

EL INDICIO HEMÁTICO

Jesús Alberto Jiménez Ochoa

UNIVERSIDAD DE COLIMA

EL INDICIO HEMÁTICO

UNIVERSIDAD DE COLIMA

Dr. Christian Jorge Torres Ortiz Zermeño, Rector

Mtro. Joel Nino Jr., Secretario General

Mtro. Jorge Martínez Durán, Coordinador General de Comunicación Social

Mtro. Adolfo Álvarez González, Director General de Publicaciones

Mtra. Irma Leticia Bermúdez Aceves, Directora Editorial

EL INDICIO HEMÁTICO

Jesús Alberto Jiménez Ochoa



UNIVERSIDAD DE COLIMA

El indicio hemático

© UNIVERSIDAD DE COLIMA, 2026

Avenida Universidad 333

C.P. 28040, Colima, Colima, México

Dirección General de Publicaciones

Teléfonos: 312 316 1081 y 312 316 1000, extensión: 35004

Correo electrónico: publicaciones@ucol.mx

www.ucol.mx

Derechos reservados conforme a la ley

Publicado en México / *Published in Mexico*

ISBN electrónico: 978-968-9733-33-1

DOI: 10.53897/LI.2026.0013.UCOL

5E.1.1/317000/011/2025 Edición de publicación no periódica

Derechos reservados conforme a la ley

Publicado en México / *Published in Mexico*



Este libro está bajo la licencia de Creative Commons, Atribución – NoComercial - CompartirIgual 4.0 Internacional (CC BY-NC-SA 4.0)

Usted es libre de: Compartir: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato. Adaptar: remezclar, transformar y construir a partir del material bajo los siguientes términos: Atribución: Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciante. NoComercial: Usted no puede hacer uso del material con propósitos comerciales. CompartirIgual: Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

This work is licensed under a Creative Commons Attribution – NonCommercial – ShareAlike 4.0 International License. You are free to: Share: copy and redistribute the material in any medium or format. Adapt: remix, transform, and build upon the material under the following terms: Attribution: You must give appropriate credit, provide a link to the license, and indicate if changes were made. You may do so in any reasonable manner, but not in any way that suggests the licensor endorses you or your use. NonCommercial: You may not use the material for commercial purposes. ShareAlike: If you remix, transform, or build upon the material, you must distribute your contributions under the same license as the original.

Imagen de portada: Jesús Alberto Jiménez Ochoa

Proceso editorial certificado con normas ISO desde 2005

Dictaminación doble anónimo y edición registradas en el Sistema Editorial Electrónico PRED

Registro: LI-005-25

Recibido: Febrero de 2025

Dictaminado: Agosto de 2025

Publicado: Junio de 2026

La sangre brota, chorrea, se extiende, se infiltra, penetra, se adhiere.
Sus trazas mal borradas se encuentran en el mismo lugar del crimen,
sobre el instrumento vulnerante, sobre los objetos robados, sobre la ropa
del asesino y sobre el mismo camino que ha seguido para huir.

Gabriel Tourdes (1810-1900)

Índice

Nota importante	9
Introducción	10
Desarrollo histórico de la hematología y su aplicación en la investigación forense	12
Teoría general indiciaria	18
Concepto de indicio	18
Tipos de indicios	18
Concepto de indicio hemático.....	20
Tipos de indicios hemáticos.....	21
Composición y propiedades de la sangre	23
Composición general	23
Propiedades físicas y biológicas	26
Valores hematológicos de referencia.....	30
Producción y obtención de indicios hemáticos.....	33
Indicios hemáticos <i>ante mortem</i>	33
Indicios hemáticos <i>peri mortem</i>	40
Indicios hemáticos <i>post mortem</i>	40
Toma de muestras hemáticas	44
Procesamiento criminalístico de los indicios hemáticos.....	49
Técnicas de búsqueda e identificación.....	49
Técnicas de fijación	50
Técnicas de recolección	63
Técnicas de embalaje	67
Muestras recolectadas por embebimiento.....	68
Cerrado, sellado y etiquetado	70

Traslado de indicios hemáticos.....	71
Condiciones de almacenamiento.....	73
Cadena de custodia	73
Métodos para la identificación de sangre	75
Identificación organoléptica	75
Identificación analítica.....	78
Pruebas presuntivas	78
Técnicas quimioefervescentes.....	79
Técnicas quimiocromáticas.....	80
Técnicas colorimétricas	96
Técnicas cromatográficas	97
Técnicas espectroscópicas.....	99
Técnicas inmunocromatográficas	100
Estudio morfológico de las manchas hemáticas	104
Concepto de mancha.....	104
Concepto de mancha hemática	104
Tipos de manchas hemáticas	105
Determinaciones criminalísticas basadas en el análisis de los patrones de manchas de sangre	130
Altura de caída de goteos hemáticos estáticos	130
Según las características del borde de la mancha	131
Sentido de goteos hemáticos dinámicos	133
Área de convergencia de proyecciones hemáticas	134
Punto de origen de proyecciones hemáticas	134
Volumen de sangre extravasada	143
Antigüedad de las manchas	144
Objetos causantes de las lesiones	148
Etiología del hecho	149
Alteraciones en el lugar de intervención	151
Determinaciones biológicas y químicas basadas en el análisis de indicios hemáticos ..	153
Diagnóstico diferencial de especie	153
Grupo sanguíneo de la muestra problema	159
Sexamiento de la muestra hemática	162
Concentración de alcohol en sangre	164

Determinaciones toxicológicas	171
Identificación mediante perfiles genéticos	171
Procedencia anatómica del sangrado	177
Antigüedad de las lesiones	179
Cronotanodiagnóstico	180
Edad de la persona sangrante	184
Determinaciones médico-legales basadas en la intensidad de la hemorragia y los resultados de ciertos análisis de laboratorio clínico	
Gravedad de las hemorragias	185
Tiempo de supervivencia	186
Causa de la muerte	188
Riesgo biológico de los indicios hemáticos	
Concepto de riesgo biológico	191
Factores causales del riesgo biológico	191
Vías de acceso de los factores causales	191
Riesgos de infección	193
Medidas de bioseguridad	194
Diligencias profilácticas tras exposiciones de riesgo	196
Disposición final de los indicios hemáticos	
Fundamentos legales y normativos	198
Diligencias procedimentales	198
Sustitutos de sangre humana para actividades de capacitación y adiestramiento en el ámbito forense	
Concepto	202
Campo de aplicación	202
Ventajas de su empleo	202
Productos utilizables	202
Terminología propuesta por la <i>International Association of Bloodstain Pattern Analysts (IABPA)</i>	
	209
Conclusiones	212
Glosario	214
Referencias	217

Nota importante

El presente libro, dada la naturaleza de su temática, contiene fotografías que pueden resultar delicadas, perturbadoras o inapropiadas para ciertas personas, contextos y edades, pero son necesarias para la debida explicación y argumentación de su contenido. Debido a lo anterior, se considera que esta obra es apta sólo para personas con interés o conocimiento en la materia.

Introducción

La sangre suele ser considerada como el indicio material más frecuente y relevante en la investigación criminal, particularmente en la de aquellos hechos en los que se atenta contra la vida o la integridad corporal de las personas. Toda gota, mancha, charco o rastro hemático puede ayudar a establecer la identidad y la presencia en el lugar de intervención de la víctima y de su agresor o agresora, determinar el momento en que ocurrió el evento investigado e incluso revelar la manera cronológica en que el hecho se fue desarrollando.

Con frecuencia, este tipo de elementos indiciarios son subestimados, malinterpretados o desaprovechados. El desconocimiento de su potencial como evidencia, las deficiencias técnicas y procedimentales durante su recolección, embalaje, traslado y almacenamiento y el uso limitado de pruebas analíticas realizables pueden llegar a reducir su valor probatorio o llevar a la pérdida de información esencial para la resolución del caso en estudio.

Así pues, teniendo en cuenta la importancia y trascendencia de la información que se obtiene al interpretar los resultados de los diversos análisis a los que puede ser sometida la sangre como indicio criminalístico, nos dimos a la tarea de recopilar e integrar parte de la vasta información dispersa en las numerosas fuentes cibergráficas, hemerográficas y bibliográficas especializadas disponibles; tratando de presentarla técnica, gráfica y científicamente fundamentada, motivada y sustentada para ser aplicada en la investigación de los distintos hechos presuntamente delictivos, acontecidos cada vez más frecuentemente en nuestro país.

Como resultado, presentamos este trabajo dividido en catorce apartados temáticos de extensión variable. En el primero hacemos una reseña de los diversos acontecimientos, descubrimientos y aportaciones técnicas, procedimentales y analíticas que dan cuenta de la evolución histórica de esta rama de la investigación forense. En el segundo apartado nos ocupamos del concepto y la clasificación de los indicios en lo general y del indicio hemático en lo particular. La tercera parte expone la composición y las propiedades físicas, fisiológicas y biológicas de la sangre humana. En el cuarto capítulo se explican los mecanismos de producción y obtención de indicios hemáticos; asumiendo que no siempre se originan

por causas traumáticas o violentas y que pueden generarse u obtenerse antes, durante o después del deceso de la víctima. La quinta parte está dedicada a las diligencias técnicas y periciales que deben implementarse durante la búsqueda, fijación, recolección, embalaje, traslado y almacenamiento de los hallazgos hemáticos realizados en el sitio procesado; con la finalidad de que estos no se dañen, alteren, contaminen o destruyan y conserven, por ende, su utilidad indiciaria. En el sexto apartado describimos el fundamento, el procedimiento y la especificidad y sensibilidad de las diferentes técnicas analíticas a las que podemos recurrir para establecer, de manera presuntiva o confirmatoria, la naturaleza hemática de las manchas problema. En la séptima parte se pretende explicar las características morfológicas, mensurativas y de producción que hacen posible el reconocimiento y la diferenciación de los diversos tipos de manchas de sangre. En el octavo, noveno y décimo capítulos hacemos un recuento de las diversas determinaciones criminalísticas, biológicas, químicas y médico legales que se pueden realizar analizando los patrones de las manchas de sangre y las propiedades, atributos y valores de sus elementos constitutivos. En el undécimo apartado temático nos ocupamos de los riesgos a la salud que se corren por la exposición y el manejo de los indicios hemáticos; de las medidas de bioseguridad necesarias para disminuirlos; así como de las diligencias profilácticas que se deben realizar tras una exposición de alto riesgo biológico. El duodécimo capítulo contempla los lineamientos que deben seguirse para la disposición final, legal y segura de los indicios hemáticos; tan pronto como la autoridad judicial competente considere que carecen ya de utilidad procesal. En el decimotercer capítulo ofrecemos la formulación de diversas preparaciones que pueden emplearse para sustituir, por las razones que sean, el uso de sangre humana en actividades de capacitación y adiestramiento en el ámbito de las ciencias forenses. Finalmente, en el decimocuarto apartado incluimos, a manera de referencia, la traducción al español de la terminología recomendada por la *International Association of Bloodstain Pattern Analysts* respecto a la descripción y el análisis de los patrones de manchas de sangre.

La información aquí contenida podría ser útil a estudiantes, profesionales y profesionistas de diversas áreas de las ciencias forenses; especialmente para quienes se interesan u ocupan en el procesamiento criminalístico del lugar de intervención, la dictaminación en materia de mecánica de hechos, la identificación y el análisis laboratorial de los indicios biológicos, la capacitación y el entrenamiento laboral del personal sustantivo adscrito a las procuradurías o fiscalías de nuestro país y para quienes se dedican, en constante proceso de actualización, a la tarea de la defensoría privada o pública.

De llegar a saber que algunas de las líneas presentadas a continuación contribuyeron a reconocer y valorar la importancia de los indicios hemáticos en la investigación de los hechos presuntamente delictivos, consideraré ampliamente recompensado mi trabajo como autor de las mismas.

Desarrollo histórico de la hematología y su aplicación en la investigación forense

Para Galeno de Pérgamo la sangre era uno de los cuatro humores o líquidos constituyentes del ser humano; diferenciándose de los demás (bilis negra, bilis amarilla y flema) por su naturaleza caliente y húmeda, debido a que en ella predominaba, de acuerdo con la teoría aristotélica, el elemento aire.

Los postulados médicos de aquella época establecían además que la sangre se gestaba en el hígado y a partir de los alimentos ingeridos; que la sangre nutricia, ahí y así formada, fluía entonces al corazón para transformarse, una vez combinada con el aire respirado, en sangre vital; y que, tras salir del corazón, esta se enfriaba y coagulaba convirtiéndose en el tejido de los órganos a los que nutría (Izaguirre-Ávila y De Micheli, 2005).

Hasta el final del Renacimiento (a principios del siglo XVII) la sangre fue considerada como “esencia y fuente de vida” (Vicente, 2019) y “la sede y el conductor del alma” (Izaguirre-Ávila y De Micheli, 2005).

En 1628 William Harvey estableció, en su obra *Exercitatio anatomica de motu cordis et sanguinis in animalibus* (*Ejercicio anatómico sobre el movimiento del corazón y la sangre en animales*), los principios anatómicos y fisiológicos que sustentan, en términos generales, buena parte de lo que actualmente sabemos sobre la circulación y las funciones de la sangre; argumentando por vez primera que la sangre fluía a través de un sistema vascular continuo y era impulsada por la actividad del corazón (De Micheli, 2005; Murillo-Godínez, 2019).

A la par del desarrollo de la microscopía y con las contribuciones de diversos personajes, entre los siglos XVII y XIX, gradualmente se fue develando la composición corpuscular y química del tejido hemático corporal; llegándose ya a considerar, por aquellos tiempos, como una mezcla de suero, fibrina, corpúsculos pigmentados, corpúsculos pálidos y hematoblastos (Izaguirre-Ávila y De Micheli, 2005).



William Harvey

Nota. Obtenida de Mijtens (ca. 1627).

Las primeras referencias documentadas sobre la necesidad de determinar o descartar la naturaleza hemática de manchas problema se encuentran en el *Talmud*, obra escrita entre los siglos II y V que recopila diversos aspectos relacionados con la historia, las costumbres y las leyes civiles y religiosas judías; describiéndose, en uno de sus pasajes, un método para diferenciar entre una mancha de sangre y una mancha de tinte en una prenda, empleando para ello siete sustancias específicas en un orden determinado. Si las manchas tratadas se atenuaban o se desvanecían, eran de sangre; de no ocurrir esto, debían deberse a la acción de algún agente tintorial (Aleph Society, 2019).

Alrededor del año 1100, un abogado romano de nombre Quintiliano demostró, en lo que parece ser una de las más distantes investigaciones criminales exitosas, que las manchas de manos ensangrentadas encontradas en el lugar de un homicidio habían sido puestas tendenciosamente para inculpar a un hombre ciego del asesinato de su propia madre (Ann, s.f.).

En el *Sassen Speyghel (Espejo Sajón)*, notable libro de derecho sajón de la Edad Media escrito entre los años 1220 y 1235 por Eike von Repgow, se hace referencia a la imperiosa necesidad de atrapar a los asesinos, para no dejar lugar a dudas, con las manos “aún manchadas con la sangre de sus víctimas” (Bevel y Gardner, 2008; Marquardt, 2016).

Hacia 1250 se compiló en China uno de los tratados de medicina legal más antiguos conocidos por el mundo occidental. En esta obra, denominada *Hsi Yuan Lu*, se establecía que las manchas de sangre antiguas en los cuchillos podían ser reconocidas al calentar y tratar con vinagre sus soportes, ya que daban lugar, en caso de positividad, a manchas de color marrón; así también, que podía determinarse o descartarse algún vínculo de parentesco entre dos personas, atendiendo la manera, homogénea o aglomerada, en que se mezclaban sus gotas de sangre al dejarlas caer en un mismo recipiente con agua (Figueroa et al., 2022).

Entre 1771 y 1779 se publicó en tres partes, las dos últimas de manera póstuma, *Experimental inquiries into the properties of the blood (Investigaciones experimentales sobre las propiedades de la sangre)*, obra del anatomista, fisiólogo y cirujano británico William Hewson (*The works of Williams Hewson*, 1847; Dameshek, 1963). En dicho trabajo, Hewson estableció que era el fibrinógeno (al que llamó “linfa coagulable”), y no la actividad de las células sanguíneas, lo que permitía su coagulación; que los eritrocitos tenían forma aplanada y no redondeada, como se asumía desde su descubrimiento; que dichos corpúsculos poseían una membrana celular; así como que el timo y el



William Hewson

Nota. Obtenida de Vandergutch (s.f.).

bazo realizaban algunas funciones relacionadas con la respuesta inmunitaria. Debido a tales aportaciones se le ha llegado a considerar el *padre de la hematología* (Dameshek, 1963; Doyle, 2006).

En 1823, los hermanos Theodric Romeyn y John Brodhead Beck publicaron *Elements of Medical Jurisprudence (Elementos de jurisprudencia médica)*, primer libro estadounidense significativo sobre medicina forense (Rojas, 2016); donde se encuentran algunas descripciones de las relaciones existentes entre las heridas infligidas en las víctimas y los patrones específicos de manchas hemáticas producidos a consecuencia de ellas.

Mathieu Joseph Bonaventure Orfila publicó entre 1827 y 1845 diversos artículos científicos relacionados con el análisis de las manchas de sangre, entre los cuales se encuentran *Nouveau mémoire sur le sang, considéré sous le rapport médico-légal (Nuevas memorias sobre la sangre, desde una perspectiva médico-legal)*; *Sur le sang, considéré sous le point de vue médico-légale (Sobre la sangre, desde un punto de vista médico-legal)* y *Mémoire sur un nouveau moyen de reconnaître les taches de sang (Memorias sobre un nuevo método para reconocer manchas de sangre)*. En tales publicaciones destaca la necesidad de implementar la observación microscópica y una serie de pruebas químicas para acreditar la naturaleza hemática o no hemática de las manchas aparentemente relacionadas con un hecho delictivo (Gaensslen, 1983).

Jean-Pierre Barruel sostenía en 1829 que una persona entrenada podía distinguir la sangre animal de la sangre humana, por el olor desprendido al ser calentadas en un tubo de ensayo mezcladas con algunas gotas de ácido sulfúrico; que de esa manera también era posible diferenciar el olor de la sangre del hombre del de la mujer, e incluso —por si lo anterior fuera poco— que se podía identificar el origen de las muestras provenientes de las mujeres por la relación existente entre el olor de la sangre y el color de sus cabellos (Castelló, 1997; Simonelli, 2013). A pesar de la polémica que esta técnica generaba, se utilizó en diversos casos judiciales llevados a cabo entre 1830 y 1850.

Las primeras contribuciones para reconocer la naturaleza hemática de manchas problema mediante la obtención de cristales hemoglobínicos fueron realizadas por Otto Funke (1851), Albert von Kölliker (1853) y Ludwig Karl Teichmann (1853) (Gaensslen, 1983).

En 1856, J. B. Lassaigne publicó *Neue untersuchung zur erkennung von blutflecken auf eisen und stahl (Nuevo estudio sobre la detección de manchas de sangre en hierro y acero)*, donde aborda la manera de diferenciar una mancha hemática de las producidas por la oxidación del hierro y el acero y la formación de pequeñas manchas transferidas desde una fuente de sangre a una superficie limpia por acción de los moscardones; muy probablemente la primera referencia conocida de las actualmente llamadas manchas por actividad de insectos (Bevel y Gardner, 2008).

Hacia 1861, Izzac van Deen desarrolló la primera prueba colorimétrica para la identificación presuntiva de sangre; por su parte, Gustav Kirchhoff y Robert Bunsen aplicaron el análisis espectral de absorción para confirmar la presencia de hemoglobina en las muestras investigadas (Castelló, 1997; Castelló, 2017; Simonelli, 2013).

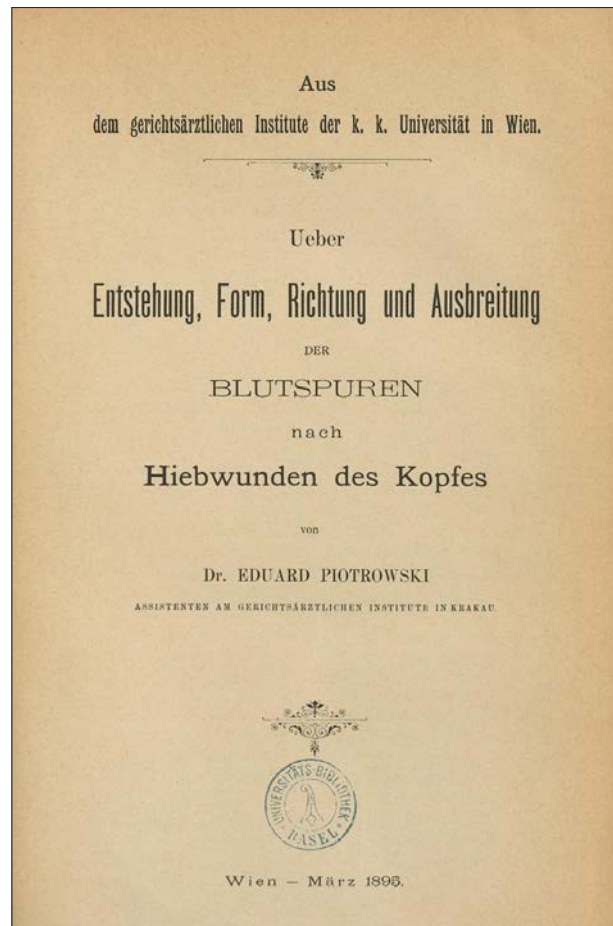
Varios años después, en 1880, Henry Faulds resaltó, en su obra *On skin-furrows of the hand (En los surcos de la piel de la mano)*, la aplicabilidad de las huellas dactilares ensangrentadas en la identificación del autor del hecho criminal investigado (Hutchins, 2018).

En 1895, Eduard Piotrowski publicó *Ueber entstehung, form, richtung und ausbreitung der blutspuren nach hiebwunden des kopfes (Sobre el origen, la forma, la dirección y la propagación de las manchas de sangre tras heridas en la cabeza)*, considerado el primer trabajo experimental relacionado con el origen, las formas, la dirección y la distribución de las manchas de sangre; dando inicio a la posibilidad de reconstruir, con base en las circunstancias de su producción, la mecánica general de los hechos problema que las generaron (Bevel y Gardner, 2008; Hernández, 2020; Joris, 2018; Sniegovski et al., 2016).

Con sustento en el análisis espectral, Roberto Magnanini argumentó en 1898 que era posible distinguir la sangre humana de la animal por la velocidad de formación de hematina, al tratar las muestras con hidróxido de potasio (Castelló, 1997; Simonelli, 2013).

Entre 1900 y 1901, los descubrimientos de Paul Uhlenhuth permitieron determinar técnica e inequívocamente la naturaleza hemática o no hemática de cualquier mancha de interés y si estas provenían, habiendo acreditado su identidad sanguínea, de un ser humano o de alguna otra especie animal (Castelló, 1997).

En 1901, Karl Landsteiner descubrió tres de los cuatro grupos sanguíneos del sistema ABO y, hacia 1940 en colaboración con Alexander Salomon Wiener, demostró la existencia del factor Rh (Castelló, 1997; Franco de Ambriz, 1991); permitiendo así, desde ese entonces, el descarte o la exclusión de algunos sospechosos al comparar sus grupos sanguíneos con los de los hallazgos hemáticos efectuados en el lugar de los hechos.



Nota. Portada del primer trabajo experimental publicado relacionado con el análisis interpretativo de las manchas de sangre.

Fuente: Piotrowski (1895).

En 1914, Albin Haberdas publicó un artículo titulado *Eine besondere form von blutspritzern* (*Una forma especial de salpicaduras de sangre*) donde describe, por vez primera, el hallazgo de burbujas de aire en algunas manchas de sangre, atribuyéndolas a la existencia de lesiones en las vías respiratorias; también refiere la existencia de manchas hemáticas con formas de botella, de palo o de garras de oso. Ese mismo año, Ernest Ziemke publica *The examination of blood tracks* (*El examen de los rastros de sangre*), destacando la importancia de las formas de las manchas de sangre para determinar la direccionalidad o el sentido de su producción.

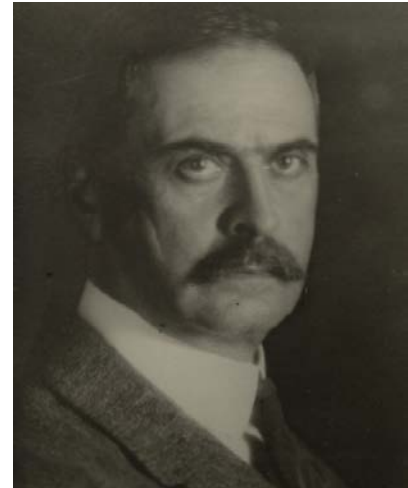
A mediados de 1931, W. F. Hesselink intentó explicar el mecanismo de producción de las distintas formas de este tipo de manchas en su trabajo *Blutspuren in der kriminalistischen praxis* (*Manchas de sangre en la práctica de la investigación criminal*) (Bevel y Gardner, 2008).

En junio de 1939, Victor Balthazard, René Piédelièvre, Henri Desoille y Léon Dérobert presentaron, en el marco del XXII Congreso de Medicina Legal de la Lengua Francesa, su *Étude des gouttes de sang projeté* (*Estudio de gotas de sangre proyectadas*), un robusto tratado que cimentó la aplicación de los principios de la geometría al estudio morfológico de las manchas hemáticas (Bevel y Gardner, 2008; Hernández, 2020; Joris, 2018).

En 1941, John H. Göhringer presentó su tesis doctoral titulada *Is it possible to establish the falling height and direction of a fallen down drop from the appearance of the stain on various targets?* (*¿Es posible determinar la altura y la dirección de caída de una gota a partir de la apariencia de la mancha en diferentes superficies?*), impulsando así, en gran medida, el desarrollo del estudio mecánico de las manchas sanguíneas (Bevel y Gardner, 2008).

Con la implementación de nuevas técnicas analíticas (como la electroforesis), los avances en las investigaciones relacionadas con los llamados marcadores moleculares proteínicos (entre los que se encuentran los antígenos de membrana eritrocitarios y leucocitarios) y la dilucidación de la estructura molecular del ácido desoxirribonucleico (ADN), después de la Segunda Guerra Mundial se consolidaron y fundamentaron las tareas en materia de identificación humana y determinación de la paternidad a partir de muestras sanguíneas; alcances que dieron origen a la hematología forense identificadora.

En 1966, Paul Leland Kirk consiguió la exoneración de un sujeto, acusado doce años antes de asesinar a su esposa, con base en el análisis de los patrones de las manchas de sangre encontradas en la habitación donde ocurrieron los hechos (Bevel y Gardner, 2008; Joris, 2018).



Karl Landsteiner

Nota. Obtenida de Hilscher (1910).

En 1971, Herbert Leon MacDonell presentó su trabajo *Flight characteristics and stain patterns of human blood* (*Características de vuelo y patrones de tinción de la sangre humana*), publicado por el Departamento de Justicia de los Estados Unidos, considerado como la primera publicación en la era moderna de la investigación criminal relacionada con la interpretación de las manchas hemáticas (Hernández, 2020; Joris, 2018).

El 18 de noviembre de 1983, en la ciudad de Corning, Nueva York, y por iniciativa del mismo Herbert Leon MacDonell, se fundó la *International Association of Bloodstain Pattern Analysts* (IABPA) con el propósito de divulgar los conocimientos relacionados con el análisis de los patrones de manchas hemáticas, estandarizar las técnicas y procedimientos aplicables a este tipo de determinaciones periciales y mantener actualizados a sus miembros y a la comunidad científica interesada en el tema (Bevel y Gardner, 2008; Hernández, 2020); tareas que hoy dan sustento a la hematología forense reconstructora.

En marzo de 2002, en una reunión organizada por el Buró Federal de Investigaciones (FBI, por sus siglas en inglés) en sus instalaciones de Quantico, Virginia, se constituyó el *Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis* (SWGSTAIN), quedando a cargo de la formación, capacitación y entrenamiento del personal dedicado a tales diligencias; la investigación, el desarrollo y las políticas de calidad de los procedimientos técnicos involucrados en dichas determinaciones; y la implementación de los criterios taxonómicos y terminológicos necesarios para sistematizar la clasificación y descripción de los hallazgos hemáticos a interpretar (Bevel y Gardner, 2008; Gutiérrez, 2018).

En febrero de 2014, el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología de los Estados Unidos (NIST, por sus siglas en inglés) se hizo cargo de los diversos grupos de trabajo científicos constituidos y conformó la *Organization of Scientific Area Committees for Forensic Science* (OSAC); existiendo, en su organigrama, el *Bloodstain Pattern Analysis Subcommittee*, que dicta las normas y directrices relacionadas con la detección científica y el análisis de los patrones de las manchas de sangre presentes en el lugar de los hechos o del hallazgo y en los indicios asociados ahí encontrados; pretendiendo así la validación, acreditación y reconocimiento internacional de la mayor cantidad de técnicas y procedimientos aplicables en las investigaciones forenses (NIST, 2020).

Finalmente, en el marco de la *6th. International Conference on Fuzzy Computation Theory and Applications*, celebrada en Roma, Italia, en octubre de 2014, Giovanni Acampora y su equipo de colaboradores presentaron el primer trabajo relacionado con el uso de la inteligencia artificial en el análisis de manchas de sangre. En dicho congreso expusieron la aplicación de algoritmos de agrupamiento basados en lógica difusa (*fuzzy clustering*) con el propósito de automatizar la estimación del punto de origen de las proyecciones de sangre producidas por impactos (Acampora et al., 2014).

Teoría general indiciaria

Concepto de indicio

El término proviene del vocablo latino *indicium*, que significa “información” (López y Gómez, 2006; Montiel, 1990); un derivado del verbo *indicare*, equivalente en el español actual a: decir, anunciar, declarar, informar, dar a conocer algo, mostrar, señalar o indicar con el dedo (Diccionario Etimológico Castellano En Línea, 2024a). Así pues, podemos definir al indicio, en el más amplio sentido y desde la perspectiva de la investigación criminalística, como toda percepción sensorial probablemente relacionada con la comisión de algún hecho que se presuma delictuoso.

La definición anterior incluye lo captado, directa o indirectamente, a través de la vista (objetos, huellas, rastros, marcas, manchas, señales o vestigios); los sonidos y los olores apreciados al inspeccionar el lugar de intervención o a las personas presuntamente involucradas en el evento investigado; algunas características evaluadas al tacto (tales como la consistencia, textura, dureza, maleabilidad o temperatura de los objetos de interés) y, aunque en la práctica forense es inaplicable, hasta los sabores de las cosas.

Tipos de indicios

Existen diversos criterios para clasificar a los indicios, entre los más empleados se encuentran los siguientes (véase figura 1):

Según su naturaleza

- *Indicios físicos*: objetos generalmente sólidos, con formas o funciones reconocibles (armas de fuego, casquillos percutidos, colillas de cigarro, recados póstumos, cuchillos, herramientas mecánicas, botellas, rocas, etcétera).
- *Indicios químicos*: sustancias, generalmente sólidas o líquidas, obtenidas por procesos industriales o de laboratorio (drogas de abuso, solventes, insecticidas, productos farmacéuticos, pigmentos, etcétera).

- *Indicios biológicos*: fluidos, secreciones o elementos materiales provenientes de los seres vivos (sangre, semen, saliva, piezas dentales, elementos pilosos, plumas, larvas, pupas, abrojos, polen, esporas, etcétera) (García y Salinas, 2018).

Según su utilidad

- *Indicios identificadores*: permiten reconocer el objeto o la persona que los produjo (huellas dactilares, cráteres de agujas percutoras en casquillos, estriado en proyectiles disparados por armas de fuego, manuscrituras, marcas de mordeduras, etcétera).
- *Indicios reconstructores*: permiten establecer los eventos ocurridos durante el desarrollo de los hechos que se investigan (patrones de manchas de sangre, daños materiales en objetos, huellas de frenado de neumáticos, etcétera) (Caza, 2013; García y Salinas, 2018).

Según su transportabilidad

- *Indicios transportables, trasladables o móviles*: pueden ser recolectados, empaquetados y remitidos a donde se requieran (cadáveres, proyectiles disparados por armas de fuego, prendas de vestir, teléfonos celulares, etcétera).
- *Indicios no transportables, no trasladables o inmóviles*: no pueden ser retirados del lugar de su hallazgo sin alterar o destruir sus características de producción (daños materiales en la infraestructura urbana, grafitis en muros, impactos u orificios producidos por proyectiles disparados por arma de fuego en cuerpos sólidos, etcétera) (Caza, 2013; Flores, 2017).

Según su identificabilidad

- *Indicios determinados, determinables o determinantes*: se reconocen o identifican a simple vista (armas de fuego, colillas de cigarro, huellas microfoscópicas, escrituras, huellas de calzado, etcétera).
- *Indicios indeterminados, indeterminables o indeterminantes*: requieren ser analizados en algún laboratorio para establecer su naturaleza o identidad (manchas, adherencias, sedimentos, comprimidos, cápsulas, gránulos, cristales, polvos, geles, disoluciones, etcétera) (Bosquet, 2015; Flores, 2017; Montiel, 1990).

Según su apreciabilidad

- *Indicios visibles*: se perciben a simple vista (armas de fuego, casquillos percutidos, charcos de sangre, herramientas mecánicas, daños producidos por cuerpos duros en carrocerías de vehículos, etcétera).

- *Indicios latentes*: requieren técnicas o procedimientos especiales para poderlos visualizar (remanentes de sangre en prendas de vestir lavadas, manchas secas de semen, huellas dactilares, partículas residuales producidas al disparar un arma de fuego, etcétera) (Flores, 2017).

Según su estabilidad

- *Indicios perecederos*: se alteran o destruyen con el paso del tiempo (cadáveres, muestras sanguíneas, huellas dactilares latentes, huellas de frenado sobre el asfalto, etcétera).
- *Indicios imperecederos*: conservan sus características originales por tiempo indefinido (armas de fuego, casquillos percutidos, cuchillos, herramientas mecánicas, teléfonos celulares, tarjetas bancarias, etcétera).

Según el momento de su producción

- *Indicios antecedentes*: aquellos generados con anterioridad al evento investigado (recados póstumos, notas de venta de los utensilios empleados para cometer el hecho, daños en puertas de acceso, etcétera).
- *Indicios concomitantes*: se producen durante la comisión del hecho delictivo (casquillos percutidos, manchas de sangre, daños en el mobiliario por maniobras de lucha o forcejeo, etcétera).
- *Indicios consecuentes*: aquellos producidos después del suceso que se investiga (prendas de vestir dispersas a lo largo de la ruta de escape del victimario, vehículos abandonados empleados para huir del lugar de los hechos, larvas en cadáveres putrefactos, etcétera) (Bosquet, 2015).

Concepto de indicio hemático

Término genérico empleado para referir cualquier hallazgo atribuible a sangre extravasada efectuado en el lugar de intervención o en las personas involucradas en el hecho investigado.

Debido a las propiedades físicas de la sangre, los factores mecánicos que intervienen en su producción y las características de las superficies en que regularmente se encuentran, los indicios hemáticos pueden adoptar las siguientes tres modalidades:

- *Manchas*: cuando se altera la coloración o el aspecto original de una superficie por el depósito, acúmulo, impregnación, embebimiento, imbibición, absorción y adherencia de cantidades variables de sangre. Las manchas hemáticas suelen originarse por la caída o proyección de la sangre sobre las superficies o tras el contacto de estas con algún cuerpo u objeto previamente maculado con ella, pue-

den presentar formas regulares (circulares, ovaladas, elípticas, etcétera) o irregulares, y su tamaño depende siempre del volumen sanguíneo extravasado y la capacidad de adherencia o absorción de su soporte.

- *Impresiones*: si las manchas, generadas necesariamente por contacto, presentan formas determinadas, específicas o que reproducen parcial o totalmente la forma del objeto que las originó. Dadas sus características, atributos y mecanismo de producción, suelen ser también referidas como huellas visibles, positivas o producidas por impronta.
- *Trazas*: cuando la sangre presente en el soporte se encuentra en muy pequeñas cantidades; resultando difícil o hasta imposible percibirla a simple vista.

Tipos de indicios hemáticos

Independientemente de la modalidad en que hayan sido encontrados, los indicios hemáticos pueden ser clasificados bajo los siguientes tres grandes criterios:

Según su origen

- *Indicios hemáticos de origen animal*: producidos por el sangrado de peces, anfibios, reptiles, aves o mamíferos no humanos.
- *Indicios hemáticos de origen humano*: producidos por el sangrado de nosotros; la única especie de mamíferos del género *Homo* que sobrevive.

Según su mecanismo de producción

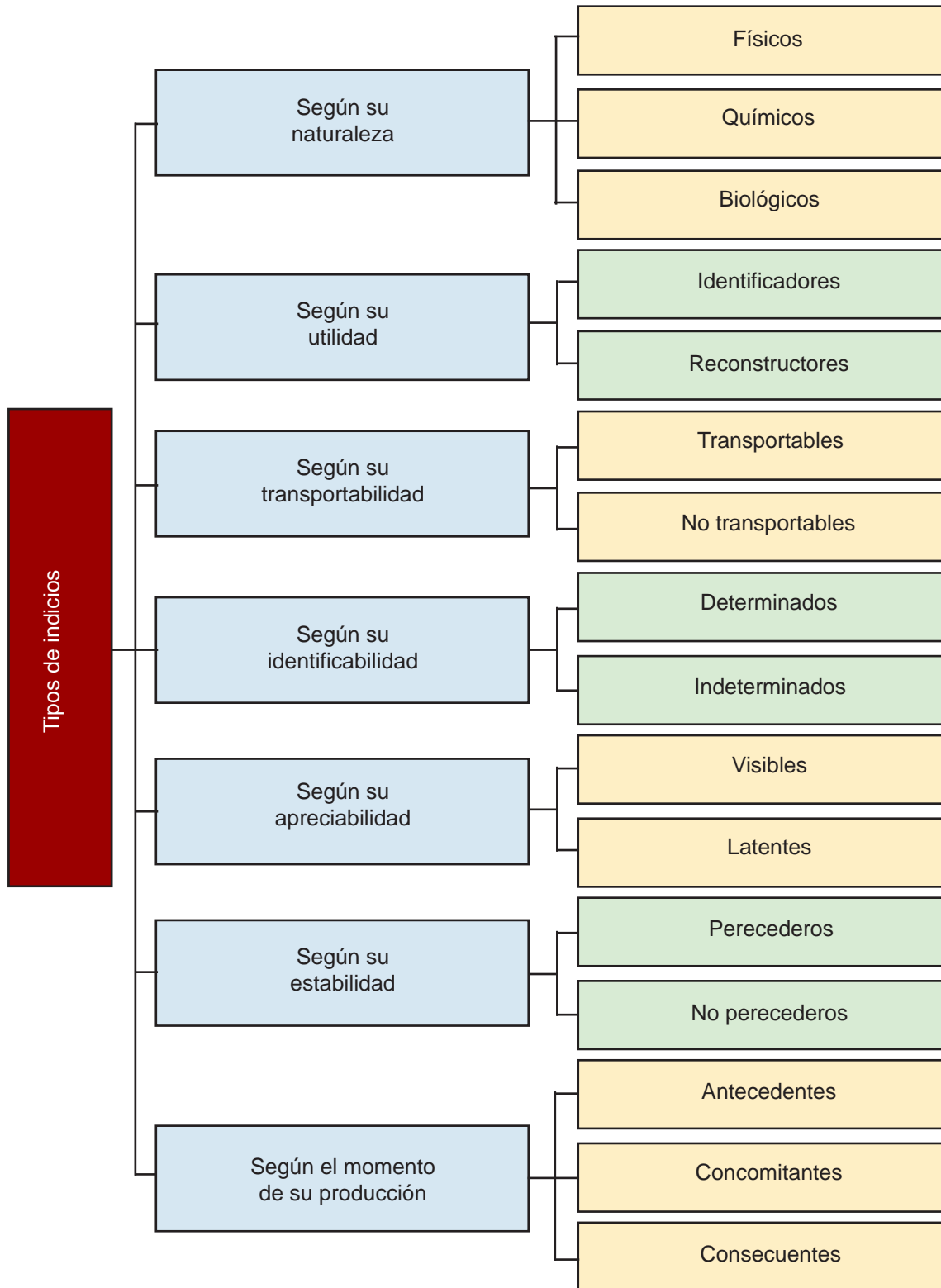
- *Indicios hemáticos generados por acción pasiva*: producidos por la acción de las fuerzas de gravedad, fricción, cohesión y adherencia.
- *Indicios hemáticos generados por acción activa*: producidos por fuerzas diferentes a las fuerzas naturales antes mencionadas.
- *Indicios hemáticos generados por contacto*: producidos por cuerpos maculados al contactar superficies sin macular.

Según su antigüedad

- *Indicios hemáticos recientes*: aquellos que, por haberse producido en un término generalmente menor a las 24 horas, conservan sus características distintivas.
- *Indicios hemáticos no recientes*: aquellos que, por haberse producido en un término generalmente mayor a las 24 horas, han perdido sus características distintivas.

Figura 1

Criterios de clasificación y tipos de indicios resultantes



Composición y propiedades de la sangre

Composición general

La sangre (del latín *sanguis*) es un tipo de tejido altamente especializado en estado líquido, de color rojo y que circula unidireccionalmente impulsado por el corazón a través de las arterias, venas y vasos capilares (Hortolà, 2001; Real Academia Española, 2023). Está constituida por dos componentes esenciales: una sustancia o matriz extracelular llamada plasma y diversos elementos formes, figurados o celulares, denominados eritrocitos, leucocitos y plaquetas, suspendidos en ella.

Tiene participación en el transporte y distribución de oxígeno, bióxido de carbono, nutrientes, metabolitos, hormonas, enzimas, anticuerpos, sustancias medicamentosas y productos de desecho; contribuye al mantenimiento de una temperatura corporal constante e interviene activamente en la regulación de los equilibrios hídrico, electrolítico y ácido-básico (Antón y De Luis, 1998; Barbagallo, 2010; Chub, 2018; Hortolà, 2001; Moreno et al., 2013; Simonelli, 2013; Thews et al., 1983).

La sangre constituye entre el 6 y 9% del peso corporal de una persona, pudiéndose estimar entonces, en términos generales, que una mujer adulta cuenta con entre 4 y 5 litros de sangre y un hombre adulto, con entre 5 y 6 litros de ella (Moreno, 2015; Santos, 2016; Sniegovski et al., 2016).

Plasma sanguíneo

El plasma es un fluido translúcido, salado y amarillento que constituye entre el 55 y 60% del volumen sanguíneo, tiene un pH de 7.4 (± 0.065) y consta de entre el 90 a 93% de agua, del 6.6 a 8.5% de proteínas (entre las que destaca el fibrinógeno, la albúmina y las globulinas) y del 1.5 a 3.5% de otros compuestos (azúcares, lípidos, hormonas, enzimas y sales minerales) (Delgado, 2015; Hortolà, 2001; Sniegovski et al., 2016).

Elementos formes de la sangre

Eritrocitos

Los eritrocitos, glóbulos rojos o hematíes son células carentes de núcleo y de prácticamente la totalidad del resto de los organelos intracitoplasmáticos, incapaces de dividirse y con funciones relacionadas principalmente con el transporte de oxígeno y bióxido de carbono (figura 2). La cantidad de eritrocitos en las personas sanas varía en función del sexo, la edad, las condiciones medioambientales en que se desenvuelven y la exigencia física demandada; considerándose que los valores normales de referencia oscilan entre los 4.5 y 5.9 millones/mm³ de sangre en los hombres adultos y entre 4.1 y 5.1 millones/mm³ en las mujeres adultas (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010; Sánchez et al., 2013).

El eritrocito humano tiene forma de disco bicóncavo, cuenta con un diámetro de entre 6.90 y 8.44 micrómetros (μm), su espesor en el margen oscila entre los 1.90 y 2.85 μm y mide entre 0.46 y 1.16 μm en la parte central. Aproximadamente, el 12.5% de los eritrocitos de una persona sana tiene diámetros mayores a los 8.5 μm (macrocitosis) y el mismo porcentaje suele presentar diámetros menores a los 6.0 μm (microcitosis).

La membrana del eritrocito (citolema) tiene un espesor de aproximadamente 20 nanómetros (nm) y en su interior (hialoplasma) existe agua, hemoglobina y otras sustancias de importancia bioquímica (Eliséiev et al., 1985; Manascero, 2014).

Figura 2

Eritrocitos en un extendido de sangre periférica



Nota. Obtenida de Melvin (2015).

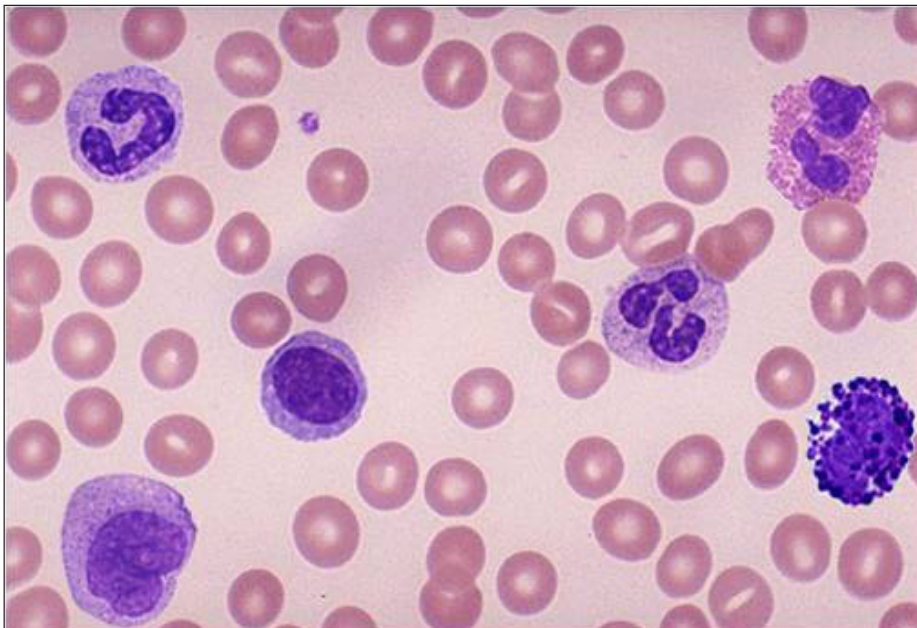
Se produce un promedio de 180 mil millones de eritrocitos al día; teniendo una vida media de entre 90 y 120 días, al cabo de los cuales se destruyen, prácticamente en la misma proporción y mediante un proceso denominado eritosis, en el bazo y el hígado (Bevel y Gardner, 2008; Quintanar y Calderón, 2006; Sánchez et al., 2013).

Leucocitos

Los leucocitos o glóbulos blancos tienen formas más o menos esféricas y se diferencian, según su aspecto intracelular, en dos grandes grupos: leucocitos granulados, granulares o granulocitos y leucocitos agranulosos, agranulares o agranulocitos (Geneser et al., 2015) (figura 3).

Figura 3

Células eritrocitarias y leucocitarias en un frotis sanguíneo



Nota. Obtenida de Stovall (2013).

Los granulocitos se caracterizan, vistos a través del microscopio, por tener núcleos multilobulados (razón por la cual se les conoce también como polimorfonucleares) y una granulación específica que, al tratarse con colorantes ácidos y básicos, da lugar a tres tipos de células: eosinófilos o acidófilos (afines a colorantes ácidos), basófilos (afines a colorantes básicos) y neutrófilos o heterófilos (afines a ambos).

