

Evolución hidroelectrolítica del tiempo post mortem en bovinos

Hydroelectrolytic evolution of post-mortem time in cattle

Ignacio Paniagua González⁵ ; María Candela Wiedmann⁵ 
Rosana María del Rosario Gerometta⁵ 

RESUMEN

Introducción: La estimación del intervalo postmortem (IPM) es fundamental en la práctica forense. El humor vítreo (HV) constituye una matriz útil para este fin, especialmente por sus características bioquímicas estables relativamente. **Materiales y métodos:** Se analizaron las concentraciones de potasio (K^+), sodio (Na^+) y cloro (Cl^-) en 42 globos oculares bovinos, recolectados a las 0, 2, 6 y 10 horas postmortem, en condiciones ambientales controladas. **Resultados:** El K^+ mostró un incremento significativo y progresivo con el tiempo, alcanzando un promedio de 7.90 mmol/L a las 10 horas. En contraste, Na^+ y Cl^- no evidenciaron variaciones significativas estadísticamente. **Discusión:** El ascenso del K^+ concuerda con estudios previos que lo posicionan como un marcador fiable del IPM, vinculado a la pérdida del homeostasis celular postmortem. La estabilidad de Na^+ y Cl^- podría limitar su uso para estimar el IPM, aunque sus niveles pueden aportar información clínica complementaria. **Conclusión:** Este estudio confirma el valor del K^+ en la estimación del IPM en condiciones experimentales. Su aplicabilidad forense, aunque prometedora, requiere validación en escenarios reales, considerando variables ambientales y clínico-patológicas.

Palabras clave: Medicina forense; Humor vítreo; Post mortem.

Fecha de recepción: noviembre 2024. Aceptado: mayo 2025

⁵Facultad de Medicina, Universidad Nacional del Nordeste, Argentina

Autor de Correspondencia: Ignacio Paniagua González. Email: ignaciopani21@gmail.com



Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una Licencia Creative Commons.

ABSTRACT

Introduction: The estimation of the postmortem interval (IPM) is fundamental in forensic practice. Vitreous humour is a useful matrix for this purpose, especially because of its relatively stable biochemical characteristics. **Materials and methods:** Potassium (K^+), sodium (Na^+) and chlorine (Cl^-) concentrations were analysed in 42 bovine eye-balls, collected at 0, 2, 6 and 10 hours postmortem, under controlled environmental conditions. **Results:** K^+ showed a progressive and significant increase over time, reaching an average of 7.90 mmol/L at 10 hours. In contrast, Na^+ and Cl^- did not show statistically significant variations. **Discussion:** The rise in K^+ is consistent with previous studies that position it as a reliable marker of IPM, linked to loss of postmortem cellular homeostasis. The stability of Na^+ and Cl^- may limit their use for estimating MPI, although their levels may provide complementary clinical information. **Conclusion:** This study confirms the value of K^+ in estimating IPM under experimental conditions. Its forensic applicability, although promising, requires validation in real scenarios, considering environmental and clinicopathological variables.

Keywords: : Forensic medicine; Vitreous humor; Postmortem.

INTRODUCCIÓN

La determinación del momento del fallecimiento, de acuerdo a Prieto Bonete (2018) es un aspecto fundamental en la investigación forense y médico-legal, ya que proporciona información crucial para reconstruir eventos, establecer responsabilidades y garantizar la justicia. En este contexto, la estimación del intervalo post mortem (IPM) representa un gran desafío debido a la complejidad de los procesos biológicos y fisicoquímicos que ocurren luego de un deceso.

La precisión y objetividad en la determinación del intervalo postmortem son esenciales para garantizar la validez y fiabilidad de los resultados. La importancia, según Lafferrière (2018) radica en reducir el carácter subjetivo de las apreciaciones post mortem y sustituirlo por métodos instrumentales basados en evidencias científicas. De esta manera, se han identificado una serie de fenómenos físicos, bioquímicos y microbiológicos que servirán como indicadores para estimar con mayor precisión el IPM.

