

ESTIMACIÓN DEL INTERVALO POSTMORTEM EN CADÁVERES HALLADOS EN EL MAR: EVIDENCIA PUBLICADA EN EL SIGLO XXI

ESTIMATION OF POSTMORTEM INTERVAL IN CORPSES FOUND IN THE SEA: EVIDENCE PUBLISHED IN THE 21ST CENTURY

Chiang Palma L.
Médico Criminalista en Policía de Investigaciones.
Antofagasta.
Chile.

Correspondencia: linchiangp@gmail.com

Resumen: El hallazgo de cadáveres en el agua supone un gran desafío para la Medicina Forense; la dificultad para establecer un intervalo postmortem fue una constante para los equipos de investigación durante el siglo XX. Se realizó una revisión bibliográfica para conocer la evidencia publicada desde el año 2000 respecto a la estimación de un intervalo postmortem en cadáveres hallados en el mar, siendo seleccionadas 8 publicaciones, las cuales fueron analizadas y comparadas, permitiendo generar recomendaciones para los médicos forenses respecto al análisis de un cuerpo sumergido en el mar y sobre qué elementos investigar en el lugar del hallazgo, permitiendo así pronunciarse con mayor certeza en estos casos, en base a evidencia científica.

Palabras clave: Cadáver, Mar, Inmersión, Intervalo Postmortem.

Abstract: Corpses found in water are a great challenge for Forensic Science; the difficulty in establishing a postmortem interval was a constant for the research teams during the 20th century. A review was made to look over the evidence published since the year 2000 regarding the estimation of a postmortem interval in corpses found in the sea; eight publications were selected, which were analyzed and compared, allowing to generate recommendations for forensic doctors regarding the analysis of a body submerged in the sea and on what elements to investigate in the place of the finding, thus allowing to pronounce with certainty in these cases, based on scientific evidence.

Keywords: Seawater, Cadaver, Immersion, Corpse, Postmortem Interval

INTRODUCCIÓN

El hallazgo de cadáveres en el mar supone un gran desafío para la Medicina Forense. En la región norte de un país costero, como Chile, es habitual el hallazgo de cadáveres en el mar, ya sea por muertes de tipo accidental, suicida u homicida. Como se sabe, los fenómenos cadavéricos ofrecen escasa orientación respecto a la data de muerte en estos casos al verse afectados por numerosos factores; lo anterior es aún más complejo cuando no se cuenta con identificación ni con información policial y, por lo tanto, no se tienen antecedentes sobre la última vez que fue visto vivo.

En la literatura se señala la dificultad de establecer un Intervalo de Sumersión Postmortem (PMSI), sin dar respuestas ni posibles soluciones; Gisbert –Calabuig [12] señala que la data de la sumersión no necesariamente coincide con la de la muerte y que la variabilidad con la que se manifiestan los fenómenos cadavéricos inmediatos (como el enfriamiento) hace muy imprecisa su aplicación en el tanatocronodiagnóstico. Si bien hay estudios que han usado los valores de electrolitos en humor vítreo en casos de cadáveres sumergidos [7,15], se han orientado principalmente a la causa de muerte o medio de inmersión, sin encontrarse validado su uso para la estimación de intervalo postmortem; Dolinak [11] señala que se pueden registrar diferencias en mediciones de potasio en humor vítreo entre ambos ojos y su uso no está validado en cadáveres sumergidos; además expone que los cuerpos sumergidos, una vez que son sacados del agua, sufren una descomposición más rápida que si hubieran estado en un ambiente seco todo el tiempo. Es importante

hacer mención al proceso de saponificación, el cual suele iniciar alrededor de los 3 meses, sin embargo su momento de aparición y desarrollo también son muy variables, llegando a ser observada hasta en 1-2 semanas. [11,12].

En 1977, Reh [14] estimó la secuencia de características morfológicas de 395 cuerpos hallados en el agua del Río Rhin; estudió: desprendimiento de epidermis, enfisema, red venosa superficial, pérdida de vello corporal, transudado en cavidad pleural, sangre en cavidades cardíacas, licuefacción cerebral, estado de las uñas, y maceración de las manos. A partir de este estudio, generó una tabla y diagramas para establecer un tiempo de permanencia (mínimo y máximo) determinado del cadáver en el agua según la temperatura promedio del mes al momento del hallazgo. Importante destacar que para este estudio el cuerpo debía permanecer almacenado 2 a 3 días a, aproximadamente, 4 grados Celsius, previo a la autopsia. En el año 2010, Doberentz y Madea [9] publicaron un artículo en el cual realizaron un cálculo del tiempo de inmersión mediante la aplicación de la tabla de Reh [14] en 73 cadáveres hallados en la misma región y cuyo intervalo post mortem era conocido; se logró establecer que las temperaturas del agua en el Río Rhin han aumentado con los años, afectando por lo tanto la utilidad de la tabla, la cual debería adaptarse de acuerdo a la temperatura registrada al momento del hallazgo, independiente del mes en que se encuentre, para no subestimar el intervalo de tiempo de inmersión.