Los agranulocitos se reconocen, también al microscopio, por sus núcleos no segmentados y la falta de granulación específica en su citoplasma y se dividen, según su tamaño y estructura nuclear, en linfocitos y monocitos (García y Jarque, 2013).

Un adulto promedio tiene entre 4,400 y 11,300 leucocitos/mm³ de sangre (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010), sus tamaños oscilan entre 4.5 y 12.0 µm y cuentan con movimiento activo mediante la formación de pseudópodos (Eliséiev et al., 1985).

Los leucocitos fagocitan microorganismos, sustancias proteínicas extrañas al organismo, porciones de células muertas y cuerpos apoptóticos y producen, transportan y distribuyen anticuerpos durante la respuesta inmunitaria; contando con la capacidad de atravesar las paredes de los pequeños vasos sanguíneos para actuar, como células libres, en cualquier otro tejido conjuntivo (Geneser et al., 2015).

Del número total de leucocitos en la sangre de un adulto, entre el 40 y 75% son neutrófilos, del 20 al 50% son linfocitos, alrededor del 2 al 10% son monocitos, entre el 1 y 6% son eosinófilos y no más del 1% está constituido por basófilos (García y Jarque, 2013).

Los granulocitos tienen una vida circulante media que oscila entre 8 y 10 horas (Sánchez et al., 2013). Algunos neutrófilos pueden circular hasta durante 5.4 días (Simon y Kim, 2010); los monocitos son sólo funcionales durante entre 36 y 104 horas (Bennett y Plum, 1996); mientras que los llamados linfocitos T, permanecen activos durante más de 30 años (Iáñez, s.f.).

Plaquetas

Las plaquetas o trombocitos son estructuras sin núcleo, con forma variable (redondas, ovoides, fusiformes o irregulares), de entre 0.5 y 3.9 µm de longitud y presentes en cantidades que oscilan entre 150,000 y 450,000 plaquetas/mm³ de sangre (Eliséiev et al., 1985; Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010; López-Santiago, 2016; Rubio et al., 2012).

Su actividad se centra en el proceso de la coagulación sanguínea y el mantenimiento de la integridad funcional de los vasos conductores de la sangre; estimándoseles una vida media de entre 7 y 10 días en el torrente circulatorio (Sánchez et al., 2013).

Propiedades físicas y biológicas

La composición celular y química de la sangre antes referida, le confieren una serie de características distintivas, variables e interdependientes, que permiten considerarla como un fluido biológico no newtoniano (Moreno et al., 2013) con las siguientes propiedades:

Densidad

La densidad es una magnitud física que expresa, para cualquier sustancia, la cantidad de masa contenida en un determinado volumen. Se considera una propiedad particular, intensiva o específica de la materia y puede ser estimada, según la fórmula existente para hacerlo, dividiendo la masa (expresada en gramos) entre el volumen de la sustancia de interés (expresado preferentemente en centímetros cúbicos).

La sangre tiene una densidad ligeramente superior a la del agua, oscilando en función de diversas variables entre 1.05 y 1.06 g/cm³ (Hoyos, 1999; Sniegovski et al., 2016).

Viscosidad

Es la medida de la resistencia de un gas o líquido a desplazarse y su unidad es el poise (P). El agua presenta una viscosidad de 1.002 centipoise (cP) a los 20 °C y los valores sanguíneos oscilan entre 3.0 y 5.5 cP (Chub, 2018); dependiendo de la cantidad de eritrocitos, la velocidad de su flujo, el diámetro del vaso conductor, la temperatura corporal de la persona y la concentración de proteínas plasmáticas que la misma presente (Thews et al., 1983).

Tensión superficial

Este fenómeno se debe a la suma de las fuerzas de interacción que las moléculas en el seno de un fluido ejercen sobre las ubicadas en su superficie, provocando que esta se comporte como una membrana en permanente tensión. El valor de la tensión superficial de los fluidos depende de su naturaleza y puede variar según el medio que los rodee y la temperatura a la que se encuentren sometidos. Así pues, el agua tiene una tensión superficial de 0.073 N/m a los 20 °C (Koshkin y Shirkévich, 1975) y el valor de esta magnitud en la sangre es de 0.058 N/m a los 37 °C (Aldao, 2018).

Punto de congelación

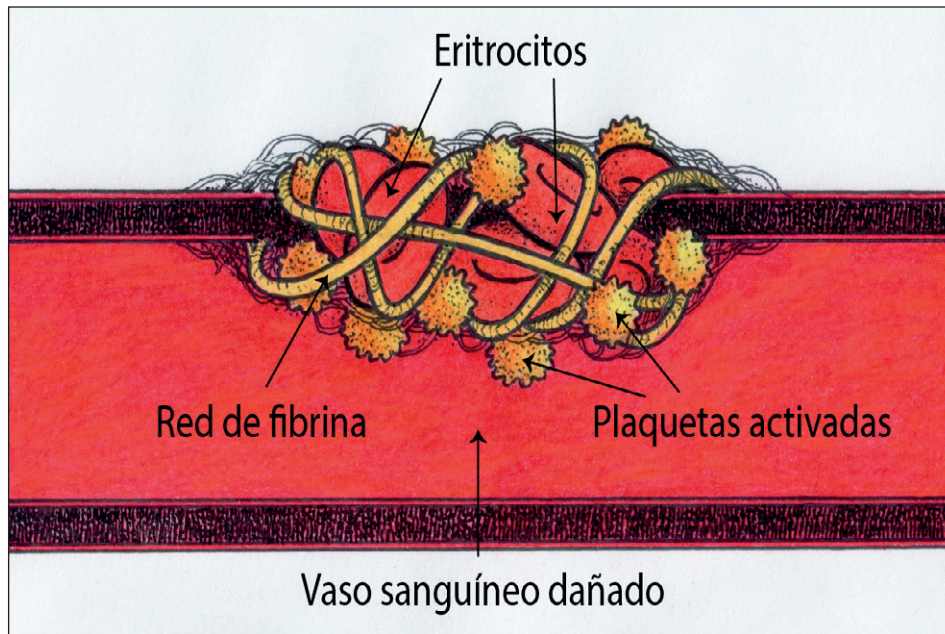
En 1892, el químico alemán Heinrich Dreser determinó experimentalmente que la sangre humana se congelaba a los -0.56 °C. Investigaciones realizadas durante los siguientes 30 años dieron lugar a estimaciones entre los -0.490 y -0.628 °C (Margaria, 1930).

Coagulabilidad

Término empleado para referir la propiedad que tienen algunas sustancias de perder su estado líquido y convertirse —así sea parcialmente— en un gel semisólido (figura 4).

El proceso de la coagulación hemática comienza al dañarse la capa interna de los vasos sanguíneos, también conocida como endotelio vascular (Duboscq, 2017); generándose, en primera instancia, la activación y agregación de las plaquetas para formar una especie de tapón en el sitio lesionado (evento denominado hemostasia primaria o etapa plaquetaria) e inmediatamente después una serie de reacciones químicas interconectadas que culminan con la formación de una estructura reticular de una proteína insoluble llamada fibrina, que retiene el resto de los elementos formes de la sangre, dando lugar al coágulo propiamente dicho, y refuerza el tapón de plaquetas antes formado (evento denominado hemostasia secundaria o etapa plasmática) (Gálvez y Cortés, 2011; Lozano y Cerezo, 2013; Sala, 2012; Tortosa y Crespo, 2011).

Figura 4
Estructura general del coágulo sanguíneo



Nota. Adaptada de Streiff (2023).

La sangre puede coagular dentro y fuera de los vasos sanguíneos; empleándose, en sentido estricto, los términos trombo para el producto de la coagulación intravascular y coágulo para el resultado de la reacción biológica acontecida fuera de estos (Chuaqui y González, 2019).

Dependiendo del estado de salud de la persona afectada y si el número o la gravedad de la lesión o las lesiones lo permite, las hemorragias suelen cesar como resultado de la coagulación focalizada en la zona afectada en menos de 10 minutos (Sánchez et al., 2000).

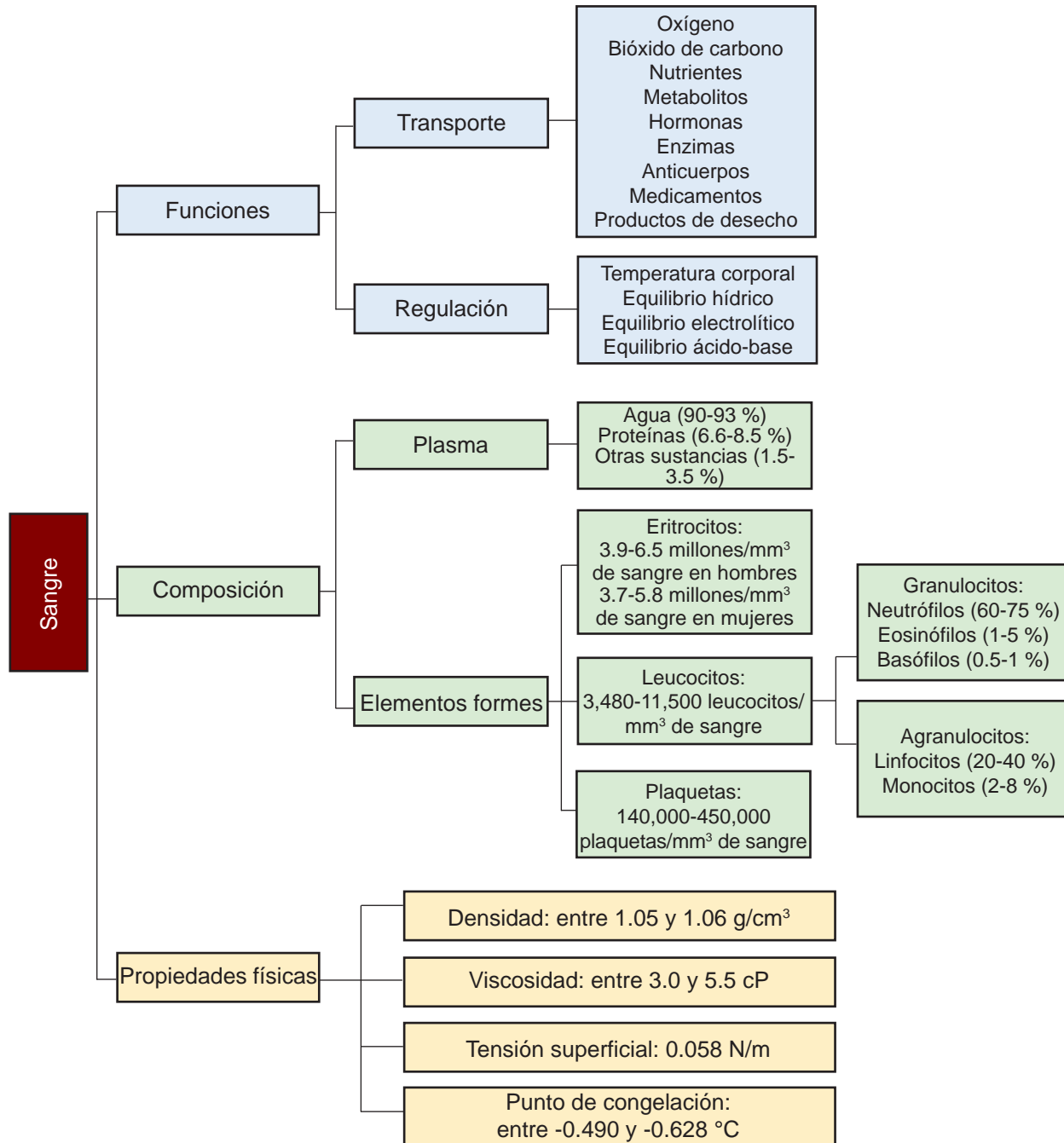
Aglutinación

La estructura y composición química de la superficie externa de la membrana eritrocitaria, rica en glucolípidos y glucoproteínas, les confiere, independientemente de lo referido en el apartado inmediato anterior, la propiedad de agregarse o agruparse entre ellos ante la presencia de ciertas sustancias de naturaleza proteínica en el plasma sanguíneo, al ser reconocidas como ajenas o extrañas al organismo.

Dada la cinética de la reacción generada, a las sustancias disueltas que desencadenan la reacción de hemoaglutinación se les denomina aglutininas y a los elementos de la membrana citoplasmática de los glóbulos rojos que responden a su presencia se les llama aglutinógenos.

Los aglutinógenos eritrocitarios de cada persona determinan su grupo sanguíneo y permiten el diagnóstico laboratorial de enfermedades infecciosas producidas por ciertos virus, bacterias, hongos y protozoarios, varias neoplasias y algunos trastornos en la actividad inmunológica (Riedel et al., 2020). La figura 5 esquematiza la naturaleza e importancia biológica de la sangre.

Figura 5
Composición, funciones y propiedades físicas de la sangre humana



Valores hematológicos de referencia

Bajo ciertas circunstancias, especialmente en situaciones relacionadas con la propedéutica clínica, resulta necesario conocer la concentración y algunas características de los componentes de la sangre. La información se emplea para valorar el estado de salud general de la persona, diagnosticar y monitorear la evolución de las enfermedades y evaluar la eficacia, si fuera el caso, de los tratamientos médicos instaurados. Con tales propósitos se recurre al hemograma, a las determinaciones cuantitativas relacionadas con la llamada química sanguínea y a las pruebas de homeostasia o coagulación.

Hemograma

El hemograma, conocido también como conteo sanguíneo o biometría hemática, contempla la cuenta de eritrocitos, leucocitos y plaquetas, el conteo diferencial de leucocitos, la determinación del hematocrito, la valoración de la concentración de hemoglobina y la estimación de diversos índices eritrocitarios o hematimétricos; entre los cuales se encuentra el volumen corpuscular medio, la hemoglobina corpuscular media, la concentración de hemoglobina corpuscular media y el ancho de distribución eritrocitaria (Huerta y Cela, 2018).

El hematocrito (Hto) o volumen de células aglomeradas (VCA) expresa el volumen que ocupan los eritrocitos contenidos en una muestra de sangre entera (DuBey, 2018; Ruiz, 2009).

En cuanto a los índices eritrocitarios, el volumen corpuscular medio (VCM) representa el volumen promedio de los glóbulos rojos de una persona, la hemoglobina corpuscular media (HCM) da cuenta del contenido promedio de hemoglobina en cada eritrocito, la concentración de hemoglobina corpuscular media (CHCM) expresa la relación existente entre la cantidad de hemoglobina contenida en la muestra y el volumen ocupado por los eritrocitos en la misma, y el ancho de distribución eritrocitaria (ADE) describe la variación porcentual en el tamaño de los glóbulos rojos de la persona en estudio.

En personas sanas, los valores de tales parámetros se encuentran comprendidos en rangos más o menos amplios y generalmente dependientes de su edad y sexo, la intensidad de la actividad física habitualmente desarrollada y la altitud o altura con respecto al nivel del mar en la que estas se desenvuelven.

Para un adulto sano pueden considerarse como valores normales o de referencia los rangos estimativos consignados en la tabla 1 (García y Jarque, 2013; Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010).

Tabla 1
Valores hemográficos normales en adultos

Parámetro		Valores de referencia
Eritrocitos	Mujeres	4.1-5.1 millones/mm ³
	Hombres	4.5-5.9 millones/mm ³
Hemoglobina	Mujeres	12.3-15.3 g/dl
	Hombres	14.0-17.5 g/dl
Hematocrito	Mujeres	36.0-45.0%
	Hombres	42.0-50.0%
VCM		80.0-96.1 fl ¹ /eritrocito
HCM		27.5-33.2 pg ² /eritrocito
CHCM		33.4-35.5 g/dl
ADE		11.5-14.5%
Leucocitos totales		4,400-11,300 células/mm ³
Neutrófilos		2,000-7,500 células/mm ³
Linfocitos		1,500-4,000 células/mm ³
Monocitos		200-800 células/mm ³
Eosinófilos		40-400 células/mm ³
Basófilos		10-100 células/mm ³
Plaquetas		150,000-450,000 plaquetas/mm ³

Nota. VCM: volumen corpuscular medio; HCM: hemoglobina corpuscular media; CHCM: concentración de hemoglobina corpuscular media; ADE: ancho de distribución eritrocitaria.

Química sanguínea

Término dado a una serie de pruebas de laboratorio clínico realizadas con el fin de precisar la concentración sérica de entre 6 y 45 compuestos y elementos químicos que reflejan las condiciones funcionales de los sistemas cardiovascular, hematológico e inmunológico, así como la actividad del hígado y los riñones.

Una química sanguínea básica incluye la estimación cuantitativa de glucosa, urea, creatinina, ácido úrico, triglicéridos y colesterol; pudiéndose considerar como normales los valores que se presentan en la tabla 2 (Fischbach, 1991; Olay et al., 2013; Ruiz, 2009).

Los estudios más completos contemplan la cuantificación de albúmina, bilirrubina total, fosfolípidos, proteínas totales, fosfatasa alcalina (FA), deshidrogenasa láctica (DHL), alanina aminotransferasa (TGP), aspartato aminotransferasa (TGO), inmunoglobulinas A, G y M (IgA, IgG e IgM), gamma-glutamil transpeptidasa (GGTP), proteína C

1 Símbolo del femtolitro (subunidad de volumen equivalente a 10⁻¹⁵ litros).

2 Símbolo del picogramo (subunidad de masa equivalente a 10⁻¹² gramos).

reactiva (PCR), fructosamina, transferrina, sodio, potasio, cloro, calcio, hierro, fósforo y magnesio, entre otros (Fischbach, 1991; Olay et al., 2013; Rubio et al., 2012; Ruiz, 2009).

Tabla 2

Valores normales de química sanguínea en adultos

Sustancia		Valores de referencia
Glucosa		Menos de 100.0 mg/dl
Urea	Mujeres	12.8-56.0 mg/dl
	Hombres	15.0-58.0 mg/dl
Creatinina	Mujeres	0.5-1.1 mg/dl
	Hombres	0.7-1.3 mg/dl
Ácido úrico	Mujeres	2.4-7.2 mg/dl
	Hombres	3.2-9.2 mg/dl
Triglicéridos		Menos de 150.0 mg/dl
Colesterol total		Menos de 200.0 mg/dl

Pruebas de hemostasia

La hemostasia es el conjunto de eventos fisiológicos que aminoran la pérdida de sangre ante una lesión vascular y su eficacia se evalúa cuantificando la concentración de las células y las proteínas mediadoras del proceso, así como los tiempos que tardan estas en conformar el coágulo.

La tabla 3 resume los valores referenciales de este tipo de pruebas de laboratorio (Instituto Mexicano del Seguro Social, 2010; López-Santiago, 2016; Ruiz et al., 2007).

Tabla 3

Valores homeostáticos normales en adultos

Técnica analítica	Valores de referencia
Recuento de plaquetas	150,000-450,000 plaquetas/mm ³
Tiempo de sangrado	3-7 minutos
Tiempo de protrombina	10-17 segundos
Tiempo parcial de tromboplastina	22-45 segundos
Tiempo de trombina	9-35 segundos
Concentración de fibrinógeno	200-400 mg/dl
Productos de degradación de fibrina	0.0-11.0 mg/mm ³

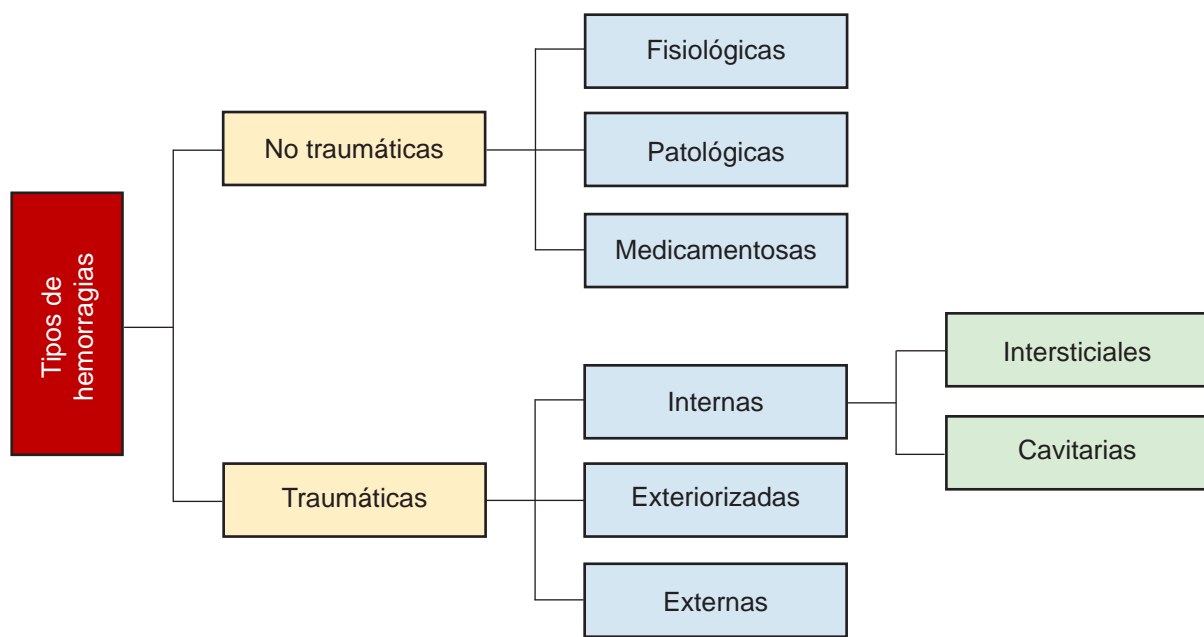
Producción y obtención de indicios hemáticos

Indicios hemáticos *ante mortem*

Los hallazgos indiciarios de naturaleza hemática efectuados en el lugar de intervención y producidos por víctimas vivas serán siempre producto de una hemorragia. Término empleado para referir la pérdida de sangre por daño capilar, venoso o arterial, procedente de la palabra griega haimorrhagia; conformada, a su vez, por las voces *haima* (sangre) y *rrhagia* (flujo excesivo o anormal) (Diccionario Etimológico Castellano En Línea, 2024b).

Existen diversos criterios para clasificar las hemorragias, para los fines que aquí nos ocupan consideraremos sólo algunas (véase esquemáticamente en la figura 6).

Figura 6
Criterios de clasificación y tipos de hemorragias



Hemorragias no traumáticas

Ocurren por causas exentas de acciones o mecanismos violentos y se dividen en tres modalidades: fisiológicas, patológicas y medicamentosas.

Hemorragias fisiológicas

Acontecen de manera natural y a veces cíclica como parte de algún proceso funcional desarrollado normalmente por el organismo (tal es el caso de la menstruación) o como consecuencia de cambios o alteraciones no patológicas en la fisiología de la mujer (como ocurre en el sangrado por implantación embrionaria, la hemorragia posalumbramiento, el sangrado puerperal o el sangrado vaginal —a veces apreciable en niñas recién nacidas—) (Jeanmonod et al., 2023).

Hemorragias patológicas

Son consecuencia de anomalías o cambios morfofuncionales atribuibles a causas no naturales diversas (Bevel y Gardner, 2008; James et al., 2005).

Suelen constituirse como el signo de una enfermedad y se exteriorizan a través de la nariz (epistaxis), boca (hematemesis y hemoptisis), vagina (sangrados no menstruales por miomatosis uterina, embarazos ectópicos, embarazos molares, placenta previa, desprendimiento de placenta y retención de tejido placentario), vías urinarias (uretrorragia, hematuria y hematospermia) y ano (rectorragia) (Tortosa y Crespo, 2011).

El término hematemesis designa la expulsión de sangre fresca o coagulada proveniente del tracto digestivo comprendido entre el esfínter esofágico superior y el esfínter pilórico existente en la parte superior del estómago; reservándose la palabra hemoptisis para referir la expulsión de sangre proveniente de la tráquea o los pulmones (Sánchez et al., 2000).

La rectorragia puede presentarse a modo de hematoquecia o de melena: la primera es la exteriorización a través del ano de sangre fresca, generalmente de color rojo oscuro; la segunda, refiere la excreción de heces fecales pastosas, malolientes, pegajosas y de color negro intenso y brillante. Suelen ser producto de la rotura de várices esofágicas o gástricas, sangrado de úlceras gástricas o duodenales, enfermedades inflamatorias intestinales, divertículos y pólipos en el colon, hemorroides y fisuras anales (Sánchez, 1911).

La rotura de aneurismas genera también hemorragias internas de intensidad variable, la mayoría de las veces incompatibles con la vida, en las cavidades craneal, torácica y abdominal. Además, existen los llamados trastornos hemorrágicos espontáneos que, por alteraciones en la función o la cuenta plaquetaria o la deficiencia congénita de alguno de los factores de la coagulación, pueden llegar a producir sangrado de encías (gingivorragia), hemorragias prolongadas y profusas, manchas petequiales, equimosis sin causa aparente y deficiencias en el proceso de cicatrización de heridas (Sánchez et al., 2000).

Hemorragias medicamentosas

Se trata de sangrados producidos tras la ingesta de sustancias con propiedades anticoagulantes (tales como la heparina y warfarina), medicamentos antiinflamatorios no esteroides (como el ibuprofeno y la indometacina) y ciertos fármacos con acción antiplaquetaria (entre los que se encuentra el ácido acetilsalicílico y clopidogrel) (Dinçer et al., 2019).

Hemorragias traumáticas

Son producidas por fuerzas externas transmitidas por la acción de objetos materiales de prácticamente cualquier naturaleza, forma y tamaño (bastones, varillas, rocas, partes automotrices, armas blancas, proyectiles disparados por arma de fuego y algunas regiones corporales como la cabeza, los puños, los codos, las rodillas y los pies) al vulnerar la integridad de los vasos sanguíneos. Atendiendo el destino del sangrado, podemos considerar la existencia de tres tipos de estas hemorragias:

Hemorragias internas

Es cuando la sangre extravasada queda en el interior del organismo, ya sea en el seno de los tejidos (hemorragias intersticiales) o en alguna cavidad corporal (hemorragias cavitarias) (Tortosa y Crespo, 2011) (figura 7).

Figura 7

Equimosis en las regiones glúteas



Entre las hemorragias intersticiales más frecuentes se encuentran las equimosis, los derrames sanguíneos conjuntivales, las sufusiones, los hematomas extracraneales y las sugilaciones; generalmente producidos, exceptuando la última de las antes mencionadas que se genera mediante succión, por objetos sólidos, macizos, con formas planas y bordes romos al actuar sobre la superficie corporal con una fuerza instantánea, casi siempre perpendicular a esta y de intensidad variable (figura 8).

Figura 8

Sugilación autoinfligida en el brazo de una menor de edad



Las fracturas en la base del cráneo suelen dar lugar a equimosis o sufusiones en los párpados (signo del mapache) y equimosis o hematomas atrás de las orejas (signo de Battle) (Jiménez, 2018) (figura 9).

Las hemorragias cavitarias producen hematomas intracraneales, hemotórax, hemoperitoneos y hemartrosis; estando siempre asociadas a roturas vasculares o estallidos viscerales por fuerzas traumatizantes de gran intensidad (Sánchez et al., 2000) (figura 10).

Ninguna hemorragia interna genera indicios en el lugar de los hechos, siendo acreditables y documentables durante el examen descriptivo y clasificativo de lesiones o, si fuera el caso, al practicarse la necropsia a la víctima.

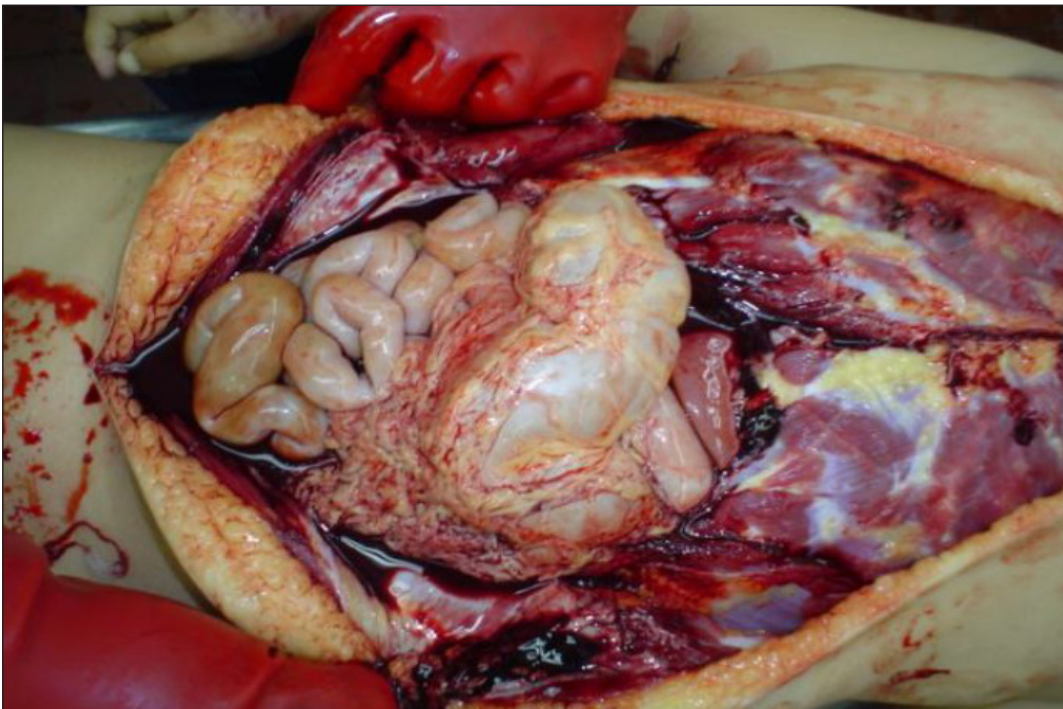
Figura 9

Equimosis palpebral por fractura de la base del cráneo, comúnmente conocida como signo del mapache



Figura 10

Hemorragia en cavidad abdominal secundaria por estallamiento del hígado



Hemorragias exteriorizadas

Se trata de hemorragias generadas en algunas de las llamadas cavidades menores del organismo (nasal, bucal, ótica, vaginal o rectal) pero que se manifiestan al exterior a través de los orificios naturales que las delimitan (narinas, boca, conducto auditivo externo, introito vaginal y ano) (Tortosa y Crespo, 2011).

Según el orificio por el que se exterioricen, algunas se denominan con términos específicos tales como epistaxis, si el sangrado emana de las narinas; otorragia, en caso de sangrar por el conducto auditivo externo; genitorragia, si la hemorragia no es fisiológica y se manifiesta por el introito vaginal; y rectorragia, en caso de sangrado por vía anal (James et al., 2005; Rivas, 1999) (figura 11).

Figura 11
Rectorragia



Las hemorragias nasales y óticas pueden deberse a afectaciones en los tejidos que recubren dichas cavidades o ser consecuencia de fracturas en la base del cráneo (figura 12).

Figura 12

Otorragia por fractura de la base del cráneo ocasionada por proyectil disparado por arma de fuego



Hemorragias externas

Son sangrados producidos por pérdida de la integridad de la piel o las mucosas, secundarias a excoriaciones, heridas punzantes, cortantes, punzocortantes, contusopunzantes, contusocortantes, contusopunzocortantes y las producidas por proyectiles disparados por arma de fuego.

También son motivo de hemorragias de intensidad variable las heridas contusas (particularmente aquellas que afectan el cuero cabelludo), las fracturas expuestas, las avulsiones o arrancamientos y los aplastamientos; pudiéndose llegar a poner en peligro la vida del lesionado por el volumen de sangre perdida (figura 13).

Las hemorragias exteriorizadas y externas producen indicios hemáticos en la superficie corporal de la víctima y su victimario, las prendas que estos vestían al momento de los hechos, los objetos utilizados en la agresión y las diversas superficies existentes en el lugar de los hechos.

Figura 13

Hemorragia por heridas producidas por la acción de un objeto ejercido con acción contusocortante



Nota. Cortesía de Ana Lilia González Ruiz.

Indicios hemáticos *peri mortem*

En ciertas ocasiones, como sucede en las asfixias mecánicas, las alteraciones circulatorias previas a la muerte de la víctima dan lugar a diversos indicios de naturaleza hemática en su economía corporal.

Así, por ejemplo, la rotura de los vasos capilares de la cavidad nasal al aumentar la presión sanguínea durante el proceso agónico de los ahorcados y estrangulados genera epistaxis, la piel de las porciones distales de sus dedos suele adquirir un tono azulado o violáceo por la desoxigenación de la hemoglobina y se produce también un puntillero hemorrágico, de entre 0.1 y 2 mm de diámetro, en la piel de la cara, los labios, detrás de las orejas y en las mucosas nasal, labial, lingual y palpebral, la esclerótica, el tejido pericárdico y la pleura pulmonar, conocido como manchas de Tardieu (Jiménez, 2006a) (figura 14).

Indicios hemáticos *post mortem*

Tras el cese de las funciones vitales en el organismo y de forma más o menos predecible, los cadáveres van presentando una serie de alteraciones o cambios referidos como fenómenos cadavéricos.

Figura 14
Hemorragia nasal en un ahorcado



Con el paro cardiopulmonar que da inicio al proceso de muerte, la sangre tiende a acumularse intravascularmente en las zonas declives del occiso, para dar lugar a las livideces cadavéricas. Estas inician, como un sutil puntilleo, entre los 20 y 45 minutos después del deceso; estableciéndose plenamente, en un plazo que varía entre 3 y 12 horas, como una zona rojiza, rojo vinoso, violácea o púrpura (figura 15).

Figura 15
Livideces cadavéricas en las extremidades inferiores de un menor de edad que fue encontrado en suspensión completa



Conforme el proceso avanza y se intensifica, pueden llegarse a romper algunos vasos capilares superficiales, produciendo un puntilleo petequial denominado púrpura hipostática.

La intensidad de las livideces depende de la fluidez y la cantidad de sangre en la víctima. Así pues, se verán intensas en las personas fallecidas por asfixia porque en ellas la sangre se torna muy fluida y tenues en quienes fallezcan tras intensas hemorragias.

La formación de livideces igualmente acontece en los órganos internos, particularmente en los pulmones, el hígado, el bazo, los riñones, el corazón, el cerebro y las partes declives de los intestinos (figura 16); conociéndoseles genéricamente como hipostasis o hipostasis viscerales (Jiménez, 2016).

Figura 16

Hipostasis viscerales formadas en la cara posterior del pulmón derecho



El proceso de putrefacción afecta también a la sangre, generando en los cadáveres la mancha verde abdominal, la red venosa póstuma y los dientes rosas.

La mancha verde abdominal (figura 17) se debe a la sulfohemoglobina, la verdoglobina y la cooglobina formadas por la acción del ácido sulfhídrico producido durante la actividad bacteriana sobre la hemoglobina de la sangre cadavérica; dando lugar a coloraciones verdosas a nivel de una o ambas fosas ilíacas (generalmente más frecuente e intensa en la del lado derecho) o, como sucede en los ahogados, en la cara anterior del tórax, el cuello y el rostro. Con el transcurrir de las horas, estas manchas se extienden y oscurecen, adquiriendo finalmente tonalidades que oscilan entre pardo y negro.

Figura 17

Mancha verde abdominal en ambas fosas ilíacas



Con el avance del desarrollo microbiano, los gases pútridos producidos en el interior del cadáver generan la migración de los productos de la hemólisis hacia los conductos superficiales (fenómeno conocido como circulación *post mortem* o póstuma de Brouardel), produciendo una coloración entre verde y marrón en todo el trayecto de los vasos sanguíneos involucrados; especialmente en los de la cara anterior del tórax, los hombros, los brazos, las caras laterales del abdomen y la cara anterior de los muslos. La red venosa póstuma suele ser también referida como veteado vascular o red venosa de putrefacción (Jiménez, 2016) (figura 18).

Además, la hemólisis acontecida durante el proceso de putrefacción puede llegar a generar una coloración rosada en los dientes de algunos cadáveres. Este hallazgo, conocido precisamente como fenómeno del diente rosa o rosado, se debe a la liberación y degradación de la hemoglobina en los túbulos dentinarios y suele apreciarse con mayor frecuencia en incisivos, caninos o premolares no careados de adultos jóvenes fallecidos

por asfixia mecánica o por sumersión, así como en las piezas dentales de cadáveres recuperados del agua, expuestos a ambientes altamente húmedos o que han permanecido en refrigeración por varios días.

La tendencia a producirse en las personas jóvenes se debe a que sus cavidades pulpares son más amplias y vascularizadas, por lo que la hemorragia en dichas estructuras es consecuencia del incremento de la presión venosa durante el proceso agónico de las muertes asfícticas y, en el caso de personas ahogadas, podría deberse a la hipostasis, al quedar los cadáveres flotando con la cabeza en una posición más baja que el resto del cuerpo (Villalobos y Fernández, 2016).

Figura 18

Red venosa póstuma en extremidad superior derecha



Toma de muestras hemáticas

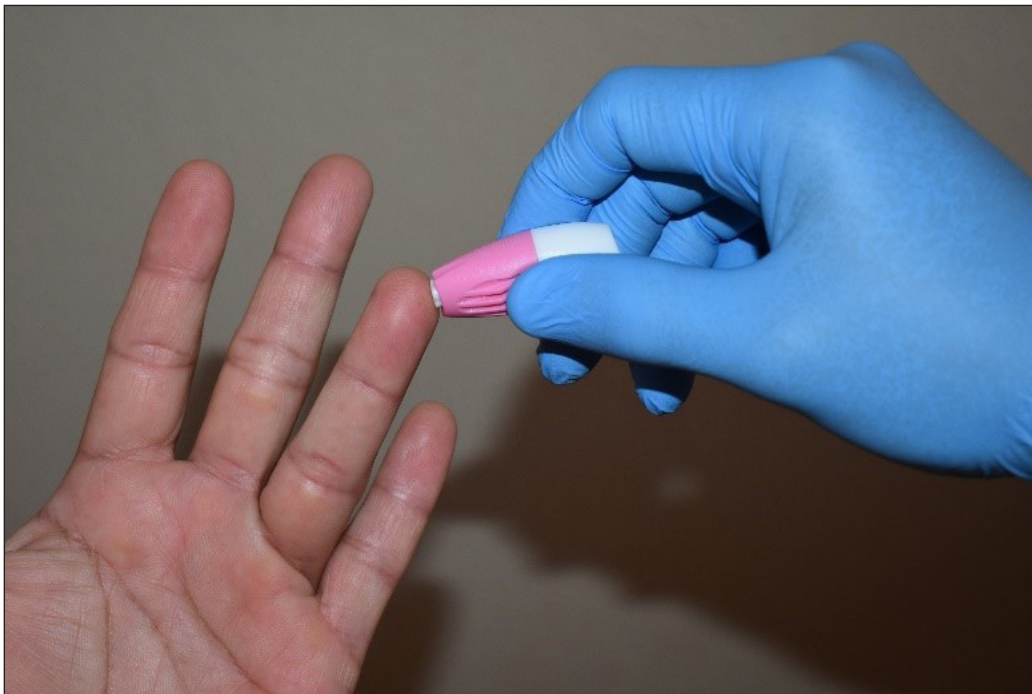
En ciertas ocasiones, la investigación desarrollada para conocer los hechos y las circunstancias del evento problema demandará la toma de muestras de sangre de las personas, vivas o muertas, involucradas. Antes de tomar las muestras a los donantes vivos, deberá explicárseles las maniobras o procedimientos a realizar, el motivo y la importancia de la toma sanguínea, las molestias o los riesgos que podrían presentarse y la libertad que tienen de otorgar o negar su consentimiento para llevarla a cabo. Tras cumplimentarlo, se pueden recurrir, según las necesidades de los análisis a practicar, a la obtención de los siguientes tipos de muestras:

Muestras obtenidas por punción capilar

Se obtienen mediante la acción de lancetas estériles, generalmente con punzones con diámetros de 0.8 mm de grosor o 21 gauges (G), en la cara interna del pulpejo del dedo anular de la mano no dominante de la persona a la que se le tomará la muestra o los tercios medial o lateral de la cara plantar del talón en niñas y niños menores de un año de edad (Organización Mundial de la Salud, 2010) (figura 19).

Figura 19

Obtención de muestra hemática por punción capilar

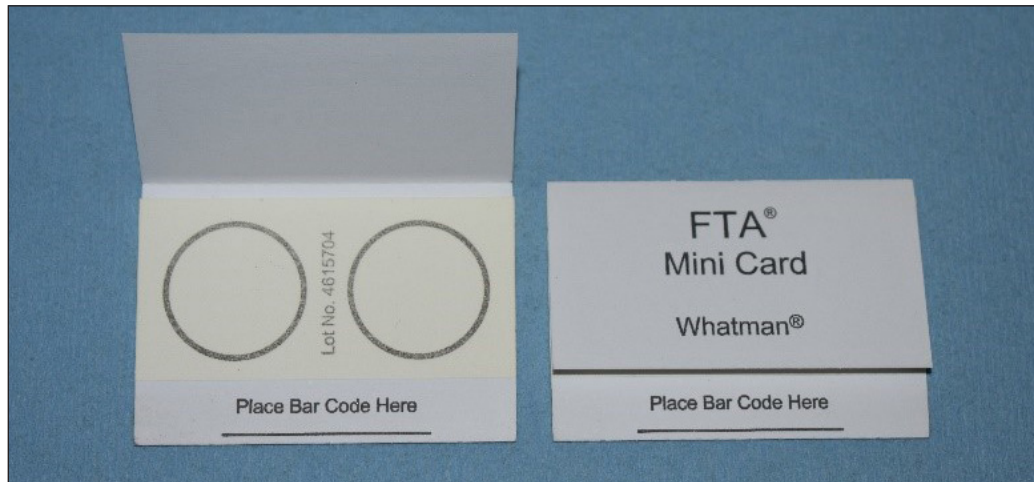


Este tipo de muestras son, en sentido estricto, una mezcla de sangre proveniente de arteriolas, vénulas y capilares y se encuentran diluidas, en menor o mayor cuantía, con fluido intersticial e intracelular; siendo por ello especialmente útiles para la obtención de perfiles genéticos (Mullins, 2002; Roca et al., 2003).

Las gotas de sangre capilar obtenidas se pueden recolectar en torundas de algodón, porciones de gasa estéril o de papel filtro simple, o preferentemente en tarjetas para la conservación a largo plazo de muestras biológicas (mejor conocidas como papel FTA) (figura 20); constituidas, estas últimas, por un tipo de membrana de celulosa con algunos aditivos liofilizados, capaces de lisar las células hemáticas ahí depositadas, inactivar la acción microbiana sobre las muestras y conservar la integridad del material genético de las mismas por periodos de hasta 20 años en condiciones medioambientales promedio (Comité Internacional de la Cruz Roja, 2009).

Figura 20

Tarjetas para la conservación a largo plazo de muestras biológicas



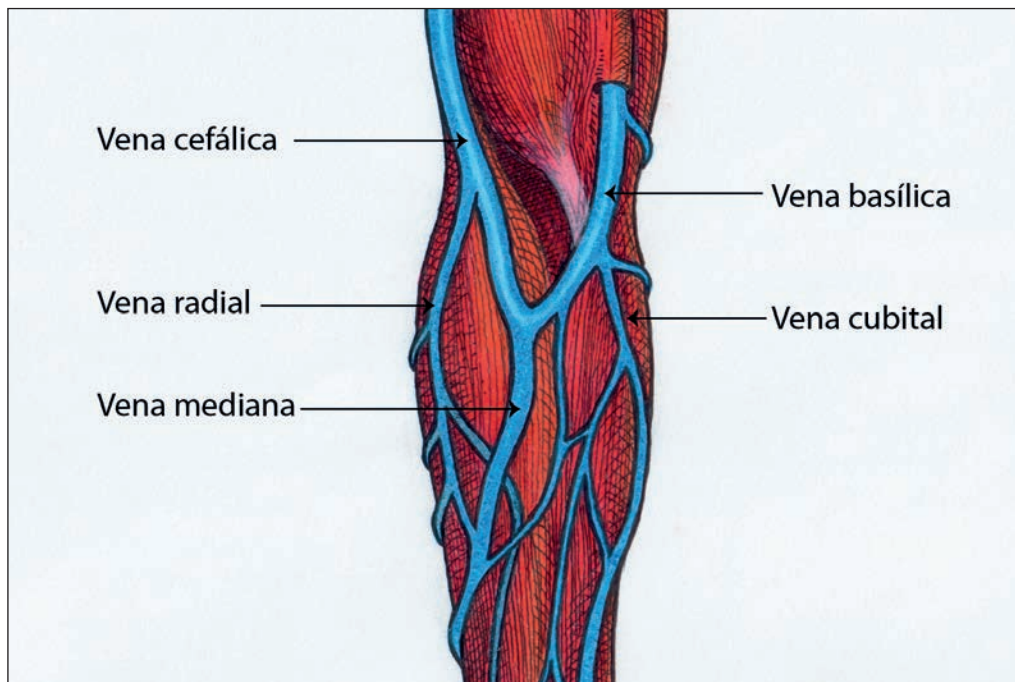
Muestras obtenidas por punción venosa

Recolección en personas vivas

Se obtienen generalmente de las venas localizadas en la cara anterior de los antebrazos (cubital, mediana, radial, cefálica o basílica) y el dorso de las manos (venas metacarpianas) (Mullins, 2002) (figura 21).

Figura 21

Venas antebraquiales empleadas para la toma de muestras sanguíneas en personas vivas



La extracción se puede realizar empleando jeringas con agujas hipodérmicas del tamaño que mejor se adapte a las dimensiones de la vena elegida (generalmente con un diámetro de 21 G para personas adultas y de 22, 23 y 25 G para niñas, niños, adolescentes y personas ancianas) o recurriendo al uso de tubos para extracción al vacío (Mullins, 2002; Roca et al., 2003).

Se recomienda el uso de algún anticoagulante, mismo que deberá agitarse suavemente entre 5 y 10 veces después de tomar la muestra, para homogenizar la mezcla recién preparada. El ácido etilendiaminotetraacético (EDTA) y los anticoagulantes que contienen citrato de sodio y dextrosa, como el ácido cítrico, citrato de sodio y dextrosa (ACD); el citrato de sodio, fosfato de sodio y dextrosa (CPD); y el citrato de sodio, fosfato de sodio, dextrosa y adenina (CPDA), permiten la extracción de ADN y ARN de buena calidad (Roca et al., 2003).

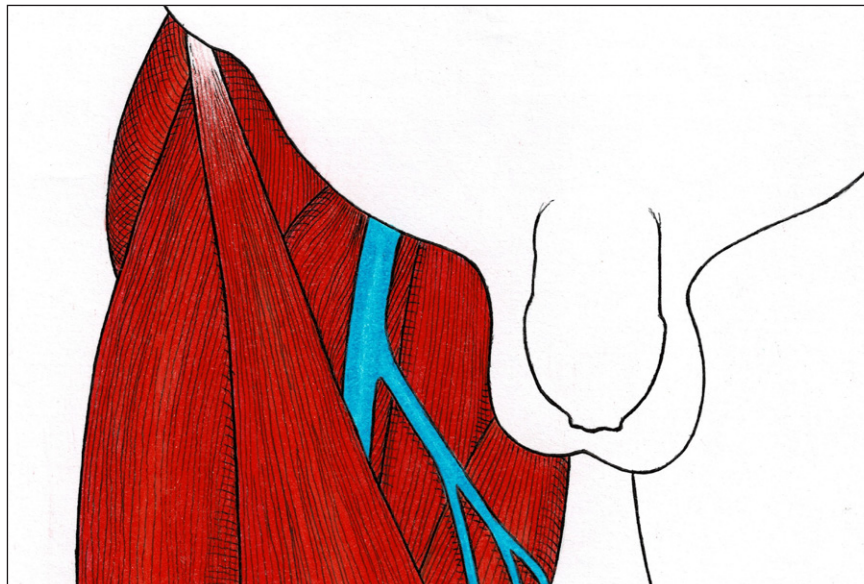
Existen referencias que la heparina dificulta la obtención de ADN al afectar algunas técnicas de amplificación del material genético basadas en la reacción en cadena de la polimerasa (Taylor, 1997; Vaughan-Shaw et al., 2015).