Entre estos fenómenos, se destacan el descenso de la temperatura corporal, el rigor mortis, la lividez cadavérica, la acidez de los fluidos corporales y la putrefacción. Montefusco-Pereira (2016) sostiene que la combinación de métodos bioquímicos y la determinación de la temperatura ha demostrado ser efectiva para mejorar las estimaciones del IPM, especialmente cuando se realiza dentro de las primeras 24 horas luego de ocurrido el fallecimiento.

De acuerdo con Pigaiani, et al. (2020) la extracción de muestras de lugares cerrados con escasas posibilidades de contaminación postmortem, como el globo ocular, por ejemplo, se ha propuesto como una alternativa confiable, particularmente por la estabilidad que muestra frente a la descomposición y su relativa inmunidad a fac-

tores externos. De manera que, el estudio del humor vítreo surge como una prometedora herramienta para estimar el IPM.

Ubicado en la cámara vítrea entre el cristalino y la retina, el humor vítreo es uno de los componentes principales del globo ocular. Gerometta (2021) lo describe como una masa gelatinosa que contiene proteínas y gran cantidad de agua, con un significativo volumen en comparación con el tamaño total del órgano de la visión. Presenta, a su vez, una composición bioquímica específica, incluyendo electrolitos como el sodio (Na^+), el cloruro (Cl^-) y el potasio (K^+), entre otros.

Su elección como fuente de muestra para analizar los cambios en la concentración en bovinos luego de la muerte se debe a diversas razones, entre las cuales se destaca su sencilla forma de obtención y la estabilidad en su conservación, a diferencia con otros fluidos corporales. Arroyo (2004) y Matamoros (2019) manifiestan su adecuada protección frente a la contaminación y descomposición, además de la representatividad de la composición química debido a su diversa composición de elementos, cuyas concentraciones reflejan cambios metabólicos y fisiológicos ocurridos luego del deceso.

Comprender la dinámica de los electrolitos en el humor vítreo, es fundamental para afinar las estimaciones del IPM, lo que tiene un significativo impacto en investigaciones judiciales. Además, la validación de este método en modelos animales bajo condiciones controladas permite establecer bases sólidas para su aplicación forense en humanos. Este estudio contribuye al fortalecimiento de herramientas objetivas, accesibles y reproducibles para mejorar la exactitud en la determinación del momento de la muerte, un dato esencial tanto desde el punto de vista legal como ético.

MÉTODO

Se llevó a cabo un estudio cuantitativo, de diseño observacional, analítico y de corte transversal, con el objetivo de evaluar las concentraciones de iones sodio, potasio y cloro en el humor vítreo de 42 globos oculares bovinos, obtenidos como material de descarte del matadero privado de la provincia de Corrientes, mediante un acuerdo de trabajo establecido previamente.

Las actividades se desarrollaron en el Laboratorio de Fisiología Ocular “Dr. Oscar A. Candia” (LAFO) de la Facultad de Medicina de la UNNE. Se realizaron múltiples muestreos desde julio de 2023 hasta octubre de 2023, con un riguroso control del tiempo y la conservación.

Para el estudio se incluyeron globos oculares bovinos de animales adultos, clínicamente sanos al momento del deceso, sin lesiones oculares visibles, infecciones ni signos de enfermedad sistémica que pudieran alterar la composición del humor vítreo. Se excluyeron aquellas muestras que comprometieron la integridad del globo ocular, como la presencia de coágulos, evidencia de contaminación externa o cualquier alteración estructural que pudiera interferir con la obtención del humor vítreo.

En una primera fase, se planificaron las extracciones de humor vítreo a intervalos de 0, 2 y 6 horas, utilizando equipo quirúrgico especializado y material descartable adecuado. Las muestras se colocaron en recipientes etiquetados y se conservaron a 4 °C hasta el momento del análisis de las concentraciones.

En una segunda y tercera etapa, se repitió el procedimiento, aumentando el número de muestras y agregando una hora adicional a la investigación (Hora 10). Esto permitió ampliar la comprensión de la relación entre las variables y el tiempo de los electrolitos estudiados.

Los datos recolectados se registraron en hojas de cálculo de Excel® para su posterior análisis estadístico y se representaron en gráficos de barras para facilitar su interpretación.

Esta metodología garantiza un exhaustivo estudio de las concentraciones de electrolitos en el humor vítreo de bovinos, proporcionando datos relevantes para la comprensión de los cambios químicos postmortem en este fluido ocular.