En los textos y trabajos mencionados queda pendiente el estudio de muchos factores, como la diferencia entre la composición y tonicidad del agua de mar, versus el agua fresca de un río, el efecto de la corriente del mar en la secuencia en los cambios morfológicos, los microorganismos existentes en los medios acuáticos, entre otros.

Es relevante preguntarse cómo ha avanzado en los últimos años nuestro conocimiento respecto a los cadáveres hallados en el agua de mar y qué nuevos métodos se encuentran en estudio actualmente.

OBJETIVO

Esta revisión bibliográfica pretende recopilar y analizar la evidencia publicada respecto a la estimación del intervalo postmortem en cadáveres hallados en Agua de mar durante el siglo XXI.

METODOLOGÍA

Utilizando las palabras claves: "Seawater"[Mesh], "Postmortem Changes"[Mesh], "Cadaver"[Mesh], "Immersion"[Mesh], "Corpse" y "Postmortem Interval", se realizó una Búsqueda bibliográfica en las siguientes bases de datos: Pubmed, Cochrane Library, Embase obteniendo 97 resultados. Se incluyeron todos aquellos que abordaran el tema "Estimación de intervalo postmortem en cadáveres en agua de mar"; fueron considerados estudios realizados en cadáveres de otros mamíferos y aquellos que apuntaran a establecer un Intervalo mínimo de sumersión, ya que si bien no coincide necesariamente con el Intervalo post mortem, permite orientar a una data mínima de muerte.

Fueron excluidos múltiples estudios que se enfocaban en determinar causa de muerte o que se desarrollaron en agua fresca, dulce, de río u otra que no fuera salina y/o marina. Finalmente sólo se seleccionaron los que estuvieran publicados del año 2000 en adelante, quedando finalmente seleccionados 8.

Resultados:

Se realizó un resumen, traducción y análisis de cada estudio, con énfasis en su metodología, resultados y discusión, con el fin de establecer el aporte que realiza cada uno a resolver un tema con diversas aristas y que a lo largo de los años ha parecido un problema imposible de resolver. El resumen de este análisis se presenta en el siguiente cuadro:

Nombre y año	Materiales y métodos	Resultados	Discusión/Conclusiones
<p>Cooling Rates of the Ear and Brain in Pig Heads Submerged in Water. [4] <i>Baccino et al ,2007</i></p>	<p><i>Estudio 1:</i> Se usaron 2 cabezas y 2 cuerpos de cerdos adultos. Se utilizaron termómetros que se implantaron a través de sondas registrando uno la temperatura cerebral y el otro la timpánica. El primer grupo permaneció inmerso en agua a una temperatura de 1 ° C, y el segundo grupo a una temperatura ambiente de 0°C. <i>Estudio 2:</i> En cada temperatura se usaron dos cabezas, una se mantuvo en agua mientras otra se mantuvo a temperatura ambiente. Se compararon las temperaturas cerebrales y timpánicas medidas en agua y en aire.</p>	<p><i>Estudio 1:</i> Las temperaturas registradas de la cabeza aislada y del cuerpo completo mostraron un Coeficiente de correlación de 0.98-0.99. Es decir, se consideraron equivalentes. <i>Estudio 2:</i> Hubo un Coeficiente de correlación de 0.99 entre las temperaturas cerebral y timpánica. El enfriamiento fue más rápido en agua que en el aire en una misma temperatura. El índice Agua/Aire desciende de 1.83 en 0°C a 1.2 en 20°C, por lo tanto el índice disminuye a medida que aumenta la temperatura.</p>	<p>Se estableció que el enfriamiento en la cabeza aislada se comporta de forma muy similar que en el cuerpo completo. El enfriamiento es más rápido en agua que en aire. La temperatura timpánica y cerebral en el cerdo probaron ser casi equivalentes en aire y en agua. Esto podría no ser igual en el humano, ya que el canal auditivo externo es mucho más corto que en el cerdo y el cerebro del cerdo es más pequeño que el humano. Los resultados sólo serían válidos en cadáveres sumergidos en aguas sin corriente. Estos resultados proveen datos relevantes en cuanto al patrón de enfriamiento en mamíferos y su implicancia en la estimación del PMI en cuerpos hallados en agua.</p>
<p>The effect of the duration of corpse immersion on the occurrence of selected morphological findings. [5] <i>Bloch-Boguslawska et al, 2008</i></p>	<p>173 cuerpos, hallados en el Mar Báltico, en Polonia, fueron almacenados durante 2 días en una cámara frigorífica, luego se realizó un examen externo y posteriormente la autopsia, con énfasis en los cambios morfológicos señalados por Reh en 1977. Se dividieron en dos grupos: los hallados en meses más fríos</p>	<p>Para establecer la relación entre el número de días de permanencia en el agua y los cambios morfológicos, se calculó el coeficiente de correlación de Spearman. Para comparar el número de días de permanencia en el agua entre los cuerpos que poseen un determinado factor y aquellos que no lo presentaron, se usó la Prueba de Mana-Whitney. En base a los resultados, el tiempo de permanencia del cuerpo en el agua demostró tener impacto en</p>	<p>El enfisema, el exudado pleural pútrido y algunos cambios en la piel de extremidades parecieran desarrollarse independientemente al tiempo de inmersión. Las temperaturas registradas no son exactas ya que se basan en los valores medios dados por el Instituto Meteorológico, lo ideal sería realizar la medición de la temperatura en el lugar y a la profundidad precisa en la que se encuentra el cuerpo en el agua. En muchos casos no hubo datos sobre las circunstancias de la muerte que hicieran posible</p>