Recolección en cadáveres

En estos casos, las muestras deben obtenerse de las venas femorales, especialmente cuando se pretenda cuantificar las concentraciones de anfetaminas, barbitúricos, etanol, cloroquina, cocaína, dextropropoxifeno, digoxina, fenotiazinas, metadona, propranolol y antidepresivos tricíclicos en las muestras problema, con la intención de aminorar la obtención de resultados alterados por la redistribución, difusión y producción endógena *post mortem* de tales sustancias (Soria-Sánchez y Valverde-Villarreal, 2015) (figura 22).

Figura 22

Ubicación de la vena femoral derecha



Las muestras para hemocultivo pueden extraerse de las venas yugulares externas antes de la apertura del cadáver o, en caso contrario, con anterioridad a la manipulación de los intestinos; debiéndose limpiar la zona de recolección con alcohol isopropílico y emplear jeringas y agujas estériles (Fernández-Rodríguez et al., 2013).

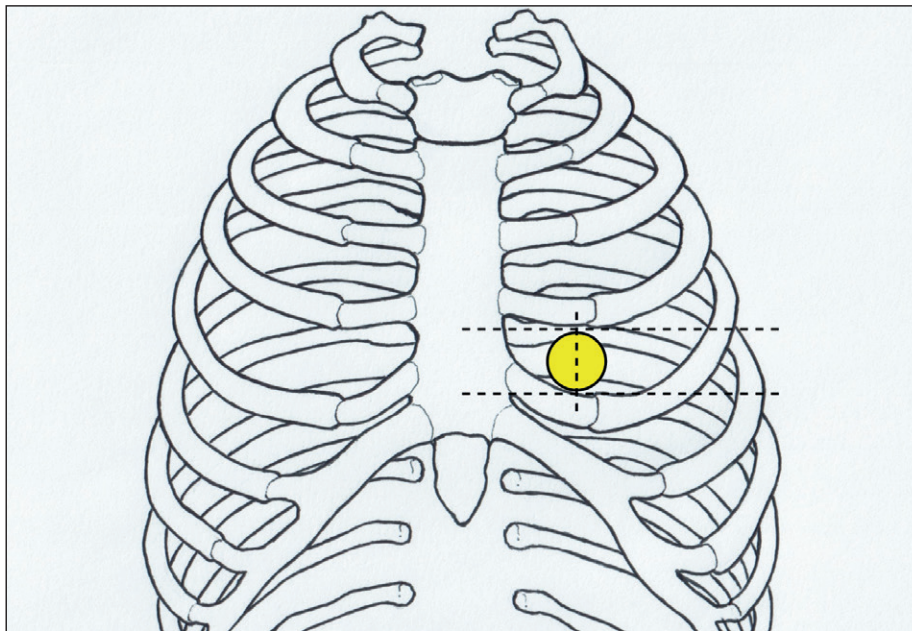
Habrà de evitarse la toma de muestras sanguíneas de las cavidades toràcica y abdominal, pues suelen estar contaminadas por microorganismos y el contenido gàstrico o intestinal ahì vertido en casos de grandes traumatismos (Dinis-Oliveira et al., 2017).

Muestras obtenidas por punción cardíaca

Se emplea ante la necesidad de contar con muestras sanguíneas para la extracción de perfiles genéticos de cadáveres en buen estado de conservación (generalmente con menos de 24 horas de haber fallecido); utilizàndose en condiciones ideales una aguja espinal o raquídea de 18 G, que habrà de insertar en el cuarto espacio intercostal y aproximadamente a 2 cm del borde izquierdo del esternón (Mohana et al., 2024) (figura 23).

Figura 23

Sitio para la punción cardíaca



En caso de practicàrsele la necropsia al cadàver, la muestra se tomarà con una jeringa con aguja convencional de 21 G y directamente de cualquiera de las cavidades del coraz3n.

Puede recurrirse tambi3n a esta t3cnica en el anàlisis cuantitativo de benzodiazepinas, bromazepam y nordiazepam, cuando la toma femoral sea inviable o ante la necesidad de obtener muestras para hemocultivo de cadàveres de lactantes o ni3os peque3os y la extracci3n de perfiles gen3ticos de cadàveres carbonizados (Fernàndez-Rodríguez et al., 2013).

Procesamiento criminalístico de los indicios hemáticos

Técnicas de búsqueda e identificación

No existe una técnica concreta, específica o única para buscar indicios en el área de la investigación. El procedimiento depende de la extensión y las características arquitectónicas o topográficas del lugar, de las particularidades del hecho y del equipo material y humano disponibles para llevar a cabo dicha diligencia; pudiéndose recurrir a los métodos criminalísticos de búsqueda en franjas, en espiral, en áreas circulares concéntricas; en criba, cuadrícula o rejilla; o por zonas, sectores o cuadrantes —si se trabaja individualmente, y en espacios abiertos o cerrados, de poca o mediana extensión— y al método de búsqueda en línea o peine —si se dispone de varios colaboradores para la actividad a realizar o si el área por inspeccionar es notablemente extensa— (Instituto Nacional de Ciencias Penales-Academia Iberoamericana de Criminalística y Estudios Forenses, 2011; Ruiz, 2017; López y Gómez, 2006).

Los indicios hemáticos se pueden encontrar en los lugares y sobre los objetos más variados, dependiendo siempre de las características del lugar y de la mecánica del hecho. La mayoría de las veces resulta fácil reconocerlos; en otras ocasiones, por el contrario, su descubrimiento —al menos a simple vista— resulta difícil o hasta imposible de efectuar; ya sea por la escasa cantidad de sangre depositada, el estado de degradación de la sustancia, las características materiales de sus soportes y la ejecución de diversas maniobras realizadas para eliminarlos, generalmente por la persona victimaria.

La búsqueda puede hacerse bajo la luz natural o ante la falta o deficiencia de esta con el apoyo de alguna fuente de luz artificial, preferentemente blanca, y variando el ángulo de incidencia del haz luminoso; también se pueden emplear filtros coloridos con la finalidad de aumentar el contraste entre las manchas y sus superficies de fondo o recurrir a métodos de revelado, físicos y químicos, que magnifiquen su visibilidad.

Una vez localizados, habremos de proceder, como se hace con cualquier otro indicio, a identificar o individualizar los hallazgos hemáticos; asignándoles una clave numérica (indicio 1, indicio 2, indicio 1.1, indicio 1.2), alfabética (indicio A, indicio B, indicio C) o alfanumérica (indicio 1-A, indicio B-1, indicio II-A, indicio A-2.1, indicio 2-A.3), con la intención de facilitar su reconocimiento, diferenciarlos de los demás elementos indiciarios o referir de alguna manera su procedencia.

Técnicas de fijación

Con la fijación se pretende registrar, acreditar o hacer constar la ubicación y las características generales y particulares del espacio físico relacionado con el evento presuntamente delictuoso y la ubicación y las características generales y particulares de todos y cada uno de los hallazgos ahí efectuados (Ruiz, 2017; Montiel, 1990).

La fijación o documentación del lugar y de los indicios debe ser exacta, precisa, minuciosa, metódica, completa, asociativa y llevada a cabo de lo general a lo particular; pudiéndose recurrir para ello a las siguientes técnicas:

Fijación descriptiva

Consiste en referir por escrito las condiciones del lugar procesado, la ubicación y naturaleza de los hallazgos realizados en el sitio y los procedimientos efectuados durante la diligencia desarrollada.

La redacción debe realizarse empleando un lenguaje sencillo pero formal, exacto, objetivo, referido en tiempo pasado y con estricto apego a las más elementales normas gramaticales y de sintaxis (Instituto Nacional de Ciencias Penales-Academia Iberoamericana de Criminalística y Estudios Forenses, 2011); haciéndose constar en el documento la fecha y hora de inicio de la diligencia; la ubicación exacta e inequívoca del lugar; las condiciones climáticas, de iluminación y visibilidad al momento de la intervención pericial; las características generales y particulares del sitio; el tipo, las características y la ubicación de los hallazgos indiciarios efectuados; las acciones, maniobras, técnicas, actividades y pruebas preliminares realizadas; los procedimientos llevados a cabo para la recolección y el embalaje de los indicios; así como el destino de estos al terminar de procesar el sitio.

La descripción de los indicios de aparente naturaleza hemática encontrados deberá incluir el tipo, color, forma y tamaño de cada hallazgo; el mecanismo de su producción; así como el sitio, punto o lugar en el que fueron localizados.

Esta técnica de fijación se materializa en el informe pericial elaborado para su incorporación al expediente o carpeta de investigación relacionada con el caso.

Fijación fotográfica

La fotografía a color es, sin lugar a dudas, el método de fijación criminalística por excelencia, dada la fidelidad de sus imágenes; debiéndose aplicar entonces, sin ningún pretexto, en todas y cada una de las diligencias técnicas y periciales realizadas durante la investigación de cualquier tipo de hecho delictivo. Teniendo el equipo y el material necesarios, los indicios hemáticos deberán ser fijados mediante algunos de los siguientes tipos de vistas, tomas, planos o registros fotográficos (Lázaro, 2017):

Vistas generales

Sirven para mostrar los límites y las condiciones generales del lugar de intervención, así como la distribución de los objetos, indicios y hallazgos localizados en el sitio.

Vistas medias

Presentan las relaciones espaciales existentes entre los elementos constitutivos del lugar procesado y los hallazgos indiciarios efectuados, así como las que estos últimos muestren entre ellos. Debe incluirse en estas tomas la imagen de los señalizadores empleados para la individualización de los indicios, procurando concatenar, entre una imagen y otra, la secuencia numérica o alfabética dada a los mismos (figuras 24 y 25).

Figura 24

Vista general del lugar de intervención, se muestran los límites y las características generales del sitio, así como las particularidades de los indicios ahí encontrados



Figura 25

Vista media de los hallazgos efectuados en un suicidio



Acercamientos

Particularmente útiles para hacer constar las particularidades morfológicas y mensurativas de los hallazgos efectuados en el lugar de intervención que se quieran destacar (figura 26). Se toman con y sin testigos métricos, empleando un objetivo normal (entre 35 y 50 mm) y procurando que exista un ángulo de 90° entre el plano de la imagen y el eje óptico del objetivo de la cámara fotográfica (Departamento de Justicia de los Estados Unidos, 2017).

Figura 26

Acercamiento a un par de botas con manchas hemáticas



Nota. Cortesía Ana Lilia González Ruiz.

Grandes acercamientos

Sirven para evidenciar los pequeños detalles de los hallazgos indiciarios. Se captan también con y sin testigos métricos, empleando luz blanca, con objetivo macro (entre 60 y 105 mm) y cuidando igualmente que el eje óptico quede perpendicular a la superficie del soporte del indicio (figura 27).

Los objetivos macro pueden ser sustituidos por lentes de aproximación, tubos de extensión o anillos de inversión que convierten, aunque con una calidad de imagen inferior, el objetivo normal de las cámaras fotográficas en un objetivo macro.

Figura 27

Gran acercamiento a la matrícula de un arma de fuego



Fotomicrografías

Se realizan adaptando el objetivo de la cámara fotográfica a algún microscopio óptico, con lo que se consigue aumentar, por lo menos diez veces (10x), el tamaño de las imágenes observadas (Güido, 2019). Algunos microscopios cuentan con escalas micrométricas incluidas en el ocular o la platina y permiten referenciar, a modo de testigo métrico, el tamaño real de los elementos de interés (figura 28).

Contando con los recursos económicos y sobre todo el equipo necesario para hacerlo, podrá recurrirse al uso de la microscopía electrónica de barrido (MEB); técnica instrumental en la que, tras exponer las muestras de interés a un haz concentrado de electrones acelera-

dos, se obtienen imágenes de alta resolución, con aspecto tridimensional y ampliadas hasta 200,000 veces (200,000x), permitiendo apreciar la forma, el tamaño y los detalles finos de las superficies de los objetos analizados (figura 29). Hay equipos que incluso permiten realizar mediciones de los especímenes en dos y tres dimensiones.

Figura 28

Fotomicrografía de una prueba de Walker positiva

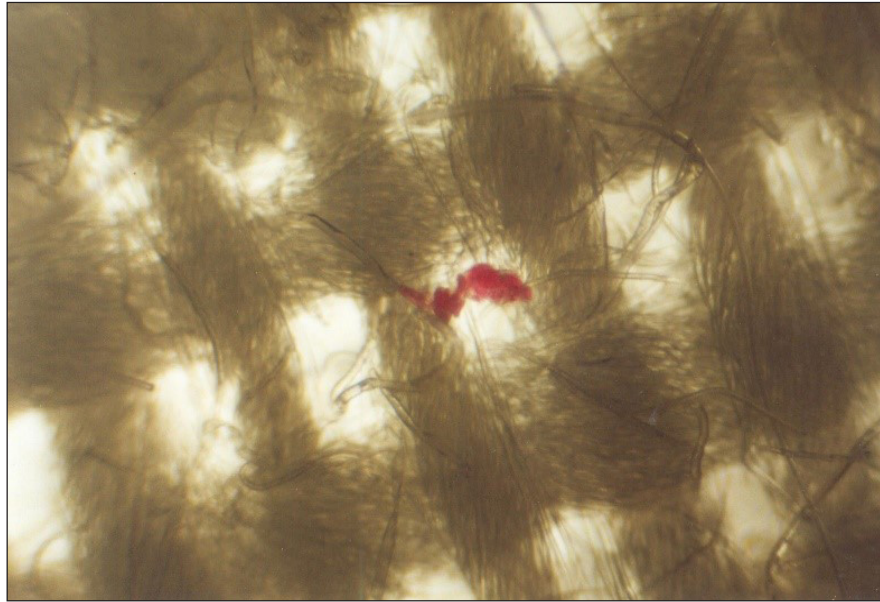
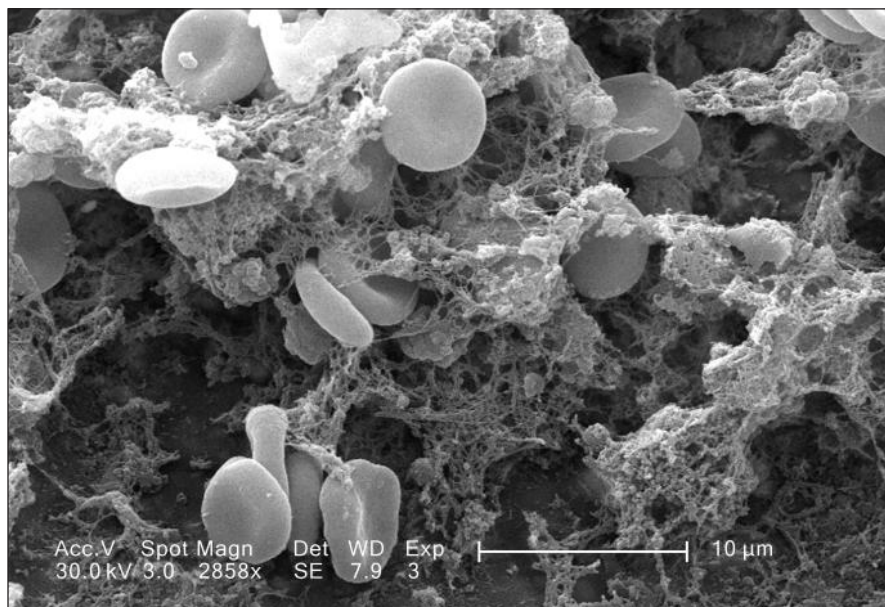


Figura 29

Coágulo sanguíneo captado mediante microscopía electrónica de barrido



Nota. Carr (2015).

Registros fotográficos especiales

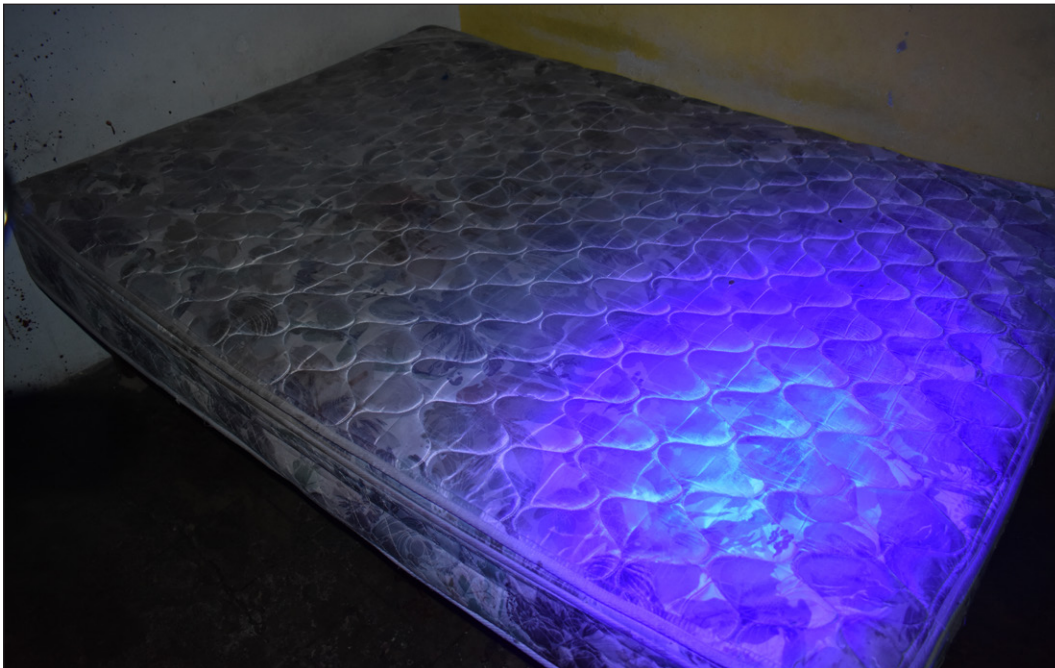
En algunas ocasiones, las técnicas de búsqueda o visualización de los indicios hemáticos implican procedimientos imposibles de documentar mediante fotografías convencionales, debiéndose entonces realizar algunas adecuaciones para capturar esas imágenes. Entre dichos ajustes se encuentran los siguientes:

Indicios procesados con fuentes de luz alternativa

Existen dispositivos portátiles capaces de proyectar luces de diferentes longitudes de onda, denominados fuentes de luces forenses o de luz alternativa (ALS, por sus siglas en inglés), empleadas para detectar, por fotoluminiscencia, algunos fluidos biológicos (como el semen, la saliva y el sudor), ciertos tipos de fibras y tintas existentes en algunos billetes y documentos de identidad o resaltar indicios lofoscópicos en condiciones especiales (Laverde y Clavijo, 2015) (figura 30). Así pues, a manera de ejemplo, la captura fotográfica de un dactilograma impreso con sangre puede mejorarse, debido al fenómeno de la absorción, iluminando dicho indicio con un haz de luz azul o violeta.

Figura 30

Colchón parcialmente iluminado con luz ultravioleta



Dado que la longitud de onda de máxima absorción de la sangre seca se ubica entre los 395 y 435 nm, la luz violeta hará que las crestas se vean más oscuras; destacando de esta manera, por el contraste generado, de sus soportes, los cuales tenderán a verse del color de la luz incidente (Castelló, 2017).

Bajo estas condiciones, las tomas fotográficas necesarias requerirán del uso de anteojos y un filtro anaranjado en el objetivo de la cámara.

También se puede recurrir a la fotografía infrarroja, que permite detectar manchas de sangre diluidas hasta en una concentración del 12.5% en telas de color negro; ofreciendo así una ligera ventaja con respecto a la fotografía convencional con luz visible, que permite visualizar manchas de sangre diluidas hasta una concentración del 25% sobre el mismo tipo de soporte (Castelló, 2017; Lin et al., 2017).

Indicios sometidos a reacciones quimioluminiscentes

Algunas sustancias químicas, como el luminol, al actuar sobre la sangre dan lugar a reacciones generadoras de cierta luminiscencia, y debido a que la luz emitida se aprecia mejor en condiciones de oscuridad, las tomas deberán realizarse precisamente con la menor cantidad de luz posible (figura 31).

Figura 31

Quimioluminiscencia obtenida al tratar un lavabo con una solución comercial de luminol



Para tal propósito se emplea un objetivo normal, con el diafragma totalmente abierto y la función de balance de blancos en automático. La sensibilidad ISO requerida debe ser de 200 o 400, el tiempo de exposición mínimo recomendable oscilará entre los 30 y 60 segundos y habrá de mantener la cámara fotográfica asegurada a un tripié (Departamento de Justicia de los Estados Unidos, 2017).

Indicios tratados con reactivos mejoradores de manchas hemáticas

Existen sustancias químicas que, al actuar sobre las proteínas de la sangre, optimizan la visualización o incrementan el contraste de las manchas o impresiones hemáticas localizadas en ciertas superficies (figura 32).

Entre dichos productos —conocidos precisamente como mejoradores de manchas o impresiones hemáticas—, se encuentra el preparado acuoso de leuco cristal violeta, que tiñe los indicios hemáticos de color púrpura en superficies porosas; la solución acuosa o metanólica de negro de amido, que genera una coloración entre azul intenso y negro en las impresiones de sangre y otros fluidos corporales puestas sobre superficies porosas y no porosas; el azul de Coomassie que, disuelto en metanol, colorea los rastros sanguíneos entre azul y púrpura; así como el denominado colorante de Crowle, que matiza el color rojo de la sangre existente en los objetos tratados (Marie, 2008; Yamashita et al., 2018).

Figura 32

Impresión dactilar hemática procesada con negro de amido



También pueden emplearse soluciones acuosas de rojo de Hungría sobre manchas depositadas en superficies oscuras, porosas o no porosas, pues las torna fluorescentes bajo una fuente de luz alternativa verde (entre 497 y 570 nm); amarillo ácido 7, disuelto en una mezcla de agua, etanol y ácido acético, que mejora la visibilidad de las impresiones en superficies no porosas si se emplea una fuente de luz azul-verde (entre 427 y 570 nm); o violeta ácido 17 disuelto en la misma mezcla de solventes que el reactivo anterior, que tiñe de color púrpura las zonas maculadas con rastros de sangre en superficies porosas, semiporosas y no porosas, y produce una ligera fluorescencia si se ilumina con un haz de luz verde (Sirchie, 2013).

Las manchas e impresiones problema que se pretendan mejorar deben ser fijadas previamente a sus soportes, rociándolas con una solución acuosa de ácido 5-sulfosalicílico con una concentración de entre el 2 y 5%.

El empleo de cualquiera de los reactivos anteriores repercute en los resultados de los exámenes químicos y genéticos practicables a la sangre.

La documentación fotográfica de las manchas mejoradas con reactivos no fluorescentes se realiza de manera convencional; las procesadas con reactivos fluorescentes requerirán de filtros de barrera naranjas o rojos en el objetivo de la cámara.

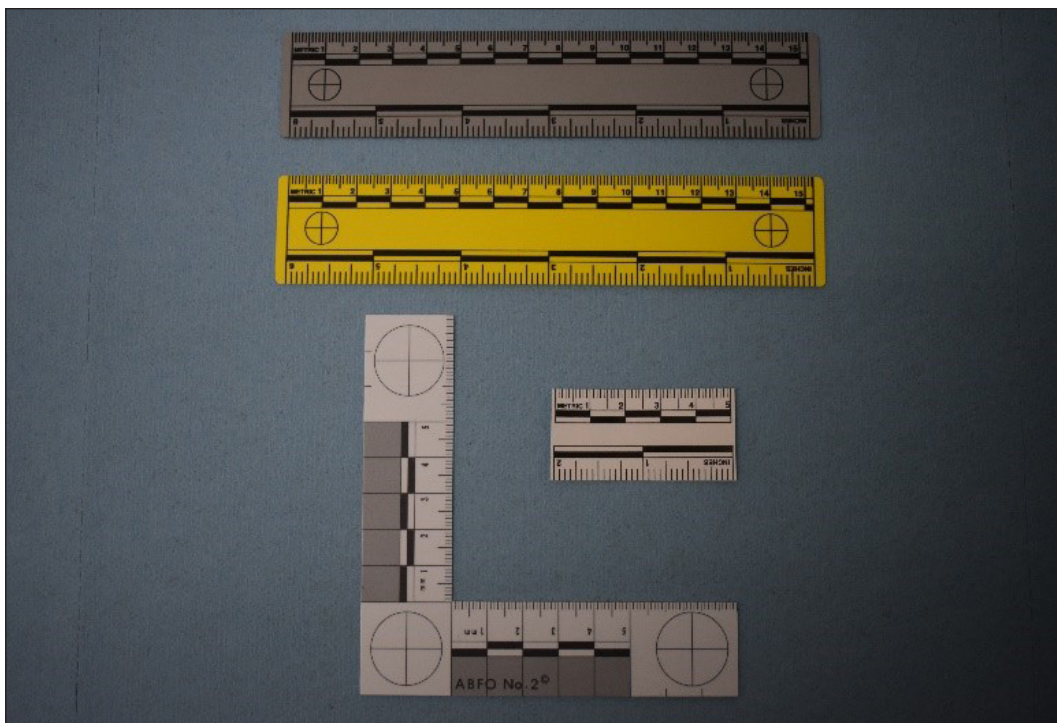
Testigos métricos

Son piezas de plástico, cartón o papel y algunas veces con propiedades autoadheribles; con escalas métricas impresas o gráficamente referenciadas como secciones de colores contrastantes; empleadas para establecer, por comparación, las dimensiones del objeto mostrado en los acercamientos y grandes acercamientos fotográficos.

Pueden tener formas rectangulares o en escuadra, con divisiones milimétricas, si fuera el caso, bien diferenciadas e impresiones circulares para evitar o al menos reducir el error de paralelaje (figura 33).

Figura 33

Testigos métricos comerciales



En casos excepcionales, los testigos métricos antes referidos pueden ser sustituidos por objetos de uso común y tamaño convencional (como monedas, bolígrafos, billetes, credenciales para votar, etcétera). Ante esta situación tendrá que dejarse en claro que el objeto específico que aparece en la imagen capturada fue puesto posteriormente con la intención de servir como referente dimensional.

Fijación planimétrica

La planimetría es una rama de la topografía y, como tal, se encarga de las normas y procedimientos necesarios para determinar la ubicación inequívoca de los elementos del sitio (levantamiento del sitio procesado), el esbozo o dibujo preliminar del escenario del evento (croquizado) y la elaboración del esquema o plano que habrá de complementar el informe o dictamen pericial remitido (dibujo final).

El tipo y número de dibujos, esquemas o planos necesarios para ilustrar el documento pericial elaborado a propósito de la investigación criminalística de un hecho delictivo dependerá de la complejidad del sitio, la naturaleza del evento y el grado de detalle que se desee mostrar.

De entre las diferentes técnicas planimétricas existentes para ilustrar la ubicación de los hallazgos en el lugar pericialmente intervenido, destacan los siguientes tipos de proyecciones (Jiménez, 2006b):

Proyecciones simples

Son representaciones, en el plano horizontal, de una determinada área; mostrándola como si se apreciaran desde un punto situado por encima de ella.

Por la sencillez de los requerimientos técnicos necesarios para su elaboración, se han constituido en uno de los recursos ilustrativos más utilizados, especialmente cuando se requiere representar lugares abiertos o indicar la ubicación general del lugar en que se actúa.

Proyecciones abatidas

La técnica es atribuida a un criminalista húngaro de apellido Kenyeres y consiste en dibujar, sobre un mismo plano, la parte correspondiente al piso o suelo y las correspondientes a aquellos elementos del lugar colocados perpendicularmente a la horizontal; como si hubieran sido volcados, mediante bisagras, hacia los costados (figura 34).

Este procedimiento resulta de gran utilidad para ilustrar la ubicación de manchas hemáticas en las superficies verticales de muebles y los muros, así como en la cara inferior de los techos (figura 35).

Figura 34
Croquis simple

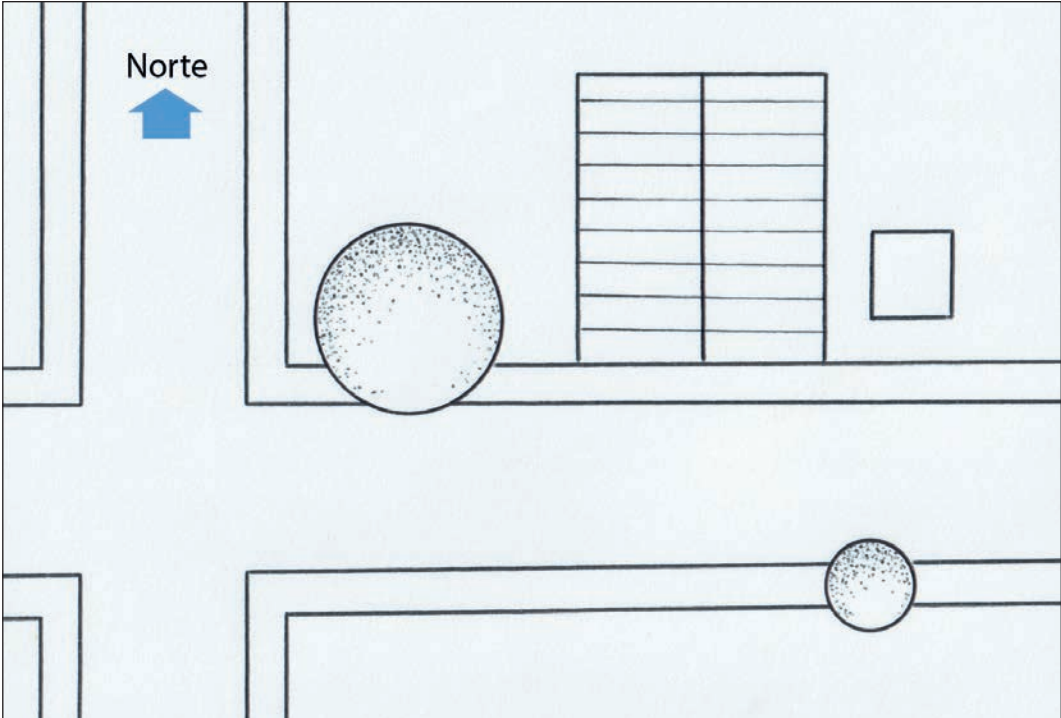
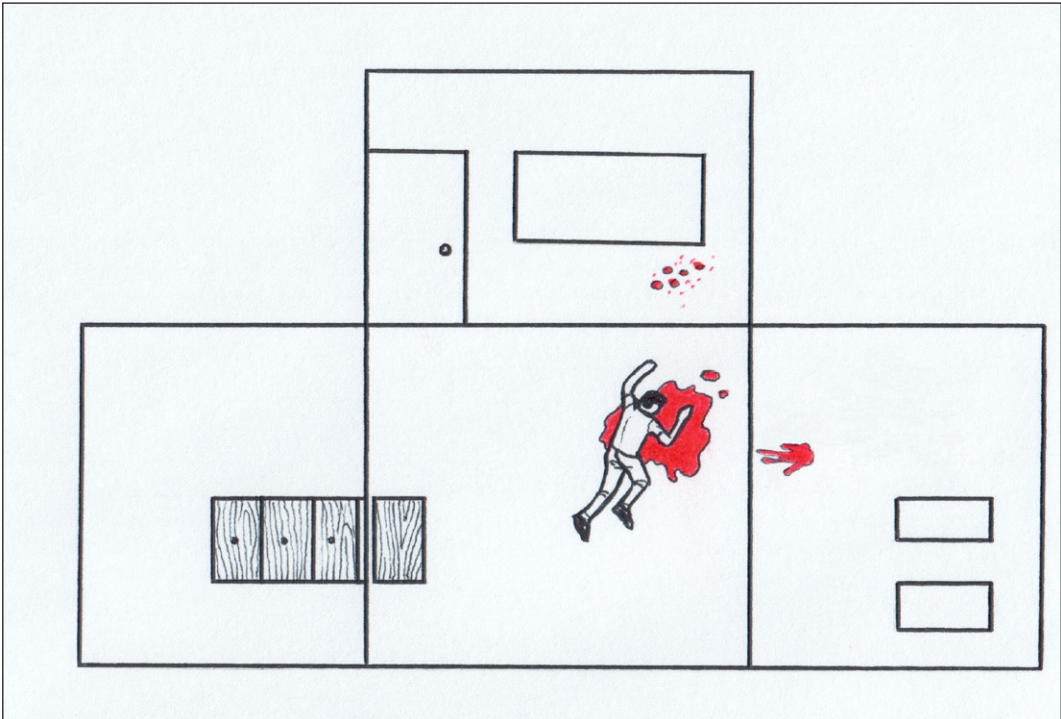


Figura 35
Proyección abatida



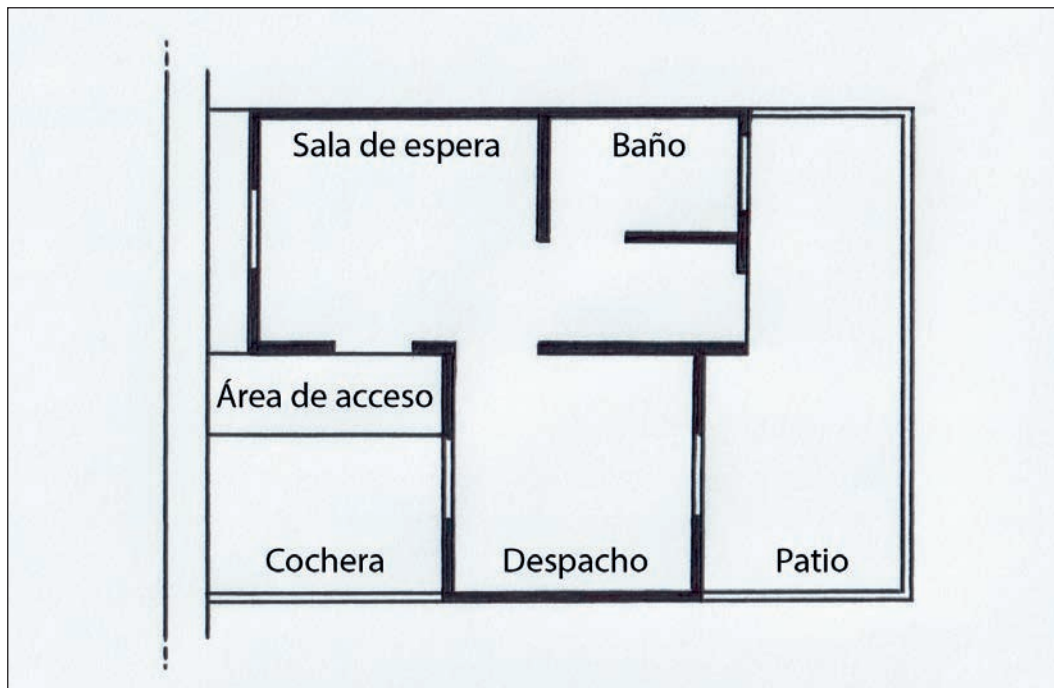
Secciones

Las secciones son cortes imaginarios efectuados en el sitio de interés para mostrar las relaciones espaciales de sus partes sólidas y huecas; es decir, su estructura interna. De acuerdo con la dirección del corte, suelen considerarse los siguientes dos tipos de secciones:

Secciones horizontales

Las secciones horizontales, denominadas también plantas, son de las representaciones más ampliamente utilizadas para ilustrar lugares cerrados. Según miremos hacia abajo o hacia arriba, obtendremos plantas aéreas o cenitales, respectivamente, siendo más frecuentemente empleadas las primeras para mostrar la ubicación de los hallazgos efectuados sobre el piso o cualquier superficie horizontal existente en una o varias habitaciones de un mismo inmueble (figura 36).

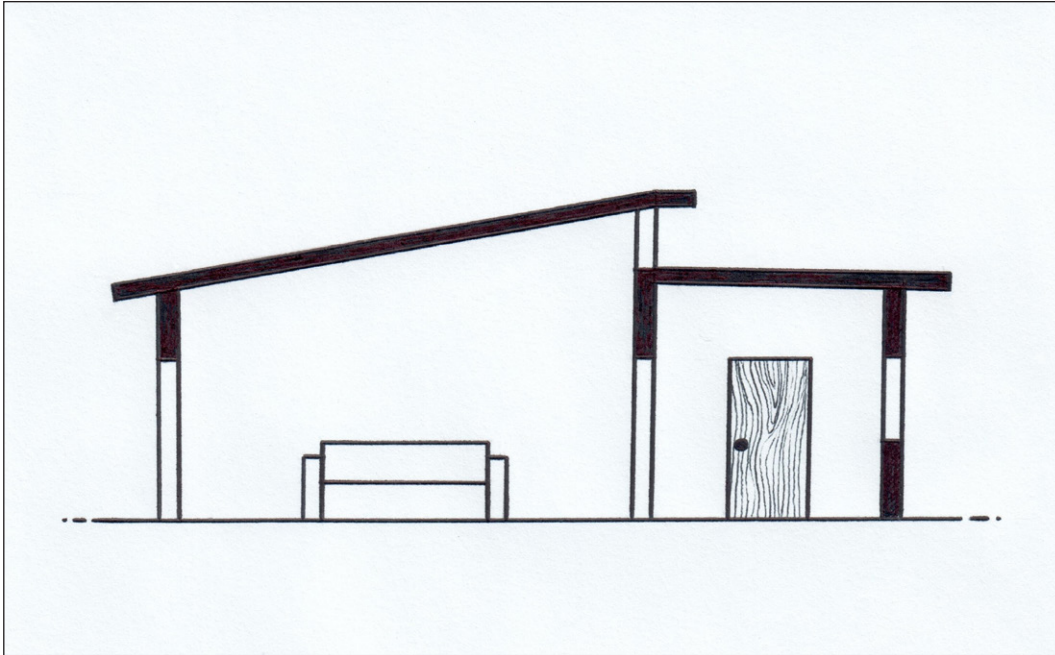
Figura 36
Sección horizontal



Secciones verticales

Existen dos clases de secciones verticales: una, en la que el elemento arquitectónico representado en el dibujo es cortado a lo ancho, es la sección transversal; la otra, en la que el corte en cuestión se hace a lo largo, es la sección longitudinal. El sentido del corte dependerá de la ubicación de los indicios, las particularidades del sitio y los detalles que se pretendan mostrar en el dibujo a realizar (figura 37).

Figura 37
Sección vertical



Fijación infográfica

Esta técnica de documentación reproduce, mediante representaciones gráficas tridimensionales, las características topográficas o arquitectónicas del lugar de intervención y la forma, el tamaño y la ubicación de los indicios ahí encontrados (Fernández et al. 2002).

Las imágenes infográficas se consiguen con cámaras especiales que, mediante una serie de escaneos láser, recopilan los diversos datos métricos y morfológicos del espacio físico de interés criminalístico, con la finalidad de modelar, para la posterioridad, un entorno virtual idéntico; permitiendo, aun después de varios años, explorar la escena en busca de detalles que hayan pasado inicialmente desapercibidos, así como corroborar u obtener medidas adicionales del sitio con un alto grado de precisión y poder desplazarse por la escena para apreciar zonas específicas o mostrar lo que la víctima, el victimario o los testigos del hecho pudieron haber observado al momento de su ocurrencia (Grupo Systop, 2012; Instituto Nacional de Ciencias Penales-Academia Iberoamericana de Criminalística y Estudios Forenses, 2011; Lázaro, 2017).

No obstante sus ventajas, es poco utilizada por las entidades investigadoras de nuestro país por los costos que implica la adquisición y el mantenimiento del equipo necesario para llevarlo a la práctica.

Técnicas de recolección

Los indicios de naturaleza hemática se recolectan de diversas maneras, dependiendo siempre de su estado físico y las características de sus soportes (Flores, 2017; Gaspar, 2000; Reyes, 2000).

Independientemente de la técnica que se emplee, todos los indicios deberán ser recolectados o muestreados de manera lícita y hasta después de haber sido documentados por cualesquiera de los métodos antes referidos.

Sangre líquida sobre superficies impermeables

La sangre sin coagular, contenida en charcos hemáticos, puede muestrearse empleando jeringas sin aguja (figura 38), hisopos de algodón estériles, porciones de papel filtro o tela blanca de algodón (de 2 x 2 cm y sin apresto).

Los hisopos de algodón y los fragmentos de papel filtro o tela con las muestras, deberán ponerse a secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de ser embaladas definitivamente para su remisión al laboratorio analítico forense que corresponda.

Figura 38

Recolección de sangre líquida con jeringa



Sangre diluida sobre superficies impermeables

Ante esta modalidad indiciaria se recurre al uso de hisopos de algodón estériles, recortes de papel filtro o tela blanca de algodón (de 2 x 2 cm y sin apresto), debiéndose poner también a secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar definitivamente (figura 39).

Figura 39

Recolección de sangre diluida con hisopo



Coágulos sanguíneos

Los coágulos se recolectan con palillos de madera o pinzas de metal con las puntas esterilizadas y se colocan en tubos de ensayo con tapón, aproximadamente a la mitad de su capacidad volumétrica con una solución de cloruro de sodio al 0.9%, preparación comercialmente conocida como solución salina normal, suero fisiológico o solución fisiológica.

Si no se dispone de tubos de ensayo, pueden colocarse sobre una porción de gasa estéril; debiéndose dejar secar por completo, a temperatura ambiente y a la sombra, antes de embalar definitivamente.

Manchas húmedas sobre objetos transportables

En estos casos se recolecta la totalidad de los objetos para poner a secar a la sombra, sin corrientes de aire y a temperatura ambiente, las manchas encontradas (Bobadilla, 2016).

Manchas húmedas sobre objetos no transportables

Se recolectan con hisopos de algodón estériles o porciones de papel filtro o tela blanca de algodón (de 2 x 2 cm y sin apresto), embalándose hasta después de haberse secado a la sombra y a temperatura ambiente.

Manchas secas sobre objetos transportables

Se recolecta sin ningún tratamiento previo la totalidad del objeto manchado.

Manchas secas sobre objetos no transportables

Este tipo de indicios se pueden muestrear, dependiendo de la naturaleza o las características de sus soportes, de las siguientes tres maneras:

- Por raspado: empleando una hoja de bisturí estéril en manchas puestas sobre superficies no absorbentes (figura 40).

Figura 40

Recolección de sangre seca por raspado



- Por maceración y absorción: frotándolas con hisopos de algodón estériles o porciones de papel filtro o tela blanca de algodón (de 2 x 2 cm y sin apresto), humedecidos con dos o tres gotas de solución fisiológica.

Se recomienda concentrar las manchas absorbidas en alguna porción específica del hisopo utilizado, preferentemente en la punta; este proceso de recolección se denomina hisopado. Puede emplearse en caso de manchas puestas sobre superficies absorbentes

o no absorbentes y, al igual que en los casos anteriores, los elementos recolectores deben ponerse a secar en las mismas condiciones antes de ser embalados (figura 41).

Las muestras obtenidas mediante los recortes de papel filtro o tela de algodón son conocidas como huellas de Taylor (Castelló, 2016).

Figura 41

Recolección de sangre seca por maceración y absorción



- Por recorte: se realiza escindiendo con algún instrumento ejercido con acción cortante una porción (de tamaño variable) de la superficie manchada (figura 42).

Figura 42

Recolección de sangre seca por recorte



Muestreo de los soportes indiciarios

Después de muestrear las manchas presuntamente hemáticas localizadas en el lugar de la investigación, empleado las mismas técnicas deberán también recolectarse muestras de las superficies en que estas fueron encontradas; específicamente de alguna zona no maculada, situada en la periferia inmediata de las manchas de interés y con las mismas características estructurales, constructivas o de conservación o deterioro que las de las zonas manchadas.

Las muestras así obtenidas —conocidas como muestras de control de superficie, sustrato, soporte o base—, al asumir la inexistencia de sangre en el punto muestreado, permitirán establecer la presencia de sustancias químicas productoras de falsos positivos, si fuera el caso, al practicar las pruebas químicas de identificación a las que hubiera lugar.

Técnicas de embalaje

Dada su naturaleza, los indicios hemáticos deben ser embalados adecuadamente a efecto de garantizar su conservación, integridad e idoneidad. La técnica a utilizar dependerá del estado físico de los indicios y de las características de sus soportes, como se describe en cada una de las siguientes situaciones (Flores, 2017; Gaspar, 2000):

Muestras líquidas

La sangre extraída o recolectada con jeringas puede remitirse en ellas o ser trasvasada a tubos de ensayo con tapón (figura 43), y preferentemente con algún conservador o anticoagulante (o ambos).

Figura 43

Embalaje de muestras de sangre líquida



Pueden emplearse tubos de ensayo comerciales preparados con 20 mg de oxalato de potasio y 100 mg de fluoruro de sodio (con tapón gris), ácido etilendiaminotetraacético al 15% (con tapón violeta) o, en su defecto, sólo con revestimiento interno de silicona.

Las jeringas se embalan debidamente inmovilizadas, en contenedores tubulares de plástico transparente y con tapón.

Los tubos de ensayo se pueden envolver en tramos de tela de algodón no tejida o de película de plástico alveolar (mejor conocido como plástico de burbujas) antes de ser depositados, de igual manera, en el interior de contenedores tubulares transparentes con tapón.

Los contenedores secundarios de las muestras tendrán leyendas que indiquen la necesidad de ser transportadas en condiciones de refrigeración, protegidas de la luz solar directa y adviertan del riesgo biológico infecto-contagioso que implica su manejo.

Muestras recolectadas por embebimiento

Tras completarse su proceso de secado, se embalan en sobres de papel bond, manila o kraft (figura 44). Los hisopos pueden también embalsarse en pequeñas cajas de cartón (acordes al tamaño del hisopo), comercializadas para tal fin.

Figura 44

Embalaje de una muestra obtenida por recorte de una mancha hemática seca encontrada sobre un objeto no transportable



Coágulos en tubos de ensayo con solución fisiológica

Se embalan bajo las mismas condiciones que las muestras de sangre líquida antes referidas.

Coágulos secos en gasas estériles

Una vez completamente secos, se embalan en sobres de papel bond, manila o kraft.

Tejidos, telas o prendas de vestir con manchas de sangre

Tras completar el proceso de secado, se compactan cuidadosamente por doblado, evitando o minimizando la fragmentación de las manchas de interés (Bobadilla, 2016).

Si son varias prendas se embalarán por separado para prevenir el riesgo de contaminación cruzada, en bolsas de papel manila o kraft acordes al tamaño de la prenda (figura 45).

Figura 45

Embalaje de prendas de vestir



Objetos transportables con manchas de sangre

Los objetos deberán sujetarse, mediante cinchos de plástico, a láminas o cajas de cartón rígido acordes a sus formas y dimensiones (figura 46).

Figura 46

Embalaje de objetos transportables maculados



Muestras hemáticas obtenidas por raspado o recorte

Como varios de los casos antes vistos, estas muestras deberán ser recolectadas y empaquetadas en sobres de papel bond, manila o kraft.