RESULTADOS

Se analizaron 42 globos oculares bovinos, donde en un primer momento se estudiaron 3 pares de los mismos y en un segundo y tercer muestreo se estudiaron los 7 y 10 pares restantes respectivamente obteniendo un par como material de descarte.

Primer etapa del muestreo - Mes de Julio de 2023

Tabla 1: Niveles de electrolitos en humor vítreo después en las 0, 2 y 6 horas luego el deceso.

Hora (h)	Cl (mmol/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)
0	108.83	144.33	5.53
2	108.16	144	5.56
6	109.33	144.83	6.43

Nota: Promedio de las concentraciones de electrolitos (Cl-, Na+, K+) en el humor vítreo de bovinos a las 0,2 y 6 horas post mortem, los valores reflejan los resultados obtenidos durante la primera etapa del muestreo.

Segunda etapa del muestreo - Mes de Septiembre de 2023

Tabla 2: Niveles de electrolitos en humor vítreo después en las 0, 2, 6 y 10 horas luego el deceso.

Hora (h)	Cl (mmol/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)
0 hs.	108	139.14	6.27
2 hs.	108.64	140.20	6.74
6 hs.	109	142.71	7.67
10 hs.	110.85	144.21	8.01

Nota: Promedio de las concentraciones de electrolitos (Cl-, Na+, K+) en el humor vítreo de bovinos a las 0,2, 6 y 10 horas post mortem, los valores reflejan los resultados obtenidos durante la segunda etapa del muestreo.

Tercer etapa de muestreo - Mes de Octubre de 2023

Tabla 3: Niveles de electrolitos en humor vítreo después en las 0, 2, 6 y 10 horas luego el deceso.

Hora (h)	Cl (mmol/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)
0 hs.	108	142.78	6.15
2 hs.	107.25	141.94	6.64
6 hs.	108.25	142.36	6.86
10 hs.	109	142.10	7.90

Nota: Promedio de las concentraciones de electrolitos (Cl-, Na+, K+) en el humor vítreo de bovinos a las 0,2, 6 y 10 horas post mortem, los valores reflejan los resultados obtenidos durante la tercera etapa del muestreo.

Tabla 4: Promedio de los valores de las concentraciones de electrolitos.

Hora (h)	Cl (mmol/L)	Na (mmol/L)	K (mmol/L)
0 hs.	108.12	143.15	6.28
2 hs.	107.87	142.77	6.51
6 hs.	108.67	142.92	7.08
10 hs.	109.76	143.02	7.94

Nota: Los datos reflejan el promedio global de las concentraciones de cloro (Cl⁻), sodio (Na⁺) y potasio (K⁺) en el humor vítreo de bovinos, calculado a partir de las mediciones realizadas en las tres etapas de muestreo (0, 2, 6 y 10 horas post mortem). Estos valores resumen las tendencias observadas a lo largo del estudio.

Figura 1. Tendencia de las concentraciones de Cloro en el humor vítreo a diferentes intervalos postmortem.

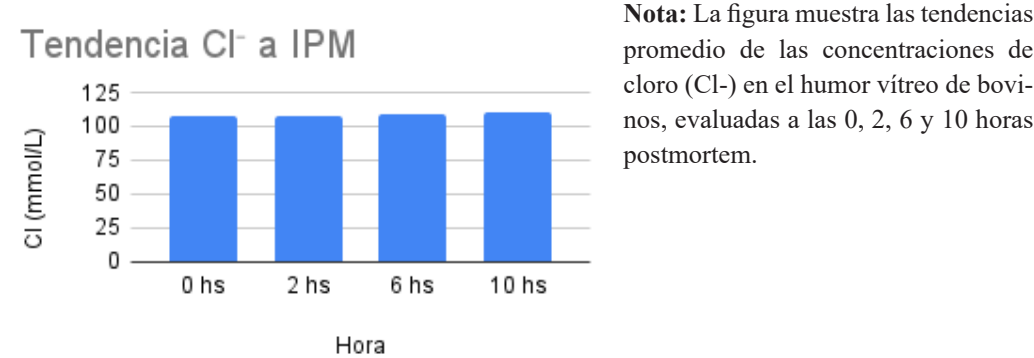


Figura 2. Tendencia de las concentraciones de Sodio en el humor vítreo a diferentes intervalos postmortem.