	<p>(temperatura promedio 8°C) versus meses más cálidos (temperatura promedio 13 ° C). Luego, se comparó el tiempo estimado de permanencia en el agua según los hallazgos, versus el estimado según el momento de su desaparición. Se utilizaron los siguientes métodos estadísticos: Test de Mana -Whitney, y el coeficiente de correlación de Spearman.</p>	<p>las siguientes características: fase cromática de descomposición, pérdida del cabello, aparición de "Piel de lavandera" en los dedos, pérdida de las uñas, falta de sangre en cavidades cardiacas, y putrefacción cerebral. Se encontró convergencia entre las datas estimadas en 41 casos y discrepancias significativas en 9 casos.</p>	<p>establecer una data para comparar, lo cual afecta negativamente a los resultados obtenidos. La información de las circunstancias de la muerte, debería incluir datos como la profundidad y la temperatura del agua. Los resultados confirman el impacto del tiempo de permanencia en el agua en algunos de los cambios morfológicos analizados.</p>
<p>The Potential to Determine Postmortem Submersion Interval Based on Algal/Diatom Diversity on Decomposing Mammalian Carcasses in Brackish Ponds in Delaware. [17] <i>Zimmerman y Wallace,</i> 2008</p>	<p>Se realizó en estanques de agua salobre en Delaware. Se registró la salinidad y temperatura del agua y se calcularon los Grados-día acumulados (ADD). Se usaron lechones mortinatos como grupo experimental y como control se usaron azulejos de cerámica en bloques de concreto, colocándolos dentro de los estanques. Se observó la evolución de la descomposición y se tomaron distintas muestras para identificar especies de algas. En el estanque 1, se tomaron muestras durante Mayo; en el estanque 2, se tomaron durante Julio. Se utilizaron los siguientes métodos estadísticos: Análisis</p>	<p>En el estanque 1 se requirió un mayor número de grados-días para llegar a una descomposición completa en comparación con el estanque 2. Los géneros más abundantes en ambos estanques fueron: Amphora, Nitzschia, Pinnularia, Navicula, y Cyclotella. El índice de Sorenson calculado fue de $C = 0.58$ para la similitud de las Diatomeas entre ambos estanques. Se calculó el índice de Sorenson para medir la similitud de las Diatomeas entre los sustratos de cerdo y de azulejo, en el estanque 1 el valor fue de $C = 0.35$, mientras que en el estanque 2 fue de $C = 0.69$. El coeficiente de correlación de Spearman reveló una relación inversa entre el número de especies de Diatomeas y las etapas de la descomposición en ambos estanques.</p>	<p>La asociación de los ADD con el crecimiento de algas durante la descomposición puede ser vital para cálculos de PMSI en sistemas acuáticos. Fauna local y carroñeros podrían haber acelerado la descomposición de los cuerpos. Se encontró una superposición en las especies encontradas en ambos estanques, esto puede estar asociado a un factor estacional/temporal, ya que las muestras se tomaron en meses diferentes en cada estanque. Los resultados sugieren que un azulejo o roca no puede usarse para simular un cadáver mamífero en un medio acuático. A medida que avanzaron de las etapas de la descomposición, el número de especies de Diatomeas fueron en descenso, esto podría ser el resultado de la pérdida de nutrientes además de una menor superficie para colonizar. La relación significativa entre la diversidad de algas y el tiempo, se ha sugerido como una metodología para estimar el PMSI.</p>