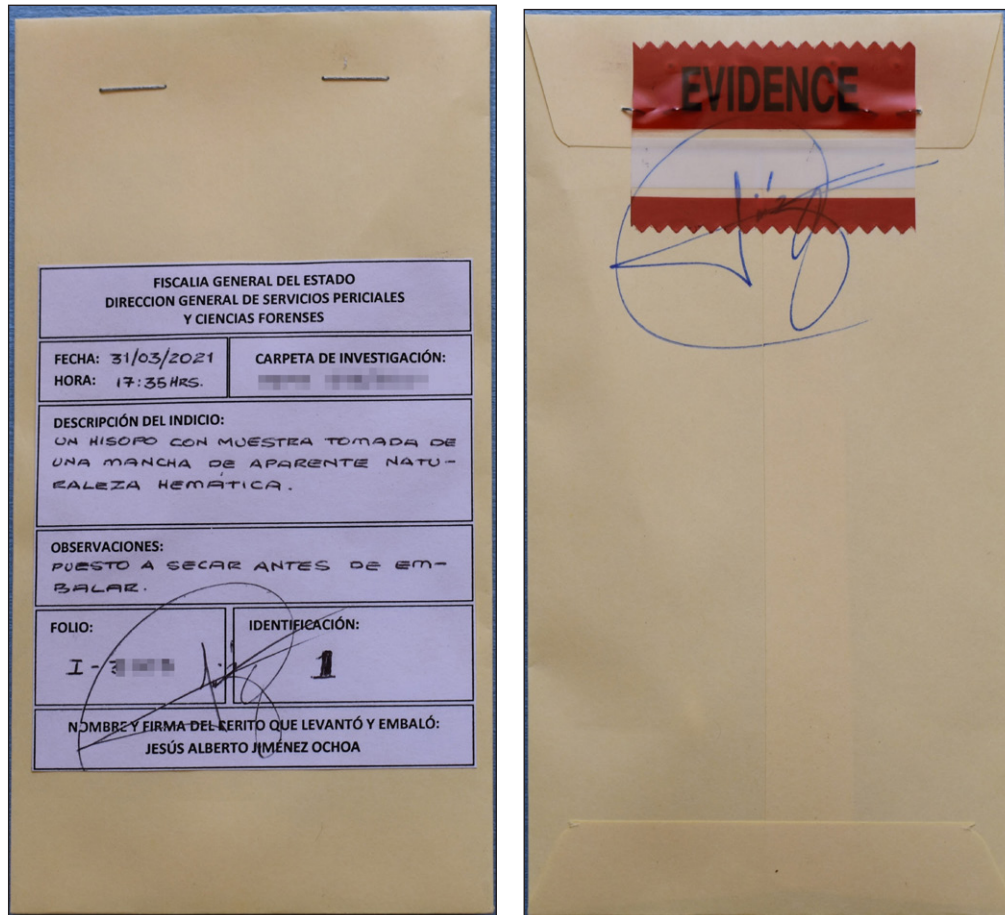
Cerrado, sellado y etiquetado

Todos los contenedores empleados para embalar deberán ser cerrados y diligentemente sellados, lacrados o precintados con la intención de evidenciar, en consonancia con lo establecido en el correspondiente Registro de Cadena de Custodia, su apertura en momentos procedimentalmente innecesarios o por personas ajenas a su manejo o a la investigación implementada.

Además, para identificar e individualizar los indicios recolectados, serán etiquetados por lo menos con la información necesaria para relacionarlos con el hecho reportado (número de solicitud, llamado, folio, expediente o carpeta de investigación asignado al caso); conocer la fecha y hora de su recolección; hacer constar sus características generales y el número o la letra con la que fue identificado tras su localización u obtención; y establecer el nombre, cargo y firma del servidor público que lo recolectó (Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública, 2015) (figura 47).

Figura 47

Indicios embalados, cerrados, sellados y etiquetados



Traslado de indicios hemáticos

Los elementos indiciarios de naturaleza hemática recolectados deberán ser remitidos en el menor tiempo posible a las áreas institucionales en que serán analizados (laboratorios de química, hematología, microbiología o genética forense) o almacenados (depósitos temporales institucionales de indicios y evidencias) bajo condiciones que garanticen su integridad y estado de conservación.

Las muestras de sangre líquida serán trasladadas en refrigeración (entre 2 y 8°C), protegidas de la luz solar directa y con las medidas de seguridad necesarias para evitar o minimizar el riesgo de perderlas parcial o totalmente por la rotura de sus contenedores o de que resulten inutilizables por contaminación cruzada (Varcodé, 2023).

Se debe evitar también el contacto directo de las muestras hemáticas con el material refrigerante utilizado durante el traslado, recomendándose emplear algún tipo de gel refrigerante pues ofrece mayores ventajas que el hielo seco y el hielo común.

Los elementos indiciarios con muestras de sangre seca serán trasladados en condiciones de temperatura medioambiental y protegidos de la luz solar directa y de cualquier otra fuente de calor y de humedad que pueda afectar su preservación (tabla 4).

Tabla 4

Técnicas y condiciones para la recolección y el embalaje de indicios hemáticos

Tipo de indicio	Recolección	Embalaje	Observaciones
Sangre líquida	Jeringas sin aguja	En la misma jeringa o trasvasada a tubos de ensayo	Remitir en refrigeración y protegido de la luz solar directa
	Hisopos de algodón o porciones de papel filtro o tela de algodón secos	En sobres de papel bond, manila o kraft	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar
Sangre diluida	Hisopos de algodón o porciones de papel filtro o tela de algodón secos	En sobres de papel bond, manila o kraft	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar
Coágulos sanguíneos	Pinzas de metal o palillos de madera	En tubos de ensayo con solución fisiológica	Remitir en refrigeración y protegido de la luz solar directa
		En gasas estériles	Una vez secos, se embalan en sobres de papel bond, manila o kraft
Manchas húmedas sobre objetos transportables	Se recolecta el objeto	En cajas de cartón acordes con sus formas y tamaños	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar
Manchas húmedas sobre superficies u objetos no transportables	Hisopos de algodón o porciones de papel filtro o tela de algodón secos	En sobres de papel bond, manila o kraft	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar
Manchas secas sobre objetos transportables	Recolectar el objeto	En cajas de cartón acordes con sus formas y tamaños	Remitir a temperatura ambiente y protegidos de la luz solar directa y fuentes de calor y humedad
Manchas secas sobre superficies u objetos no transportables	Raspado con hoja de bisturí	En sobres de papel bond, manila o kraft	Remitir a temperatura ambiente y protegidos de la luz solar directa y fuentes de calor y humedad
	Hisopos de algodón o porciones de papel filtro o tela de algodón húmedos	En sobres de papel bond, manila o kraft	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar
	Recorte de la zona manchada	En sobres de papel bond, manila o kraft	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar en caso de manchas húmedas
Prendas de vestir manchadas	Recolectar la prenda	En bolsas de papel manila o kraft acordes con sus tamaños	Secar a la sombra y a temperatura ambiente antes de embalar

Condiciones de almacenamiento

Las condiciones necesarias para el almacenamiento seguro de los indicios hemáticos dependerán del estado de la muestra y del tiempo previsto entre su obtención y procesamiento analítico.

Las muestras secas podrán almacenarse a temperatura ambiente, siempre y cuando no supere los 27 °C; siendo mejor si se mantienen acondicionadas entre los 15.5 y 24 °C y con menos del 60% de humedad relativa, con el fin de inhibir, en la mayor medida posible, el desarrollo microbiano (Martínez-Quiroz, 2023).

Las muestras de sangre líquida, extraídas en las mismas instalaciones del laboratorio en que habrán de analizarse, pueden mantenerse a temperatura ambiente sólo si su procesamiento se concreta en un plazo máximo de cuatro horas. Si el tiempo de espera previsto para su análisis se encuentra entre cuatro horas y cuatro semanas, tendrán que mantenerse a temperaturas de refrigeración oscilantes entre los 2 y 8 °C y con menos del 25% de humedad medioambiental (Martínez-Quiroz, 2023). Ante la necesidad de ser almacenadas por periodos mayores, se recurrirá al congelamiento de las muestras, manteniéndolas a temperaturas de entre -20 y -40 °C (Buquet, 2006).

Las muestras de sangre tomadas para análisis toxicológicos deberán de mantenerse en congelación a -20 °C, con la finalidad de minimizar la velocidad de degradación de los analitos (Martínez-Quiroz, 2023).

Las muestras sanguíneas para análisis bacteriológicos se mantendrán a temperatura ambiente o en estufas a temperaturas de entre 35 y 37 °C, nunca refrigeradas ni congeladas (Ministerio de Salud, 2013).

Las muestras para análisis moleculares se refrigeran a 4 °C y si dichas pruebas se realizarán varios días después, la sangre se mantendrá a -80 °C (Hernandes et al., 2017).

Es importante que las instalaciones destinadas al almacenamiento de indicios hemáticos en refrigeración y congelamiento cuenten con sistemas o equipos de emergencia para activarse en caso de algún fallo en el área de almacenaje.

Cadena de custodia

De acuerdo con la *Guía nacional de cadena de custodia* (Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública, 2015), implementada por el equipo de expertos de diversas entidades institucionales de seguridad pública y procuración de justicia de nuestro país, se denomina cadena de custodia al sistema de control y registro aplicado a los indicios, evidencias, objetos, instrumentos o productos de un hecho delictivo desde que estos son localizados, descubiertos o aportados en el lugar de intervención, hasta que la autoridad competente en la materia determine que son ya innecesarios.

En ella intervienen todas las personas, generalmente relacionadas con el servicio público, involucradas en las tareas de recolección, traslado, análisis y resguardo temporal o permanente de los elementos indiciarios; quienes, en el ámbito de su competencia y responsabilidad dejarán constancia, en el *Registro de Cadena de Custodia* (RCC) existente para tal efecto, de las características generales y particulares del material recolectado; las técnicas de documentación, recolección y embalaje utilizadas; la necesidad de condiciones especiales de traslado y las diligencias o actividades analíticas realizadas en el transcurso de la investigación del hecho.

Se hará constar también la trazabilidad de los indicios asentando, en el formulario requisitable, la hora y fecha de la transferencia indiciaria; el nombre y la firma de quienes entregan y reciben los indicios; la razón o propósito de dicho intercambio y, si fuera necesario, cualquier anomalía, alteración, daño o inconsistencia detectada en los elementos materiales recibidos (Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública, 2015).

En cuanto a la remisión de indicios hemáticos es importante recalcar, con el fin de deslindar responsabilidades (especialmente cuando el traslado de los elementos indiciarios a los laboratorios forenses o el almacén de indicios es realizado por persona diferente a quien los recolecta), la obligatoriedad de consignar en el RCC, la necesidad de mantener las muestras a cierta temperatura de refrigeración, el evitar la exposición de los indicios a la luz solar directa, el riesgo biológico que implica el traslado del material remitido y la vulnerabilidad de los contenedores utilizados.

Métodos para la identificación de sangre

Identificación organoléptica

Aunque con ciertas limitaciones, los hallazgos efectuados durante la inspección o el procesamiento criminalístico del lugar de interés pueden considerarse, al menos, como de aparente naturaleza hemática si se atienden los siguientes dos parámetros:

Aspecto

Las manchas de sangre fresca se aprecian de color rojo brillante al quedar sobre superficies no absorbentes y de colores claros, y de color rojo opaco estando en superficies absorbentes y de tonalidades claras (figura 48).

Figura 48

Manchas de sangre en una superficie clara y absorbente



En superficies no absorbentes de colores oscuros, las manchas hemáticas se visualizan en tonos que pueden referirse como rojo carmín, rojo vino, rojo marrón, pardo rojizo, pardo oscuro e incluso negro (figura 49). Las superficies absorbentes y oscuras suelen enmascarar el color de la sangre, por lo que requieren ser iluminadas con algún haz de luz blanca rasante o una fuente de luz ultravioleta o violeta (con longitudes de onda entre los 380 y 427 nm), empleando anteojos y filtros naranjas para aumentar el contraste entre la opacidad generada por la mancha y la posible fluorescencia del soporte (Departamento de Justicia de los Estados Unidos, 2017).

Figura 49

Mancha de sangre en un pantalón de mezclilla



Los acúmulos o depósitos de sangre recién extravasada se caracterizan por su aspecto brillante, proclividad a formar coágulos de consistencia variable al cabo de algunos minutos y presentar contornos bien delimitados (figura 50).

Con el paso de las horas, la deshidratación de los indicios hemáticos transforma la hemoglobina en metahemoglobina y hemicromo (Bergman y Labudde, 2023), dando lugar al gradual ennegrecimiento de las manchas y a la retracción, desquebrajamiento y desprendimiento de sus bordes.

Las manchas expuestas por mucho tiempo a las inclemencias del tiempo, o sometidas a procesos de lavado o a la acción de ácidos o álcalis, pueden adquirir tonos rosáceos, amarillentos, verdosos, azulados, castaños, verdes grisáceos o blancos grisáceos (Castelló, 1997).

Debe tenerse en cuenta que existen diversas sustancias (pinturas, jugos de frutas o verduras, óxidos metálicos, productos alimenticios, medicamentos, etcétera) capaces de causar confusión por generar manchas con aspecto y colores parecidos a los de la sangre.

Figura 50

Aspecto de un depósito hemático coagulado

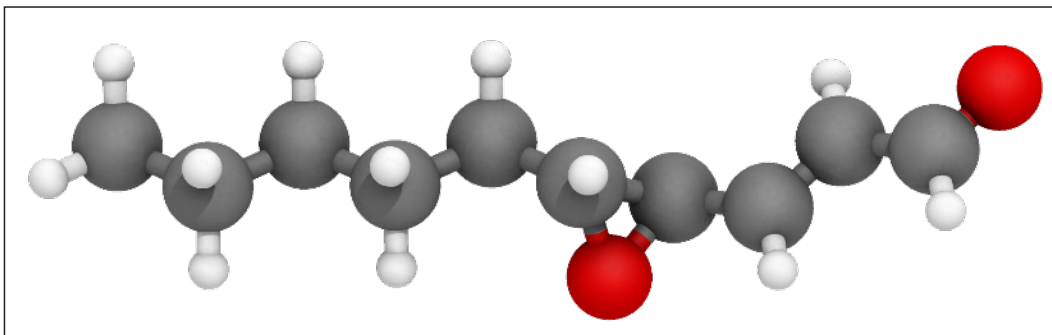


Olor

Las manchas hemáticas recientes y no recientes tienen un olor característico, generalmente referido como metálico, ferroso o a hierro. Es producido por el compuesto químico denominado trans-4,5-epoxi-(E)-2-decenal (figura 51) y no —como suele creerse— al hierro presente en la hemoglobina (Bertomeu, 2016; Gomollón, 2014).

Figura 51

Modelo tridimensional de la molécula del trans-4,5-epoxi-(E)-2-decenal



Nota. Obtenida de Almagro (2014).

Se estima que los humanos lo podemos percibir en concentraciones de por lo menos 1.5 picogramos/litro de aire (Lin et al., 2001) y 15 nanogramos/litro de agua (Lin et al., 1999).

Identificación analítica

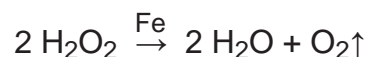
Los procedimientos de laboratorio para intentar establecer la naturaleza hemática de las manchas problema se dividen en dos grandes grupos: pruebas presuntivas y pruebas confirmatorias.

Pruebas presuntivas

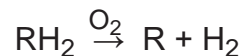
Son ensayos químicos simples, rápidos, relativamente económicos y con una alta sensibilidad, pero baja especificidad. Así pues, los resultados positivos confieren sólo la posibilidad de que la mancha analizada sea de sangre; los resultados negativos, por el contrario, permiten asegurar que la muestra analizada no contiene sangre o que esta, en caso de existir, se encuentra en condiciones de conservación o concentración fuera de los límites de detección de la técnica empleada.

Un número considerable de pruebas presuntivas se basan en la capacidad del hierro de la hemoglobina para actuar como catalizador en la reacción de descomposición del peróxido de hidrógeno (comúnmente conocido como agua oxigenada); al ocurrir eso, el oxígeno liberado actúa sobre ciertos compuestos orgánicos incoloros presentes en la mezcla reactiva, en un proceso químico llamado oxidación, generando una coloración o emitiendo cierta luminiscencia, tal y como se muestra en la siguiente secuencia general reactiva (Halkides y Lott, 2017):

Reacción química inicial:



Reacción química final:



Donde:

RH_2 = Compuesto orgánico reducido (incoloro).

R = Compuesto orgánico oxidado (colorido o luminiscente).

La capacidad del grupo hemo de descomponer el peróxido de hidrógeno es idéntica, de ahí la inespecificidad de estas pruebas, a la de ciertas enzimas (denominadas peroxidasa y catalasas) existentes en algunos tejidos vegetales, la mayoría de los fluidos corporales y un selecto grupo de compuestos inorgánicos; presentando estas sustancias —en términos generales— menor capacidad reactiva que la hemoglobina.

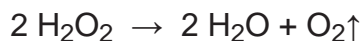
Las reacciones referidas a continuación se realizan, según las particularidades de cada técnica, en medios ácidos o básicos; existiendo menor probabilidad de resultados falsos positivos por peroxidasas y catalasas de origen vegetal en los segundos; y pueden realizarse sobre muestras frescas o secas, previamente reconstituidas con solución fisiológica o agua destilada.

La sensibilidad de las pruebas depende mayoritariamente de las propiedades químicas de la sustancia reactiva utilizada y el grado de degradación de la muestra por las condiciones medioambientales a las que haya quedado expuesta; independientemente, salvo en contadas excepciones, de la naturaleza de su soporte. De entre las metodologías que pueden emplearse para la identificación presuntiva de indicios hemáticos destacan las técnicas quimioefervescentes, quimiocromáticas, fotoluminiscentes y quimioluminiscentes.

Técnicas quimioefervescentes

Prueba de Schönbein

Consiste, simple y sencillamente, en la adición de una o dos gotas de peróxido de hidrógeno a la mancha problema, considerándose como resultado positivo la producción instantánea de un burbujeo blanquecino por el oxígeno desprendido (Núñez, 2016).



Puede emplearse en manchas frescas, secas y putrefactas, pero es sumamente inespecífica. Se le atribuye una sensibilidad de 1:40,000 y produce resultados falsos positivos con manchas de saliva, pus, sudor, semen, secreción nasal, herrumbre, sangre animal y sales de cobre, níquel y cobalto (Chub, 2018; Santos, 2016).

Prueba de Florence

Se realiza sobre una gota, un pequeño fragmento de costra o algunas fibras de tejidos con manchas de la sustancia problema colocados sobre un portaobjetos y debajo de un cubreobjetos. Una vez montada la muestra se agrega, a través de los bordes del cubreobjetos, algunas gotas de una solución saturada de hipobromito de sodio. La prueba se considera positiva al generarse también un burbujeo en la muestra analizada (Castelló, 1997).

Técnicas quimiocromáticas

Prueba del amoníaco

La adición de algunas gotas de amoníaco a una solución acuosa de la muestra problema no cambiará su color si esta es sangre; pero sí en caso de otras sustancias que pueden ser confundidas, por su aspecto macroscópico, con ella (Castelló, 1997).

Prueba de la potasa

Se efectúa agregando algunas gotas de una solución de carbonato de potasio a un tubo de ensayo con algunos mililitros de la muestra problema diluida con agua destilada. Si la muestra es sangre, la hemoglobina se transforma en hematina alcalina, apreciándose una coloración roja si se observa el tubo a trasluz y verde si se aprecia con luz reflejada (Castelló, 1997).

Prueba de Bradford

La solución necesaria para la prueba, conocida precisamente como reactivo de Bradford, se obtiene disolviendo 5 mg de azul de Coomassie G-250, 2.5 ml de etanol y 5 ml de ácido fosfórico en la cantidad de agua destilada necesaria para aforar a 50 ml. Una vez preparado el reactivo, se añaden algunas gotas de este a la mancha problema; las manchas que contengan sangre (o cualquier otra proteína) se teñirán de color azul intenso (Roca et al., 2003).

Prueba de Van Deen

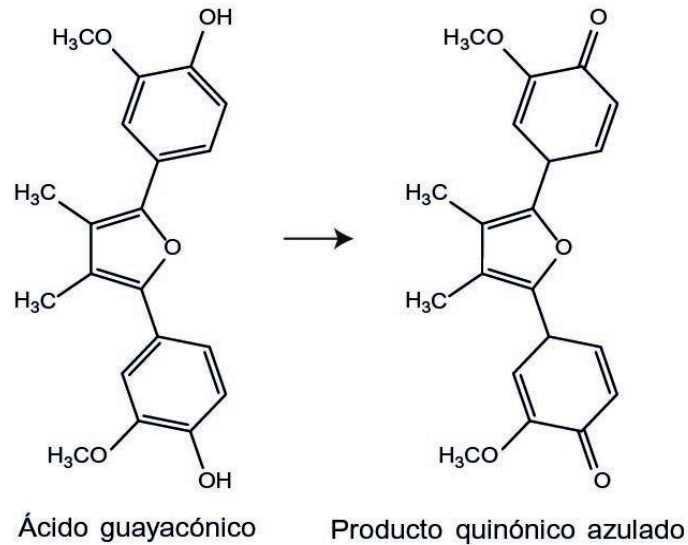
Requiere la adición a la mancha problema de dos gotas de una solución preparada, al momento del análisis, disolviendo 5 g de resina de guayaco en 100 ml de etanol al 95% (solución conocida comúnmente como tintura de guayaco) (Castelló, 1997) y una gota de esencia de trementina ozonizada (término empleado en el siglo pasado para referir al agua-rrás expuesto al aire en condiciones de oscuridad durante seis semanas para que capte oxígeno) (Sánchez, 1911); produciéndose así, en cuestión de segundos, el viraje de la coloración original naranja amarillento de la tintura a una azulada (Castelló, 1997) (figura 52).

La técnica es inútil en sangre antigua, putrefacta o carbonizada y genera resultados falsos positivos con casi todos los compuestos metálicos, leche, pus, semen, sudor, algunas manchas de origen vegetal, goma arábica, gluten y herrumbre; aunque en todos estos casos, el cambio de color ocurre antes de añadir la trementina ozonizada (Simonelli, 2013).

Se considera sensible hasta en muestras diluidas a razón de 1:25,000 (Antón y De Luis, 1998; Castelló, 1997; Simonelli, 2013).

Figura 52

Fundamento químico de la prueba de Van Deen

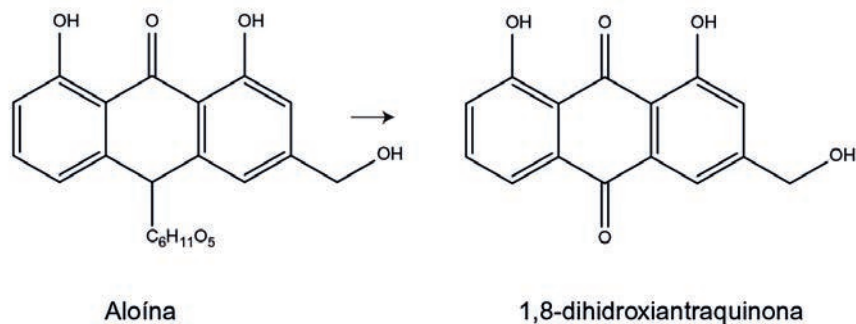


Prueba de Schaer-Rossel

Se realiza de manera similar a la anterior, pero en este caso se utilizan 30 gotas de trementina ozonizada y luego entre 10 y 15 gotas de tintura de aloína (un compuesto extraído del aloe), virando —con una sensibilidad menor a la de la prueba de Van Deen— del color amarillo de la tintura al color rosa o rojo cereza (Castelló, 1997; Sánchez, 1911) (figura 53).

Figura 53

Fundamento químico de la prueba de Schaer-Rossel



Prueba de Riegler

El ensayo se efectúa mezclando 1 ml de una solución acuosa de la mancha problema con 10 ml de un reactivo preparado disolviendo 5 g de sulfato de hidracina en una mezcla de 1,000 g de hidróxido de potasio al 10% y 100 g de alcohol etílico al 95%.

Se considera un resultado positivo si se forma una coloración amarilla-verdosa que vira posteriormente al color rosa (Antón y De Luis, 1998).

Prueba de Adler

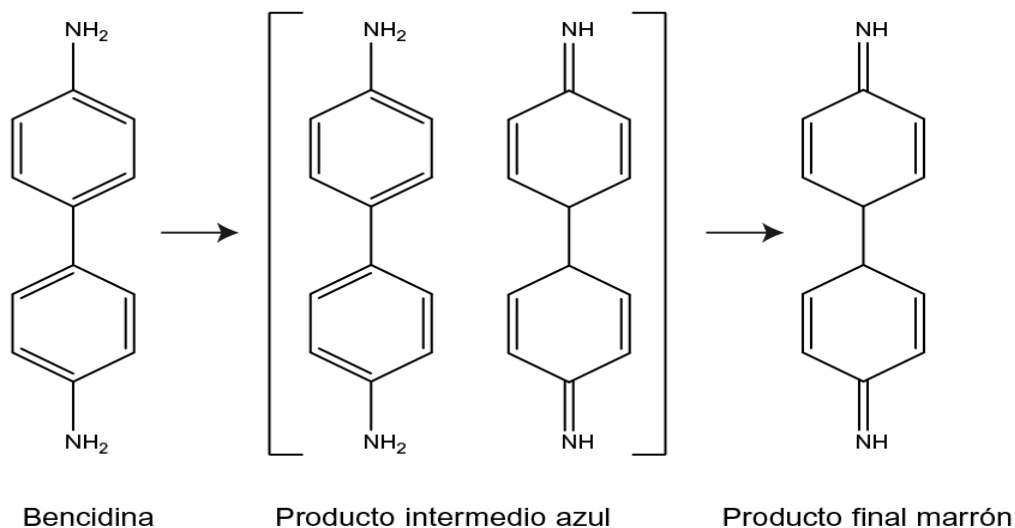
Requiere de dos soluciones denominadas genéricamente como reactivo No. 1 y reactivo No. 2: el primero, conocido también como reactivo de Adler, es una solución saturada de bencidina en ácido acético glacial. El reactivo No. 2 es una solución de peróxido de hidrógeno al 3% (Castelló, 2017).

Para llevarla a cabo se añaden primero dos gotas del reactivo de Adler a la muestra o la mancha problema, y luego dos gotas de peróxido de hidrógeno. Se considera un resultado positivo la obtención, en menos de 10 segundos, de una coloración azul o azul verdosa intensa que vira, posterior y lentamente, al color pardo o marrón (Castelló, 1997; Sniegovski et al., 2016) (figura 54).

Se le ha estimado un rango de sensibilidad que oscila, dependiendo de las condiciones de la muestra, entre 1:200,000 y 1:500,000 (Castelló, 1997; Franco de Ambriz, 1991; Simonelli, 2013).

Figura 54

Fundamento químico de la prueba de Adler



Estudios experimentales han demostrado la producción de falsos positivos con preparados a base de iodo, formol, detergentes para trastes, café, óxidos y sales de hierro, sulfocianuros, algunos tipos de arenas, albúmina, pus, manchas de apio, espinaca, zanahoria, perejil y ciertos cereales (Negre et al., 2003; Simonelli, 2013).

La prueba aplica para muestras antiguas sometidas a altas temperaturas o tratadas con sosa cáustica (Castelló, 1997), y debe realizarse en lugares ventilados y con el equipo de bioseguridad necesario para evitar inhalar los vapores emanados, pues la bencidina tiene actividad cancerígena (Sniegovski et al., 2016).

Prueba de Kohn-O'Kelly

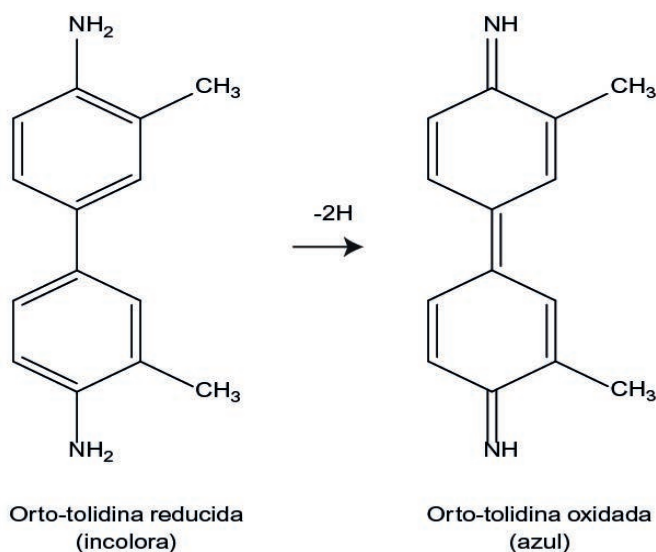
De forma similar a la prueba de Adler, en este caso se añaden dos gotas de una solución preparada con 1.6 g de orto-tolidina, 40 ml de etanol, 30 ml de ácido acético glacial y 30 ml de agua destilada a la muestra o mancha problema y posteriormente dos gotas de una solución de peróxido de hidrógeno al 3%; debiéndose generar igualmente, en caso de resultar positivo el ensayo, una coloración azul en menos de 10 segundos (Castelló, 1997) (figura 55).

Su sensibilidad le permite reaccionar ante diluciones del orden de 1:1'000,000; dando falsos positivos con soluciones yodadas, detergentes para trastes y café y, en ensayos controlados de validación, hasta un 20% de falsos negativos (Núñez, 2016).

Los vapores desprendidos durante la prueba son también cancerígenos, aunque en menor medida que los de la bencidina (Antón y De Luis, 1998; Castelló, 1997).

Figura 55

Fundamento químico de la prueba de Kohn-O'Kelly

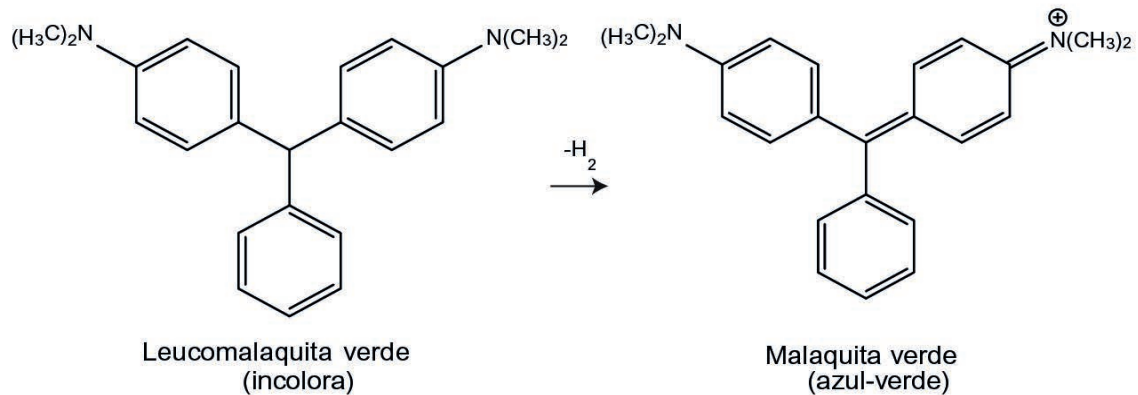


Prueba de Medinger

El reactivo se prepara disolviendo 1 g de verde de leucomalaquita en 100 ml de ácido acético glacial y 150 ml de agua destilada; debiéndose almacenar en frascos ámbar, pues pierde actividad si queda expuesto a la luz (Antón y De Luis, 1998). Se procede igual que en las técnicas de Adler y Kohn-O'Kelly, sólo que, en este caso, tras adicionar las dos gotas de peróxido de hidrógeno al 3%, se obtiene como referente de positividad un color azul o verde intenso en menos de 10 segundos (Castelló, 1997) (figura 56).

Figura 56

Fundamento químico de la prueba de Medinger



La sensibilidad de esta técnica oscila entre 1:100,000 y 1:200,000 (Antón y De Luis, 1998). Existen presentaciones comerciales, a modo de aplicadores químicos desechables, que generan resultados en tan sólo tres segundos y con una sensibilidad de hasta 1:300,000 (Forensi-Tech Limited, 2025).

Si bien no se recomienda su empleo sobre manchas antiguas ni en aquellas que hayan permanecido sumergidas en agua, ha sido útil en maculaciones encontradas en recubrimientos cerámicos no porosos con hasta 80 días de antigüedad y de hasta 50 días en recubrimientos cerámicos porosos (Gil et al., 2010).

Prueba de Thèvenon-Roland

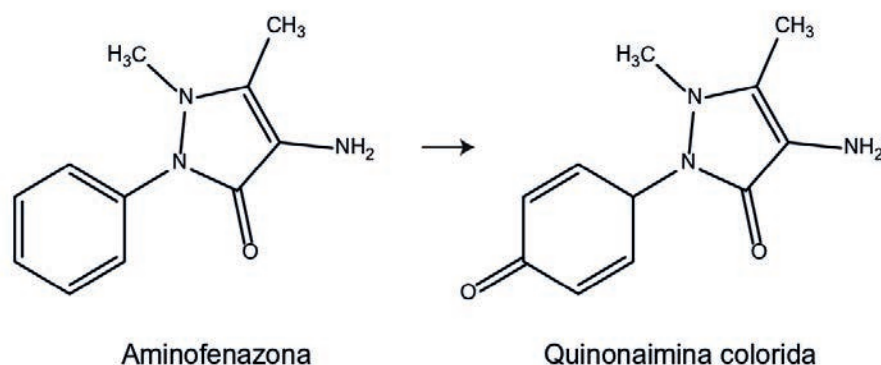
En esta prueba se aplican a la muestra problema tres gotas de una solución preparada al disolver 1.33 g de aminofenazona en 100 ml de etanol al 90%, tres gotas de ácido acético glacial al 33.33% y tres gotas de peróxido de hidrógeno al 3%; considerándose un resultado positivo la obtención de un color lila, violeta o morado en menos de un minuto después de agregar el reactivo (figura 57).

Estudios experimentales han demostrado la ocurrencia de falsos positivos con manchas de remolacha, moras, isodine, cloruro férrico, tiocianato de potasio, sulfato de hierro, algunos detergentes y lugol; así como la obtención de falsos negativos en manchas de sangre contaminadas con sosa caustica. Asimismo, la posibilidad de obtener resultados positivos en muestras problema sometidas a 60°C durante 20 minutos y de hasta un mes de antigüedad; una sensibilidad de hasta 1:200,000; así como su ineficacia en manchas lavadas y muestras enterradas durante periodos de menos de 24 horas (Antón y De Luis, 1998; Arbeláez y Ríos, 2009; Simonelli, 2013; Villegas et al., 2005).

La técnica suele ser referida también como la prueba del piramidón, por el preparado comercial que lo contenía, pero este fue retirado del mercado por ser cancerígeno.

Figura 57

Fundamento químico de la prueba de Thèvenon-Roland

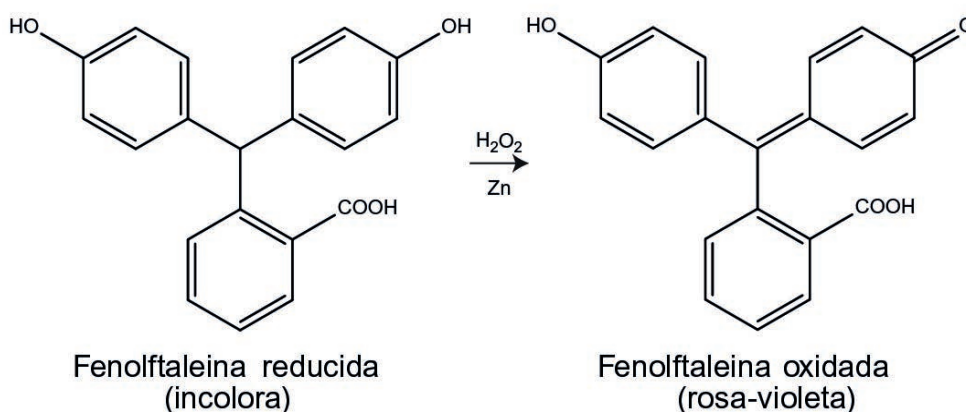


Prueba de Kastle-Meyer

Está basada en la reactividad de la fenolftaleína, un indicador de pH que, al oxidarse, pasa de ser incoloro a un color rosa, violeta o rojo grosella (figura 58). El reactivo de Kastle-Meyer o de Kastle-Scheede-Meyer —como también se le conoce a esta técnica analítica—, se prepara disolviendo 10 g de hidróxido de potasio, 1 g de fenolftaleína y 10 g de zinc en polvo en 50 ml de agua destilada. La mezcla debe mantenerse en refluxo hasta la decoloración de la solución y, tras conseguirse lo anterior, tendrá que ser guardada en un frasco ámbar (Castelló, 2017; Franco de Ambriz, 1991).

Figura 58

Fundamento químico de la prueba de Kastle-Meyer



Se le ha estimado una sensibilidad ampliamente variable; oscilando, según las condiciones de las muestras en los reportes disponibles, entre 1:2,000 y 1:10'000,000 (Castelló, 1997; Franco de Ambriz, 1991).

Da lugar a resultados falsos positivos con manchas de sales cúpricas, jugo gástrico, saliva, semen, leche, soluciones yodadas, detergentes para trastes, bebidas carbonatadas, whisky, café y brócoli (Antón y De Luis, 1998; Negre et al., 2003), y si la prueba se lleva a cabo a temperaturas mayores de 30 °C (Simonelli, 2013).

Aunque se ha reportado la obtención experimental de hasta un 40% de falsos negativos (Núñez, 2016), no se desalienta su empleo por permitir detectar manchas de muestras sanguíneas antiguas, lavadas, diluidas y tratadas con ácidos y bases (Castelló, 1997), así como la obtención de muestras viables para extraer perfiles genéticos.

Se puede obtener comercialmente el reactivo premezclado, bastando sólo con agregar —al momento del ensayo— dos o tres gotas de alcohol etílico e inmediatamente después dos o tres gotas de peróxido de hidrógeno. También se consigue en presentación de aplicadores desechables, con una sensibilidad estimada por la empresa fabricante de hasta 1:100,000 (Sirchie, 2013).

Técnicas fotoluminiscentes

Prueba con luz de Wood

Se realiza haciendo incidir el haz de una lámpara de Wood (emisora de luz ultravioleta con longitudes de onda comprendidas entre los 320 y 450 nm) sobre manchas sospechosas previamente tratadas con algunas gotas de ácido sulfúrico concentrado; considerándose así un resultado positivo la generación de una discreta luminiscencia roja (Castelló, 1997).

Técnicas quimioluminiscentes

Prueba del luminol

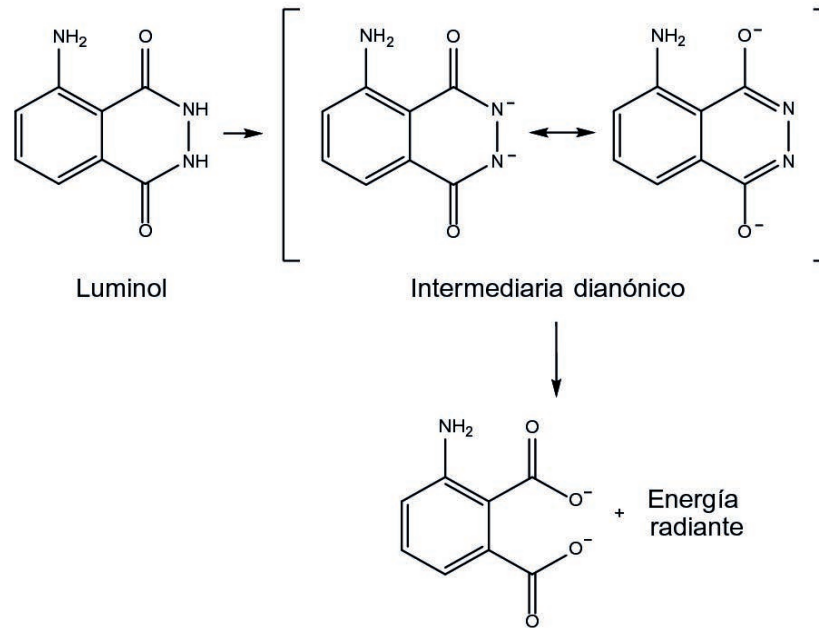
Este compuesto, cuyo nombre químico es 5-amino-2,3-dihidro-1,4-ftalazinadiona, fue utilizado por primera vez, con fines forenses, en 1937, por Walter Specht, en la ciudad alemana de Jena (Arbeláez y Ríos, 2009; Cedrón, 2011). Su empleo se basa en la quimioluminiscencia que produce al actuar con peróxidos en presencia de complejos de hierro que actúan como catalizadores (Johll, 2008) (figura 59).

El reactivo puede prepararse disolviendo inicialmente 3.5 g de perborato de sodio en 500 ml de agua destilada y agregando luego 0.5 g de luminol y 25 g de carbonato de sodio (fórmula de Grodsky) o mezclando 10 ml de una solución 0.4 N de hidróxido de sodio (obtenida disolviendo 8 g de dicho hidróxido en 500 ml de agua destilada) (solución A), 10 ml de una solución preparada al diluir 10 ml de agua oxigenada al 30% en 490 ml de agua destilada (solución B), 10 ml de una solución obtenida al disolver primero 0.354 g de luminol en 62.5 ml de la solución 0.4 N de hidróxido de sodio antes referida y tras agregar la can-

tividad de agua destilada necesaria para conseguir un volumen final de 500 ml (solución C), así como 70 ml de agua destilada (fórmula de Weber) (Barni et al., 2007).

Figura 59

Mecanismo de reacción propuesto para explicar la quimioluminiscencia del luminol



Una vez preparadas cualesquiera de las soluciones antes referidas, se aplican por aspersión directamente sobre el área de interés; generándose, ante la existencia de indicios sanguíneos, una luz azul brillante en un lapso de entre 20 y 60 segundos después de ser adicionado. En caso de trazas, la luminosidad tiende a desaparecer inmediatamente después de su producción.

Se considera útil ante la sospecha de manchas de sangre secas, no recientes o deterioradas por exposición a los agentes medioambientales, ubicadas en superficies oscuras o agrietadas y en condiciones de enterramiento o sometidas a procesos de lavado con agua pura, agua y jabón e incluso agua y productos blanqueadores a base de hipoclorito de sodio. Resulta también efectiva en manchas deterioradas por condiciones medioambientales y su eficacia disminuye en manchas hemáticas localizadas sobre estructuras de hierro y en telas de material sintético que hayan permanecido enterradas (Gil et al., 2010).

Las investigaciones desarrolladas en torno a su empleo han demostrado su positividad en manchas de sangre con hasta 25 años de antigüedad y la posibilidad de estimar el grupo sanguíneo y de extraer muestras viables para perfil genético en manchas tratadas con el reactivo (Castelló, 1997; James y Eckert, 1998).

Se le estima una sensibilidad mínima de 1:100 en superficies absorbentes y de hasta 1:5'000,000 en superficies no absorbentes; soliendo generar falsos positivos con manchas de sangre animal, excremento humano, preparados farmacéuticos a base de iodo, algunos detergentes, vino tinto, mango, rábano, ácido acético, amoníaco, hipoclorito de sodio, cloruro de níquel, cloruro férrico, sulfato cúprico, sulfato de zinc, sulfato férrico, tiocianato de potasio, perborato de potasio, permanganato de potasio, partículas residuales del humo de tabaco y ciertos barnices para madera (Castelló, 1997; Cedrón, 2011; Santos, 2016).

Los productos de limpieza que pueden llegar a interferir en la prueba se degradan al cabo de unos días; en caso de estar aún presentes, dan lugar a reacciones luminiscentes inmediatas, más o menos intensas y de corta duración (Cedrón, 2011).

Algunas pruebas de lavado de manchas hemáticas experimentales, realizadas empleando detergentes y suavizantes convencionales, han evidenciado la positividad de la reacción aún hasta después de la décima lavada y la extracción y amplificación de ADN en material textil sometido hasta a tres lavadas (Castelló et al. 2002).

No obstante, el uso de productos de limpieza que se comercializan con lo que se ha dado por llamar oxígeno activo (percarbonato de sodio) imposibilitan la reacción; obteniéndose así resultados falsos negativos en los remanentes aún visibles de las manchas tratadas con dicho agente químico (Castelló et al., 2009; Castelló et al., 2012).

Los componentes de las formulaciones pueden causar irritación cutánea, ocular y de las vías respiratorias, por lo que se requiere el uso de guantes, ropa de mangas largas, cubrebocas y anteojos de seguridad durante su aplicación.

Las soluciones de luminol preparadas en el laboratorio son difíciles de estabilizar y tienen una vida media de entre ocho y doce horas (Khan et al., 2014), por lo que resulta más cómodo recurrir a las versiones comerciales que se ofrecen en el mercado especializado.

El reactivo es más efectivo con manchas hemáticas antiguas que con manchas de sangre fresca; llegándose a recomendar en estos casos, a efecto de acelerar la degradación de la hemoglobina, rociar previamente el área maculada con una solución de ácido clorhídrico al 2% (Castelló, 1997).

Prueba del Bluestar

Preparación desarrollada a base del luminol que, en presencia de manchas de sangre frescas, secas, antiguas, diluidas o invisibles por maniobras de lavado con jabón y blanqueador da lugar —prácticamente de manera instantánea— a una quimioluminiscencia, también de color azul, más intensa y duradera que la del luminol y sin necesidad de condiciones de oscuridad total en el sitio del ensayo (Arbeláez y Ríos, 2009; Santos, 2016).

Se han obtenido resultados de falsos positivos ante la presencia de productos blanqueadores, algunos detergentes a base de cloro, ciertos barnices y pinturas, materiales de

cobre, sustratos ferruginosos, sulfato cúprico, sulfato férrico, cloruro de níquel y manchas de champiñón, tomillo, frijol, papa, rábano y algunas especies de musgos arborícolas; manifestándose en todos estos casos una luminosidad siempre menos intensa y colorida que la originada por las manchas realmente hemáticas (Bluestar, 2021; Santos, 2016).

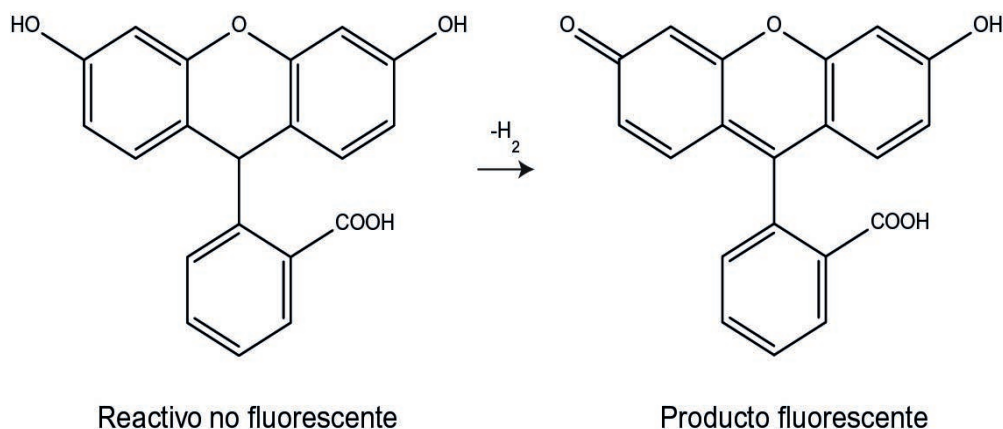
Aunque su fabricante reporta una sensibilidad de hasta 1:10,000 (Bluestar, 2021), algunos estudios experimentales de validación extienden su límite de detección hasta 1:5'000,000 (Cassidy et al., 2017). Su empleo no afecta la posibilidad de extraer muestras viables para identificar el grupo sanguíneo de la mancha problema en el sistema ABO ni para la obtención de su perfil genético (Arbeláez y Ríos, 2009; Santos, 2016).