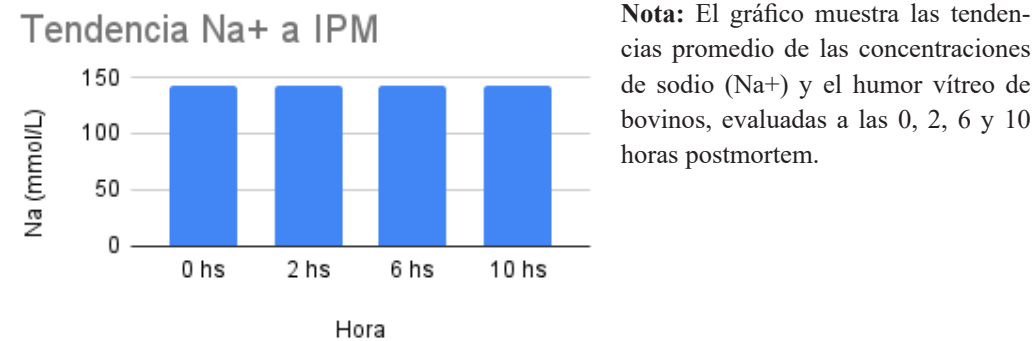
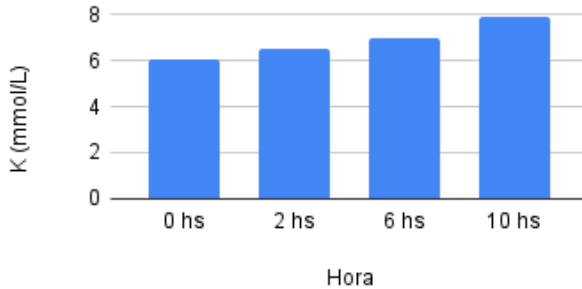


Figura 3. *Tendencia de las concentraciones de Potasio en el humor vítreo a diferentes intervalos postmortem.*

Tendencia K⁺ a IPM



Nota: La figura muestra las tendencias promedio de las concentraciones de potasio (K⁺) en el humor vítreo de bovinos, evaluadas a las 0, 2, 6 y 10 horas postmortem.

DISCUSIÓN

Este estudio proporciona sustancial evidencia sobre las variaciones en las concentraciones de electrolitos (K⁺, Na⁺ y Cl⁻) en el humor vítreo bovino durante el intervalo postmortem. En particular, se observó un incremento progresivo y significativo del potasio, alcanzando un valor promedio de 7.90 mmol/L en el tercer muestreo (10 horas postmortem). Este hallazgo es coherente con lo descrito por Pigaiani et al. (2020), quienes señalan que el potasio representa el marcador más sensible y confiable para estimar el IPM, debido a su aumento lineal en el humor vitreo como resultado del colapso de los gradientes iónicos tras la muerte. Fisiológicamente, la detención de la bomba sodio-potasio en las membranas celulares retinianas provoca una liberación pasiva de K⁺ desde el espacio intracelular hacia el humor vítreo, fenómeno que ha sido a su vez corroborado por Passos (2009), Matamoros (2019), Ave (2021).

En contraste, las concentraciones de sodio y cloro no mostraron variaciones estadísticamente significativas entre los distintos muestreos, lo cual coincide con lo señalado por Pigaiani (2020), quien indica que ambos iones tienden a disminuir ligeramente tras la muerte, pero sin una correlación robusta con el tiempo postmortem. Esta relativa estabilidad podría deberse a

mecanismos de difusión osmótica que, al no depender de la integridad metabólica celular, se ven menos afectados de forma predecible. No obstante, autores como Montefusco-Pereira (2016) destacan que las concentraciones postmortem de Na⁺ y Cl⁻ pueden estar influenciadas por condiciones clínicas previas al fallecimiento, como deshidratación, uremia o hiponatremia, lo que sugiere que su análisis puede aportar información relevante sobre el estado fisiológico anterior a la muerte.