	simple de la varianza (One-way ANOVA), el índice de Sorenson y el coeficiente de correlación de Spearman.
Marine bacterial succession as a potential indicator of postmortem submersion interval. [8] <i>Dickson et al, 2011</i>	<p>Se llevó a cabo en Nueva Zelanda. Se usó una cabeza durante el otoño y dos durante el invierno (inicio y final de estación); cada una se puso en el mar dentro de una jaula cubierta a una profundidad de 3-5 metros. Se tomaron muestras, en intervalos de 2-4 días, en tres sitios: piel en mejilla, hocico y herida en el cuello. Se monitorizó la temperatura durante todo el experimento, calculándose los Grados-días acumulados (ADD). Se extrajo ADN bacteriano, el cual se cuantificó, amplificó y otra serie de procesos para finalmente identificar a distintas especies.</p> <p>La temperatura del agua fue superior durante Otoño. La etapa de putrefacción inicial en otoño duró del día 4 (50 ADD) al 6 y en invierno desde el día 7 (40 ADD a mediados del invierno; 55 ADD a fines del invierno) hasta el 9; la etapa de putrefacción avanzada duró desde el día 7 (107 ADD) hasta el día 9 en otoño y del día 11 (68 ADD a mediados del invierno, 93 ADD a fines del invierno) hasta el día 13 en invierno. La etapa de deterioro avanzado duró siete días en invierno, comenzando el día 14 y al menos dos días en otoño, comenzando el día 10 (148 ADD). La mayoría de las bacterias identificadas correspondían a γ - Proteobacterias y también al phylum Bacteroidetes. Se identificaron distintas especies que resultaron características de cada sitio de toma de muestra, algunas resultaron características de una estación en particular, y finalmente se identificaron aquellas bacterias que resultaron específicas para un tiempo de inmersión corto y otras específicas para un tiempo de inmersión prolongado, clasificándolas según días y ADD.</p> <p>Los restos parciales muestran patrones de descomposición bastante diferentes a los cadáveres completos. Puede realizarse una correlación entre los ADD y el inicio de las etapas de descomposición. Si los cadáveres en el presente estudio no hubieran permanecido en jaulas, la descomposición pudo haber avanzado a un ritmo más rápido. Un muestreo previo a los 3 días de inmersión aclararía más los patrones de colonización bacteriana temprana o precoz. Las diferencias en las bacterias son útiles para elegir sitios para tomar muestras en un cuerpo humano recuperado del entorno marino. Es necesario establecer patrones de sucesión para cada estación del año. Se identificaron colonizadores específicos para cada estación y para determinados intervalos de inmersión (precoz o tardío), lo cual puede resultar útil para la estimación PMSI de los cuerpos recuperados de las aguas marinas de la región de Otago. Se desconoce cómo la ropa y la depredación por los carroñeros marinos afecta la colonización bacteriana de la piel, y si estos resultados pueden homologarse a cadáveres humanos.</p>

<p>Evaluation of the floating time of a corpse found in a marine environment using the barnacle <i>Lepas anatifera</i> L. (Crustacea: Cirripedia: Pedunculata). [13] <i>Magni et al, 2015</i></p>	<p>Un cadáver de sexo masculino fue encontrado en la costa del Mar Tirreno en Italia en avanzado estado de descomposición con formación de adipocira; estaba completamente vestido, se registró la temperatura ambiental y del agua; se recolectaron crustáceos cirrípedos de los pantalones y los zapatos para su análisis, fueron identificados como <i>L. anatifera</i>.</p>	<p>En los meses previos al hallazgo, se registraron temperaturas especialmente bajas en el Mar Tirreno. Se estimó la data de los crustáceos en base a la medida del largo del Capitulum y la tasa de crecimiento estimada más lenta (0.20 mm/día). El resultado es un mínimo de 65 días como tiempo de flotación. La flotabilidad de un cadáver usualmente ocurre luego de 8–10 días en agua tibia, pero puede requerir hasta 2-3 semanas en agua fría.</p>	<p>Los Cirrípedos son crustáceos, <i>L. anatifera</i>, es un invertebrado acuático que vive justo por debajo de la superficie del agua. Las especies de <i>Lepas</i> pueden alcanzar el tamaño adulto en 1 a 2 meses o menos. La tasa de crecimiento aumenta con una temperatura elevada y flujo de corriente, puede verse restringida por competencia y condiciones ambientales adversas. Fue posible establecer un tiempo mínimo de sumersión de 65 días con extensión a aproximadamente 90 días si se considera la flotabilidad del cuerpo.</p>
<p>Postmortem Intervals in Mice Submerged in Aqueous Environments at 20°C. [10] <i>Celata, 2015</i></p>	<p>Se dejaron 54 cuerpos de ratones, divididos en tres grupos de 18 (control, agua dulce y agua de mar), por 6 semanas en una incubadora con ambiente controlado. Cada 7 días tres especímenes de cada grupo fueron removidos para su análisis (flotabilidad, peso, temperatura y circunferencia abdominal). Se clasificó el Desprendimiento de piel en “ninguno”, “leve” y “extremo”. Se observaron las vísceras tras su disección para estimar la licuefacción. Se usaron fórmulas de regresión para predecir la progresión de la descomposición.</p>	<p>Desprendimiento de piel: Casi todos los especímenes en medios acuáticos tuvieron desprendimiento “extremo”, en el grupo control no hubo desprendimiento alguno. Temperatura: En el grupo control y el de agua dulce el rango fue similar entre 18–22°C. En ninguno de los grupos se obtuvieron resultados de regresión significativos. Licuefacción: En el grupo control no se logró identificar los órganos en la disección a las 2 semanas, mientras que en agua dulce esto sucedió a las tres semanas, y en el agua marina en la quinta o sexta. Circunferencia Abdominal y peso: En el grupo control hubo un descenso estable y mantenido, en medio acuático, la circunferencia fue en aumento, sin existir una diferencia significativa entre agua dulce y agua marina.</p>	<p>Debido a la absorción de agua, el edema fue mayor en los medios acuáticos. El grupo control presentó licuefacción avanzada en los órganos en las últimas semanas y externamente el deterioro fue más gradual. Por la alta salinidad, en el agua marina, se observaron signos de deterioro y licuefacción en órganos internos más lentamente que en el agua dulce. La sumersión tanto en agua dulce como en agua marina producen intenso desprendimiento de piel, siendo mayor en el agua marina. También es relevante que se congelaron los cuerpos, previo a su inmersión en los ambientes respectivos. Los datos recolectados del experimento demuestran que la sumersión altera las tasas y etapas de deterioro o descomposición en los mamíferos.</p>