Prueba de la fluoresceína

La mezcla reactiva se prepara disolviendo 0.25 g de fluoresceína, 20 g de hidróxido de potasio y 10 g de polvo de zinc en 100 ml de agua destilada. Habiendo conseguido la decoloración del también llamado reactivo de Fleig por ebullición, se filtra en caliente y se almacena en algún frasco de vidrio ámbar. Tras agregar dos gotas del reactivo a la muestra problema y añadir la misma cantidad de agua oxigenada se genera una fluorescencia verdosa, proporcional a la concentración de sangre presente en el ensayo (figura 60). La fluorescencia suele generarse de inmediato y alcanza su máxima intensidad luego de entre dos y cuatro minutos de la adición del agente oxidante (Antón y De Luis, 1998), estimándose una sensibilidad de hasta 1:1'000,000. Las manchas de papa, sangre animal y ciertos aceites generan falsos positivos (Santos, 2016).

Figura 60

Fundamento químico de la prueba de la fluoresceína



Prueba del Lucerol

Emplea una preparación comercial basada en el reactivo de Fleig que desarrolla una fluorescencia entre verde y amarilla sin necesidad de total oscuridad, estimulada por una fuente de luz azul (con longitudes de onda comprendidas entre 427 y 476 nm) (Núñez, 2016). La prueba requiere el uso de gafas amarillas y es efectiva hasta en concentraciones de 1:10,000; una vez preparado el reactivo, permanece estable por meses en refrigeración.

Prueba de la Hemascein

Es una fórmula comercial a base de fluoresceína, que haciendo uso de fuentes de luces alternativas con longitudes de onda entre los 415 y 480 nm genera una luminiscencia verde brillante no inmediata, más intensa que la del luminol y con una duración de más de una hora. No requiere oscuridad total, pero sí anteojos amarillos; su sensibilidad ha sido estimada entre 1:1,000 y 1:1'000,000 y no interfiere en las pruebas de ADN (Seashols et al., 2013). Se le estiman más reacciones cruzadas que los preparados a base de luminol, pero presenta la ventaja de poderse emplear en sangre afectada por el fuego directo.

Prueba del Lumiscene

Este producto comercial combina, dada su composición, los efectos del luminol y la fluoresceína, emitiendo una luz azul visible a simple vista más intensa que la del luminol. Se le ha estimado una sensibilidad de 1:50,000 y, debido a su baja concentración de peróxido de hidrógeno, tampoco degrada el ADN que pudiera existir en las manchas analizadas (Andersson, 2017).

Pruebas confirmatorias

Las pruebas confirmatorias o de certeza hacen constar la presencia de alguno de los componentes propios de la sangre en la muestra problema; excluyendo, por ende, cualquier otra sustancia que no los contenga. Entre los caracteres más frecuentemente acreditados se encuentran los eritrocitos y la hemoglobina; pudiéndose recurrir para ello a técnicas microscópicas, cristalográficas, colorimétricas, cromatográficas, espectroscópicas e inmunocromatográficas.

Técnicas microscópicas

Se pueden realizar en manchas problema frescas, secas, recientes, no recientes y halladas en superficies absorbentes y no absorbentes, a través de la observación directa de muestras hemáticas y de observación de preparados sanguíneos.

Observación directa de muestras hemáticas

Las muestras líquidas pueden observarse directamente, contenidas entre un portaobjetos y un cubreobjetos, por transiluminación y con el objetivo 40x del microscopio óptico; apreciándose así sólo las células eritrocitarias como estructuras circulares, de color anaranjado, carentes de núcleo, con el centro más pálido que la periferia, separadas entre sí o como agregados con formas lineales (conocidos como rouleaux), reticulares (denominados amas) o en masas multicelulares (llamadas agregados globulares) (Hortolà, 2001).

Las manchas secas en superficies absorbentes pueden tratarse, parcial o totalmente, con algunas gotas de una solución estéril de cloruro de sodio al 0.9%, de hidróxido de potasio al 30% o una mezcla de albúmina, glicerina y solución salina al 0.9% (en una proporción de 1:1:3); procediéndose, después de algunos minutos de maceración, a la observación microscópica de una gota del extracto conseguido.

En caso de manchas sobre telas puede colocarse una porción de aproximadamente 1 cm² de la zona maculada sobre un portaobjetos y se le agregan entre 5 y 10 gotas de alcohol metílico absoluto. Luego de 20 minutos se elimina el remanente de alcohol y se deja secar la muestra. Una vez seca se cubre la totalidad del portaobjeto con una solución del colorante de Giemsa al 10%; dejándola actuar durante entre 15 y 25 minutos. Al cabo de lo anterior, habrá de escurrir el colorante y lavar la preparación con agua destilada (Simonelli, 2013). Si la tela es delgada o de colores claros, podrán así apreciarse los leucocitos como estructuras celulares con citoplasmas en colores rosa y azul; si la tela es gruesa o de colores oscuros, tendrá que deshilacharse la tela sobre el portaobjetos empleando un par de agujas.

En caso de contar con manchas secas puestas sobre superficies no absorbentes se puede recurrir a la observación al microscopio de muestras obtenidas por raspado y montadas en una capa de albúmina de Mayer (mezcla de glicerina y clara de huevo en partes iguales), puesta sobre un portaobjetos o —sobre todo si la mancha es muy delgada— a la observación directa de la mácula problema con el objetivo de 40x y epiluminación. Bajo tales circunstancias, los eritrocitos suelen apreciarse con formaciones similares a las de monedas apiladas.

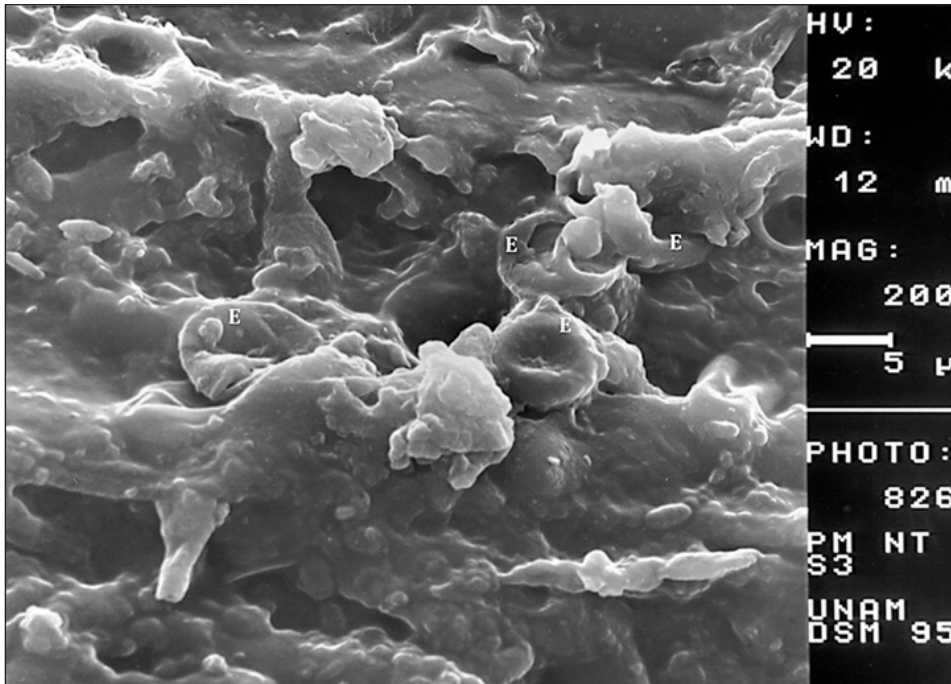
La observación directa con luz incidente ha permitido detectar elementos celulares hemáticos de manchas extremadamente antiguas; llegándose a reconocer eritrocitos de mamíferos no humanos con microscopios ópticos en herramientas de piedra con una antigüedad de alrededor de 100,000 años (Hortolà, 1992; 2001).

Existen también referencias de la identificación de fragmentos de piel, fibras de colágeno, restos de fibrina y eritrocitos humanos mediante microscopía electrónica de barrido (MEB) en objetos rituales prehispánicos de obsidiana, hueso de animal y espinas

de maguey empleados —entre los siglos VIII y XVI de nuestra era— en prácticas de sacrificio y autosacrificio, extraídos de diferentes sitios arqueológicos mexicanos (Mainou et al., 2017; Loy, 1983) (figura 61).

Figura 61

Eritrocitos (E) en una punta de maguey que permaneció sumergida más de 600 años en la laguna del Nevado de Toluca



Nota. Mainou et al. (2017, p. 28).

Observación de preparados sanguíneos

Ante la imposibilidad de la observación directa se puede proceder a la preparación extendida, comúnmente llamada frotis, de una gota de entre 1 y 3 mm de diámetro de la muestra problema tratada con los llamados colorantes de Wright, de Giemsa o de May-Grünwald (que contienen azul de metileno y eosina) o con una mezcla de hematoxilina y eosina (Camarena, 2017; Carr y Rodak, 2010; Martínez-Silvestre et al., 2011). Cualquiera de estos colorantes permite apreciar, empleando el objetivo de inmersión en aceite (100x), a los eritrocitos teñidos de colores que oscilan entre el rosa y el salmón; los núcleos de los leucocitos en colores azul oscuro, púrpura o violeta; los gránulos citoplasmáticos de los eosinófilos con tonalidades entre el naranja y el rojo; los gránulos de los neutrófilos entre el violeta y el rojo; los de los basófilos, de color púrpura; y a las plaquetas en colores violeta o púrpura (Camarena, 2017; Carr y Rodak, 2010).

Técnicas cristalográficas

Las pruebas cristalográficas o microquímicas se sustentan en la formación y observación de cristales microscópicos de compuestos halogenados y nitrogenados derivados de la ferriprotoporfirina IX tras la acción de ciertos reactivos químicos sobre muestras hemáticas líquidas y secas. Entre los procedimientos más empleados se encuentran las pruebas de Teichmann, Bertrand, Strzyzowski, Sardá, Lecha-Marzo, Takayama y Guarino.

Prueba de Teichmann

La muestra problema se deposita entre un portaobjetos y un cubreobjetos; luego se agregan por capilaridad unas gotas del llamado reactivo de Teichmann (preparado con 0.1 g de cloruro de sodio, 0.1 g de bromuro de potasio, 0.1 g de yoduro de potasio y la cantidad de ácido acético glacial necesario para obtener 100 ml de solución); finalmente, se evapora la solución reactiva en las proximidades de la flama de un mechero y se observa al microscopio (Franco de Ambriz, 1991).

Las muestras hemáticas dan lugar a cristales romboidales de entre 0.04 y 0.08 mm de ancho por entre 0.19 y 0.24 mm de largo, en colores que oscilan entre el amarillo rojizo y el pardo o marrón, de hemina, clorohemina, clorhidrato o cloruro de hemina o clorhidrato o cloruro de ferriprotoporfirina IX; mejor conocidos como cristales hemínicos o de Teichmann (Castillo-Rodríguez y Martínez-García, 2020; Núñez, 2016) (figura 62).

Figura 62

Aspecto microscópico de los cristales de Teichmann



Estas formaciones cristalinas son características de la sangre y excepcionalmente pueden confundirse, por su forma y color, con los cristales producidos por dos sustancias químicas: la murexida y la indigotina (Antón y De Luis, 1998).

La técnica puede generar falsos negativos en muestras afectadas por la putrefacción, ácidos o álcalis, sustancias oxidantes, sales metálicas, radiación solar y calor excesivo (Antón y De Luis, 1998; Castillo-Rodríguez y Martínez-García, 2020).

Prueba de Bertrand

Requiere de una solución preparada con 1 g de cloruro de magnesio, 1 ml de agua destilada, 5 g de glicerol al 30% y 20 ml de ácido acético glacial. El procedimiento es similar al de la prueba de Teichmann y se obtienen cristales de clorhidrato de hemina más pequeños que los generados en aquella técnica (Kind y Cleavelly, 1969).

Prueba de Strzyzowski

Se procede de la misma manera que en las técnicas de Teichmann y Bertrand, pero el reactivo a aplicar se prepara disolviendo dos o tres gotas de ácido yodhídrico en una mezcla de 1 ml de ácido acético glacial, 1 ml de alcohol etílico al 95% y 1 ml de agua destilada.

La sangre queda evidenciada por la formación de cristales de yodhidrato de hemina o cristales de Strzyzowski; estructuras cristalinas rómbicas de mayor tamaño que los cristales de Teichmann y en colores oscilantes entre castaño oscuro y negro (Álvarez, 2003).

Prueba de Sardá

Se considera una variante de las dos pruebas anteriores y se realiza empleando una solución preparada con dos o tres gotas de ácido bromhídrico en las mismas cantidades de ácido acético, etanol y agua destilada antes referidas.

La prueba se considera positiva al formarse cristales de bromhidrato de hemina, con formas romboidales y alargadas, en colores oscilantes entre el rojo y el caoba oscuro, y de mayor tamaño que los cristales de Teichmann y de Strzyzowski (Álvarez, 2003; Antón y De Luis, 1998).

Prueba de Lecha-Marzo

Está basada en la formación de hemocromógeno, un derivado piridínico de la hematina que cristaliza en forma de agujas o tabletas rómbicas, algunas veces agrupadas a modo de estrellas, de color anaranjado o rojo oscuro (National Institute of Justice, 1990).

La mancha problema se disuelve en unas gotas de piridina y una gota de solución preparada con 0.5g de yoduro de potasio, 2.5g de yodo y 25ml de etanol de 96° y se deja evaporar lentamente a temperatura ambiente; se agrega luego una gota más de piri-

dina y otra de sulfuro de amonio y se observa al microscopio la formación de los cristales antes descritos.

Prueba de Takayama

La hemoglobina, en contacto con el reactivo de Takayama (preparado en el momento del ensayo con 10 ml de una solución saturada de glucosa, 10 ml de hidróxido de sodio al 10%, 10 ml de piridina y 20 ml de agua destilada) cristaliza en un lapso de entre 10 y 20 minutos en forma de tabletas romboidales, fusiformes o arborescentes, y con un característico color entre rojo y anaranjado intenso, conocidas como cristales de hemocromógeno o de Takayama (Antón y De Luis, 1998; Castillo-Rodríguez y Cortés-Osorio, 2019; Franco de Ambriz, 1991; Gaensslen, 1983; Núñez, 2016) (figura 63).

La prueba llega a producir resultados positivos aun cuando la reacción de Teichmann haya sido negativa (Antón y De Luis, 1998). La acción de detergentes e hipoclorito de sodio en las manchas problemas suele generar falsos negativos. Resulta sensible en diluciones de hasta 1:100 y en muestras enterradas y con hasta 20 años de antigüedad (Castillo-Rodríguez y Cortés-Osorio, 2019; Villegas et al., 2005).

Figura 63

Aspecto microscópico de los cristales de Takayama



Prueba de Guarino

Aplicable a muestras que, al haber sido sometidas a altas temperaturas o a la acción de ácidos, no reaccionan positivamente con las pruebas antes referidas. La muestra problema se mezcla con 2 ml de ácido sulfúrico para transformar la hemoglobina en hematoporfirina ácida; la cual se separa, primero por precipitación, agregando algunas gotas de agua destilada, y después por centrifugación.

Luego de lavar dos o tres veces el precipitado, se disuelve en la menor cantidad de ácido clorhídrico concentrado posible y se coloca una gota de la solución en un portaobjetos para evaporar el solvente, calentando ligeramente. Al cabo de lo anterior, se formarán los cristales de hematoporfirina ácida, similares a los del clorhidrato de hemina, pero de un color amarillo rosáceo (Antón y De Luis, 1998).

Técnicas colorimétricas

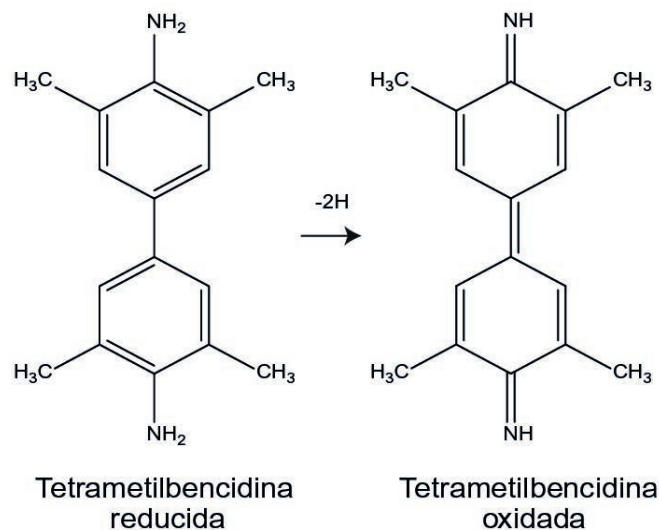
De manera semejante a las técnicas quimiocromáticas presuntivas, este tipo de ensayos establecen la presencia de hemoglobina en la muestra problema ante el cambio o desarrollo de coloración en el sistema reactivo.

Prueba del Hemastix

Son tiras comerciales reactivas diseñadas, en principio, para detectar hemoglobina en orina mediante la reacción de ésta con la 3,3',5,5'-tetrametilbencidina, mediante el cambio de coloración de la superficie reaccionante de amarillo a verde, verde azulado o azul (figura 64); proporcional a la concentración hemoglobínica en la muestra ensayada (Marie, 2008).

Figura 64

Fundamento químico de la prueba del Hemastix



Es una técnica económica, rápida, sencilla y confiable; especialmente útil en manchas secas, muestreadas al momento de la prueba con hisopos humedecidos con dos gotas de solución fisiológica. Las manchas empleadas en esta prueba pueden quedar inutilizables para la recuperación de ADN (Poon et al., 2009).

Prueba del Hemident

Prueba rápida comercial que se realiza introduciendo la muestra problema recolectada con hisopos de algodón a los tubos de plástico, transparentes y flexibles que contienen, en su parte inferior y superior, sendas ampollas que se rompen en el orden indicado por el fabricante al momento del ensayo.

La prueba se considera positiva para sangre de cualquier mamífero si aparece una coloración entre azul y verde en la zona con la mancha problema y se le estima una sensibilidad de 1:1'000,000 (Forensics Source, 2025).

Técnicas cromatográficas

La cromatografía es una técnica instrumental de separación de mezclas basada en la diferencia de afinidades de sus componentes, por las fases estacionaria y móvil del dispositivo empleado. La fase estacionaria o fija puede ser papel o partículas de sílice contenidas en una lámina de aluminio o en una columna de vidrio o de metal. La fase móvil suele ser una o varias sustancias en estado líquido o gaseoso, que arrastran diferenciadamente los constituyentes de la mezcla a través de la fase estacionaria, lográndose así su separación y, en caso de añadir a la técnica algún proceso de detección, su identificación (Johll, 2008; Willard et al., 1991). Las técnicas cromatográficas referidas a continuación se emplean genéricamente para acreditar la presencia de hemoglobina en las muestras analizadas.

Cromatografía en papel

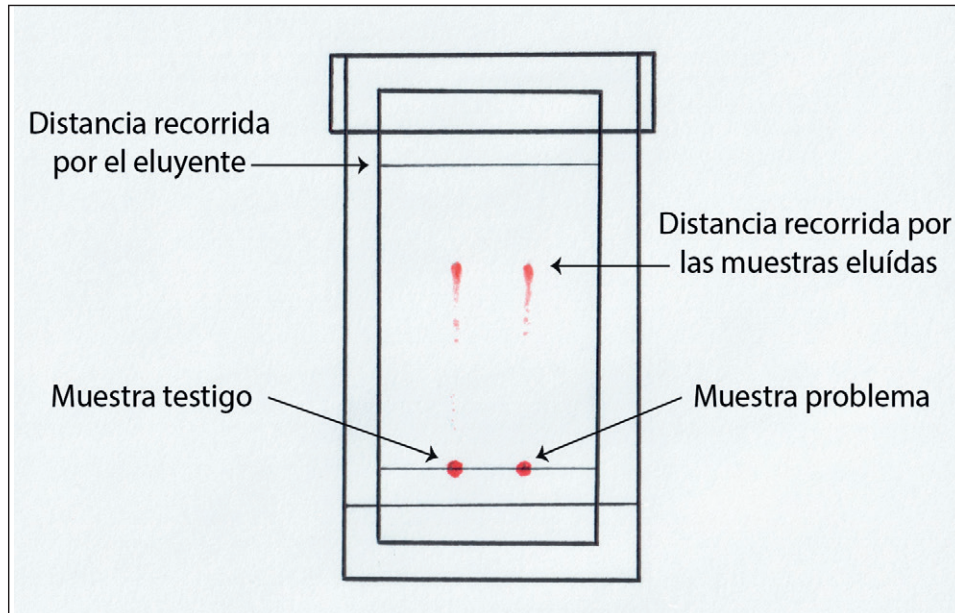
Se aplica inicialmente empleando en un tubo capilar entre una y cinco gotas de la muestra problema, fresca u obtenida por maceración sobre una línea trazada con lápiz a 1 cm de uno de los extremos de una tira de papel filtro fino o cromatográfico de 5 cm de ancho, 15 m de largo y 0.18 mm de grosor y se eluye la mancha, una vez seca, con una solución preparada con 9 ml de metanol, 0.7 ml de agua y 0.3 ml ácido acético, hasta que la altura del solvente sobrepase los 10 cm (Antón y De Luis, 1998).

De existir hemoglobina (figura 65), su mancha eluída tendrá un factor de retención (R_f) de entre 0.7 y 0.8, y puede revelarse inmediatamente después de su secado, rociando con soluciones acéticas de verde de leucomalaquita (reactivo de Medinger) o de bencidina (reactivo de Adler) y, al cabo de dos minutos y también por aspersion, con una solución

recién preparada de peróxido de hidrógeno al 3%; dando así lugar a coloraciones comprendidas entre el azul y el verde (Simonelli, 2013).

Figura 65

Muestras procesadas mediante cromatografía en papel



Cromatografía en capa fina

Se emplean placas de vidrio, plástico o aluminio, comúnmente conocidas como cromatofolios, de 5 cm de ancho y 15 cm de largo, preparadas con gel de sílice con tamaño de partícula de entre 10 y 12 μm ; procediéndose de la misma manera y con el mismo eluyente que en el caso anterior.

Al terminar la elución y una vez seco el cromatofolio, habrá de revelar con los reactivos de Medinger o de Adler. Se recomienda correr, a la par de las muestras problema, una muestra de sangre para que produzca una mancha eluída testigo o de referencia (Simonelli, 2013).

Cromatografía líquida de alta eficacia

Las muestras problema se corren en equipos de laboratorio especiales y a través de cartuchos de intercambio iónico, constituyéndose así en un procedimiento analítico confiable, sensible y que —en menos de 10 minutos— permite la separación, identificación y determinación porcentual de las hemoglobinas, normales y anormales, en las muestras sanguíneas examinadas (Bravo-Urquiola et al., 2004; Chen et al., 2025; Willard et al., 1991).

Técnicas espectroscópicas

Estas determinaciones se fundamentan en el análisis e interpretación de los espectros de absorción y de emisión generados por las diferentes sustancias químicas al ser expuestas a un determinado rango de radiación electromagnética (Willard et al., 1991).

De entre las técnicas espectroscópicas disponibles en los laboratorios de química forense, destacan por su aplicabilidad en la identificación de la hemoglobina y algunos de sus derivados, la espectroscopía ultravioleta-visible y la espectroscopía infrarroja.

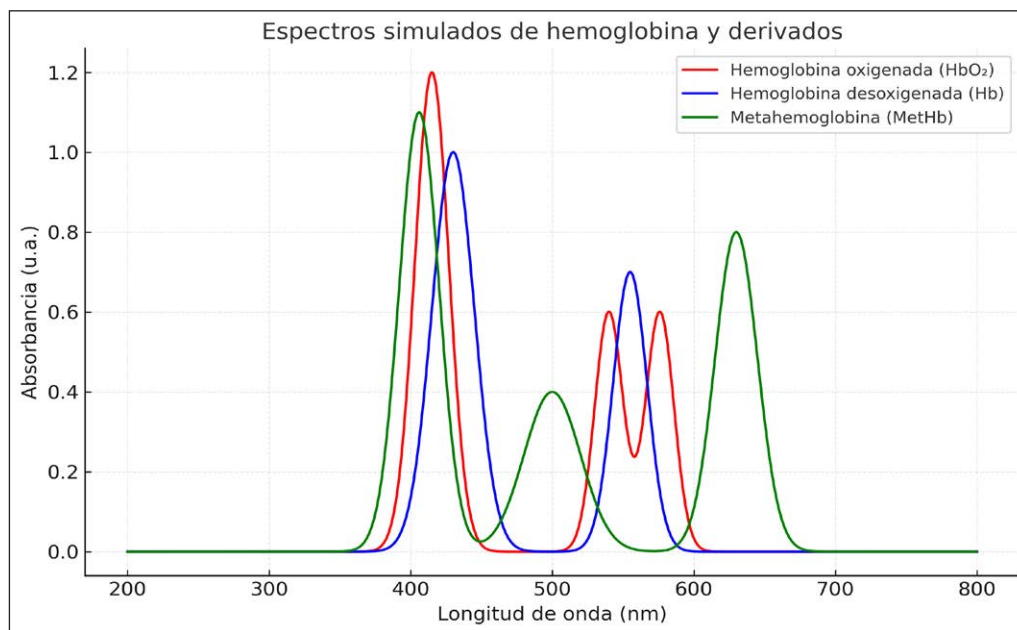
Espectroscopía ultravioleta-visible

Estos espectros representan gráficamente la radiación electromagnética con longitudes de onda comprendidas entre los 100 y 760 nm (International Organization for Standardization, 2007), que absorbe el compuesto analizado en función de su composición y estructura químicas (Castaño, 1991).

Así pues, la hemoglobina, de encontrarse presente en las manchas problema, da lugar a espectros de absorción característicos con tres picos: uno relativamente ancho, entre los 380 y 450 nm (conocido como banda de Soret), generado por el grupo hemo; otro entre los 540 y 560 nm; y un tercero entre los 575 y 590 nm (Alvarado-Noguez et al., 2017; Castaño, 1991; Giuliatti et al., 2023) (figura 66).

Figura 66

Espectros de absorción ultravioleta-visible (UV-Vis) simulados de la hemoglobina y algunos de sus derivados



Nota. Imagen generada por inteligencia artificial mediante ChatGPT, modelo GPT-5 mini, de OpenAI.

Si la mancha no es reciente o la extracción se realiza con una solución de ferrocianuro de potasio al 0.5 %, el espectro obtenido presentará —en caso de existir sangre en la muestra— un pico de absorción a los 630 nm, característico de la metahemoglobina.

Si la metahemoglobina se trata con cianuro de potasio se obtiene cianohemoglobina, que genera un espectro con un pico de máxima absorción a los 540 nm.

La desoxihemoglobina da lugar a un ancho pico a los 570 nm, la carboxihemoglobina genera un par de picos de absorción a los 540 y 570 nm y la sulfohemoglobina a los 560 y 620 nm (Castaño, 1991).

Espectroscopía infrarroja

La técnica se sustenta en la capacidad de las moléculas orgánicas para absorber la radiación infrarroja (con longitudes de onda entre 780 nm y 1 mm) y convertirla en vibraciones en sus enlaces o grupos funcionales (International Organization for Standardization, 2007; Levin y Bhargava, 2005).

La espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada (conocida como ATR-FTIR, por sus siglas en inglés) es un método analítico no destructivo y altamente preciso, utilizado en el ámbito forense para la detección e identificación de diversas sustancias y manchas de fluidos biológicos (Mistek y Lednev, 2018).

Su empleo ha permitido diferenciar entre manchas de sangre y de cualquier otro fluido corporal con una precisión del 100 %, detectar manchas hemáticas en diluciones de hasta 1:64 y con tiempos de deposición de 15 días (Sharma et al., 2021), así como discriminar con una confiabilidad también del 100 %, entre manchas de sangre humana y de al menos 12 especies de animales domésticos y salvajes (Mistek y Lednev, 2020).

Igualmente, se ha utilizado para estimar la antigüedad de manchas hemáticas, diferenciar entre sangre menstrual y venosa y reconocer maculaciones por sangrados *ante mortem* y *post mortem* (Alkhuder, 2022).

Técnicas inmunocromatográficas

Existe una amplia gama de pruebas rápidas que combinan los principios de la separación cromatográfica con los de las reacciones específicas antígeno-anticuerpo y se comercializan como cartuchos de plástico del tamaño de un portaobjeto, generalmente con un par de ventanas en una de sus caras; una de ellas se emplea para aplicar la muestra problema y la otra permite conocer el resultado de la prueba, casi siempre expresada como bandas coloreadas que aparecen a la par de una especie de control interno de la reacción.

Las pruebas disponibles se mejoran constantemente presentando una amplia variabilidad en su relación costo-efectividad. Entre las más utilizadas en la práctica forense para confirmar la naturaleza hemática de una mancha problema se encuentran:

Hexagon OBTI, Bluestar OBTI, Identi-HEM, RSID-Blood, HemDirect, RapidSignal Occult Blood, HemaTrace, Hexagon OBTI, HEM-Check y Hemosure iFOB.

Hexagon OBTI

Genera resultados en un plazo máximo de entre dos y tres minutos y está basada en la reacción de la hemoglobina humana con un compuesto conjugado de partículas coloridas y anticuerpos monoclonales antihumano (Delgado y Ballén, 2006).

Es sensible en diluciones de hasta 1:1,000 si se reduce la cantidad del tampón empleado para acondicionar la muestra problema.

Produce falsos positivos con sangre de todos los demás primates y los mustélidos (entre los que se encuentra la comadreja, la nutria, el grisón y el tlalcoyote o tejón) (Núñez, 2016).

Bluestar OBTI

Puede considerarse una prueba rápida, pues produce resultados en un tiempo de entre dos y cinco minutos, atribuyéndosele una sensibilidad de hasta 1:2'000,000. Las manchas secas o contenidas en tejidos absorbentes deben permanecer un tiempo mínimo de entre 5 y 20 minutos en el contenedor con líquido extractivo que forma parte del kit para evitar falsos negativos; pudiéndose extender este tiempo si se llega a considerar necesario, hasta por un máximo de 12 horas. Se obtienen falsos positivos con sangre de gorilas, langures, turones y comadrejas. Reacciona débilmente con sangre de tejones, en concentraciones de hemoglobina superiores a los 200 µg/ml de solución extractiva, y de caballos ante concentraciones de más de 500 µg/ml (Cuttaia et al., 2024).

Identi-HEM

Detecta, al igual que las anteriores, hemoglobina humana, en un tiempo de 10 minutos y con una capacidad de detección de hasta 0.01 µg de hemoglobina/ml de solución extractiva. Reacciona ligeramente con la sangre de turón y suele producir falsos negativos con muestras muy concentradas (Cuttaia et al., 2024).

RSID-Blood

Prueba inmunocromatográfica que, a diferencia de las anteriores, detecta glucoforina A, un antígeno de membrana de los eritrocitos y puede detectar cantidades de hasta 0.25 µl de sangre en un tiempo de 10 minutos (Chub, 2018; Halkides y Lott, 2017).

Las muestras de manchas recientes deben permanecer alrededor de 20 minutos en el solvente de extracción; las de manchas antiguas, por lo menos 50 minutos. Puede emplearse en manchas degradadas y de hasta 10 años de antigüedad, sin afectar en lo absoluto el proceso de extracción y análisis del ADN en los remantes de la muestra (Turrina et al., 2008).

HemDirect

Inmunoensayo cromatográfico con dos anticuerpos monoclonales que detectan la hemoglobina en concentraciones de hasta 40 ng/ml de solución extractiva. Puede presentar reacciones cruzadas con sangre de gorilas, orangutanes, chimpancés y hurones; reportándose la obtención de resultados positivos con muestras de hasta 31 años de antigüedad (Misencik y Laux, 2007; Seratec, 2013).

RapidSignal Occult Blood

Esta prueba detecta, en un tiempo máximo de 10 minutos concentraciones de hemoglobina de hasta 40 ng/ml de solución extractiva o hasta en diluciones del orden de 1:10,000.

Resulta útil en manchas de hasta cuatro años de antigüedad; genera falsos positivos ante la presencia de sangre de turón y macaco Rhesus, y falsos negativos con muestras enterradas, tratadas con hipoclorito de sodio y expuestas a la lluvia (Delgado y Ballén, 2006).

HemaTrace

Prueba comercial que en un tiempo máximo de 10 minutos permite detectar hasta 0.05 µg de hemoglobina/ml de buffer de extracción (Abacus Diagnostics, s.f.). Puede emplearse con muestras de hasta 10 años de antigüedad o tratadas con hipoclorito de sodio, pero resulta inútil para manchas expuestas al calor, puestas sobre superficies metálicas oxidadas, corroídas o contaminadas con orina.

Las muestras problema recientes se maceran en la solución extractiva por un tiempo de entre 1 y 5 minutos, las manchas no recientes o que fueron lavadas deben ser analizadas después de no menos de 30 minutos de maceración (figura 67).

Las pruebas de control llevadas a cabo por los desarrolladores del producto reportan la ocurrencia de falsos positivos sólo ante la presencia de sangre de hurón en las muestras analizadas (Cuttaia et al., 2024).

HEM-Check

Es comercializada para detectar hemoglobina en materia fecal, pero se ha llegado a aplicar exitosamente para hacerlo en cualquier otra muestra biológica, estimándosele una sensibilidad de hasta 0.04 mg de hemoglobina/gr de heces fecales (Núñez, 2016).

Hemosure iFOB

Prueba rápida cualitativa diseñada, al igual que la anterior, para detectar sangre oculta en materia fecal en concentraciones de hasta 0.05 µg de hemoglobina/cm³ de muestra problema en un tiempo de entre 2 y 10 minutos (Grupo Moscaro, s.f.).

Figura 67

Kit para detección de sangre humana HemaTrace



Estudio morfológico de las manchas hemáticas

Concepto de mancha

Denominamos mancha (del latín *macula*) a la zona con un color, olor, textura o aspecto diferente al material sobre el cual se encuentra producida al derramar, depositar o untar alguna sustancia sobre ella (Hortolà, 2001).

Considerando la diferencia entre sus tonalidades y las de las superficies que las contienen, se pueden dividir en dos grandes grupos: manchas hipocrómicas y manchas hiperocrómicas. Las manchas hipocrómicas se aprecian con tonalidades más claras que sus soportes; las hiperocrómicas, por el contrario, presentan tonalidades más oscuras que las superficies en que se encuentran.

Concepto de mancha hemática

Nombre dado al depósito, adhesión o absorción de cierta cantidad de sangre en alguna superficie u objeto sólido (figura 68). Dadas las propiedades físicas de la sustancia que las genera, sus mecanismos de producción y las características de las superficies que las soportan, las maculaciones hemáticas adquieren formas regulares, constantes, repetitivas y ordinariamente reconocibles, referidas técnicamente como patrones de manchas de sangre (Esperança, 2018; Gutiérrez, 2018).

Figura 68

Mancha de sangre encontrada en una pared



Tipos de manchas hemáticas

De entre los diversos criterios para clasificar las manchas de sangre, consideraremos los siguientes:

Según el origen de la sangre

Manchas de sangre humana

Manchas de sangre animal

Según la etiología del sangrado

Manchas por hemorragias traumáticas

Manchas por hemorragias no traumáticas

Según la absorbencia del soporte

Manchas sobre superficies absorbentes

Manchas sobre superficies no absorbentes

Según la temporalidad de la mancha:

Manchas recientes

Manchas no recientes

Según el tipo de vaso sanguíneo afectado

Manchas de sangre capilar

Manchas de sangre venosa

Manchas de sangre arterial

Según el mecanismo de formación

Manchas producidas por fuerzas pasivas

Manchas producidas por fuerzas activas

Manchas producidas por contacto

De acuerdo con la forma, el tamaño y el mecanismo de producción de la mancha, se han propuesto las siguientes clasificaciones:

Clasificación de Glaister (1930)

Gotas

Salpicaduras

Chorros

Charcos

Manchas

Regueros (Glaister, 2010)

Clasificación de Radzicki (1960)

Manchas pasivas

Manchas por impacto o proyectadas

Manchas por transferencia

Manchas misceláneas (Radzicki, 1960)

Clasificación de Kirk (1963)

Manchas por impactos de baja velocidad

Manchas por impactos de mediana velocidad

Manchas por impactos de alta velocidad (Hook et al., 2024)

Clasificación de Simonin (1973)

Manchas por proyección

Manchas por escurrimiento

Manchas por contacto

Manchas por impregnación

Manchas por mecanismos mixtos (Simonin, 1973)

Clasificación de Wonder (2001)

Manchas por salpicaduras

Manchas sin salpicaduras

Manchas compuestas (Wonder, 2001)

Clasificación de Jackson y Jackson (2004)

Manchas pasivas

Manchas activas

Manchas de transferencia (Jackson y Jackson, 2007)

Clasificación de James, Kish y Sutton (2005)

Manchas pasivas

Manchas por salpicaduras

Manchas alteradas (Hernández, 2020; James et al., 2005)

Clasificación de Bevel y Gardner (2008)

Manchas que son salpicaduras

Salpicaduras lineales

Manchas por proyección arterial

Manchas por desprendimiento

Rastros de goteo

Salpicaduras no lineales

Manchas por impacto

Manchas por goteo

Manchas que no son salpicaduras

Manchas con margen irregular

Manchas por chapoteo

Manchas de sangre sobre sangre

Manchas por fricción

Manchas por deslizamiento

Manchas por arrastre

Manchas con margen regular

Manchas por transferencia

Flujo

Lago

Manchas por saturación (Bevel y Gardner, 2008; Joris, 2018)

Clasificación de Peschel, Kunz, Rothschild y Mützel (2011)

Manchas por acción pasiva

Coágulo sanguíneo

Manchas por goteo

Flujo

Charco

Manchas por contacto

Manchas por transferencia

Manchas por deslizamiento

Manchas por limpieza

Manchas por proyección

Manchas por proyección arterial

Manchas por desprendimiento

- Manchas por espiración o exhalación
- Manchas por salpicadura
 - Salpicaduras hacia adelante
 - Salpicaduras de retorno
 - Salpicaduras por impacto de alta velocidad
 - Salpicaduras por impacto de mediana velocidad
 - Salpicaduras por impacto de baja velocidad
- Manchas por alteraciones secundarias
 - Manchas de insectos
 - Manchas por capilaridad
 - Vacíos
 - Manchas esqueletizadas
 - Manchas por difusión
 - Manchas proyectadas (Peschel et al., 2011)

Clasificación propuesta por el autor

Con base también en las características morfológicas y de producción de las manchas de naturaleza hemática, se propone la existencia de los siguientes tipos de patrones:

- Manchas producidas por fuerzas pasivas
 - Charco hemático
 - Escurrimiento hemático
 - Goteo hemático
 - Goteo hemático estático
 - Goteo hemático dinámico
 - Manchas hemáticas por embebimiento
 - Manchas hemáticas por adherencia
- Manchas producidas por fuerzas activas
 - Proyecciones hemáticas por desprendimiento
 - Proyecciones hemáticas por impacto
 - Proyecciones por impactos de baja velocidad
 - Proyecciones por impactos de mediana velocidad
 - Proyecciones por impactos de alta velocidad
 - Proyecciones hemáticas por espiración
 - Proyecciones hemáticas por chorro arterial
 - Proyecciones hemáticas por retrosalpicadura
- Manchas producidas por contacto
 - Manchas hemáticas por impronta
 - Manchas hemáticas por embarradura

Manchas hemáticas por deslizamiento
Manchas hemáticas por limpiamiento
Manchas hemáticas por actividad de insectos

Manchas hemáticas alteradas
Manchas hemáticas con patrones de arrastre
Manchas hemáticas esqueletizadas
Manchas hemáticas degradadas
Manchas hemáticas lavadas

Vacios hematoscópicos

Manchas producidas por fuerzas pasivas

Aquellas en las que en su producción intervienen la fuerza gravitacional terrestre, la fuerza de fricción, la resistencia del aire y las fuerzas de cohesión y adhesión.

Charco hemático

Resultan del acúmulo de la sangre extravasada sobre alguna superficie horizontal impermeable o no absorbente (Gutiérrez, 2018). Son indicios con forma y tamaño variables, dependientes del relieve del soporte y el volumen de sangre extravasada, respectivamente, con bordes regulares y bien definidos (figura 69). Suelen ser referidos, con poco rigor técnico, como albercas, piscinas, estanques, lagunas o lagos hemáticos; desaconsejándose el uso de tales términos.

Figura 69
Charco hemático



Generalmente coagulan antes de secarse, separándose el suero de la masa solidificada, como un líquido translúcido y de colores oscilantes entre rojo claro y amarillento, que da lugar a la llamada mancha de suero (Gutiérrez, 2018) (figura 70).

Figura 70

Mancha de suero



Escurrimiento hemático

Se produce por el flujo de la sangre depositada sobre superficies impermeables con cierta pendiente, inclinación o desnivel. Pueden ser de traza única o múltiple, con diseños lineales, sinuosos, anfractuosos o ramificados y bordes más o menos paralelos entre sí o con tendencia a confluir, dependiendo siempre del relieve o la textura de las superficies en que se formen (figura 71). En ciertas ocasiones, los escurrimientos hemáticos terminan en charcos; mientras que, en otras, una vez rebasada la capacidad de contención de la superficie en que se encuentran, los charcos dan lugar a uno o varios escurrimientos (figura 72).

Figura 71
Escorrimento hemático



Figura 72
Escorrimientos hemáticos formadores de charcos



Goteo hemático

Es producto de la caída libre y temporalmente espaciada de la sangre vertida extracorporalmente. Las gotas de sangre, al igual que las de cualquier otro líquido, se desprenden del cuerpo o superficie que las genera cuando el peso del volumen suspendido supera la fuerza de la tensión superficial en el sitio de su formación (Santos, 2016).

La ruptura y retracción de la sección filamentosa generada al aumentar el peso de la gota en formación suele generar, a manera de subproducto, minúsculas esferas del líquido en cuestión conocidas como gotas acompañantes (Gutiérrez, 2018), mismas que pueden caer sobre las manchas de las gotas principales yacentes en el sustrato o, por efecto del viento, a un costado de ellas (figuras 73, 74 y 75).

Figura 73

Fuerzas que intervienen en la formación de una gota

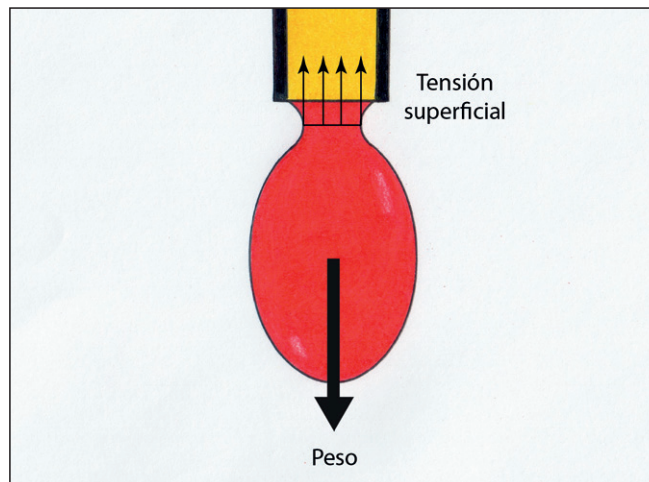


Figura 74

Mecanismo de formación y desprendimiento de una gota de sangre y, eventualmente, de su gota acompañante

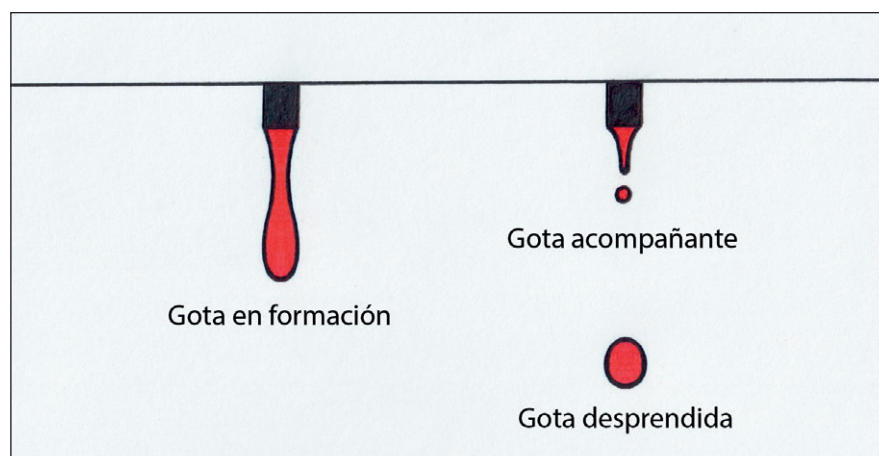


Figura 75

Manchas producidas por una gota principal y su gota acompañante



El volumen de una gota de sangre depende del grosor del punto de desprendimiento, oscila entre los 0.01 y 0.16 ml y se le considera un valor promedio de 0.05 ml (Bevel y Gardner, 2008; MacDonell, 1971).

Una vez desprendidas, las gotas adquieren inicialmente, debido a su tensión superficial y la resistencia del aire, formas ovoides oscilantes, en sentido horizontal y vertical, con tendencia gradual a la redondez, estimándoseles diámetros finales comprendidos entre los 3.0 y 5.5 mm (con un valor promedio de 4.56 mm) a lo largo de su caída y una velocidad de impacto máxima de 7.65 ± 0.15 m/s, sólo al caer, tal y como se muestra en la tabla 5, de por lo menos 4.2 m de altura (Bevel y Gardner, 2008; Chub, 2018; MacDonell, 1971; Moreno, 2015).

Tabla 5

Velocidad terminal o límite, en caída libre, de gotas de sangre humana en función de sus tamaños

Diámetro de la gota (mm)	Velocidad terminal (m/s)	Altura de caída mínima para alcanzarla (m)
1.06	2.29	0.51
1.32	3.32	0.83
2.12	4.69	2.4
4.60	7.65	4.2

Nota. Adaptada de MacDonell (1971, p. 4).

Si bien la velocidad final de caída varía, en sentido estricto, en función directa al tamaño de la gota; suele considerarse que una gota de sangre de tamaño promedio tarda 0.63 s en llegar al suelo, tras caer libremente desde una altura de 2 m.

En la práctica criminalística se distinguen dos patrones hemáticos de goteo: el estático y el dinámico.

Goteo hemático estático

Generado cuando la persona o el objeto sangrante permanece durante algún tiempo en un mismo lugar. Las formas de las manchas formadas bajo esta condición dependerán de la textura del soporte, la altura de la caída y el ángulo de impacto de las gotas.

Así pues, las superficies lisas (como el vidrio) generan manchas circulares con bordes más o menos regulares (figura 76); en tanto que las superficies rugosas (como el concreto) producen manchas con formas irregulares y proyecciones con patrones de distribución radial, generalmente desiguales, denominadas salpicaduras (Bevel y Gardner, 2008; Hernández, 2020; James et al., 2014) (figura 77).

Las salpicaduras pueden llegar a generar, en el plano horizontal y en un radio de no más de 30 cm, pequeñas maculaciones elípticas y a veces con el extremo distal aguzado o la forma de un signo de admiración, denominadas manchas satélites; reservándose el término mancha madre, matriz o principal para la mácula de la cual se proyectaron (Bevel y Gardner, 2008; Gutiérrez, 2018).