Desde una perspectiva forense, esto refuerza el valor del potasio como marcador central para la estimación del IPM, mientras que sodio y cloro actuarían como marcadores complementarios que podrían ayudar a contextualizar el estado metabólico previo al fallecimiento. Así, su análisis conjunto no solo permite estimar el tiempo transcurrido desde la muerte, sino también aportar datos sobre posibles causas o condiciones que rodearon el deceso.

Además, aunque este estudio se limitó a electrolitos, futuros trabajos podrían integrar otros biomarcadores, como la hipoxantina reportado por Passos (2009), o marcadores moleculares como la degradación de ARNm utilizado por Wenzlow (2023), con el objetivo de mejorar la precisión del diagnóstico forense. También

resultaría interesante explorar el uso combinado de estos análisis con técnicas innovadoras como la elastografía por onda de corte investigadas por De-Giorgio (2021), que permitirían estimaciones no invasivas del IPM.

Finalmente, este trabajo propuso un protocolo de muestreo cuidadosamente diseñado para evitar la contaminación postmortem y asegurar la representatividad de las muestras. Aunque el diseño en condiciones controladas fue intencional para minimizar la variabilidad, se reconoce que su aplicación directa a contextos forenses reales requerirá adaptaciones frente a factores como temperatura ambiental, humedad o el estado de conservación del cuerpo. El número de globos oculares incluidos ($n=42$) puede considerarse una muestra representativa para un estudio preliminar,

CONCLUSIONES

Este trabajo contribuye al campo de la medicina forense al identificar al potasio en el humor vítreo como un marcador confiable para la estimación del intervalo postmortem (IPM). El incremento consistente en sus concentraciones, de 7.90 mmol/L en el tercer muestreo (10 horas postmortem), refuerza su potencial como una herramienta clave en la práctica médico-legal.

En contraste, los niveles de sodio y cloro no mostraron significativas variaciones, lo que limita su utilidad en este contexto específico. Estos resultados subrayan la necesidad de priorizar marcadores dinámicos como el potasio y explorar métodos complementarios para mejorar la precisión en la estimación del IPM.

La metodología desarrollada no solo garantiza un muestreo efectivo bajo condiciones controladas, sino que también establece las bases para futuros estudios que puedan evaluar su aplicación en escenarios forenses reales. Además, la versatilidad

pero aún es relativamente reducido para establecer intervalos de referencia robustos o para validar fórmulas predictivas del intervalo postmortem (IPM) con suficiente potencial estadístico. Por otra parte, no se evaluaron variables como el sexo, la edad o el estado nutricional de los animales, factores que podrían influir en las concentraciones electrolíticas del humor vítreo.

Otra limitación relevante es que este trabajo se centró exclusivamente en el análisis de potasio, sodio y cloro. Si bien estos electrolitos son de relevancia forense, la inclusión de otros marcadores bioquímicos (como la glucosa, lactato, hipoxantina o urea) podría ofrecer una caracterización más completa del estado postmortem y fortalecer la estimación del IPM.

del protocolo propuesto sugiere su posible implementación en diferentes especies y entornos, ampliando su relevancia en contextos médicos y legales diversos.

Como perspectivas futuras, se recomienda explorar el impacto de factores externos como la temperatura ambiente, el nivel de humedad y el estrés fisiológico previo al deceso sobre las concentraciones de electrolitos. La validación de este protocolo en condiciones no controladas y su extensión a diferentes especies representa un desafío clave para consolidar su utilidad en la práctica forense.

La metodología implementada demuestra ser eficaz y reproducible, con potencial para ser aplicada en condiciones forenses reales y extendida a otras especies. Sin embargo, futuras investigaciones deben centrarse en evaluar el impacto de variables externas, como la temperatura, tiempo transcurrido y el estrés previo al sacrificio, así como en ampliar el tamaño muestral

para validar los hallazgos en una mayor diversidad de escenarios.

En definitiva, los resultados obtenidos contribuyen al avance de la tanatología forense, proporcionando herramientas clave para mejorar la precisión y confiabilidad en la estimación del intervalo postmortem en contextos legales.

