víctima contaba aún con vida al momento de ser quemada, se deben considerar varios factores, aunado al estudio de los diferentes órganos y cavidades, según sea posible por las condiciones del mismo, realizar algunos exámenes de laboratorios como:

determinación de carboxihemoglobina, dióxido de carbono, histopatología de la vía respiratoria y pulmones (signo de Montalti), podría brindar mayor información que indique que hubo intercambio gaseoso (Gisbert y Pantoja, 2016).

En el Laboratorio de Toxicología para la determinación de carboxihemoglobina se emplea la técnica espectrofotométrica y el método reductor con ditionito de sodio para determinar el porcentaje de carboxihemoglobina presente en la sangre. Este método ofrece ventajas, como: poca cantidad de muestra y que no requiere de mucha preparación antes de ser procesada en el equipo, poco tiempo para analizar la muestra, ya que la reacción química y lectura es rápida y su costo es relativamente bajo. Sin embargo, algunas sustancias podrían absorber a la misma longitud de onda, lo cual podría causar interferencias, generando dificultad para cuantificar (Ríos, 2011).

Esta técnica posee una limitante, ya que únicamente se pueden analizar muestras de sangre conservadas en contenedores con preservante y anticoagulante, para evitar que la acción bacteriana genere monóxido de carbono y desnaturalización de la hemoglobina que podrían generar posibles errores o dificultad para cuantificar la carboxihemoglobina presente (Baselt, 2017).

Por ello, el resultado toxicológico mediante análisis científico y los hallazgos del médico forense fueron cruciales para respaldar la hipótesis del caso y así determinar que la víctima aún contaba con vida al momento de ser quemada.

Debido al estado del cadáver fue imposible establecer si la víctima se encontraba con vida al momento de ser quemada, solamente con los hallazgos macroscópicos detectados en necropsia por el médico forense. No fue posible observar la coloración rojo-cereza del cuerpo y vísceras debido al estado del cuerpo.

La quemadura o presencia de ceniza en las vías respiratorias es un indicativo de intercambio gaseoso, pero en ocasiones éstas no se detectan por el tipo de combustible que se utiliza.

Aunado a los hallazgos histopatológicos, el análisis toxicológico determinó que la víctima contaba con vida cuando fue quemada. El nivel de carboxihemoglobina en sangre (30.51 %), sugiere que la víctima presentaba síntomas de intoxicación por monóxido de carbono catalogados de moderados a severos y que no le causaron la muerte pero la imposibilitaron para escapar y evitar morir calcinada, lo cual desmentiría lo afirmado por el victimario, quien indicó haber asesinado y posteriormente quemado a la víctima, para eliminar rastros de su crimen.

El peritaje toxicológico respalda científicamente la existencia de intercambio gaseoso en víctimas calcinadas mediante la cuantificación de monóxido de carbono unido a la hemoglobina, en este caso, se confirma que se trató de un crimen de origen intencional, ya que buscaba eliminar la evidencia.



REFERENCIAS

- Bolaños, P., Chacón, C. (2017). Intoxicación por monóxido de carbono. *Medicina Legal de Costa Rica*, 34(1), 137-146.
- Baselt, R. (2017). *Disposition of Toxic Drugs and Chemicals in Man*. Biomedical Publications.
- Córdoba, D. (2006). *Toxicología*. Manual Moderno. Bogotá, Colombia.
- Gómez, J.; Valcarce, F. (2003). Tóxicos detectados en muertes relacionadas con fuegos e intoxicaciones por monóxido de carbono. *Revista de Toxicología*, 20(1), 38-42.
- Gisbert, E. y Pantoja S. (2016). Estudio forense de la vía respiratoria en cadáveres carbonizados. *Revista Mexicana de Medicina Forense y Ciencias de la Salud*, 1(1), 7-11.
- Karch, S. (1998). *Drug Abuse Handbook*. CRC Press. 137-146.
- Kaye, S. (1988). *Handbook of Emergency Toxicology: a Guide for the Identification, Diagnosis, and Treatment of Poisoning*. Charles C Thomas Publisher.
- Bohnert, M. (2004). Morphological Findings in Burned Bodies en Tsokos, M. (Ed.), *Forensic Pathology Reviews* (1, 3-27). Humana Press.
- Chawla, R., Chawla, K., Sharma, G., Malik, Y., Aggarwal, A., (2014). Differentiation of antemortem & postmortem burns by histopathological examination. *Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 31(2), 70-74.
- Bohnert, M., Werner, C., y Pollak, S. (2003). Problems associated with the diagnosis of vitality in burned bodies. *Forensic Science International*, 135(3), 197-205. [https://doi.org/10.1016/S0379-0738\(03\)00214-7](https://doi.org/10.1016/S0379-0738(03)00214-7)
- Pulgar, D., Baculima, M. (2022). Quemaduras desde un enfoque médico-legal en Ecuador. *Dominio de las Ciencias*, 8(2), 1181-1194.
- Sully, C., Stewart Walker, G., y Langlois, N. (2018). Investigation into the potential for post-mortem formation of carboxyhemoglobin in bodies retrieved from fires. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 14(3), 342-348. <https://doi.org/10.1007/s12024-018-9998->
- Czogaa, J., Wardas, W., y Goniewicz, M. Ł. (2006). Determination of low carboxyhemoglobin blood levels by gas chromatography. *Analytica Chimica Acta*, 556(2), 295-300. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.09.074>
- Ríos, D. (2011). *Validación del método para determinación de carboxihemoglobina en sangre total por técnica espectrofotométrica con reducción con ditionito de sodio* [Tesis de maestría, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio Institucional UNAL.
- Siafa SRL (2019). *¿Cuál es la diferencia entre el monóxido de carbono (CO) y el dióxido de carbono (CO2)?*. <https://siafa.com.ar/notas-tecnicas/cual-es-la-diferencia-entre-el-monoxido-de-carbono-co-y-el-dioxido-de-carbono-co2>
- Healthwise incorporated. (2024). *Intoxicación por monóxido de carbono*. <https://www.cigna.com/es-us/knowledge-center/hw/intoxicacin-por-monxido-de-carbono-zm2552>