Figura 76

Manchas de sangre producidas por goteo estático sobre una superficie lisa y no absorbente

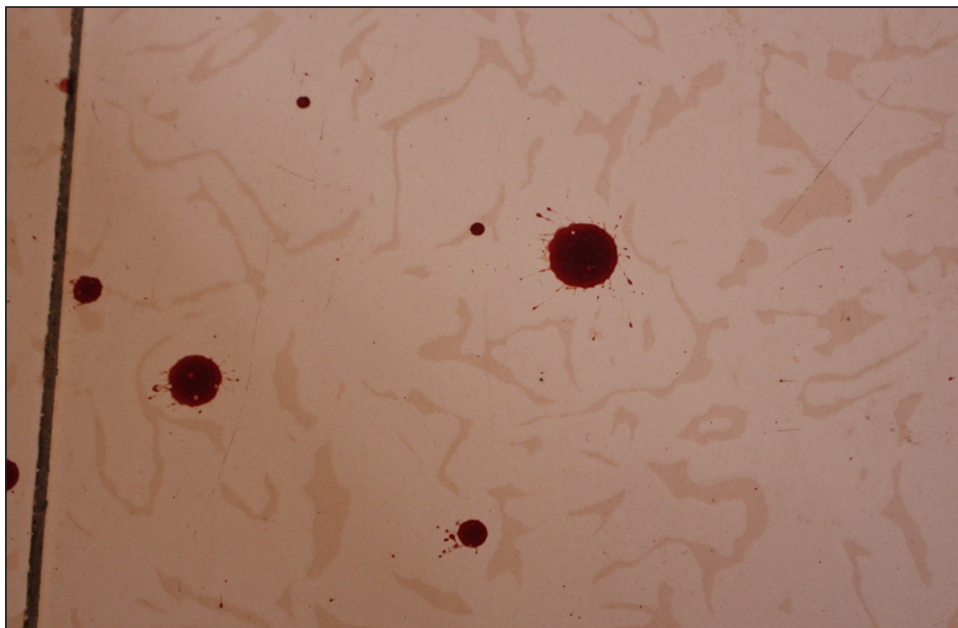


Figura 77

Manchas de sangre producidas por goteo estático sobre una superficie rugosa y moderadamente absorbente



El tamaño de las manchas por goteo estático dependerá también del volumen de la gota, la altura de caída y la textura de la superficie contra la cual se estrelló (Smith y Brutin, 2018). Ante la inmovilidad total del punto sangrante, se forma primero una mancha más o menos circular, de tamaño gradualmente creciente y con diversas salpicaduras radiales distribuidas irregularmente (figura 78). Si el goteo persiste, se formará un charco en superficies no absorbentes o una mancha embebida en superficies absorbentes; pudiendo quedar enmascaradas las manchas satélites formadas inicialmente.

Figura 78

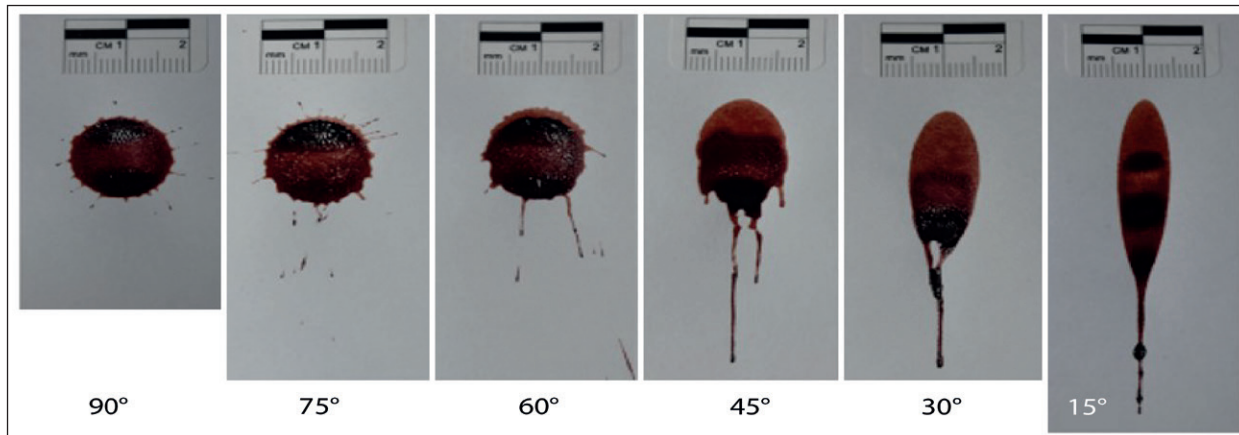
Mancha producida por goteo estático persistente



Si las gotas caen sobre superficies inclinadas se producen manchas con formas más o menos elípticas, en función directa a la pendiente de la superficie, y con tendencia al escurrimiento; llegando así a adquirir formas similares a las de una raqueta o al signo de admiración (MacDonell, 1971) (figura 79).

Figura 79

Manchas por goteo con diferentes ángulos de impacto



La relación entre la anchura y la longitud (A/L) de las manchas producidas con un ángulo de impacto de 90° es de alrededor de 1.0 por tender a la forma circular, a 70° oscila de 0.89 a 0.94, a los 40° se encuentra entre 0.60 y 0.66, y a 10° es siempre menor de 0.18 (DuBey, 2018) (tabla 6).

Tabla 6

Relación anchura/longitud en manchas por goteo estático en función de su ángulo de impacto

Ángulo de impacto	Relación anchura/longitud	Ángulo de impacto	Relación anchura/longitud
90°	0.95 - 1.00	40°	0.60 - 0.66
70°	0.89 - 0.94	25°	0.27 - 0.38
55°	0.75 - 0.82	10°	0.13 - 0.18

Nota. Adaptada de DuBey (2018, p. 52).

Goteo hemático dinámico

Se forma cuando la fuente sangrante se desplaza de un punto a otro dando lugar, en superficies lisas, a manchas más o menos elípticas, con sus ejes mayores alineados con la dirección del desplazamiento y un extremo redondeado y el otro aguzado; indicando, este último, su direccionalidad o sentido del movimiento (Chub, 2018; Gutiérrez, 2018).

En superficies rugosas se producen manchas también elípticas, pero con salpicaduras predominantemente dispersas en el sentido del desplazamiento de la persona o el objeto del que gotea la sangre y de tamaño proporcional a la velocidad con la que estos se movían (figura 80).

Figura 80

Goteo hemático dinámico



El rastro total generado suele referirse como sendero hemático, patrón de desplazamiento y rastro, sendero o reguero de goteo (Bevel y Gardner, 2008; Esperança, 2018); siendo este último, el término recomendado (Gutiérrez, 2018).

Manchas hemáticas por embebimiento

Se forman por la absorción de la sangre extravasada en materiales porosos o permeables a la misma. El tamaño de las manchas varía con la capacidad de absorción del material sobre el que se deposite la sangre; caracterizándose por presentar bordes irregulares y difusos (figura 81). Se les conoce también como manchas por saturación (Bevel y Gardner, 2008; Gutiérrez, 2018).

Manchas hemáticas por adherencia

Se producen por la adhesión de la sangre a las superficies de los objetos sólidos, macizos e impermeables al momento de producir lesiones sangrantes (Bevel y Gardner, 2008). Suelen presentar formas variables, bordes definidos y algunas veces marcas lineales y paralelas correspondientes a los movimientos del agente mecánico o de la víctima al momento de la agresión (figura 82).

Figura 81
Mancha hemática por embebimiento



Figura 82
Manchas hemáticas por adherencia en un cuchillo



Manchas producidas por fuerzas activas

Son manchas generadas por fuerzas diferentes a la gravedad, fricción, adhesión y cohesión. Las fuerzas que las producen actúan de varios modos y bajo distintas circunstancias, dando lugar a un tipo general de máculas llamadas proyecciones.

Entre los diferentes tipos de proyecciones producidas en un hecho delictivo se encuentran las proyecciones hemáticas por desprendimiento, por impacto, por espiración, por chorro arterial y por retrosalpicadura.

Proyecciones hemáticas por desprendimiento

Generadas, como su nombre lo indica, por la sangre que se separa de algún objeto o segmento corporal por acción de la inercia producida durante los movimientos, con trayectorias circular o parabólica (habitualmente referida como fuerza centrífuga) o cuando el cuerpo ensangrentado se detiene súbitamente (Chub, 2018; Gutiérrez, 2018).

Suelen presentar patrones de dispersión únicos, dobles o múltiples, dependiendo del número de puntos de desprendimiento, con traza lineal o arqueada y están constituidos por pequeñas manchas individuales con formas circulares y elípticas, dependiendo del ángulo de impacto, y ejes longitudinales paralelos entre sí.

El extremo aguzado de las proyecciones con formas elípticas está relacionado con el sentido de su producción, lo que permite reconocer, en concordancia con el número de desplazamientos del agente vulnerante, patrones unidireccionales, bidireccionales o multidireccionales (Bevel y Gardner, 2008).

Proyecciones hemáticas por impacto

Suelen apreciarse como múltiples maculaciones con formas circulares o elípticas, de diferentes tamaños y con traza divergente conforme se alejan de su punto de origen; siendo siempre producidas por fuerzas aplicadas sobre la fuente sangrante (figura 83).

Considerando la intensidad de las fuerzas que las producen, se distinguen tres modalidades de proyecciones por impactos: de baja velocidad, de mediana velocidad y de alta velocidad (Joris, 2018; Sparer, 2016):

- *Proyecciones por impactos de baja velocidad.* Cuando el objeto que impacta se desplaza a una velocidad menor a los 1.5 m/s (5.4 k/h), produciendo manchas de más de 3 mm de diámetro (Chub, 2018).
- *Proyecciones por impactos de mediana velocidad.* Cuando el objeto que impacta se desplaza a velocidades comprendidas entre los 1.5 y 30 m/s (5.4 y 108 km/h). Las manchas así formadas tienen tamaños comprendidos entre 1 y 3 mm de diámetro, dependiendo de la fuerza aplicada y la cantidad de sangre expuesta (Chub, 2018; Santos, 2016).

- *Proyecciones por impactos de alta velocidad.* Cuando la fuente sangrante es sometida a velocidades mayores a los 30 m/s (108 km/h), el tamaño de las manchas suele ser igual o menor de 1 mm, con patrones de dispersión múltiples y divergentes que llegan a alcanzar distancias de no más de 1.17 m (Chub, 2018; Santos, 2016).

Figura 83

Proyecciones hemáticas por impacto



Proyecciones hemáticas por espiración

En estos casos, la fuerza que produce las proyecciones proviene del aire pulmonar expulsado, a modo de tos o estornudo, por la boca o la nariz (Santos, 2016) (figura 84). Este tipo de manchas presentan tamaños variables, suelen estar diluidas con saliva o flujo nasal y verse acompañadas de pequeñas burbujas de aire o saliva que, al secar, producen un patrón denominado anillos de burbujas (Bevel y Gardner, 2008; Chub, 2018; Gutiérrez, 2018).

Proyecciones hemáticas por chorro arterial

Producidas por la salida a presión de la sangre tras la pérdida de la integridad de alguna arteria. Se caracterizan por presentar un patrón pulsátil asociado a las etapas sistólica y diastólica del corazón, generalmente con bordes festonados y múltiples escurrimientos como patrón secundario (Bevel y Gardner, 2008; Chub, 2018; Santos, 2016; Sniegovski et al., 2016) (figura 85).

Figura 84

Proyecciones hemáticas por espiración



Nota. Cortesía de Ana Lilia González Ruiz.

Figura 85

Proyecciones hemáticas por chorro arterial

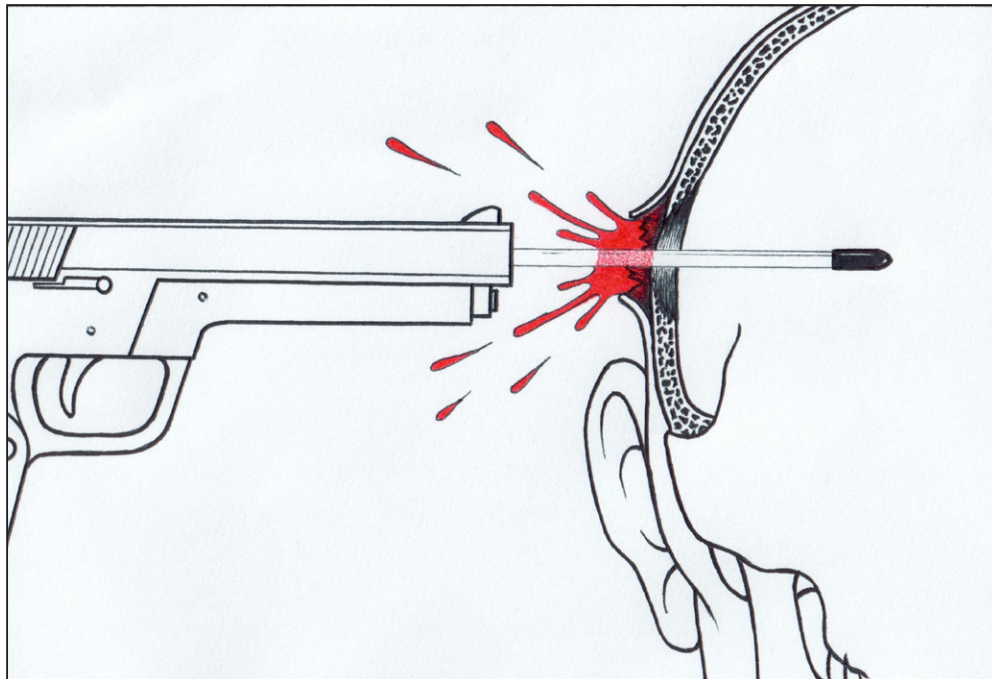


Proyecciones hemáticas por retrosalpicadura

Son proyecciones de sangre generadas en los orificios de entrada de proyectiles disparados por arma de fuego, particularmente en aquellos realizados estando la boca del cañón del arma apoyada, de manera laxa o firme en la superficie corporal de la víctima (disparos de contacto) o en los acontecidos a menos de 7.6 cm (disparos a corta distancia) (Santos, 2016) (figura 86).

Figura 86

Mecanismo de producción de proyecciones hemáticas por retrosalpicadura



En estos casos, las proyecciones hemáticas generadas, de tamaños muy variables, emergen siempre con sentido contrario al del proyectil causante de la lesión y se deben a las fuerzas generadas al colapsar las bolsas de gases subcutáneas o las cavidades temporales de los tejidos blandos afectados (Gutiérrez, 2018; Santos, 2020).

La intensidad de las retrosalpicaduras depende del sitio de la lesión (más frecuentes en las heridas craneales), la potencia balística del proyectil que las genera (especialmente intensas al emplear armas de fuego de alto poder) y la distancia del disparo (sobre todo en disparos de contacto y, en menor proporción, en aquellos efectuados a distancias menores a los 100 cm) (Moreno, 2015; Santos, 2020). Suelen encontrarse en las superficies externas del cañón del arma utilizada en la agresión y en los dedos, la mano y el antebrazo de la persona que la disparó (Chub, 2018; Santos, 2020).

Manchas producidas por contacto

Se producen por transferencia del material hemático de un cuerpo ensangrentado a otro, permeable o impermeable, que no lo contenga (Bevel y Gardner, 2008). Se distinguen cuatro patrones de manchas de esta naturaleza: por impronta, por embarradura, por deslizamiento y por limpiamiento.

Manchas hemáticas por impronta

Las superficies contactantes no se deslizan o mueven entre sí, dando lugar a manchas con formas y bordes bien definidos que permiten reconocer el elemento que las produce (Bevel y Gardner, 2008) (figura 87). Suelen referirse como impresiones hemáticas o por contacto pasivo (Santos, 2016).

Manchas hemáticas por embarradura

Se forman ante el desplazamiento moderado de las superficies contactantes, siendo, por lo general, el objeto o cuerpo con sangre el que se mueve (figura 88).

Manchas hemáticas por deslizamiento

Producidas al mover un objeto o cuerpo ensangrentado por tramos más o menos prolongados de la superficie que actúa como soporte (Bevel y Gardner, 2008; Gutiérrez, 2018). Las manchas formadas se distinguen por presentar rastros lineales, arqueados, sinuosos o incluso intermitentes, generalmente paralelos entre sí y con tendencia a la atenuación de su intensidad (figura 89).

Manchas hemáticas por limpiamiento

Se producen cuando un objeto o superficie con sangre es frotada contra otro exento de ella, generando manchas con formas rectangulares, longitudinales o irregulares, generalmente discontinuas y con distinto grado de saturación (figura 90).

Figura 87
Mancha hemática por impronta



Figura 88
Mancha hemática por embarradura



Figura 89

Mancha hemática por deslizamiento producida al arrastrar el cadáver relacionado con los hechos que se investigaban



Figura 90

Manchas hemáticas por limpiamiento



Manchas hemáticas por actividad de insectos

Son producidas generalmente por las moscas, al regurgitar o defecar parte del material biológico ingerido sobre las más diversas superficies en torno al cadáver o a los indicios hemáticos existentes; apreciándose como pequeñas manchas de entre 1 y 2 mm, dispersas de manera aleatoria (figura 91).

Figura 91

Manchas hemáticas por actividad de moscas



Pueden deberse también al desplazamiento de cucarachas, las deyecciones de pulgas o la reptación de larvas saprófagas a través de las manchas de sangre en proceso de putrefacción. En este último de los casos, se generan manchas lineales, sinuosas y tendientes al desvanecimiento (Moreno, 2015; Viero et al., 2019)

Habrà de evitar confundirlas con manchas producidas por proyecciones por impactos de alta o mediana velocidad (Sniegovski et al., 2016).

Este tipo de maculaciones ha permitido la extracción de ADN humano hasta dos años después de ser depositadas y pueden dar resultados positivos a pruebas químicas basadas en la detección del grupo hemo (Viero et al., 2019).

Manchas hemáticas alteradas

Término empleado para referir a las manchas de sangre de cualquier tipo que, luego de ser producidas, son modificadas accidental o deliberadamente (Gutiérrez, 2018; Sniegovski et al.,

2016). Entre estas variedades, se reconocen cuatro: las que contienen patrones de arrastre, las esqueletizadas, las degradadas y las lavadas.

Manchas hemáticas con patrones de arrastre

Son manchas generadas por el paso de un cuerpo no maculado a través de una mancha aún húmeda y previamente formada (Bevel y Gardner, 2008; Gutiérrez, 2018) (figura 92).

Figura 92

Mancha hemática con patrón de arrastre



Manchas hemáticas esqueletizadas

Son manchas de sangre frescas o secas, carentes por acción mecánica o medioambiental de su parte central, pero que conservan su zona periférica. Permiten establecer la forma y el tamaño original del indicio alterado y se les conoce también como manchas de perímetro (Bevel y Gardner, 2008).

Manchas hemáticas degradadas

Término empleado para referir a todas aquellas manchas de sangre afectadas por la acción de agentes físicos, químicos y microbiológicos que modifican sus propiedades y las hacen difíciles de reconocer (figura 93). Estas alteraciones acontecen, natural y espontáneamente, con el paso del tiempo y bajo el influjo de los agentes medioambientales o de manera intencional al realizar maniobras tendientes a desaparecer los indicios generados; solíéndose usar, para tal fin, fuego directo, detergentes, ácidos, álcalis, hipoclorito de sodio o cal viva.

Figura 93

Charco hemático de seis días de antigüedad expuesto a las inclemencias medioambientales



Manchas hemáticas lavadas

Se producen al ejercer sobre las manchas existentes maniobras de limpieza, empleando generalmente agua y —no pocas veces— algún tipo de jabón, detergente o cualquier otro producto destinado a la remoción de suciedad. El aspecto final de estas manchas depende de las propiedades absorbivas de sus soportes, la antigüedad de las manchas sometidas al proceso y la acuciosidad de la tarea realizada; considerándose así la posibilidad de dos tipos de manchas lavadas: visibles y latentes.

En soportes absorbentes suelen conservar, en menor o mayor medida, su forma original; apreciándose descoloridas y con tonalidades que dependen del color de la superficie en la que se encuentren. En soportes no absorbentes, tienden a la invisibilidad; pudiéndose distinguir algunas adherencias con escurrimientos diluidos del material remanente sobre las superficies verticales e inclinadas o pequeños charcos hemáticos, también diluidos, sobre las superficies horizontales (figura 94). Las manchas latentes o invisibles se acreditan mediante el uso de técnicas físicas y químicas especiales para hacerlas macroscópicamente evidentes.

Figura 94

Manchas hemáticas lavadas



Vacíos hematoscópicos

Ausencia de los patrones de manchas hemáticas en ciertas áreas del lugar de intervención en las que se esperaría encontrarlos (Bevel y Gardner, 2008). Permiten establecer la existencia de objetos que han sido removidos de la escena y, debido a que tienden a esbozar el contorno del objeto faltante, pueden revelar sus formas y tamaños (Sniegovski et al., 2016) (figura 95).

Figura 95

Vacío hematoscópico en un patrón de salpicaduras



Determinaciones criminalísticas basadas en el análisis de los patrones de manchas de sangre

La sangre derramada en el lugar de los hechos tiende a formar manchas con formas, tamaños y tipos de dispersión característicos, reconocibles, clasificables, predecibles, reproducibles y, sobre todo, interpretables.

El análisis de los patrones de manchas hemáticas se sustenta en las leyes de la física, en lo general, y los principios de la mecánica de fluidos, en lo particular; debiéndose considerar, para tal efecto, las características macroscópicas de este tipo de indicios en los objetos existentes en el lugar de intervención, la superficie corporal de las víctimas y sus victimarios o victimarias, y las prendas de vestir que portaban al momento de los hechos.

Las determinaciones periciales solicitadas se pueden cumplimentar en el lugar de la investigación, trabajando directamente con las manchas de interés localizadas, o a través de las imágenes fotográficas, necesariamente a color y con calidad de examen, obtenidas durante el procesamiento del sitio.

Entre las estimaciones criminalísticas que se pueden realizar destacan: la altura de caída de goteos hemáticos estáticos, el sentido de goteos hemáticos dinámicos, el área de convergencia de proyecciones hemáticas, el punto de origen de proyecciones hemáticas, el volumen de sangre extravasada, la antigüedad de las manchas, los objetos causantes de las lesiones, la etiología del hecho y las alteraciones en el lugar de intervención.

Altura de caída de goteos hemáticos estáticos

Puede establecerse mediante dos parámetros: el tamaño de la mancha y las características del borde de la mancha.

Según el tamaño de la mancha

Se consigue comparando el diámetro de las manchas de interés, con las dimensiones de las manchas de referencia obtenidas experimentalmente desde alturas conocidas y sobre superficies de impacto con idénticas características a las del caso problema.

Así pues, a manera de ejemplo, habiéndose determinado que el tamaño de las manchas producidas por gotas de sangre promedio dejadas caer libremente sobre superficies lisas, no porosas y limpias oscila entre 1.15 y 2.10 cm al hacerlo de alturas que van de los 10 a los 210 cm (Freeman y Gerbis, 2008), podemos argumentar, con base en la tabla 7, que una mancha por goteo estático problema de 1.76 cm de diámetro debió haberse desprendido desde una altura de alrededor de 90 cm.

Tabla 7

Relaciones encontradas experimentalmente entre la altura de la caída y el tamaño de las manchas de sangre generadas por goteo estático sobre una superficie lisa, no porosa y limpia

Altura de caída (cm)	Diámetro de la mancha (cm)
10	1.15
30	1.47
60	1.65
90	1.78
120	1.93
150	2.01
180	2.07
210	2.10

Nota. Adaptada de Freeman y Gerbis (2008).

Según las características del borde de la mancha

De manera similar podemos recurrir, aunque con mayor cautela, al análisis de la morfología del borde y del alcance de las salpicaduras producidas en este tipo de goteos. Las características del contorno de las manchas suelen variar muy poco en función de la altura de la caída, siendo más importante, en este aspecto, la textura de las superficies en que acontezca el impacto (Moreno, 2015).

Ha quedado demostrado que si los soportes son lisos y no porosos, los bordes de las manchas de sangre por goteo estático tienden a ser lisos o apenas festonados, aun tras haber caído de alturas del orden de los 25 m (figura 96). En caso de impactar en superficies rugosas y porosas, los bordes serán francamente festonados, aguzados y con salpicaduras; incluso tras caer de apenas unos 20 cm de altura (Smith y Brutin, 2018) (figura 97).

Cualquier intento de estimación mediante esta vía deberá sustentarse en datos experimentales de referencia obtenidos en superficies con idénticas características a las de los soportes de las manchas problema; de no hacerlo así, el margen de error de los resultados podría obligar a considerarla como una estimación inviable.

Figura 96

Aspecto de los bordes de dos gotas producidas al caer desde 50 (A) y 150 cm (B) sobre una superficie lisa y no porosa

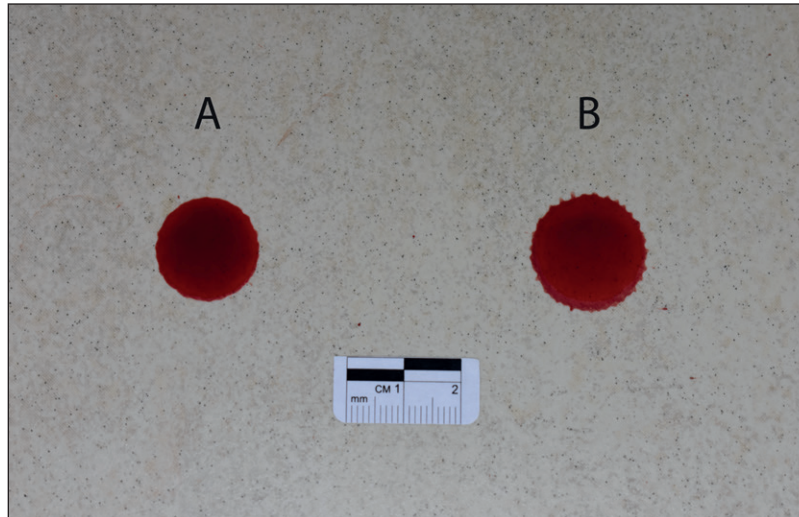


Figura 97

Aspecto de los bordes de dos gotas producidas al caer, desde 50 (A) y 150 cm (B), sobre una superficie rugosa y porosa



El volumen de las gotas de sangre también influye en el tamaño y la forma de las manchas producidas a diferentes alturas. Así, las variaciones en el tamaño de las manchas generadas por gotas con volúmenes superiores o inferiores a los de una gota de sangre promedio (0.05 ml), observadas al incrementarse la altura de caída, tienden a ser discretas; mientras que el número y el alcance horizontal de las salpicaduras producidas aumenta o disminuye significativamente con el incremento y decremento, respectivamente, de su volumen.

Sentido de goteos hemáticos dinámicos

Esta determinación se basa igualmente en el análisis morfológico de las manchas y puede aplicarse en maculaciones hemáticas generadas sobre superficies lisas y rugosas.

Sobre superficies lisas

Las gotas desprendidas de alguna fuente sangrante en movimiento generan, al estrellarse en este tipo de superficies, manchas con formas ovaladas, elípticas o que asemejan una lágrima o un signo de admiración (Aldao, 2018); dependiendo de la velocidad de su desplazamiento. En estos casos, el extremo menos redondeado o más aguzado de las manchas indicará, inequívocamente, el sentido o direccionalidad del desplazamiento (Antón y de Luis, 1998; Bevel y Gardner, 2008; Moreno, 2015).

Sobre superficies rugosas

Al impactar en superficies sólidas rugosas, las manchas suelen conservar sus formas alargadas y presentar algunas salpicaduras, divergentes o más o menos paralelas entre sí, igualmente dispersas en el sentido del desplazamiento de la persona u objeto del que se desprende el goteo (figura 98).

Figura 98

Sentido de un goteo dinámico sobre superficie rugosa



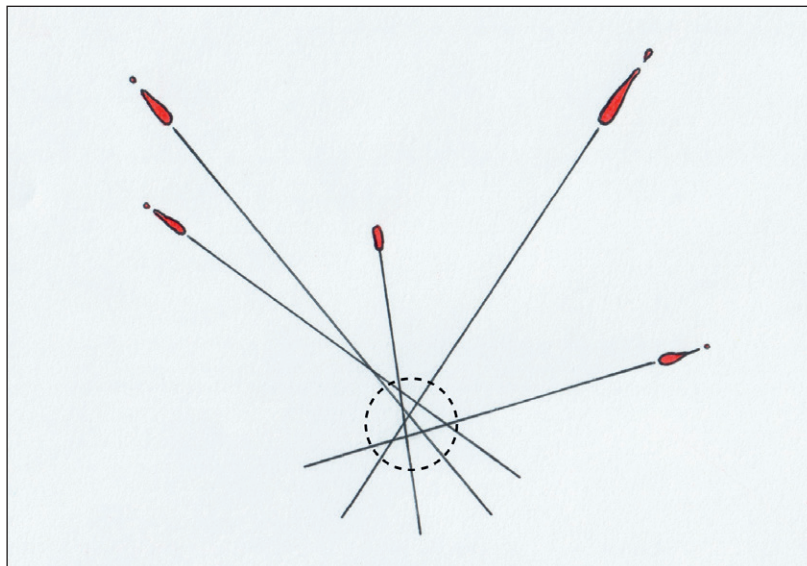
Área de convergencia de proyecciones hemáticas

Denominamos área de convergencia a la zona sobre el plano horizontal, vertical u oblicuo, en la que se cruzan las prolongaciones de los ejes longitudinales de las manchas ahí proyectadas (Santos, 2016) (figura 99).

Es esta una determinación bidimensional y nos permite ubicar, con respecto al plano considerado, la posición de la fuente sangrante al momento de generarse las manchas analizadas (Chub, 2018; James y Eckert, 1998; Moreno, 2015).

Figura 99

Determinación esquemática del área de convergencia de una proyección hemática



Punto de origen de proyecciones hemáticas

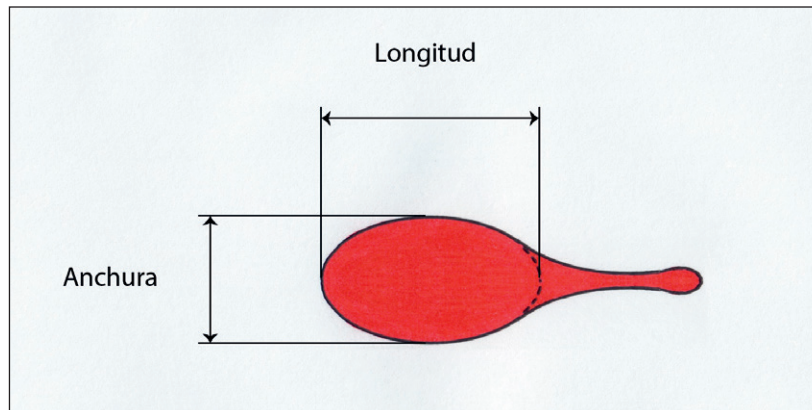
En este caso se establece la ubicación espacial o tridimensional del sitio desde el cual se generaron las proyecciones hemáticas; requiriéndose conocer, para ello, la distancia entre el extremo redondeado de la mancha problema y el punto medio del área de convergencia del patrón de dispersión del que forma parte; así como la altura desde la que estas se produjeron (Bevel y Gardner, 2008; Moreno, 2015).

Para calcular la altura de proyección debe estimarse primero el ángulo de impacto de la gota de sangre que generó la mancha de interés (ángulo α), a partir de la longitud y la anchura del indicio en cuestión.

La anchura de las manchas proyectadas corresponde a la medida de su eje menor y la longitud de las mismas será siempre la distancia existente entre el borde redondeado de su extremo proximal y el borde redondeado que habría de existir en su extremo distal (Bevel y Gardner, 2008) (figura 100).

Figura 100

Anchura y longitud de una mancha proyectada

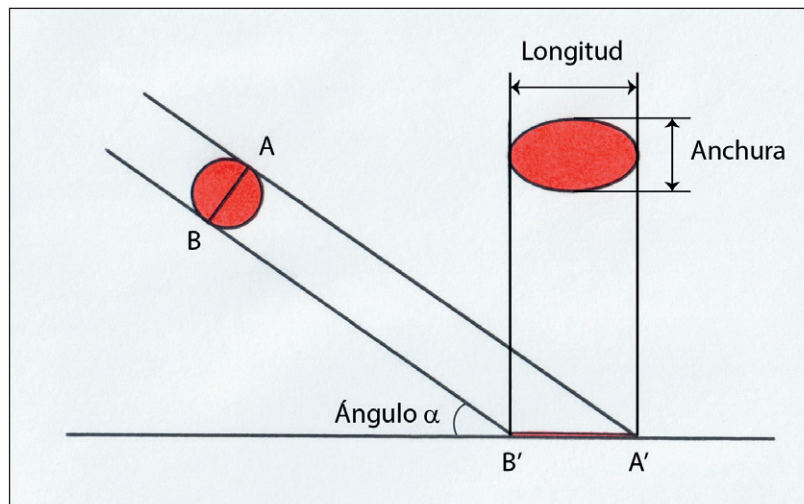


Con dicha información y asumiendo que la mancha formada en la superficie impactada corresponde a la proyección en el plano de la forma esférica de la gota (figura 101), podemos recurrir a la siguiente fórmula trigonométrica (Bevel y Gardner, 2008; Griffiths et al., 2020; James y Eckert, 1998; Joris, 2018; Moreno, 2015; Valdivieso et al., 2020):

$$\text{Ángulo } \alpha = \arccos(\text{anchura}/\text{longitud})$$

Figura 101

Fundamento trigonométrico de la estimación del ángulo de impacto (ángulo α) de una gota proyectada en función de sus medidas



Así pues, a manera de ejemplo, si una mancha problema midiera 6.14 mm de ancho y 33.64 mm de largo, podemos argumentar —al aplicar la función arccoseno a la relación anchura/longitud— que la gota que la produjo impactó la superficie con un ángulo de 10.52°:

$$\text{Ángulo } \alpha = \arccos(\text{anchura/longitud})$$

$$\text{Ángulo } \alpha = \arccos(6.14 \text{ mm}/33.64 \text{ mm})$$

$$\text{Ángulo } \alpha = \arccos(0.1825) = 10.5154^\circ$$

En estos cálculos se considera un margen de error de entre 2 y 3° en ángulos de impacto menores a los 45°, de entre 6 y 7° en ángulos comprendidos entre los 45 y 60° y de hasta 10° en ángulos de impacto mayores a los 60° (Aldao, 2018).

Contando con los datos necesarios antes referidos, podremos entonces estimar el punto de origen de las proyecciones de interés por los procedimientos de estimación por encordado, mediante trigonometría o con el apoyo de programas informáticos o aplicaciones de inteligencia artificial.

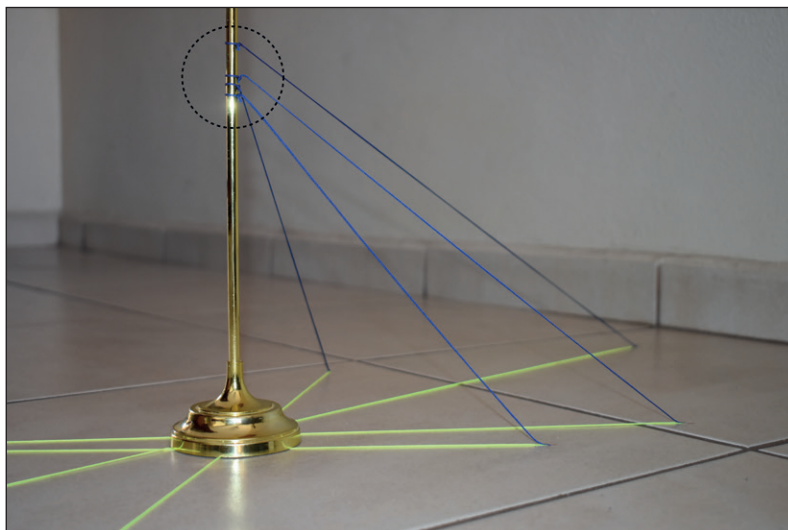
Estimación por encordado

Se recurre al empleo de hilos, cordones o cuerdas delgadas, preferentemente elásticas y en colores que contrasten visualmente con los imperantes en el lugar de la investigación (Bevel y Gardner, 2008; Joris et al., 2015; Moreno, 2015).

Uno de los extremos del tramo de la cuerda a utilizar se fija, lo más cerca que sea posible, al extremo proximal de las manchas consideradas para la determinación; y el otro, con cierto grado de tensión y formando el ángulo específico previamente calculado, a algún soporte ubicado justo sobre el punto medio del área de convergencia estimada; lugar en el que, conforme se avance en la tarea, se irá evidenciando visualmente el área de origen de la proyección (figura 102).

Figura 102

Determinación del área de origen por encordado



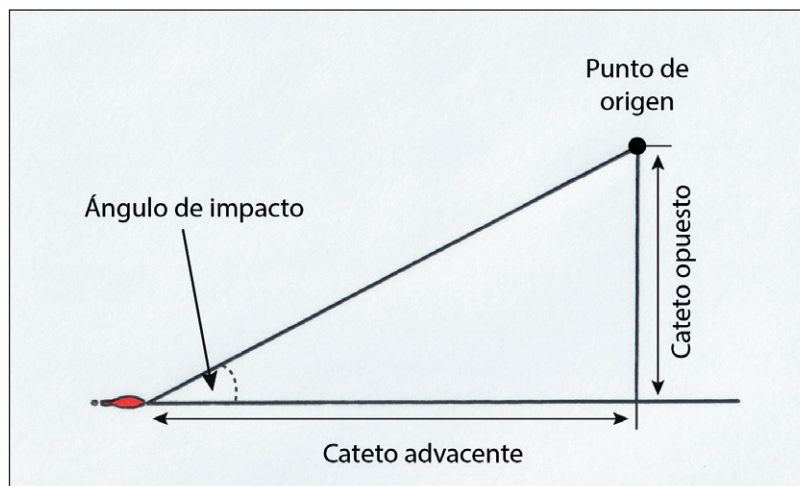
Estimación trigonométrica

Se realiza considerando que el diagrama de formación de las manchas corresponde idealmente a la figura de un triángulo rectángulo; de este modo, conociendo el ángulo de impacto (ángulo α) y la distancia existente entre el borde redondeado de la mancha problema proyectada y el punto medio del área de convergencia (cateto adyacente), se puede determinar la distancia entre el soporte de las manchas y el punto desde el cual se originaron (cateto opuesto) (figura 103); bastando con aplicar la siguiente fórmula (Moreno, 2015):

$$\text{Cateto opuesto} = (\text{tangente del ángulo } \alpha) \times (\text{cateto adyacente})$$

Figura 103

Fundamento trigonométrico para estimar la altura de proyección con base en el ángulo de impacto y la distancia de la mancha al área de convergencia



Considérese entonces, a manera de ejemplo, que se tienen seis manchas de interés con la distribución, las dimensiones y las distancias al punto medio del área de convergencia que se indican en la tabla 8 y la figura 104.

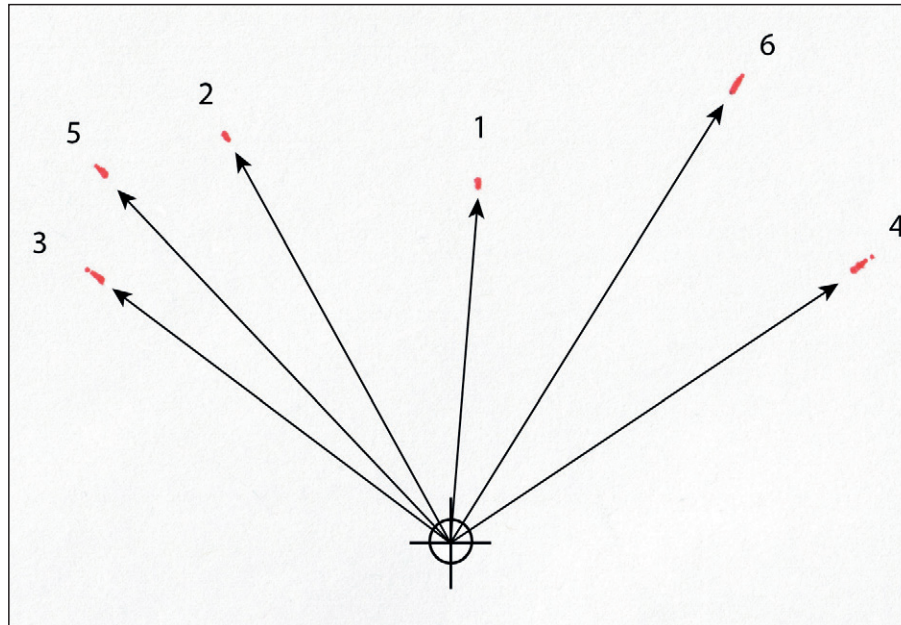
Tabla 8

Dimensiones y la distancias al punto medio del área de convergencia de las manchas problema

Mancha de interés	Anchura (mm)	Longitud (mm)	Distancia al área de convergencia (cm)	Mancha de interés	Anchura (mm)	Longitud (mm)	Distancia al área de convergencia (cm)
Mancha 1	16.62	17.68	57	Mancha 4	15.99	17.76	80
Mancha 2	15.60	16.95	69	Mancha 5	15.67	17.60	82
Mancha 3	15.60	17.14	72	Mancha 6	13.42	15.25	87

Figura 104

Patrón de distribución de las manchas problema



Al sustituir el valor de sus dimensiones en la fórmula para estimar sus correspondientes ángulos de impacto, se obtienen los resultados mostrados en la tabla 9.

Tabla 9

Estimación del ángulo de impacto

Mancha de interés	Sustitución	Ángulo de impacto (α)
Mancha 1	Arcoseno (16.62/17.68)	70.05°
Mancha 2	Arcoseno (15.60/16.95)	66.97°
Mancha 3	Arcoseno (15.60/17.14)	65.52°
Mancha 4	Arcoseno (15.99/17.79)	64.00°
Mancha 5	Arcoseno (15.67/17.60)	62.91°
Mancha 6	Arcoseno (13.42/15.25)	61.64°

Con los datos disponibles se puede finalmente estimar el valor de la altura desde la que se proyectó cada una de las manchas consideradas, basta con multiplicar la tangente del ángulo de impacto obtenido para cada mancha por la distancia que la separa del punto medio del área de convergencia (tabla 10). Como puede ahí apreciarse, los resultados oscilan en un rango de valores (entre 156.75 y 164.00 cm) en el que se habrá de establecer la ubicación del origen de las proyecciones consideradas para la determinación, pudiéndose expresar entonces el resultado como 160.38 ± 3.62 cm.

Tabla 10
Estimación de la altura del área de origen

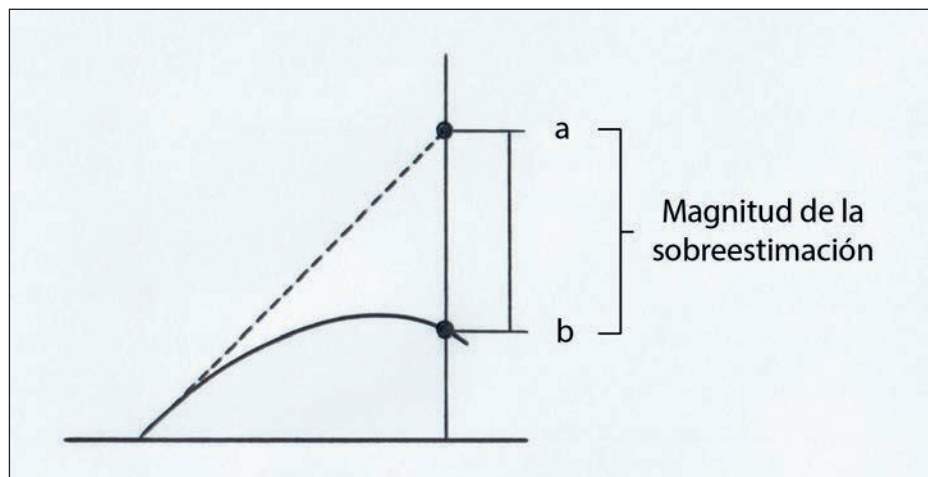
Mancha de interés	Sustitución	Altura del área de origen (cm)
Mancha 1	$\tan 70.05^\circ \times 57 \text{ cm}$	156.75
Mancha 2	$\tan 66.97^\circ \times 69 \text{ cm}$	162.15
Mancha 3	$\tan 65.52^\circ \times 72 \text{ cm}$	157.68
Mancha 4	$\tan 64.00^\circ \times 80 \text{ cm}$	164.00
Mancha 5	$\tan 62.91^\circ \times 82 \text{ cm}$	159.90
Mancha 6	$\tan 61.64^\circ \times 87 \text{ cm}$	160.95

Márgenes de error en las estimaciones por encordado y trigonométricas

Los procedimientos antes descritos asumen idealmente que las gotas de sangre se proyectan con una trayectoria rectilínea, cuando en realidad lo hacen condicionadas por la intensidad de la fuerza que las produjo, la fuerza gravitacional terrestre y la resistencia del aire, con una trayectoria parabólica (figura 105).

Figura 105

Ubicación del área de origen según la trayectoria lineal (a) y parabólica (b) de una mancha proyectada sobre una superficie horizontal



Así pues, al comparar las trayectorias reales de las gotas de sangre proyectadas sobre el piso con las linealmente determinadas mediante sus ángulos de impacto, podemos darnos cuenta que existe siempre una sobreestimación del parámetro calculado.

La magnitud de tal sobreestimación, que forma parte del margen de error del peritaje realizado, se incrementa al aumentar la distancia entre los puntos de origen y de caída de la gota en cuestión.

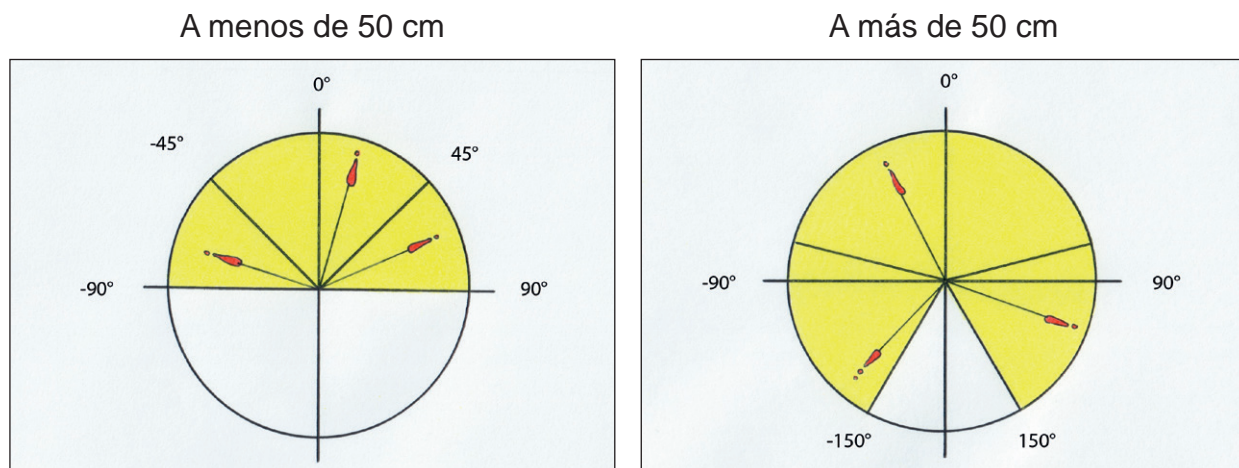
Estudios experimentales han demostrado que a 1 m de distancia, la sobreestimación puede llegar a alcanzar los 45 cm (Laan, 2015); un margen de error que impide establecer si la víctima se encontraba sentada o de pie al momento de resultar lesionada o precisar si las manchas analizadas proceden de alguna lesión u otra situadas a alturas muy cercanas entre sí.