REFERENCIAS

1. Arroyo, A., Carbone, M. T., & Ordóñez, J. (2004). Bioquímica postmortem: Comparación de tres métodos de análisis. Cuadernos de Medicina Forense, (36), 35–40. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1135-76062004000200005
2. Ave, M. T., Ordóñez-Mayán, L., Camiña, M., Febrero-Bande, M., & Muñoz-Barús, J. I. (2021). Estimation of the post-mortem interval: Effect of storage conditions on the determination of vitreous humour [K⁺]. Science & Justice: Journal of the Forensic Science Society, 61(5), 597–602. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2021.07.005>
3. De-Giorgio, F., Grassi, S., d'Aloja, E., & Pascali, V. L. (2021). Post-mortem ocular changes and time since death: Scoping review and future perspective. Legal Medicine (Tokyo, Japan), 50, 101862. <https://doi.org/10.1016/j.legalmed.2021.101862>
4. Gerometta, R., & Villalba, C. (2021). Cambios en la concentración de electrolitos bovinos en función de horas post mortem. En Libro de Artículos Científicos en Salud (Edición 2021). Facultad de Medicina, Universidad Nacional del Nordeste.
5. Lafferrière, J. (2018). La fecundación post mortem en el derecho argentino: Reflexiones a partir de una sentencia judicial. Editorial La Paz. Pontificia Universidad Católica Argentina. La Ley 2018-C, 599. <https://repositorio.uca.edu.ar/handle/123456789/8933>
6. Matamoros, M., & Martín, F. (2019). Bioquímica postmortem: Revisión bibliográfica. Revista de Ciencias Forenses Honduras, 5(1), 21–29. <http://www.bvs.hn/RCFH/pdf/2019/pdf/RCFH5-1-2019-6.pdf>
7. Montefusco-Pereira, C. V., & Matos Alves Pinto, L. (2016). El humor vítreo como fluido biológico de importancia clínica en ciencias forenses. Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana, 50(1), 27–35. https://www.scielo.org.ar/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0325-29572016000100006
8. Passos, M. L., Santos, A. M., Pereira, A. I., Santos, J. R., Santos, A. J., Saraiva, M. L., & Lima, J. L. (2009). Estimation of postmortem interval by hypoxanthine and potassium evaluation in vitreous humor with a sequential injection system. Talanta, 79(4), 1094–1099. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2009.02.054>
9. Pigaiani, N., Bertaso, A., De Palo, E. F., Bortolotti, F., & Tagliaro, F. (2020). Vitreous humor endogenous compounds analysis for post-mortem forensic investigation. Forensic Science International, 310, 110235. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32169668/>
10. Prieto Bonete, G., Pérez-Cárceles, M. D., & Aurelio, L. M. (2019). Avances en nuevas matrices para la determinación del intervalo postmortem. <https://digitum.um.es/digitum/handle/10201/65859>

11. Wenzlow, N., Mills, D., Byrd, J., Warren, M., & Long, M. T. (2023). Review of the current and potential use of biological and molecular methods for the estimation of the postmortem interval in animals and humans. *Journal of Veterinary Diagnostic Investigation: Official Publication of the American Association of Veterinary Laboratory Diagnosticians, Inc*, 35(2), 97–108. <https://doi.org/10.1177/10406387231153930>

AUTORES

1. Ignacio Paniagua Gonzalez: Médico graduado de la Facultad de Medicina Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Becario en la beca de pregrado “Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional”. Año 2024.

2. María Candela Wiedmann: Médica graduada de la Facultad de Medicina Universidad Nacional del Nordeste (UNNE). Becaria en la beca de pregrado “Estímulo a las Vocaciones Científicas del Consejo Interuniversitario Nacional”. Año 2022.

3. María del Rosario Rosana Gerometta: Médica, Especialista en Docencia Universitaria, en Farmacología y en Oftalmología, Magister en Oftalmología y en Farmacología. Profesora Titular de Oftalmología UNNE.

Declaración de conflictos de intereses: Los autores declaran no tener conflicto de interés.

Financiamiento: Autofinanciado

Correspondencia: Ignacio Paniagua Gonzalez

Dirección: Facultad de Medicina, Universidad Nacional del Nordeste, Mariano Moreno 1240, Corrientes, Argentina

Correo electrónico: ignaciopani21@gmail.com