Impact of Marine Submergence and Season on Faunal Colonization and Decomposition of Pig Carcasses in the Salish Sea.	En el Mar Salish, en el Estrecho de Georgia, Canada. Se utilizó una plataforma instrumental con cámara digital y sensores para registrar temperatura, salinidad, presión conductividad, densidad, turbiedad, velocidad del sonido y niveles de oxígeno. Uno de los cerdos quedó expuesto, mientras que el segundo estaba protegido con una jaula de metal. El primer experimento se realizó en la Primavera del 2012 y el segundo en Otoño del 2013. A través de la cámara se observaron los restos hasta que finalmente fueron recuperados en el día 166 del experimento en Primavera y el día 134 en Otoño.	Los Anfípodos <i>Lyssianassidae</i> fueron atraídos inmediatamente a los cuerpos en ambas estaciones y se ubicaron en gruesas capas sobre los cuerpos y plataforma en el día 1 en Otoño y día 2 en Primavera; fueron en aumento hasta la esqueletización; ocasionalmente dejaban expuesta piel intacta, indicando que se alimentan de vísceras, tejidos y músculos, dejando la piel para el final. Al final del día 3 en Primavera se observaba esqueletización parcial, mientras que en Otoño los restos estaban completamente esqueletizados (tanto el cuerpo expuesto como el cubierto). En Otoño, el número de <i>P. platyceros</i> fue mayor y se mantuvo muy alto hasta la recolección final. En primavera en los días 9-11, se evidenció el descenso de agua fresca de río, generando una baja en la salinidad, temperatura y aumento en los niveles de oxígeno. Hubo una marcada baja en los niveles de oxígeno en Otoño, que coincidió con la actividad de los Anfípodos. Dicho fenómeno no se observó en Primavera. La temperatura fue similar, siendo ligeramente más cálida en Otoño.	Aunque en la cámara los Anfípodos se veían similares, es posible que hubiera más de una especie presente. La ausencia de la caída en los niveles de oxígeno en la Primavera podría deberse a que uno de los sensores se encontraba más lejano. No se lograron apreciar las clásicas Etapas de Descomposición, ya que los cuerpos fueron rápidamente consumidos por carroñeros. La acción de los Anfípodos fue bastante similar tanto en Primavera como en Otoño, tanto en el cuerpo expuesto como en el cubierto. La caída en los niveles de oxígeno durante la actividad de los Anfípodos puede ser un factor responsable de la ausencia de otra fauna. La temperatura en Primavera fue ligeramente más fría debido a los niveles de agua fresca de río. Las bajas temperaturas no tienden a afectar la actividad de los Anfípodos. En este estudio, a diferencia de lo que señalaban estudios previos, se observó esqueletización en tan sólo 3-4 días, con persistencia de restos óseos hasta 6 meses o más.
An Aquatic Decomposition Scoring Method to Potentially Predict the Postmortem Submersion Interval of Bodies Recovered	Se usaron fotografías de casos con Intervalo de sumersión postmortem (PMSI) establecido, en el Mar del Norte entre los años 1990 - 2013. Se	Los resultados del Coeficiente de Krippendorff para las tres regiones anatómicas FADS, BADS, y LADS fueron de 0.93, 0.93, y 0.96. Se calculó la correlación entre el puntaje TADS y el	El método ADS, fue desarrollado y validado, constituyendo un método estandarizado para cuantificar el grado de descomposición en cadáveres hallados en ambientes acuáticos, en este caso el Mar del