El margen de error de estas estimaciones se puede reducir, apenas hasta en un 10%, si en los cálculos a realizar se considera la velocidad inicial de la gota proyectada, el tamaño volumétrico de la misma y la magnitud de la fuerza de gravedad.

Las estimaciones sustentadas en el análisis de las proyecciones hemáticas puestas sobre superficies verticales que disten menos de 50 cm del área de convergencia deben realizarse considerando sólo las manchas con sentido de producción ascendente (figura 106); es decir, aquellas cuyo eje longitudinal formen un ángulo de entre -90° y $+90^\circ$ con respecto a la vertical (parámetro al que podemos referirnos como ángulo direccional o ángulo γ), debido a que las producidas hacia abajo generan errores de cálculo de hasta un 50% más que el valor real (Bevel y Gardner, 2008; Joris, 2018).

Figura 106

Proyecciones hemáticas sobre superficies verticales útiles para la estimación de áreas de origen ubicadas a menos y a más de 50 cm de sus soportes



Si la distancia entre el área de convergencia y la zona de impacto supera los 50 cm, podrán también tomarse en cuenta las manchas con ángulos direccionales comprendidos entre los -150° y $+150^\circ$ (figura 106), siempre y cuando sus desviaciones angulares o ángulos de desviación ($\Delta\gamma$) sean menores de 10° (Laan, 2015). Debiéndose entender este último término como el ángulo formado entre la proyección del eje longitudinal de la mancha problema y la de la línea trazada del centro del área de origen estimado al extremo proximal de la mancha en cuestión; fenómeno atribuido a la fuerza de gravedad y la fricción aérea.

En todos los casos deberá considerarse un mínimo de 20 manchas hemáticas proyectadas para reducir el margen de dispersión de los resultados obtenidos (Laan, 2015).

Estimación mediante programas informáticos

Existen diversos paquetes comerciales de programas informáticos que permiten establecer, con base en los datos obtenidos de las imágenes fotográficas digitalizadas de las manchas encontradas en el lugar —del hallazgo o de los hechos—, el área de origen de las proyecciones hemáticas de interés.

Los datos necesarios para estos cálculos son, al igual que en los métodos tradicionales, la ubicación, la dirección y las dimensiones de las manchas problemas, con la ventaja de presentar automáticamente los resultados con sus respectivos márgenes de error; asimismo, permite la visualización multiangular del sistema de vectores que conforman el patrón de proyecciones estimado, recrear digitalmente la escena en tres dimensiones, reducir significativamente el tiempo de ejecución de la tarea y abatir el riesgo biológico que implica trabajar directamente sobre las manchas.

Entre los programas disponibles en el mercado para el análisis direccional de trayectorias lineales en los patrones de manchas hemáticas se encuentran BackTrack, HemoSpat, Sherlock, HemoVision y FARO Zone 3D (Aldao, 2018; Bevel y Gardner, 2008; Griffiths et al., 2020; Joris et al., 2015; Joris, 2018; Orr et al., 2019; Moreno, 2015); los cuales conducen, a pesar de sus notables diferencias en cuanto a costo, facilidad de uso y calidad de sus gráficos, a resultados estadísticamente muy similares entre ellos.

Estimaciones mediante aplicaciones de inteligencia artificial

Como ha ocurrido en prácticamente todos los campos del conocimiento actual, el estudio de los patrones de manchas hemáticas se ha visto favorecido con la incorporación de diversas herramientas de inteligencia artificial, la mayoría de ellas relacionadas con métodos de aprendizaje automático, como las máquinas de vectores de soporte (SVM), los árboles de decisión, los bosques aleatorios (Random Forests), los algoritmos k-Nearest Neighbors (kNN), las regresiones logísticas y lineales, así como las redes neuronales convolucionales (CNN) y recurrentes (RNN) (tabla 11).

Así pues, se han empleado de manera concreta para estimar ángulos de impacto y puntos de origen de proyecciones (Joris et al., 2022), reconocer manchas de sangre en imágenes digitales con fondos complejos (Dong y Zhang, 2023), generar máculas artificiales para aumentar las bases de datos de entrenamientos (Sirisathitkul y Sirisathitkul, 2025), analizar secuencias en simulaciones dinámicas de salpicaduras (Hook et al., 2024), diferenciar manchas de sangre por proyecciones de impactos de alta velocidad de las producidas por la actividad de los insectos (Chen et al., 2025) y diferenciar las proyecciones hemáticas

producidas por impactos de cuerpos sólidos y macizos (impactos de baja velocidad) de las generadas por impactos de proyectiles disparados por armas de fuego (impactos de mediana y alta velocidad); esto último con porcentajes de precisión que oscilan entre el 99% a distancias de 30 cm y el 86% a distancias de 120 cm (Liu et al., 2020).

Tabla 11
Métodos de aprendizaje automático aplicados al análisis de patrones de manchas de sangre

Método	Principal aplicación	Observaciones	Referencia
Máquinas de vectores de soporte (SVM)	Clasificación de patrones de manchas hemáticas	Resultados aceptables con bases de datos relativamente pequeñas	Bergman et al., 2022
Árboles de decisión/ bosques aleatorios	Reconocimiento de manchas de sangre por sus características morfológicas	Resultados fáciles de entender y explicar, fiables y generalizables	Li y Shen, 2025
k-Nearest Neighbors (kNN)	Reconocimiento de goteos por sus similitudes con bases de datos experimentales	Método simple y no requiere entrenamiento intensivo	Zou y Stern, 2022
Regresión lineal y logística	Estimación de ángulos de impacto en combinación con programas informáticos	Poco útil para patrones complejos	Joris et al., 2022
Redes neuronales convolucionales (CNN)	Clasificación de manchas producidas por proyecciones de sangre	Requiere bases de datos grandes	Bergman et al., 2022
Segment Anything Model (SAM)	Reconocimiento de manchas hemáticas en fondos complejos	Aún en fase experimental	Dong y Zhang, 2023
Redes neuronales recurrentes (RNN)	Análisis de secuencias en simulaciones dinámicas de salpicaduras	Aún en fase experimental	Hook et al., 2024
Redes generativas antagónicas (GAN)	Generación de manchas artificiales para aumentar bases de datos	Conlleva el riesgo de introducir patrones irreales	Sirisathitkul y Sirisathitkul, 2025

Las aplicaciones antes referidas han facilitado las mediciones, el reconocimiento y la clasificación de los patrones de manchas de sangre; superando, en velocidad y precisión, a las técnicas convencionales y sin el riesgo de la subjetividad que implica la participación del elemento humano (Bergman et al., 2022).

El desafío radica en convertir estas innovaciones metodológicas en técnicas estandarizadas, que sean adaptables a la diversidad de escenarios y condiciones de procesamiento de los casos reales, económica y tecnológicamente accesibles y, sobre todo, legalmente válidos.

Volumen de sangre extravasada

Esta estimación se puede realizar mediante tres procedimientos: según el peso de la mancha, según el área superficial de la mancha y según el tipo de material textil embebido.

Según el peso de la mancha

Se consigue multiplicando el peso de la mancha seca recolectada (sólo en caso de haberse encontrado sobre una superficie lisa y no absorbente) por 3.25; valor numérico al que podríamos denominar constante de pérdida de peso (Lee, 1986).

$$V_{\text{ext}} = P_m \times K_{\text{pp}}$$

Donde:

V_{ext} = Volumen de sangre extravasada (en mililitros).

P_m = Peso de la mancha (en gramos).

K_{pp} = Constante de pérdida de peso (equivalente a 3.25).

Así pues, a manera de ejemplo, una costra con un peso de 46.3 g, corresponderá teóricamente a un volumen de sangre extravasada de alrededor de 150.48 ml.

En caso de manchas sobre superficies absorbentes, se ha llegado a recurrir al lavado de las prendas manchadas con una solución de bórax ($\text{Na}_2[\text{B}_4\text{O}_5(\text{OH})_4] \cdot 8\text{H}_2\text{O}$); de esta manera, el valor de la pérdida de peso (también en gramos) se multiplica por la constante numérica antes referida (Chub, 2018).

Según el área superficial de la mancha

En este caso se recurre a las herramientas de algunos programas computacionales que permiten estimar, con base en el delineado perimetral de las imágenes digitalizadas de los indicios hemáticos de interés, el área de las manchas problema.

Contando con dicho valor, se aplica la siguiente fórmula:

$$V_{\text{ext}} = 1.77 + 0.06 (x) + 2.64 \times 10^{-5} (x)^2 + 2.39 \times 10^{-9} (x)^3$$

Donde:

V_{ext} = Volumen de sangre extravasada (en mililitros).

x = Área de la mancha problema (en centímetros cúbicos).

Con esta técnica se estiman volúmenes hemorrágicos con un margen de error de ± 5 ml para charcos hemáticos de menos de 90 ml y de ± 39 ml para charcos que oscilen entre los 100 y 980 ml. Desaconsejándose su empleo debido al alto margen de error experimental obtenido en manchas con extensiones que superen los 8,400 cm^2 ; valor correspondiente a volúmenes de sangre de 1,000 ml o más (Quispe, 2018).

Según el tipo de material textil embebido

Bajo ciertas circunstancias, relacionadas generalmente con la actividad hospitalaria, se ha llegado a estimar el volumen de sangre perdida en una cirugía valorando el material embebido con dicha sustancia. Así pues, se considera que una gasa de 10 x 10 cm llega a contener 60 ml de sangre, una compresa de gasa de 30 x 30 cm puede retener hasta 140 ml de dicha sustancia y una sábana de algodón de tamaño individual se embebe por completo con aproximadamente 1,000 ml de sangre (Tapia, 2015).

Siguiendo similares criterios, podemos argumentar que una camiseta de algodón completamente embebida llega a contener entre 300 y 500 ml de sangre, una camisa de algodón con mangas largas retiene un máximo de entre 400 y 600 ml de la hemorragia, y que un pantalón de mezclilla absorbe y retiene volúmenes máximos de sangre que oscilan entre los 800 y 1,000 ml.

No obstante, algunos estudios han dejado en claro que, en alrededor del 95% de los casos, el margen de error de esta modalidad estimativa es superior al 25% (Rothermel y Lipman, 2016).

Antigüedad de las manchas

Durante los últimos 200 años se han considerado diferentes indicadores relacionados con la degradación o el envejecimiento de las manchas de sangre, con el fin de establecer el momento de su producción o tiempo de deposición.

Entre tales parámetros se encuentran los cambios en el color y la apariencia de las manchas, el avance de las modificaciones morfológicas de sus estructuras celulares, la variabilidad en la solubilidad de sus componentes químicos y la intensidad de la difusión de los iones cloruro en manchas secas en soportes absorbentes (Babapulle y Jayasundera, 1993; Barbagallo, 2010; Shanker et al., 2019; Simonin, 1973; Torres, 2012).

También se ha recurrido a la detección y cuantificación de sustancias producidas en las rutas degradativas de sus componentes químicos, mediante técnicas electroquímicas, espectrofométricas, inmunoelectroforéticas, de microscopía de fuerza atómica, cromatografía líquida de alta resolución, resonancia paramagnética electrónica, espectroscopía de fluorescencia de tiempos de vida media, espectroscopía Raman y espectroscopía de infrarrojo con transformada de Fourier por reflexión total atenuada (Doty et al., 2016; Doty et al. 2017; Guo et al., 2012; Qi et al., 2013).

Métodos empíricos

Según su aspecto

Las manchas de sangre recientes se aprecian de color rojo vivo, con aspecto brillante y contornos nítidos (Doty et al. 2017).

Las manchas de sangre no recientes presentan un color pardo oscuro y con aspecto deslustrado, resquebrajado y polvoriento (Santos, 2016).

Según su color

Estudios experimentales desarrollados a mediados del siglo XX por E. Weil y T. Malyniak sobre manchas producidas por gotas de sangre promedio (0.05 cm³) en telas de algodón, mantenidas a temperatura ambiente y en condiciones de humedad del 60%, evidenciaron la secuencia de colores presentada en la tabla 12 (Santos, 2016; Simonin, 1973; Torres, 2012).

Las tonalidades de las manchas en dicha investigación fueron referidas con base en el *Código Universal de Colores de Séguy*, en la actualidad prácticamente en desuso.

Tabla 12

Coloración de las manchas de sangre en telas de algodón, a lo largo de 6 meses y en condiciones de temperatura y humedad medioambientales

Antigüedad de la mancha	Color	Número de código
0 horas	Laca geranio	136, PI X
1 hora	Rojo grosella	121, PI IX
2 horas	Sangre de buey	141, PI X
3 horas	Púrpura granate	101, PI VII
4 horas	Moreno rojo	102, PI VII
2 - 4 días	Laca quemada	81, PI VI
5 - 15 días	Rojo pálido	126, PI IX
3 - 4 semanas	Rojo sanguíneo	691, PI XLVII
2 meses	Acacia	696, PI XLVII
6 meses	Tierra de sombra	701, PI XLVII

Nota. Adaptada de Simonin (1973, p. 898).

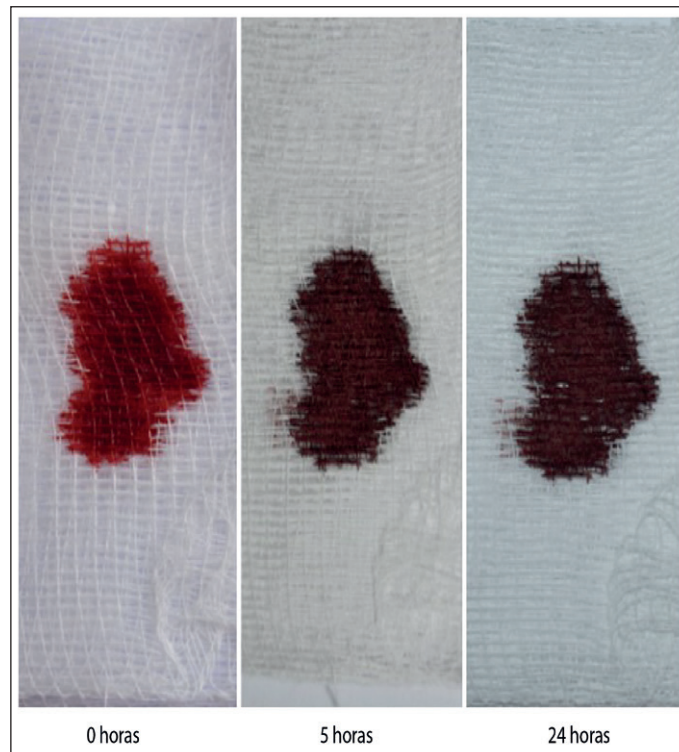
Investigaciones más recientes, efectuadas sobre manchas de sangre puestas en superficies de cerámica y tierra apisonada, revelaron que las manchas en el primero de los soportes referidos se aprecian de color rojo vivo (RAL 3000) durante el primer día, de color rojo púrpura (RAL 3004) el segundo día y de color rojo negruzco (RAL 3007) del tercer al

trigésimo día (figura 107); mientras que en las superficies de tierra se observan de color rojo óxido (RAL 3009) el primer día y de color rojo pardo (RAL 3011) del segundo al trigésimo día (Torres, 2012).

En este caso, los colores están referidos, como se indica en cada caso, según los códigos de la carta de colores RAL (Pinvisa Coatings, 2015).

Figura 107

Cambios en la coloración de una mancha de sangre en una porción de gasa estéril mantenida a temperatura ambiente y protegida de la luz solar directa



Según su solubilidad

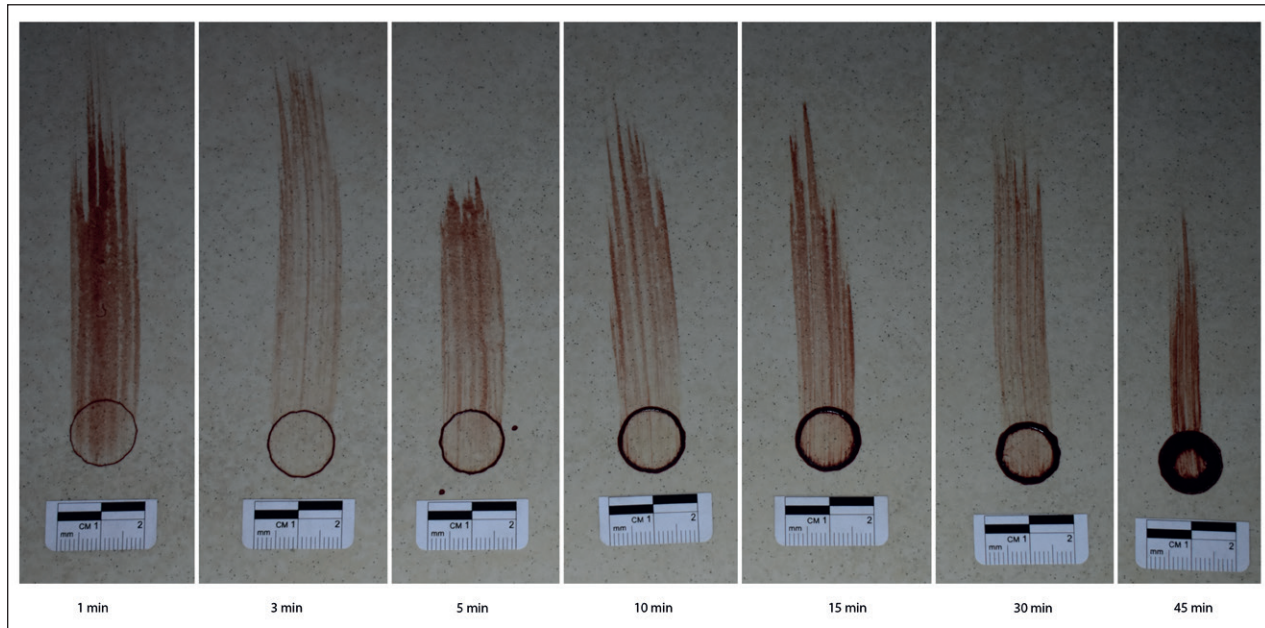
Las manchas de sangre son solubles en agua destilada o solución fisiológica si su antigüedad es de entre uno y seis días, poco solubles en los mismos disolventes si tiene entre una semana y seis meses, soluble en ácido clorhídrico al 3% con una antigüedad de entre seis y 12 meses, y solubles en una solución de hidróxido de potasio al 3% después de 12 meses de haberse generado (Chub, 2018; Santos, 2016).

Según el avance de su secado

Suele considerarse que una gota de sangre en el interior de un espacio cerrado requiere de alrededor de una hora para secarse (figura 108), mientras que un charco hemático lo hace en entre 12 y 36 horas.

Figura 108

Secuencia de secado de gotas de sangre sobre piso cerámico porcelanizado en lugar cerrado y a temperatura ambiente



Según el avance de su coagulación

Se ha llegado a establecer empíricamente, como base de referencia para la datación de los charcos hemáticos, que la sangre extravasada comienza a coagular en un lapso de entre tres y ocho minutos, y concluye después de haber transcurrido entre 15 y 20 minutos.

Métodos analíticos

Técnicas espectroscópicas

Dentro de las modalidades analíticas de esta naturaleza más prometedoras se encuentra la espectroscopía de infrarrojo cercano, que permite estimar la antigüedad de las manchas de entre 0 y 28 días con un error de cálculo máximo de 60 horas; la espectroscopía de reflectancia, que posibilita la datación de manchas con edades de entre 0 y 16 días con un error absoluto medio de 6.9 horas; y la espectroscopía Raman, que puede datar manchas de sangre periférica de hasta siete días de antigüedad con un margen de error de ± 2.19 horas o establecer si una mancha de sangre menstrual es reciente (de no más de 72 horas) o no reciente (de por lo menos 96 horas) (Giulietti et al., 2023; Lin et al., 2017; Weber et al., 2024).

Técnicas inmunolectroforéticas

En 1977, K. Rajamannar determinó que es posible establecer la edad de las manchas de sangre considerando la secuencia de desaparición de algunas de sus proteínas séricas en los patrones inmunolectroforéticos de las muestras analizadas (Bergmann y Labudde, 2023). Así pues, a manera de referencia temporal, la albúmina y la α_1 y α_2 -globulinas desaparecen a los 15 días, la β_2 M-globulina lo hace a los 30 días, la β_2 C-globulina deja de detectarse a los 60 días, la β_2 B-globulina es indetectable a los 150 días, la β_1 -globulina desaparece a los 300 días y la gammaglobulina persiste hasta 365 días en la mancha problema (Rajamannar, 1977; Rodríguez et al., 1995).

Análisis de imágenes hiperespectrales

Las imágenes hiperespectrales (HSI, por sus siglas en inglés) se consiguen fotografiando los objetos de interés con toda la información espectral que los caracterizan, convirtiéndose en una valiosa técnica no destructiva que permite análisis múltiples y secuenciales (Mariotti et al., 2023).

Los sensores del equipo fotográfico necesario para esta técnica, recolectan y procesan la información en frecuencias específicas del campo electromagnético, generando imágenes de los objetos materiales de interés en función de las longitudes de onda que emiten o reflejan (Pose, 2017).

El tratamiento de las imágenes hiperespectrales tomadas durante el envejecimiento experimental de manchas de sangre, proceso en el que la oxidación de la hemoglobina genera oxihemoglobina, luego metahemoglobina y finalmente hemicromo, da lugar a la generación de escalas de colores falsos que, al ser empleados como patrones de referencia, permiten establecer la edad de las manchas de sangre de menos de 30 días, con un error promedio de ± 1 día (Islam et al., 2014; Li et al., 2013; Lin et al., 2017; Zulfiqar et al., 2021). En trabajos experimentales más recientes, se ha conseguido datar las manchas de hasta siete días de antigüedad, con un margen de error de alrededor de 216 minutos (Yang et al., 2023) (figura 109).

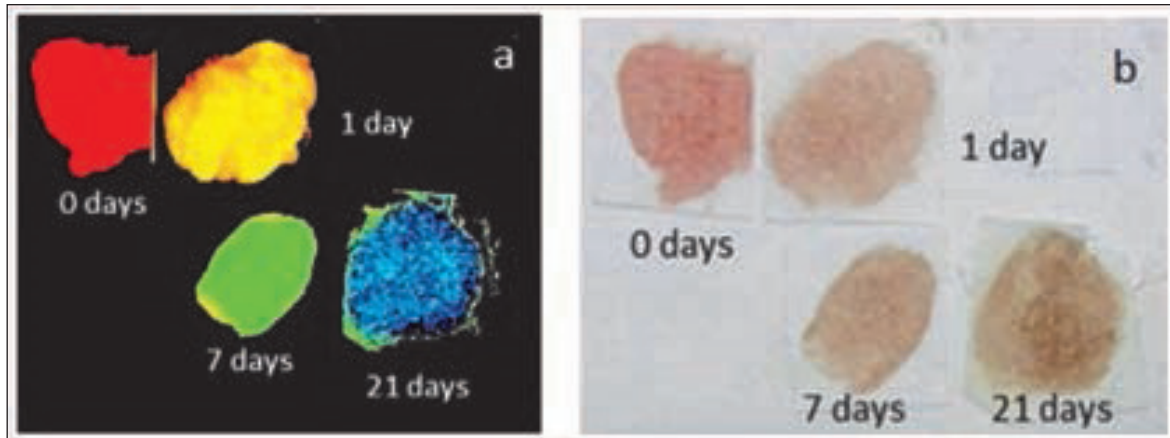
Objetos causantes de las lesiones

Esta determinación suele realizarse con base en el estudio morfológico de las lesiones producidas en la economía corporal de las víctimas y rara vez se efectúa a través del análisis de las manchas sanguíneas.

Las únicas ocasiones en las que es posible hacerlo ocurren cuando el objeto ensangrentado empleado en la agresión reproduzca su contorno total o parcial por haber sido colocado, así sea momentáneamente, sobre alguna superficie maculable (figura 110).

Figura 109

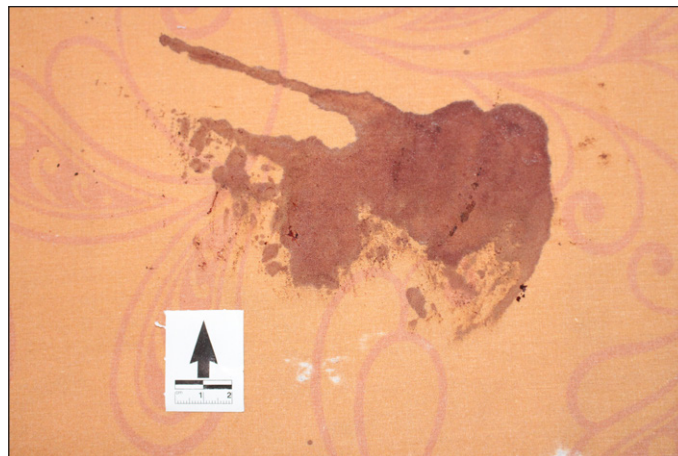
Imágenes en (a) falsos colores y (b) obtenidas mediante el procesamiento hiperespectral de cuatro manchas hemáticas de diferentes antigüedades



Nota. Islam et al. (2014, p. 14).

Figura 110

Mancha por contacto producida por una llave Stillson parcialmente manchada con sangre al ser colocada sobre una colcha al término de los hechos investigados



Etiología del hecho

El diagnóstico etiológico diferencial de las muertes violentas se sustenta en el tipo, la cantidad, la ubicación y las características microscópicas y macroscópicas de la lesión o las lesiones encontradas en la víctima; el estado y las condiciones físicas del lugar de los hechos; la naturaleza y la ubicación de los elementos indiciarios encontrados en el sitio; y en algunas ocasiones, como ocurre en los decesos por el uso de las armas de fuego, atendiendo las

particularidades de las proyecciones hemáticas generadas al momento de la lesión en las manos o los antebrazos de la víctima o del presunto responsable del hecho.

El número y el tamaño de las retrosalpicaduras, retroproyecciones o salpicaduras de retroceso, de retorno o hacia atrás (Criminalística Moderna, 2022) variarán considerablemente de un caso a otro, pero todas se esparcen con un patrón teóricamente cónico y perpendicular al plano lesionado y con un alcance promedio de 50 cm (Impacto Forense, 2020); a diferencia de las proyecciones hemáticas desprendidas del orificio de salida del proyectil (referidas también como anteproyecciones, salpicaduras o proyecciones hacia adelante o simplemente proyecciones), que llegan a recorrer distancias máximas de 1.17 m (Perico, s.f.); a menos que se mezclen con fragmentos de cuero cabelludo, grasa, músculo, hueso o masa encefálica, pues bajo estas condiciones pueden proyectarse hasta a 4 m de su punto de origen.

Así pues, teniendo en consideración que en alrededor del 25% de los casos no se generan estos tipos de salpicaduras, su hallazgo en las manos o los antebrazos de las víctimas, o en las manos, los antebrazos, la cara, el cuello o las prendas de vestir de las personas indiciadas podría ser empleado para considerar que la primera de las dos situaciones antes referidas corresponde a un suicidio y la segunda, consecuentemente, a un homicidio (figura 111).

El análisis de la ubicación y distribución de las retroproyecciones permite establecer también la posición de la mano y el arma de fuego al momento del disparo que produjo la lesión o lesiones consideradas durante la reconstrucción de los hechos (Santos, 2020).

Figura 111

Manchas por retrosalpicadura en la mano y el antebrazo de la extremidad superior derecha compatibles con un suicidio



Alteraciones en el lugar de intervención

Luego de un hecho delictuoso, bajo distintas circunstancias y por razones diversas, el lugar de los hechos puede ser modificado o alterado.

Algunas veces, tales afectaciones son incidentales, no dolosas e inmediatas a la ocurrencia del hecho; formando parte de la mecánica del evento o acontecidas durante las maniobras de huida, resguardo o atención a las víctimas.

En estos casos, los hallazgos son claros y evidentes, porque no existe interés ni intención por aminorarlos; siendo actos inconscientes o involuntarios que quedan evidenciados por vacíos hematoscópicos o patrones de arrastre o de desplazamiento generados al mover el cuerpo de la víctima o cualquier otro objeto existente a su alrededor con el fin de realizar las maniobras antes mencionadas (figura 112).

Figura 112

Vacío hematoscópico y patrón de salpicadura en la pata de la silla volcada apreciables tras alterar su posición y postura original



Otras veces, las modificaciones efectuadas en el lugar pretenden dificultar la investigación, alterando o haciendo desaparecer los elementos indiciarios que pudieran ser empleados para acreditar la ocurrencia del hecho, establecer el desarrollo de la dinámica del evento o determinar la identidad de la víctima o del victimario.

Estas maniobras suelen estar relacionadas con cambios en la ubicación o la postura de los cadáveres o los objetos existentes en el lugar de los hechos, así como con la ejecución de maniobras de limpieza o lavado de las manchas hemáticas generadas en el sitio.

Ante tal proceder, resulta útil el análisis de los escurrimientos hemáticos en la economía corporal del cadáver, los cuales deberán ser compatibles con la posición y postura final de la persona occisa; el hallazgo de ciertas anomalías en los patrones de las manchas de sangre asociados a la ocurrencia del evento; así como el empleo de las diversas técnicas instrumentales y químicas al alcance, que permitan acreditar la existencia de trazas indiciarias de esta naturaleza (figura 113).

Figura 113

Mancha hemática que reproduce parcialmente el contorno del antebrazo y la mano del cadáver encontrado en el lugar de los hechos y evidencia la modificación de sus ubicaciones



Determinaciones biológicas y químicas basadas en el análisis de indicios hemáticos

Diagnóstico diferencial de especie

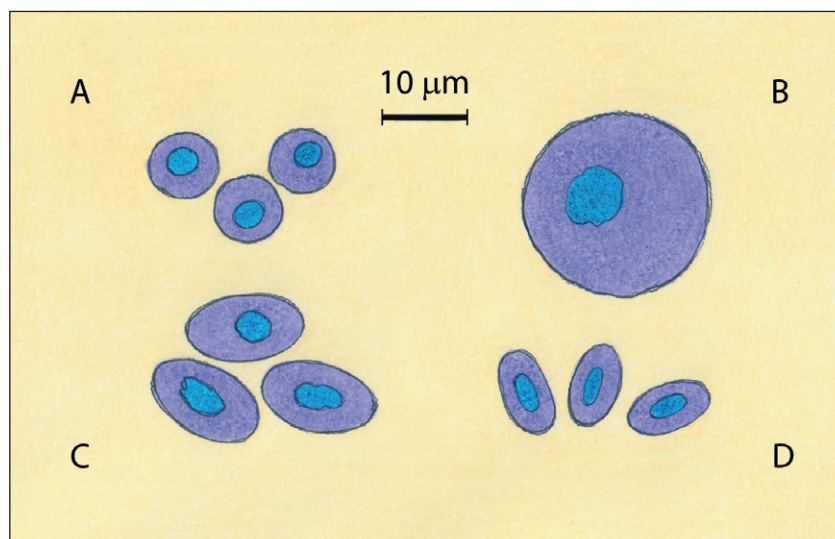
La naturaleza animal o humana de una muestra hemática problema puede ser establecida mediante dos técnicas generales de determinación: por microscopía y por inmunoanálisis.

Determinación por microscopía

Los peces, anfibios, reptiles y aves poseen eritrocitos circulares, ovalados o elípticos, biconvexos y con núcleos generalmente centrales, entre circulares y ovalados, con cromatina uniformemente condensada que se intensifica con la edad del ejemplar (Antón y De Luis, 1998; Campbell, 2014; Martínez-Silvestre et al., 2011) (figura 114).

Figura 114

Formas y tamaños representativos de eritrocitos de peces (A), anfibios (B), reptiles (C) y aves (D) teñidos con tinción Wright-Giemsa



Los eritrocitos de los mamíferos no humanos son redondeados, excepto en la familia de los camélidos (integrada por camellos, dromedarios, guanacos, llamas, vicuñas y alpacas) que presentan formas ovaladas (Campbell, 2014; Reagan et al., 1999); generalmente bicóncavos, de tamaños característicos para cada especie y más pequeños que los nuestros, excepto los de los grandes simios (Voigt, 2003) (tabla 13).

Tabla 13

Diámetros eritrocitarios en diferentes especies de mamíferos

Espece	Diámetro promedio (µm)	Rango de variación (µm)
Orangután	7.7	7.5 - 7.8
Chimpancé	7.6	7.4 - 7.8
Humano	7.5	6.0 - 8.5
Gorila	7.5	7.3 - 7.7
Perro	7.0	6.0 - 7.3
Cerdo	6.0	4.0 - 7.9
Gato	5.8	5.4 - 6.5
Vaca	5.8	4.0 - 9.6
Caballo	5.8	4.0 - 8.0
Oveja	4.5	3.5 - 6.0
Cabra	3.2	3.0 - 4.2

Nota. Adaptada de Voigt (2003).

Así pues, las diferencias en las formas y el tamaño de los glóbulos rojos apreciables en un extendido hemático procesado con cualquier técnica tintorial tipo Romanowsky permitirán determinar el origen no primate de la muestra problema; sin poderse precisar, tratándose de sangre de un gran primate, el género taxonómico (pongo, gorilla, pan u homo) del organismo productor del indicio.

Determinación por inmunoanálisis

Existen diferentes técnicas basadas en la reactividad entre los antígenos y los anticuerpos existentes en el tejido hemático que permiten el diagnóstico de especie, entre las más frecuentemente empleadas se encuentran las pruebas de precipitación de Ullenhuth, de inmunodifusión de Oudin, de inmunodifusión de Ouchterlony, de inmunoelectroforesis, de inhibición de la antiglobulina, de hemoaglutinación pasiva y la de aglutinación de eritrocitos tratados con enzimas.

Prueba de precipitación de Ullenhuth

Requiere de suero, generalmente obtenido de sangre de conejo, sensible por los anticuerpos previamente desarrollados a los antígenos existentes en la sangre humana. La muestra por analizar habrá de ser extraída de la mancha problema por maceración, empleando para ello la menor cantidad posible de solución fisiológica. El tiempo de maceración dependerá de la antigüedad de la mancha, pudiéndose requerir de hasta 24 horas a una temperatura de 4 °C para impedir la degradación microbiológica del extracto.

Si la solución obtenida se aprecia turbia, deberá centrifugarse y trabajar sólo con el líquido sobrenadante; es deseable que se encuentre diluida en una proporción cercana a 1:1,000, lo cual puede establecerse al presentar una coloración ligeramente rosa o amarillo paja o comparándola con una solución sanguínea expresamente preparada a dicha concentración para tal fin.

La prueba se puede realizar, dependiendo del volumen de la muestra, en tubos capilares o de ensayo, empleando en ambos casos cantidades equivalentes del extracto de la muestra problema y del suero antihumano.

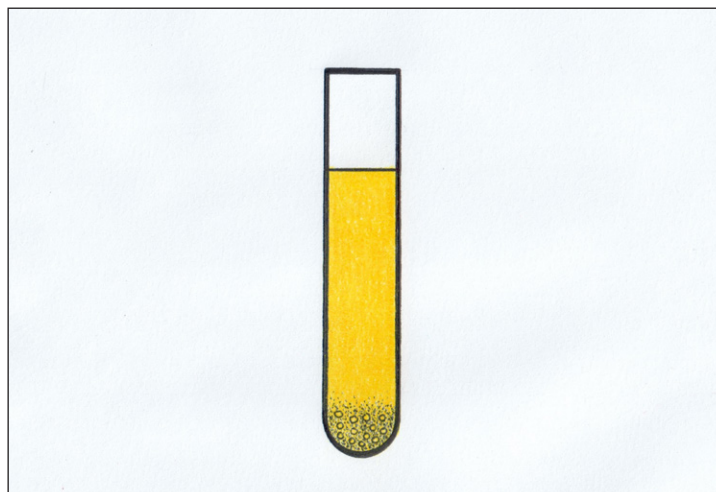
El resultado se considerará positivo sólo si se forma un precipitado opaco en el fondo del tubo de reacción en menos de 20 minutos; después de ese tiempo, el resultado carece de confiabilidad (figura 115).

La técnica pierde efectividad en caso de manchas oxidadas por el aire, la humedad y la luz solar, desnaturalizadas por el calor o degradadas por la putrefacción.

Se pueden obtener falsos positivos con manchas no hemáticas lavadas con jabones y detergentes o recolectadas de soportes de madera o cuero tratados con ácido tánico (Franco de Ambriz, 1991).

Figura 115

Resultado positivo en la prueba de Ullenhuth



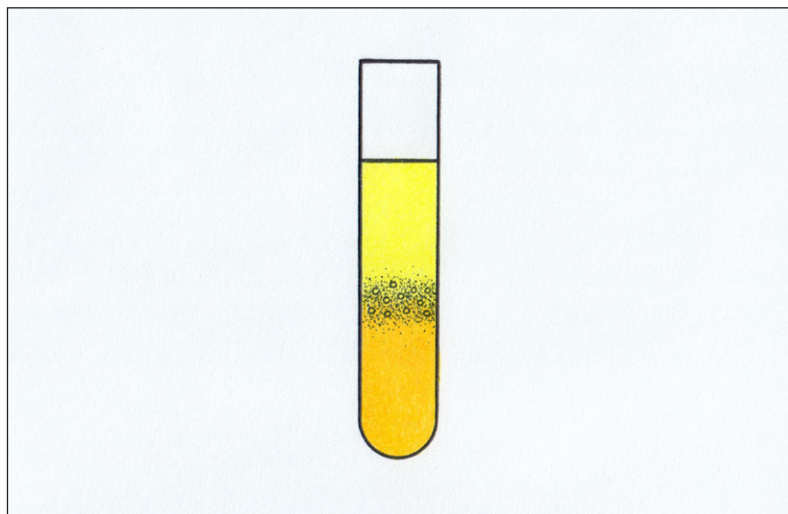
Prueba de inmunodifusión de Oudin

Este ensayo se realiza, en su versión más simple, adicionando algunas gotas del extracto de la muestra problema en un tubo de ensayo previamente preparado con una capa ya solidificada, de 2 ml de una mezcla en partes iguales de suero precipitante y agar diluido al 1 %, con una solución de cloruro de sodio 0.15 M y 0.01 % de mertiolate como agente antimicrobiano (Lomonte, 2020) .

De existir los antígenos de interés en la muestra analizada se formará, en un plazo de entre 24 y 48 horas, una banda de precipitación al reaccionar con los anticuerpos específicos presentes en el suero en la llamada zona de equivalencia (figura 116).

Figura 116

Resultado positivo en la prueba de Oudin



Prueba de inmunodifusión de Ouchterlony

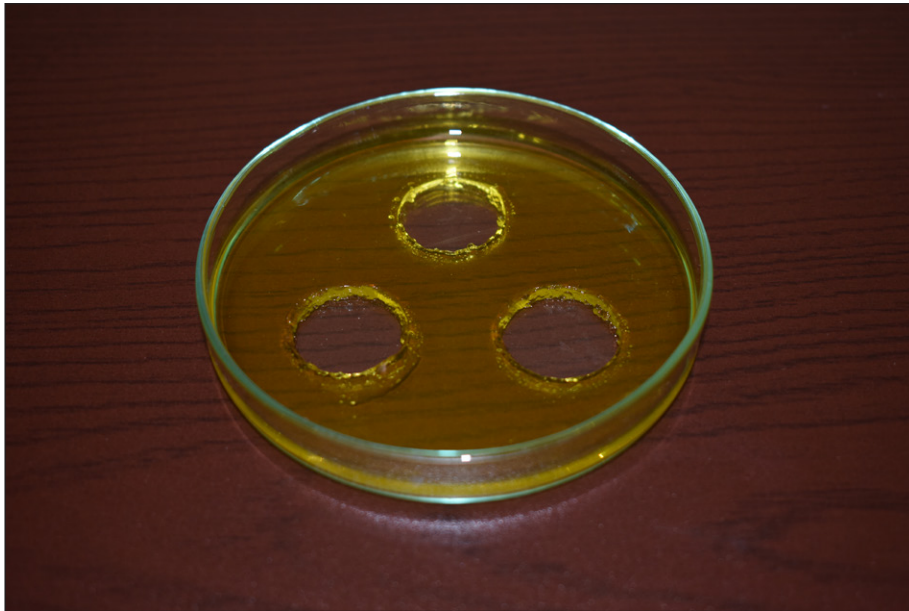
Se lleva a cabo sobre películas de agar purificado diluido al 1.5% con los mismos solventes que en la técnica de inmunodifusión de Oudin, contenidas en cajas de Petri y con al menos tres horadaciones o pocillos de entre 2 y 10 mm de diámetro, dispuestos en los vértices de un triángulo imaginario y con una separación de 1 cm entre sus bordes (figura 117).

En una de las horadaciones se coloca 0.1 ml del suero precipitante; en otra, 1 ml de suero humano diluido en una proporción de entre 1:6 y 1:8, para que actúe como muestra testigo; y en la restante, 0.1 ml del extracto de la muestra problema.

Tras un tiempo de difusión en cámara húmeda que puede oscilar entre 4 y 72 horas, la existencia de sangre humana en la muestra problema quedará de manifiesto por el empalme continuo de las líneas o bandas de precipitación formadas entre la horadación con el suero precipitante y las horadaciones que contienen las muestras problema y testigo.

Figura 117

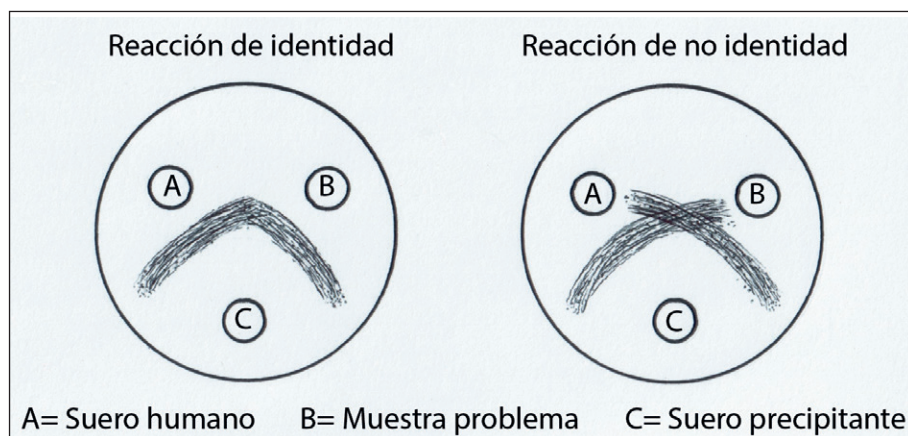
Caja de Petri preparada para la prueba de Ouchterlony



Si la muestra de sangre extraída de la mancha problema pertenece a alguna especie de gran primate o, siendo humana, está muy degradada, se apreciará la prolongación de algunas líneas en el punto de empalme de las bandas de precipitación (Halkides y Lott, 2017) (figura 118).

Figura 118

Resultados obtenidos en la prueba de Ouchterlony



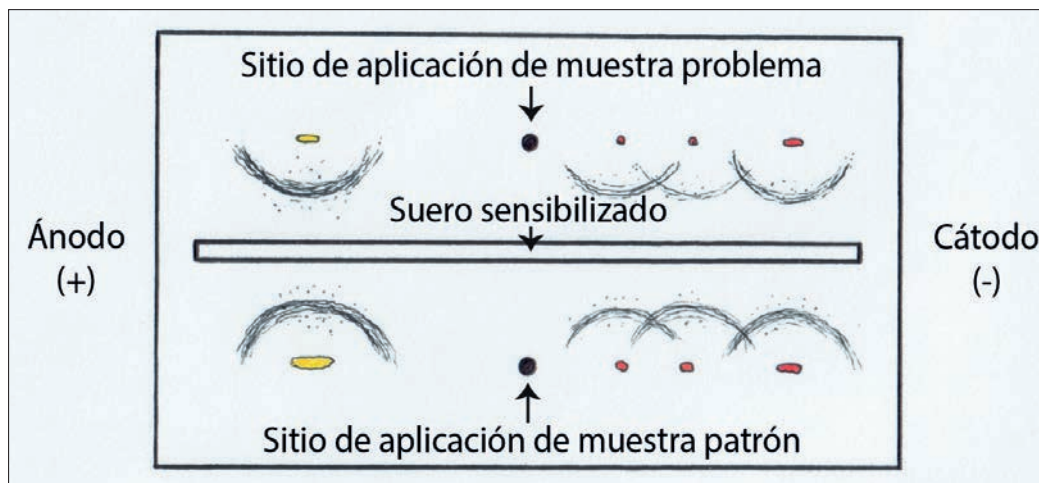
Inmunoelectroforesis

Esta técnica combina los principios de dos métodos de separación de proteínas: la inmunodifusión y la electroforesis.

En una primera etapa, las proteínas de la muestra problema y una muestra testigo de suero humano se separan en una placa de agar o agarosa ligeramente alcalinizada, al aplicar una diferencia de potencial de 120 V durante dos horas. Una vez separadas sus fracciones, ya en la segunda etapa del ensayo, se hacen reaccionar con el suero sensibilizado dispuesto en una canaleta longitudinal confeccionada en la parte media de la misma placa de agar; dando así lugar, al cabo de 48 horas de difusión en cámara húmeda, a un patrón de bandas de precipitación arqueadas y con sus convexidades dirigidas hacia la canaleta de la que difundieron los anticuerpos (Simonelli, 2013) (figura 119).

Figura 119

Resultados obtenidos en la prueba de inmunoelectroforesis



Prueba de inhibición de la antiglobulina

Para esta determinación se mezcla el extracto salino obtenido de la mancha problema con igual volumen de suero antiglobulina humana o reactivo de Coombs y se dejan incubar a 37°C durante 2 a 24 horas, dependiendo de la antigüedad de la muestra. Luego se toma una gota de la mezcla incubada y se le añade, en una placa de inmunoensayo, una gota de eritrocitos del grupo sanguíneo O factor Rh positivo sensibilizados con anticuerpos bloqueantes o aglutininas incompletas, suspendidos en una solución de cloruro de sodio al 5%.

Si no se produce aglutinación se estaría acreditando que la capacidad aglutinante del reactivo de Coombs fue inhibida por las globulinas presentes en la muestra problema durante el proceso de incubación y por el hecho de tener origen humano (Antón y De Luis, 1998).

La técnica es poco sensible, soliendo obtener falsos positivos al analizar muestras problemas muy pequeñas y dar reacciones cruzadas con sangre de los demás primates, por las características antigénicas que compartimos con ellos.

Prueba de hemoaglutinación pasiva

Esta prueba, conocida también como reacción de hemoaglutinación indirecta o hemoaglutinación reversa pasiva, requiere eritrocitos o partículas de látex recubiertos de antígenos con la intención de transformar la precipitación en aglutinación y ofrecer una mayor sensibilidad que las reacciones de precipitación anteriormente referidas.

Suele realizarse en placas de microtitulación y con diluciones seriadas de los sueros, tomándose en cuenta, al expresar la positividad del resultado, el título de la máxima dilución del suero en el que se produce aglutinación visible (Levinson, 2004).