from the North Sea [16]	<p>desarrolló un Método de Puntaje de Descomposición en Medio Acuático (ADS), a través de la observación de características morfológicas y su comparación con un Atlas referencial, dividido en un ítem Facial (FADS), uno corporal (BADs), y uno de extremidades (LADS), la suma de éstos representa el total (TADS). Este método se puso a prueba con 12 voluntarios (Policías, estudiantes de Medicina y Médicos forenses).</p>	<p>PMSI calculado, observándose un valor alto ($r = 0.928$; $p < 0.001$). La mejor correlación se calculó en el puntaje BADs ($r = 0.933$; $p < 0.001$); en el caso de LADS también resultó elevado ($r = 0.905$; $p < 0.001$) y fue relativamente bajo en el caso de FADS ($r = 0.871$; $p < 0.001$). Se calculó la precisión con que se puede calcular el PMSI a través del puntaje TADS resultando un valor estadísticamente significativo ($b = 0.905$ $t(1,29) = 11.447$, $p < 0.001$).</p>	<p>Norte. Este sistema se podría aplicar previo a realizar la autopsia y se podrá aplicar tanto por profesionales médicos como no médicos. Se ha demostrado un alto grado de precisión en la estimación del PMSI usando el puntaje TADS; esta precisión podría aumentar al tomar en cuenta otros factores como la temperatura, posición en el agua, vestimenta, lesiones en piel, etc.</p>
--------------------------------	--	--	--

DISCUSIÓN

En los estudios seleccionados se analizaron distintos elementos y características de un medio acuático para lograr estimar un intervalo postmortem en un cadáver hallado en agua de mar, con la mayor certeza posible.

Temperatura: Es un factor indispensable para analizar en un medio acuático. En los estudios analizados en esta revisión destaca el uso de la temperatura timpánica como homólogo de la temperatura cerebral en cabezas de cerdo [4], siendo relevante porque la medición timpánica resulta mucho más práctica, sin embargo sería necesario comprobar que dicho resultado es similar al utilizar una cabeza humana, existiendo muchas diferencias anatómicas. Otro aspecto a analizar es la temperatura del agua en el mar; hay diferencias entre los estudios, algunos obtienen dicho valor en bases de datos locales [5], mientras que otros plantean que lo óptimo es realizar la medición en el preciso lugar del hallazgo y, dentro de lo posible, a la misma profundidad [13, 3, 8, 17].

Varios estudios se realizaron en meses y en estaciones diferentes [5, 17, 8, 3] a fin de observar cómo se comportan los distintos factores medidos con el paso del tiempo; como es de esperar se observaron marcadas diferencias en la temperatura en distintas estaciones. En el experimento de Anderson y Bell [3], contrario a lo que comúnmente se observa, la temperatura fue más cálida durante otoño en comparación a primavera, dado que en esta estación hubo un afluente de agua de río hacia el mar que modificó la temperatura, la salinidad y niveles de oxígeno; esto refuerza la afirmación de que es imposible extrapolar información de un experimento realizado en una determinada región a una investigación localizada en una región diferente, cuyos factores varían. Dickson en 2011 [8] estableció que, en el mar de una región de Nueva Zelanda, habían especies bacterianas determinadas que se presentaban exclusivamente en otoño, mientras que otras fueron observadas solamente en invierno; además dentro de una misma estación se establecieron patrones de

sucesión, permitiendo aproximar un intervalo de inmersión a partir del análisis de las especies bacterianas que colonizan al cuerpo, en una región determinada.

Un elemento relevante que debería estandarizarse es la refrigeración del cadáver previo a la autopsia, algunos estudios plantean un almacenamiento del cuerpo a 2-4°C por aproximadamente 2 días [14, 9, 5], por lo tanto, al no contar con un protocolo similar es imposible usar como referencia los resultados de dichos estudios, y aplicarlos a la realidad local donde nos desempeñamos.

Un elemento interesante abordado en dos de los estudios [17, 8], es el cálculo de los Grados-días acumulados (Accumulated Degree Days o ADD) para su uso en estimación de PMSI; constituyen una medida de calor y tiempo, usada ampliamente en Entomología, recientemente aplicada en cadáveres en medios acuáticos.

Salinidad: Es un factor importante del agua de mar, dos estudios la midieron [17, 3], sin estimar su relevancia en el intervalo postmortem. En el caso del estudio de Celata en 2015 [10], se compararon los efectos del agua dulce versus el agua marina en distintos aspectos, destacando que, en el agua marina, la licuefacción y el deterioro observados fueron más graduales que en el agua dulce. Un estudio publicado en 2018 [6] (no incluido en la selección para la revisión), analizó la putrefacción en autopsias realizadas en cadáveres hallados en agua de río y de mar, resultando un estado de putrefacción más avanzado en los hallados en agua de río; se piensa que esta diferencia podría deberse a que la data estimada de muerte promedio, era mayor en los casos hallados en agua de río, por lo tanto era lógico que se observaran etapas de putrefacción más avanzadas; también se piensa que puede deberse a la salinidad, la cual no fue medida ni incluida en el análisis, y por último, se piensa que podría estar asociado a factores logísticos como poblaciones cercanas, capacidad y demora de transporte del cadáver, almacenamiento, etc.

Zimmerman y Wallace [17] realizaron una interesante comparación, al analizar especies de Diatomeas tanto en un sustrato orgánico como un cadáver de lechón como en un sustrato inorgánico como la cerámica; a partir de esto concluyeron que un sustrato inorgánico no puede usarse (ya sea en un escenario real o en un estudio de investigación) para simular un cadáver de mamífero en un medio acuático, ya que la colonización es diferente.

Cambios Morfológicos: Van Daalen et al en 2017 [16] plantearon un Método de Puntaje de Descomposición en Medio Acuático basado en cambios morfológicos, los cuales se clasificaban de acuerdo a fotos en un Atlas referencial. Si bien el sistema llama la atención por sus resultados positivos y su simple metodología, debe considerarse que para poder asociar efectivamente el puntaje obtenido a un PMSI aproximado, es indispensable replicar este estudio en el medio acuático local y estandarizar las fotos referenciales usadas, para disminuir lo más posible la subjetividad a la hora de dar una puntuación a las distintas características en cara, cuerpo y extremidades.

Restos parciales: En algunos casos no se produce el hallazgo de un cuerpo completo, sino de restos parciales de un cadáver. En algunos estudios se utilizó sólo la cabeza de un mamífero [8, 4], mientras que en otros se utilizó un cuerpo completo [5, 17, 3, 10], destaca el estudio de Baccino en el 2007 [4], en cuyo experimento se comparó el enfriamiento en una cabeza de cerdo versus el cuerpo completo, resultando un Coeficiente de correlación de 0.98-0.99, por lo tanto se consideraron equivalentes; queda por ver si dicha equivalencia se replicaría al utilizar un cadáver humano.

Fauna: El efecto de los carroñeros sobre un cadáver puede alterar notablemente la morfología, dificultando la estimación del intervalo postmortem y también de la causa de muerte. Anderson y Bell [3] compararon los efectos de depredadores, como el tiburón, sobre dos cuerpos de cerdo, uno protegido por una jaula de metal versus uno expuesto; en contra de lo previsto ambos cuerpos presentaron una evolución similar en el tiempo, esto debido a que los Anfípodos *Lyssianassidae*, responsables de la esqueletización, atravesaban fácilmente la jaula metálica. La acción de la fauna sobre un cadáver, depende del sitio de inmersión, por lo tanto la información que aporte un estudio no se puede aplicar

exactamente en otro sitio geográfico con sus propios factores ambientales y fauna; esto último se ve reflejado, por ejemplo, en el estudio de Zimmerman & Wallace [17], quienes analizaron las especies de diatomeas encontradas en sustratos orgánicos e inorgánicos dentro de estanques de agua salobre y en sus resultados destaca que en cada estanque y en cada mes en que se realizó el experimento se encontraron especies diferentes, a pesar de que los estanques estaban físicamente bastante cercanos y sólo existieron dos meses de diferencia entre los experimentos. Magni [13] estudió, en un cadáver hallado en medio acuático, el crecimiento de crustáceos que se encontraban adheridos a la vestimenta, logrando estimar un intervalo de sumersión mínimo. En cuanto a especies bacterianas, Dickson [8] estableció patrones de sucesión y encontró especies específicas para cada estación (otoño e invierno) y para diferentes intervalos de sumersión; dentro de la búsqueda se encontraron más investigaciones que estudiaron poblaciones bacterianas en cadáveres en medios acuáticos, como Benbow et al [1], pero no se incluyeron en el análisis dado que fueron realizados en agua de río.

Otros datos: Es indispensable siempre considerar la información policial y las circunstancias que rodean la desaparición de la persona, ya que en conjunto con las observaciones y análisis que se realizan al cadáver, constituyen la clave para aproximarse a un tiempo de inmersión certero; de hecho, en múltiples estudios [14, 9, 5], se utiliza la fecha de desaparición como estándar para comparar la estimación obtenida por un determinado método.

Los estudios muestran una tendencia a generar métodos objetivos, a diferencia de la observación subjetiva de características morfológicas usada clásicamente; a su vez se busca considerar y conocer todos los factores existentes de un medio acuático (temperatura, salinidad, niveles de oxígeno, profundidad, fauna, etc.) que pueden afectar la estimación del PMSI.

Dentro de la búsqueda bibliográfica se encontraron múltiples investigaciones realizadas en agua dulce/de río e investigaciones orientadas a determinar la causa de muerte, las cuales no fueron incluidas dado que no contribuían al objetivo de la presente investigación, sin embargo en el contexto de otra zona geográfica, una nueva revisión que las incluya sería de gran utilidad.

CONCLUSIONES

La evidencia científica analizada en esta revisión, sin duda aporta información relevante para resolver el problema que supone la estimación de intervalo postmortem en un cadáver hallado en un medio acuático marino; queda demostrado que para dicho propósito deben analizarse muchos factores (con un método lo más objetivo posible), tales como: características morfológicas, temperatura del cadáver y el medio, fauna/microorganismos presentes en el medio y sus patrones de sucesión, reproducción y crecimiento, además del efecto del medio acuático en los fenómenos cadavéricos y la putrefacción, usados clásicamente para la estimación del intervalo postmortem.

Todos los factores comprendidos en este análisis son variables de acuerdo a la región que se analice, por lo tanto para aplicar estos métodos es indispensable que se realicen trabajos experimentales en el medio donde cada profesional se desempeña e idealmente con un equipo multidisciplinario que incluya expertos en biología marina, entomólogos, patólogos, etc. Mientras más información se considere y más factores se estudien en cada caso se podrá estimar un intervalo postmortem con mayor certeza.

Se recomienda tras el hallazgo de un cadáver: registrar correctamente todas las características morfológicas y la temperatura del cadáver y del agua en el sitio preciso del hallazgo (idealmente además consultar en bases de datos las temperaturas en días posteriores); si es posible, medir salinidad, tomar muestras del agua y muestras del cuerpo (en al menos tres sitios diferentes: piel, mucosas, heridas) para el estudio de microorganismos; estandarizar el tiempo de refrigeración del cuerpo previo a la autopsia; conocer la identificación y toda la información policial disponible; realizar una autopsia completa tomando todas las muestras correspondientes y solicitar todos los análisis disponibles en la realidad

local. Finalmente se recomienda que, ante la ausencia de evidencia científica como la expuesta en esta revisión, sea cauto en la estimación del intervalo postmortem con la información disponible y, siempre es bueno recordar, que es válido abstenerse cuando sea imposible acotar una fecha precisa.

REFERENCIAS

1. Benbow, M. E. (2015). The Potential of High-throughput Metagenomic Sequencing of Aquatic Bacterial Communities to Estimate the Postmortem Submersion Interval. *J Forensic Sci*, Vol. 60, No. 6.
2. Gonzalez Medina, A., Soriano Hernando, O., & Jiménez Ríos, G. (2015). The Use of the Developmental Rate of the Aquatic Midge *Chironomus riparius* (Diptera, Chironomidae) in the Assessment of the Postsubmersion Interval. *J Forensic Sci*, Vol. 60, No. 3.
3. Anderson, G., & Bell, L. (2016). Impact of Marine Submergence and Season on Faunal Colonization and Decomposition of Pig Carcasses in the Salish. *PLoS ONE*, 11(3).
4. Baccino, E. (2007). Cooling Rates of the Ear and Brain in Pig Heads Submerged in Water: Implications for Postmortem Interval Estimation of Cadavers Found in Still Water. *The American Journal of Forensic Medicine and Pathology*, Volume 28, Number 1.
5. Bloch-Bogusławska, E. (2008). The effect of the duration of corpse immersion on the occurrence of selected morphological findings. *Arch Med Sadowej Kryminol*, 58(4):155-9.
6. Byard, R. (2018). Putrefaction: An Additional Complicating Factor in the Assessment of Freshwater Drownings in Rivers. *J Forensic Sci*, Vol. 63, No. 3.
7. Byard, R., & Summersides, G. (2011). Vitreous Humor Sodium Levels in Immersion Deaths. *J Forensic Sci*, Vol. 56, No. 3.
8. Dickson, G. C. (2011). Marine bacterial succession as a potential indicator of postmortem submersion interval. *Forensic Science International*, 209 (1–10).
9. Doberentz, E., & Madea, B. (2010). Estimating the time of immersion of bodies found in water – an evaluation of a common method to estimate the minimum time interval of immersion. *Rev Esp Med Legal*, 36(2):51-61.
10. Elizabeth N. Celata, M. (2015). Postmortem Intervals in Mice Submerged in Aqueous Environments at 20°C. *J Forensic Sci*, Vol. 60, No. 6.
11. Emma Lew, E. M. (2005). Postmortem Changes. En D. Dolinak, *Forensic Pathology: Principles and Practice* (págs. 541-554). Elsevier.
12. L.Concheiro, J. S. (2004). Asfixias Mecánicas: Sumersión. En J. G. Calabuig, *Medicina Legal y Toxicología 6ª Edición* (págs. 471-477). Masson.
13. Magni, P. (2015). Evaluation of the floating time of a corpse found in a marine environment using the barnacle *Lepas anatifera* L. (Crustacea: Cirripedia: Pedunculata). *Forensic Science International*, 247 e6–e10.
14. Reh H, H. K. (1977). The estimation of the time of death of corpses recovered from water. *Z Rechtsmed*, 79(4):261-6.
15. Rexson, T. (2018). Elevated Postmortem Vitreous Sodium and Chloride Level in a Salt Water Drowning Death During Self-Contained Underwater Breathing Apparatus Diving With Diving Mask in Place. *Am J Forensic Med Pathol*.
16. Van Daalen, M. (2017). An Aquatic Decomposition Scoring Method to Potentially Predict the Postmortem Submersion Interval of Bodies Recovered from the North Sea. *J Forensic Sci*, Vol. 62, No. 2.
17. Zimmerman, K., & Wallace, J. (2008). The Potential to Determine a Postmortem Submersion Interval Based on Algal/Diatom Diversity on Decomposing Mammalian Carcasses in Brackish Ponds in Delaware. *J Forensic Sci*, Vol. 53, No. 4.