Prueba de aglutinación de eritrocitos tratados con enzimas

En esta última técnica laboratorial, los hematíes —previamente tratados con ciertas enzimas proteolíticas (como la tripsina, la papaína, la ficina y la bromelina)— aglutinan en presencia de sueros que contengan haptenos o antígenos incompletos específicos de la especie, presentando mayor sensibilidad que las dos pruebas de aglutinación antes mencionadas (Alfonso y Bencomo, 2001).

Grupo sanguíneo de la muestra problema

Existen alrededor de 33 sistemas clasificatorios de grupos sanguíneos: ABO, Rh, MNS, Duffy, Kell, Xg, Chido/Rodgers, Cartwright, Knops, Kidd, Cromer, Colton, Lutheran, P, Diego, Ok, Raph, Gerbich, Indian, Scianna, Dombrock, Lewis, Yt, Landsteiner-Wiener, Hh, Kx, John Milton Hagen o JMH, I, Globoside, Gill, Ss, JK, Lu, Fy, entre otros (Cárdenas y Arroyo 2013; Hoyos, 1999; Reyes, 2000); soliendo destacar, por la importancia de la respuesta inmunológica que llegan a desencadenar, sólo los dos primeros enlistados.

La tipificación o determinación del grupo sanguíneo se puede realizar con muestras de sangre fresca proveniente de personas vivas o muertas y empleando manchas secas encontradas en el lugar de intervención o sobre los indicios ahí localizados.

Tipificación en muestras de sangre fresca

Entre las técnicas aplicables a este tipo de muestras, se encuentran las técnicas de determinación en placa y la de determinación en tubos de ensayo:

Técnica de determinación en placa

Se realiza sobre tres gotas de sangre entera, capilar o venosa, puestas por separado (gotas No. 1, 2 y 3) sobre un portaobjetos o una placa de porcelana con cavidades y a las que se les adicionará una o dos gotas de sueros hemoclasificadores de especificidad conocida comerciales (antisuero anti-A a la gota No. 1, antisuero anti-B a la gota No. 2 y antisuero anti-D o anti-Rh a la gota No. 3).

La aglutinación o no aglutinación apreciable al adicionar las gotas del antisuero permitirá establecer el grupo sanguíneo de la muestra analizada, tal y como se resume en la tabla 14.

Tabla 14

Reacciones de aglutinación y no aglutinación esperadas tras la adición de antisueros específicos a muestras sanguíneas del sistema ABO

	Antisuero agregado			Grupo sanguíneo de la muestra
	Anti-A en gota No.1	Anti-B en gota No. 2	Anti-D en gota No. 3	
Reacciones observadas	Aglutinación	No aglutinación	—	A
	No aglutinación	Aglutinación	—	B
	Aglutinación	Aglutinación	—	AB
	No aglutinación	No aglutinación	—	O
	—	—	Aglutinación	Rh +
	—	—	No aglutinación	Rh -

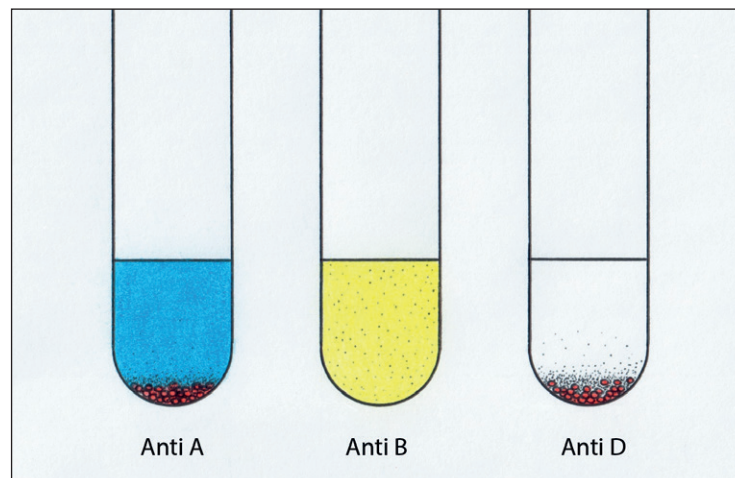
Técnica de determinación en tubos de ensayo

Se mezcla una gota de antisuero anti-A, una de anti-B y una de anti-D con una gota de una suspensión globular al 4% de la muestra problema en solución salina contenida en sendos tubos de ensayo; luego de centrifugar a 2,000 revoluciones por minuto (r.p.m.) durante un minuto, se agitan suavemente los tubos para apreciar la aglutinación o no aglutinación del sedimento (Doro, 2004) (figura 120).

El tipo sanguíneo de la muestra analizada se establece con base a los mismos criterios de la prueba anterior.

Figura 120

Reacción de sangre A+ tipificada en tubos de ensayo



Tipificación en muestras de sangre seca

Este tipo de muestras tienden a presentar glóbulos rojos con estructuras membranosas desorganizadas o fragmentadas, por lo que las reacciones de hemoaglutinación tienen que ser reactivadas adicionando glóbulos rojos intactos de muestras de referencia con grupo sanguíneo conocido, como se muestra en las técnicas de determinación en placa, de determinación en tubos de ensayo y de absorción-elución, descritas a continuación:

Técnica de determinación en placa

Se emplea en caso de manchas secas encontradas sobre superficies no absorbentes. Consiste en colocar una porción de la mancha seca problema sobre tres portaobjetos (alícuota No. 1, 2 y 3) y luego dos o tres gotas de una suspensión de glóbulos rojos del grupo A al 0.25 % en solución fisiológica a la alícuota No. 1; dos o tres gotas de una suspensión eritrocitaria del grupo B al 0.25 % a la alícuota No. 2; y la misma cantidad de gotas de una suspensión de glóbulos rojos del grupo O al 0.25 % a la alícuota No. 3. Mezclar con un aplicador de madera y colocar enseguida un cubreobjetos en cada una de las preparaciones para apreciar al microscopio, después de por lo menos dos minutos, la aglutinación o no aglutinación en cada sistema reactivo (Franco de Ambriz, 1991; Simonelli, 2013).

Técnica de determinación en tubos de ensayo

Se emplea con manchas secas contenidas en hisopos o fragmentos de tela utilizados para muestrear; las cuales, luego de ser extraídas por rehidratación con 1 ml de solución fisiológica, se centrifugan brevemente y el sobrenadante se separa en tres tubos de ensayo.

Al primer tubo se le agrega una gota de suspensión de eritrocitos de sangre tipo A al 0.25 % en solución fisiológica; al segundo, una gota de una suspensión de eritrocitos de sangre tipo B a la misma concentración que la anterior; y al tercero, una gota de una suspensión eritrocitaria de tipo O. Luego de refrigerarlos durante 10 minutos, se centrifugan a 1,500 r.p.m. durante dos minutos; se elimina el líquido sobrenadante y se adiciona una gota más de solución fisiológica. Se agitan los tubos y se observa si hay o no aglutinación (Simonelli, 2013).

Técnica de absorción-elución

Se realiza sobre pequeños recortes, de 3 x 3 mm y previamente fijados con metanol, obtenidos de prendas con impregnaciones de sangre seca, que se ponen a macerar en tres tubos de ensayo (tubos de ensayo No. 1, 2 y 3), a 4 °C y durante ocho horas, con dos gotas de antisuero anti-A en el tubo de ensayo No. 1, dos gotas de antisuero anti-B en el tubo de ensayo No. 2 y dos gotas de antisuero anti-D en el tubo de ensayo No. 3 para inducir la formación de los complejos antígeno-anticuerpo.

En una segunda etapa, las muestras se lavan con solución fisiológica fría para eliminar los anticuerpos no fijados y se disocian los complejos formados, calentando posteriormente las muestras a 50 °C durante 15 minutos.

Luego se extraen las muestras biológicas problema y se añade a cada tubo una gota de una suspensión eritrocitaria al 2% del grupo sanguíneo correspondiente a su antisuero. Después de centrifugar a 3,400 r.p.m. durante 30 segundos, se observa la aglutinación o no aglutinación en los sedimentos para establecer el tipo sanguíneo de la mancha problema.

Si bien suele considerarse una prueba confiable, la escasez y antigüedad de la mancha, las propiedades químicas de los soportes, la actividad microbiana sobre la muestra y las condiciones medioambientales a las que la mancha estuvo expuesta pueden llegar a dificultar o imposibilitar la determinación (Franco de Ambriz, 1991; Simonelli, 2013).

Sexamiento de la muestra hemática

El sexo de la persona que produjo una mancha hemática de interés forense puede estimarse de dos maneras: por observación de corpúsculos de Barr y por la prueba de la amelogenina.

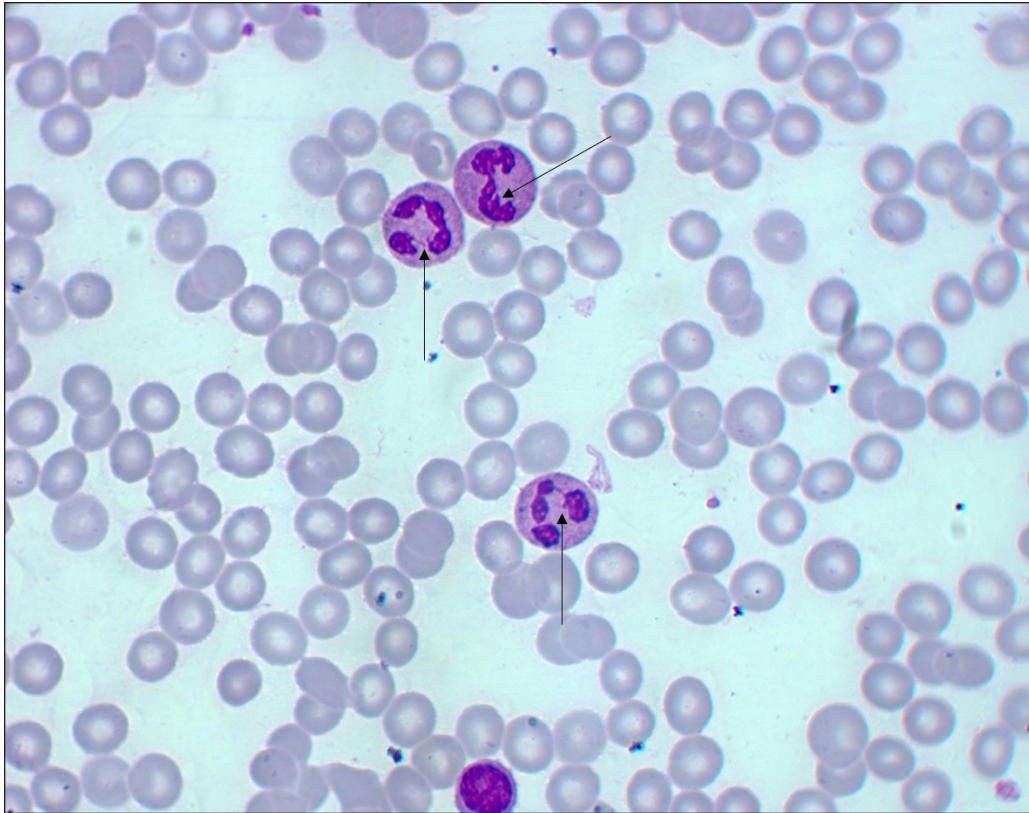
Observación de corpúsculos de Barr

La tinción de extendidos sanguíneos con colorantes nucleofílicos, como la fuscina, la aceto-orceína, la tionina, la hematoxilina y el verde de metilo permiten observar, especialmente en los neutrófilos de muestras sanguíneas de las mujeres, algunas masas condensadas de cromatina adheridas a la superficie interna de sus membranas nucleares, conocidas como cuerpos o corpúsculos de Barr o cromatina sexual, producto de la condensación de uno de los cromosomas X de las células femeninas (Camarena, 2017; Menor-Salván, 2018) (figura 121).

Debe considerarse que esta no es una prueba de total certeza, pues si bien entre el 20 y 60% de las células de alrededor del 70% de las mujeres de más de un mes de edad presentan corpúsculos de Barr, entre el 1 y 4% de los hombres pueden también contenerlos en sus núcleos celulares (Daher et al., 1986).

Figura 121

Corpúsculos de Barr (señalados con las flechas) en neutrófilos de sangre femenina con tinción de May-Grünwald-Giemsa



Nota. Fotomicrografía tomada por César Menor-Salván y adaptada del blog *Noticias de un espía en el laboratorio*, 2018, Universidad de Alcalá.

Prueba de la amelogenina

La amelogenina es una proteína que existe en el esmalte dental y el gen que la codifica se encuentra en los cromosomas sexuales.

Los alelos codificantes presentes en el cromosoma X (AmelX) difieren, en tamaño y secuencia, con los alelos codificantes ubicados en el cromosoma Y (AmelY); de este modo, la amplificación y separación electroforética de algunas de sus regiones permiten establecer la identidad de los cromosomas que las originaron (Francès et al., 2008; Velarde et al., 2008).

Las muestras sanguíneas de las mujeres tendrán, como es sabido, dos cromosomas X (XX) en sus células somáticas y los hombres un cromosoma X y un cromosoma Y (XY).

Concentración de alcohol en sangre

Concepto de alcoholemia

Término utilizado para referir la cantidad de etanol o alcohol etílico contenida, generalmente expresada en miligramos, en cada 100 ml de sangre de una persona (Castro et al., 2010).

Requisitos de las muestras

Suelen requerirse dos muestras de sangre de por lo menos 5 ml cada una, tomadas de las venas cefálica, basílica o cubital media en las personas vivas o de la vena femoral en los cadáveres, a efecto de evitar, en el segundo de los casos, el riesgo que implica la difusión *post mortem* del alcohol contenido en el estómago durante las primeras 24 horas posteriores al deceso (Alvarado et al., 2008; Anadón y Uroz, 2017; Ferrari, 2008).

Las zonas de recolección de las muestras problema deberán ser higienizadas con agua destilada, agua con jabón, iodopovidona o lugol; nunca con alcohol, tintura de yodo o algún otro producto antiséptico con compuestos volátiles en su formulación (Ministerio de Salud de la Nación, 2016).

Las muestras pueden quedar contenidas en tubos con fluoruro de sodio y oxalato de potasio, que actúan como conservador y anticoagulante, respectivamente (Anadón y Uroz, 2017), o en su defecto, con ácido etilendiaminotetraacético (mejor conocido como EDTA, por sus siglas en inglés); debiéndose invertir los tubos suavemente entre 5 y 10 veces para asegurar su mezclado y evitar la hemólisis.

Los tubos recolectores deberán ser llenados a su máxima capacidad para evitar la formación de cámaras de aire que favorezcan la pérdida de etanol en la muestra por evaporación y cerrados herméticamente (Alvarado et al., 2008; Ferrari, 2008).

Ante la posibilidad de mantener las muestras en congelación, habremos de dejar una cámara de aire de entre un 10 y 20% del volumen del tubo para compensar el incremento volumétrico de la muestra al cambiar de estado físico (Flanagan et al., 2005).

Estas muestras deberían analizarse, idealmente, en un plazo no mayor a una hora después de su extracción; no obstante, cumpliendo las exigencias de llenado y bajo condiciones de transporte y almacenamiento a temperaturas que oscilen entre los 2 y 4 °C (Ministerio de Salud de la Nación, 2016), pueden considerar válidos los resultados de muestras de hasta dos semanas de antigüedad con EDTA y de hasta dos meses si contienen fluoruro de sodio (Ferrari, 2008).

De no tomarse los cuidados antes referidos, la concentración de etanol en las muestras tomadas puede disminuir por evaporación o la oxidación alcohólica microbiana o aumentar debido a la fermentación anaeróbica del piruvato; sin poderse estimar, técnica e inequívocamente, la cuantía de tales variaciones.

Las muestras de sangre conservadas a temperaturas de congelación (entre -15 y -25 °C) no presentan variaciones significativas en su concentración alcohólica; habiéndose llegado a estimar disminuciones máximas de apenas 2 mg de etanol/100 ml de sangre obtenida de cadáveres y de sólo 1 mg de etanol/100 ml de sangre proveniente de personas vivas, en un término de 18 meses en muestras hemolizadas o sin anticoagulante o conservador, independientemente de la existencia o no de cámaras de aire en los tubos. Por tales razones, las muestras congeladas pueden ser consideradas, al menos para esta determinación analítica, indefinidamente estables (Calvo, 2015).

Técnicas procedimentales

La concentración de alcohol en la sangre puede ser determinada mediante métodos químicos, enzimáticos e instrumentales, de entre los cuales destacan las técnicas procedimentales de Truhaut-Boudène, de microdifusión de Widmark, de Nicloux, de la alcohol deshidrogenasa y la cromatografía de gas con detector de ionización de flama

Técnica de Truhaut-Boudène

Está basada, como la mayoría de las técnicas que conforman los métodos químicos, en la capacidad del alcohol extraído de la muestra problema para reducir reactivos preparados a base de cromo (Villanueva, 1999); dando lugar a productos con tonalidades que oscilan entre el verde amarillento y el verde azulado, cuantificables mediante titulación yodométrica o espectrofotometría.

Para llevarla a cabo se colocan 2 ml de sangre total y 5 ml de agua destilada en un matraz balón; luego de esperar algunos minutos para que se hemolice la muestra, se añaden 20 ml de una solución saturada de ácido pícrico y algunas perlas de ebullición y se instala el matraz en el equipo armado para su posterior destilación (figura 122).

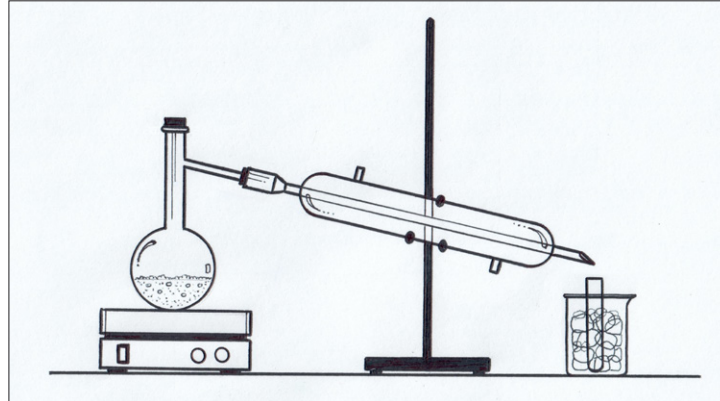
Se agrega enseguida, en un tubo de ensayo graduado, 10 ml de una mezcla nitrocrómica (preparada disolviendo 0.426 g de dicromato de potasio en 100 ml de ácido nítrico) y, sobre estos —teniendo cuidado que no se mezclen— 2 ml de agua destilada. El tubo de ensayo así preparado se introduce en un recipiente con agua y hielo picado y se ajusta al tubo de salida del destilador.

La mezcla reactiva deberá calentarse hasta que el tubo receptor del destilado llegue a la marca de los 13 ml. Una vez conseguido, se retira el tubo de ensayo del equipo de destilación, se tapa, se mezcla por inversión y se deja reposar durante 15 minutos para que tenga lugar la reacción química de interés:



Figura 122

Equipo necesario para la técnica de Truhaut-Boudène



Transcurridos los 15 minutos, se vierte el contenido a un matraz Erlenmeyer; se adicionan 30 ml de agua destilada y 100 ml de una solución de yoduro de potasio al 1% en agua destilada, y se deja reposar la mezcla así preparada durante tres minutos.

Finalmente, titular con una solución de tiosulfato de sodio 0.087 N, empleando siete u ocho gotas de una solución de almidón al 2% en agua destilada; anotando el volumen de tiosulfato sódico necesario para hacer desaparecer el color del yodo (Gómez, s.f.).

La concentración de alcohol en la muestra se obtiene mediante la siguiente fórmula (Gil et al., s.f.):

$$C_{\text{alc}} = \frac{10 - n}{2}$$

Donde:

C_{alc} = Concentración de alcohol (en g/l de sangre).

n = Volumen de tiosulfato de sodio consumido en la titulación (en ml).

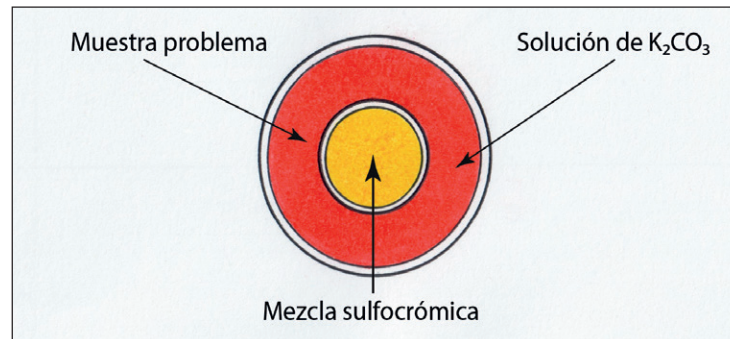
Técnica de microdifusión de Widmark

La prueba se realiza colocando, en extremos opuestos del compartimento externo de una cámara de Conway, 0.2 ml de la muestra de sangre problema y 0.2 ml de una solución saturada de carbonato de potasio; así como 0.5 ml de una mezcla sulfocrómica (preparada al disolver 0.75 g de dicromato de potasio en 500 ml de ácido sulfúrico al 12.88%) en el compartimiento interno del mismo recipiente (figura 123).

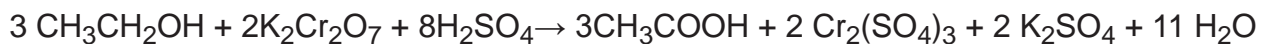
Luego de cerrar la cámara de reacción, se agita suave y circularmente para mezclar los componentes del compartimiento externo y se coloca en una estufa u horno, durante 20 o 30 minutos, a una temperatura de entre 40 y 60 °C.

Figura 123

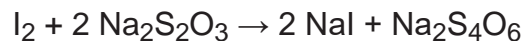
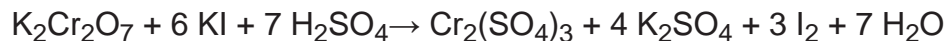
Ubicación de los reactivos en la cámara de Conway



El etanol liberado de la muestra de sangre colocada en el compartimiento externo, se oxida en el compartimiento interno, al tiempo que el cromo se reduce, de Cr^{+6} a Cr^{+3} , virando la solución que lo contiene del amarillo a tonos comprendidos entre el verde y el azul, según la siguiente ecuación:



La concentración de alcohol se puede calcular por espectrofotometría, comparando la absorbancia de la solución del compartimiento interno a 430 nm con la curva de calibración previamente obtenida con soluciones alcohólicas de concentración conocida o mediante titulación yodométrica, que cuantifica el yodo liberado por el dicromato de potasio excedente de la reacción; tal y como se muestra en la siguiente ecuación (Cedillo, 2010):



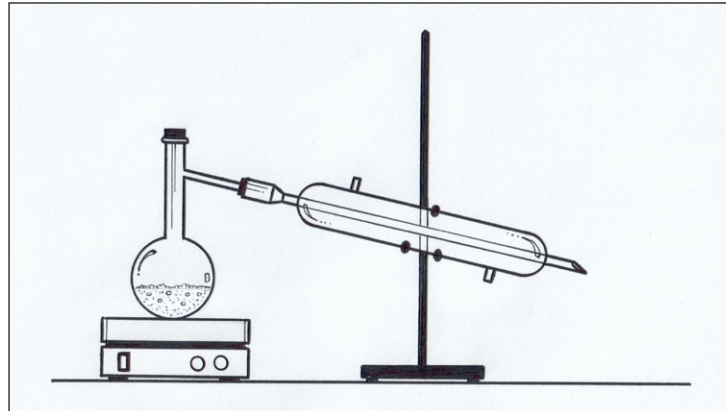
Técnica de Nicloux

Para realizarla, se colocan 5 ml de la muestra hemática en un matraz de destilación e inmediatamente después se añaden 5 ml de una solución saturada de ácido pícrico; se conecta el matraz a un equipo de destilación y se lleva la mezcla a ebullición (figura 124). Tras dejar pasar las tres primeras gotas del destilado, se recolectan las siguientes cinco gotas en un tubo de ensayo limpio y seco y se les adicionan —estando aún calientes— cinco gotas del llamado reactivo de Anstie, que se prepara disolviendo inicialmente 3.7 g de dicromato de potasio en 150 ml de agua destilada y añadiendo luego 280 ml de ácido sulfúrico, aforando finalmente con agua destilada a 500 ml (González, 2008; Toledo, 2000).

El color resultante en el tubo de ensayo se compara con una serie de patrones o testigos colorimétricos, obtenidos previamente con soluciones alcohólicas de concentraciones conocidas.

Figura 124

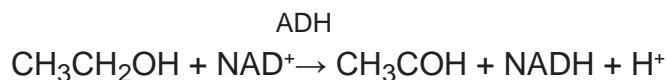
Equipo necesario para la técnica de Nicloux



Los métodos químicos carecen de especificidad, pudiéndose obtener resultados falsos positivos con acetaldehído, acetona, ácido acetoacético, ácido β -hidroxibutírico, alcohol amílico, éter etílico, formaldehído, isopropanol, metanol y propanalaldehído; presentando además el riesgo de pérdidas significativas e inestimables del analito durante el proceso de extracción que invaliden el resultado (Jones y Rössner, 2007).

Técnica de la alcohol deshidrogenasa

Se fundamenta en la transformación del etanol a acetaldehído por acción de la enzima alcohol deshidrogenasa (ADH) en presencia del dinucleótido de nicotinamida y adenina (NAD^+), el cual se convierte a su forma reducida (NADH), en proporción directa a la concentración de alcohol existente en la muestra analizada, como se indica en la siguiente ecuación:



Al término de la reacción se puede medir la absorbancia de la forma hidrogenada del aceptor específico a 340 nm; valor proporcional a la concentración del etanol contenido en la muestra de sangre analizada (Ozturk et al., 2022; Quispe y Loaiza, 2011).

Algunas sustancias, como la acetona, el ácido acético, el ácido β -oxibutírico, el cloroformo, el éter etílico, el isopropanol, el metanol, el n-butanol, el n-pentanol y el n-propanol pueden inhibir competitivamente la reacción enzimática (Villanueva, 1999).

Las pruebas comerciales son relativamente costosas, aunque poseen límites de detección de hasta 0.8 mg de etanol/100 ml de sangre (BioAssay Systems, 2025).

Cromatografía de gas con detector de ionización de flama

Es una técnica altamente específica, rápida, sensible, precisa y exacta, que ofrece límites mínimos de detección de hasta 10 mg de etanol/100 ml de sangre.

Para efectuarla, se colocan 0.5 ml de las muestras hemáticas problema en los viales cromatográficos y se les añade 100 µl de n-propanol; luego de agitarlos, tras cerrarlos herméticamente, se colocan en el inyector del equipo a una temperatura de 60 °C y después de 30 minutos de preincubación se procede a su inyección, y finalmente a la lectura de los resultados arrojados directamente por el equipo.

Su principal desventaja radica en que las muestras analizadas se desnaturalizan, tornándose entonces irrecuperables (Canales, 2020).

Interpretación de resultados

Los resultados obtenidos en las pruebas de alcoholemia expresan, única y exclusivamente, tal y como se estableció al inicio de este apartado, la concentración de alcohol en la sangre de la persona al momento de tomársele la muestra; pudiéndose inferir someramente, dada la correlación existente entre la cantidad de alcohol circulante y los efectos tóxicos del mismo, el grado de afectación psicofísica de la persona de interés (tabla 15).

Tabla 15

Efectos fisiológicos del etanol en función de su concentración sanguínea

Concentración de etanol en sangre (en mg/100 ml)	Efectos fisiológicos
10 - 50	Disfunción visual y motora fina, locuacidad, desinhibición, disminución de la capacidad de atención y aumento de tiempo de reacción ante estímulos visuales y auditivos.
50 - 100	Alteraciones variables de la memoria y la voluntad, dificultad de concentración y disminución de la capacidad de juicio.
100 - 150	Dificultad para mantener el equilibrio, movimientos involuntarios de los ojos, percepción de visión doble, dificultad para articular palabras y pérdida del control muscular.
150 - 300	Somnolencia, disminución de las funciones mentales y físicas, falta de respuesta a ciertos estímulos, lenguaje incoherente y pérdida de la capacidad de razonar.
300 - 400	Depresión respiratoria, hipotermia, hipotensión e hipoglucemia.
400 - 500	Pérdida de reflejos, parálisis respiratoria y posible coma en individuos no habituados a su consumo.
Más de 500	Valores generalmente incompatibles con la vida.

Nota. Adaptada de Anadón y Uroz (2017, pp.90-91) y Cedillo (2010, pp. 34-35).

Estimación de alcoholemias retrospectivas

Asumiendo que la velocidad de degradación metabólica del alcohol es constante y uniforme, se puede estimar la cantidad de alcohol en la sangre de una persona anterior al momento de la toma de la muestra (lo que podríamos llamar alcoholemia retrospectiva o retrógrada), haciendo uso de la llamada fórmula de Widmark-Dubowski (López et al., 2014; Villanueva, 1999):

$$C_a = C_b + (\beta \times t)$$

Donde:

C_a = Alcoholemia por conocer (en g/1000 ml).

C_b = Alcoholemia conocida (en g/1000 ml).

β = Coeficiente de eliminación etílica o etil oxidación (con valores medios de 0.15 g/1,000 ml/hora en hombres y de 0.18 g/1,000 ml/hora en mujeres, en ambos casos de peso corporal promedio, sanos y no habituados).³

t = Tiempo (expresado en horas).

Esta fórmula es aplicable sólo cuando la persona en estudio se encuentre en la fase descendente de la curva de absorción-eliminación de alcohol, lo cual suele ocurrir entre 90 y 120 minutos después de la última ingesta (o hasta 180 minutos con el estómago lleno), y que el cálculo a realizar quede comprendido en un espacio de tiempo de no más de tres horas posteriores al pico de máxima absorción.

Los resultados se consideran con un margen de error de \pm el 20% del valor obtenido, en función de la edad, el sexo, la habituación al consumo y el peso corporal de las personas (Anadón y Uroz, 2017; Ferrari, 2008; López et al., 2014).

Producción microbiana de etanol en cadáveres putrefactos

El desarrollo de bacterias anaeróbicas facultativas en los cadáveres putrefactos genera etanol en sus vías metabólicas para producir energía, a partir del piruvato presente en la sangre, dando lugar a concentraciones etanólicas que no corresponden a los volúmenes ingeridos por estas personas en vida; por lo que se desaconseja dicha determinación después de las primeras 12 horas del deceso (Repetto y Repetto, 2009).

³ Puede considerarse también con valores de 0.0025 g de etanol/kg de peso corporal/minuto en hombres y de 0.0026 g de etanol/kg de peso corporal/minuto en mujeres (Anadón y Uroz, 2017).

Determinaciones toxicológicas

El consumo de drogas, medicamentos, venenos y cualquier otra sustancia de interés toxicológico puede ser evidenciada al acreditar la presencia de sus principios activos en una muestra de sangre o la de algunos de sus metabolitos en una muestra de orina.

Las muestras de suero o sangre entera pueden ser analizadas mediante cromatografía líquida de alta eficacia (HPLC), cromatografía líquida acoplada a espectrometría de masas (LC/MS) o por cromatografía de gases combinada con espectrometría de masas (GC-MS), obteniéndose resultados con alto grado de confiabilidad, sensibilidad y selectividad, y con límites mínimos de detección que oscilan entre 0.5 y 10 ng de la sustancia de interés por mililitro de muestra hemática (Comisión de Monitorización de Fármacos y Toxicología Clínica de la Sociedad Española de Química Clínica y Patología Molecular, 2013; Pomilio y Vitale, 2006; Rodrigo et al., 2023).

Dado que el tiempo de vida media de estas sustancias en la sangre es relativamente corto, las muestras para acreditar su presencia deben ser tomadas oportunamente. Así pues, para la detección de cocaína la muestra se debe recabar en un plazo de no más de 50 minutos después de su último consumo, para detectar marihuana en un plazo de no más de dos horas, para las benzodiazepinas en un plazo no mayor a tres horas después de haberlas consumido, para acreditar barbitúricos y opiáceos en no más de cuatro horas posteriores a la ingesta y para las anfetaminas en un término de no más de 12 horas después de haberlas consumido (Mixco, 2008).

Identificación mediante perfiles genéticos

Los primeros intentos para identificar o excluir la participación de una persona en algún evento delictivo a través de los indicios hemáticos encontrados en el lugar de su ocurrencia sustentaban en la determinación del grupo sanguíneo (Villalobos, 2017).

Ante los limitados alcances de dicha técnica, se recurrió al análisis de las isoformas de las enzimas eritrocitarias y algunas proteínas séricas, y luego a la identificación de las variantes proteínicas en las membranas de los leucocitos, que son los responsables del Sistema Antigénico Leucitario Humano o Sistema HLA (Toscanini, 2019; Trujillo et al., 2018).

Entre 1986 y 1988, el bioquímico británico Alec John Jeffreys contribuyó a exonerar al sujeto inicialmente acusado de dos casos de violación y homicidio en una localidad del condado de Leicestershire, en Inglaterra, y a dar con el verdadero responsable de los mismos, mediante el análisis de la entonces llamada huella dactilar genética obtenida de los elementos indiciarios hasta ese momento disponibles en la investigación, considerándose este el primer asunto criminal resuelto por la genética forense (Bayón, 2014; Hombreiro, 2013).

Con el paso del tiempo, el término “huella dactilar genética”, acuñado por Jeffreys, fue sustituido por huella génica, luego por huella genética y finalmente tal y como se usa actualmente: perfil genético; llegándose a constituir en la técnica forense más importante para establecer la procedencia, el origen o la fuente de cualquier indicio biológico (sangre, semen, pelo, piel, huesos, dientes, etcétera).

Estructura del ácido desoxirribonucleico

El ácido desoxirribonucleico (ADN) es una macromolécula dispersa en el citoplasma de las células procariontas y contenida en el núcleo de las células eucariotas. Está constituido por cuatro bases nitrogenadas: adenina (A), citosina (C), guanina (G) y timina (T); cada una de ellas unida a un monosacárido (2-desoxirribosa) y una molécula de ácido fosfórico (H_3PO_4), para formar así los nucleótidos (González, 2016) (figura 125).

Figura 125

Representación artística de un tramo de ADN



Nota. Molécula de ADN. Pixabay. (2025).

Fundamento de la identificación genética

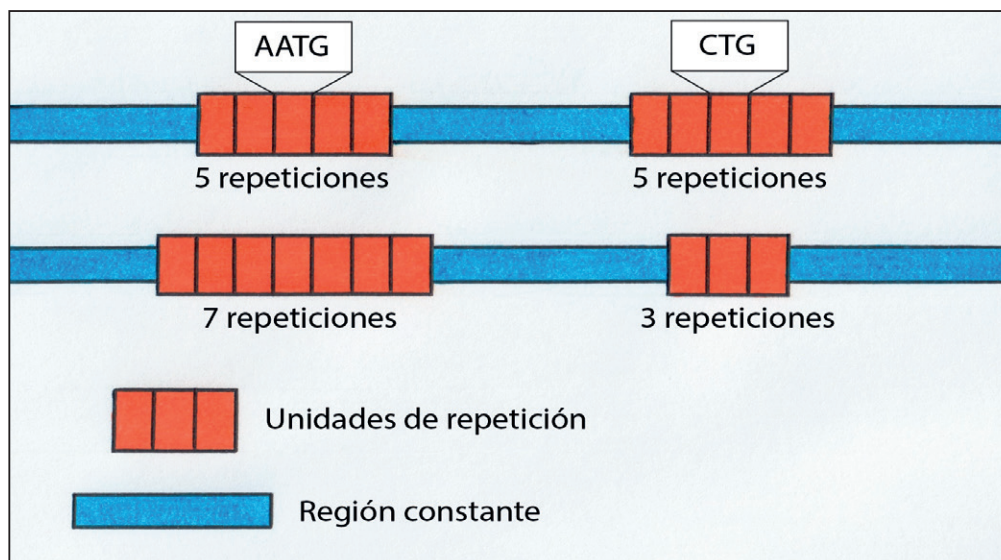
Al descifrar el genoma humano, constituido por alrededor de 3,200 millones de nucleótidos (CICR, 2009), se descubrió la existencia de tramos o regiones cortas en el ADN con variaciones en el orden o la longitud de sus nucleótidos, denominados polimorfismos (Fernández et al., 2017).

Algunos polimorfismos permiten diferenciar cromosomas, se les conoce como marcadores genéticos y son el sustento de la identificación humana basada en el análisis del ADN.

Los marcadores genéticos más frecuentemente empleados en el ámbito forense son los llamados microsátélites, repeticiones de secuencias simples o repeticiones cortas en tándem (las dos últimas conocidas como SSRs y STRs, respectivamente, por sus siglas en inglés), conformados por fragmentos o cuerpos de repetición de entre dos a siete nucleótidos (figura 126).

Figura 126

Representación esquemática de dos tramos de repeticiones de cuatro (AATG) y tres (CTG) nucleótidos en un par de cromosomas homólogos



En un intento por homologar el tipo y número mínimo de marcadores genéticos para la generación de una base de datos en las investigaciones criminales, desde 1997, el Buró Federal de Investigaciones (FBI, por sus siglas en inglés) ha considerado los siguientes 13 STRs para conformar su *Combined DNA Index System* o *CODIS*: CSF1PO, FGA, TH01, TPOX, vWA, D3S1358, D5S818, D7S820, D8S1179, D13S317, D16S539, D18S51 y D21S11; así como el gen de la amelogenina (Amel), como determinador sexual (González, 2016; Hombreiro, 2013; Rangel, 2017).

De este modo, con base en lo anteriormente descrito, las muestras hemáticas (y de cualquier otro fluido o tejido biológico) que llegan a los laboratorios de genética forense son sometidas a una serie de procesos, mayoritariamente automatizados, que incluyen la extracción y cuantificación del ADN contenido en las células nucleadas de la muestra problema, la replicación de los marcadores genéticos de interés (mediante la técnica de

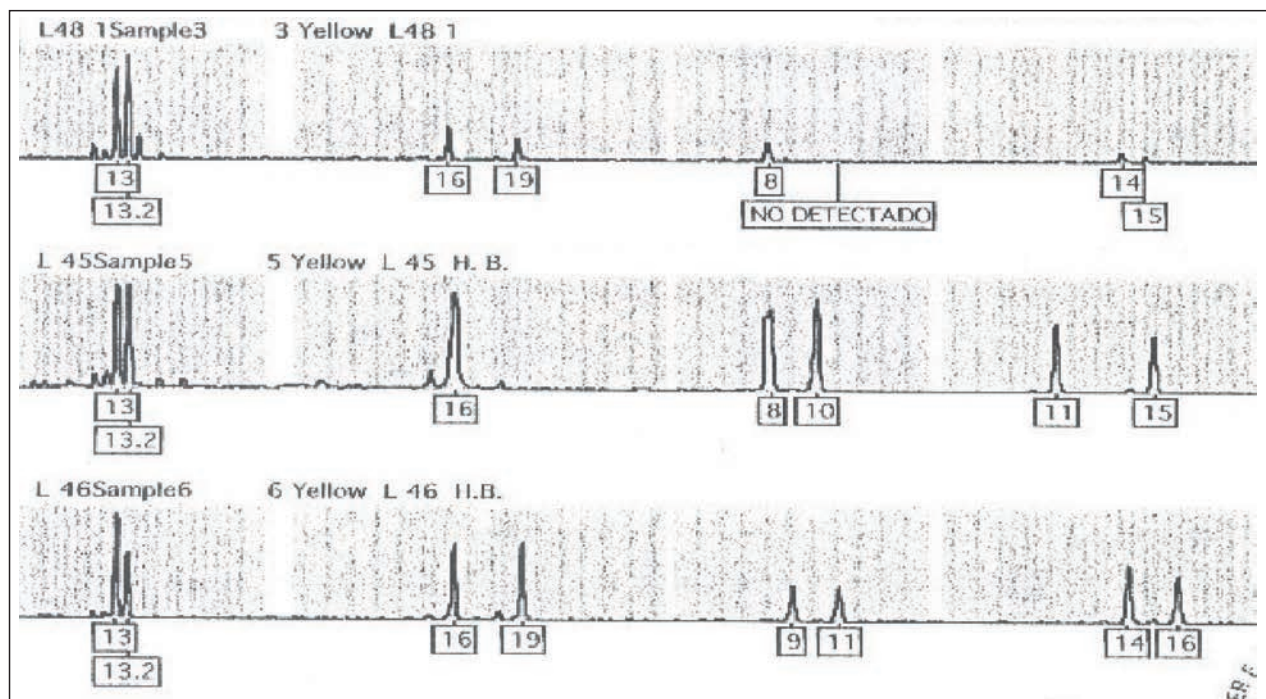
reacción en cadena de la polimerasa o PCR) y la separación, generalmente por técnicas electroforéticas, de las variantes alelomórficas de los microsatélites de interés (Castro del Barrio, 2016; González, 2016).

Tras dichas operaciones se obtiene entonces un patrón gráfico de picos y valles, llamado electroferograma; donde cada grupo de picos corresponde a un *loci* (lugares en los que se encuentran situados los genes o marcadores genéticos), y cada pico en el *loci* representa un alelo del gen en cuestión (Krane y Ford, 2017).

De este modo, los individuos homocigóticos generan un solo pico, los heterocigóticos dan lugar a dos picos y, en caso de mezcla o contaminación de las muestras, pueden formarse tres o más picos (figura 127). La altura de los picos depende de la cantidad de material genético contenido en la muestra problema (Castro del Barrio, 2016).

Figura 127

Fragmento de tres electroferogramas obtenidos en la determinación del origen biológico de una muestra hemática problema



Aplicando ciertos programas informáticos, el electroferograma obtenido se puede representar como un patrón numérico, expresado a modo de código binario (por ejemplo, 15-19, 13-15.2, 12-12, etcétera), de los marcadores genéticos considerados en el análisis, como se aprecia en la tabla 16 (Rangel, 2017).

Tabla 16

Tabulación de resultados que sustentan una identificación humana mediante el análisis de perfiles genéticos

Marcador genético	Presunta madre	Muestra problema	Presunto padre	Marcador genético	Presunta madre	Muestra problema	Presunto padre
D8S1179	<u>14,15</u>	14,15	<u>14,15</u>	D19S433	<u>13,13.2</u>	13,13.2	<u>13,13.2</u>
D21S11	<u>30,30</u>	27,30	<u>27,30</u>	vWA	<u>16,19</u>	16,19	<u>16,16</u>
D7S820	<u>8,11</u>	8,11	<u>8,11</u>	TPOX	9,11	8, No detectado	<u>8,10</u>
CSF1PO	<u>10,12</u>	12,12	<u>12,12</u>	D18S51	<u>14,16</u>	14,15	<u>11,15</u>
D3S1358	<u>15,16</u>	15,16	<u>15,16</u>	Amelogenina	<u>XX</u>	XY	<u>XY</u>
TH01	<u>6,9</u>	9,9	<u>8,9</u>	D5S818	<u>11,12</u>	12,12	<u>12,13</u>
D13S317	<u>11,12</u>	11,12	<u>11,11</u>	FGA	<u>25,27</u>	26,27	<u>22,26</u>
D16S539	<u>10,12</u>	11,12	<u>11,12</u>				

Nota. Se muestran subrayados los alelos aportados por la madre y el padre a la persona de la que se obtuvo la muestra problema.

Probabilidad de identificación o exclusión genética

Al analizar entre 10 y 16 marcadores genéticos se puede determinar, con una probabilidad de hasta un 99.996%, el parentesco de la persona, viva o muerta, de la que proviene la muestra con la de otra u otras que se asumen como sus familiares, o establecer el origen biológico de la muestra de sangre analizada con una probabilidad de entre un 0.000,000,001 y 0.000,000,000,000,000,01% de que proceda de cualquier otra persona seleccionada al azar.

En caso de muestras muy degradadas, puede recurrirse al estudio de los STRs del ADN mitocondrial (mtADN) y los STRs del cromosoma Y (Y-STRs), de los que existen mayores cantidades de copias por célula (entre 100 y 1,000 por cada una del ADN nuclear), pero con menor poder de discriminación; estimándose una probabilidad de coincidencia debida al azar de entre un 1.0 y 0.001% (Alonso, 2011; Comité Internacional de la Cruz Roja, 2009; Hombreiro, 2013).

Valor del indicio hemático como fuente de ADN

Los indicios biológicos susceptibles de análisis genéticos suelen ser clasificados en cuatro categorías, según la cantidad de ADN contenida en determinado volumen de la muestra. El semen y los tejidos corporales sólidos, ricos en células nucleadas, son indicios de primera categoría o categoría I, estimándose —como dato referencia— una concentración promedio de 450 µg de ADN/ml de semen analizado.

Dado que en la sangre sólo los leucocitos tienen núcleo y mitocondrias, se le tiene como un indicio biológico de segunda categoría o categoría II, considerándose una concentración de ADN que varía entre los 30 y 60 $\mu\text{g/ml}$ de sangre periférica. No obstante, en función de la sensibilidad de la tecnología aplicada para este tipo de análisis, puede ser considerada como una excelente fuente de ADN; desaconsejándose el procesamiento de muestras hemáticas obtenidas directamente de los cadáveres.

La saliva como tal no contiene ADN, pero sí las numerosas células epiteliales desprendidas de las paredes bucales; de este modo, y ante los bajos volúmenes de dicho fluido que suele generarse en un hecho delictivo, es considerada un indicio de tercera categoría o categoría III.

Las células de descamación epitelial depositadas o adheridas a los objetos manipulados o que hayan estado en contacto con la piel son consideradas —por su concentración de ADN útil— como indicios biológicos de cuarta categoría o categoría IV (Cano y Arce, 2014; European Network of Forensic Science Institutes, 2022; Fernández et al., 2017).

Efecto de los factores medioambiental en la viabilidad del ADN sanguíneo

Al igual que el resto de los indicios biológicos, la integridad de la sangre se ve afectada por la temperatura y la humedad medioambiental, la radiación solar, los efectos de las sustancias químicas a las que se encuentre expuesta y la acción de hongos y bacterias que lleguen a desarrollarse en sus sustratos, limitándose así la utilidad de la información genética y dando lugar a perfiles parciales o imposibles de obtener (Krane y Ford, 2017).

Estudios experimentales permiten establecer que, independientemente de las condiciones ambientales, el porcentaje de extracción de ADN de las muestras hemáticas problema depende de la técnica utilizada (tabla 17) y la calidad de la amplificación de las mismas varía en función inversa a la temperatura y la antigüedad de la muestra procesada; pudiéndose establecer —como dato de referencia—, que las manchas de sangre en telas de algodón expuestas a temperaturas medioambientales de entre el 16.6 y 26.0 °C y humedades relativas de entre el 27 y 63 %, posibilitan una buena amplificación hasta con una antigüedad de cuatro días y una mediana amplificación con antigüedades de hasta 32 días; pudiéndose obtener resultados de no amplificación en manchas hemáticas de ocho días de antigüedad expuestas a temperaturas de 37 °C (Hernández, 2016).

Tabla 17

Porcentaje de extracción de ADN de manchas hemáticas en tela de algodón a temperaturas de entre 4 y 37 °C con diferentes técnicas extractivas

Días de exposición	Porcentaje de extracción (en%)	
	Resina quelante Chelex 100	Resina magnética DNA IQ System
1	100	100
2	83	100
4	83	100
8	66	100
16	50	83
32	50	83
64	50	66

Nota. Adaptada de Hernández (2016, p. 152).

Procedencia anatómica del sangrado

En ciertas ocasiones, el curso de la investigación de un hecho delictivo requiere establecer o descartar, generalmente con fines reconstructivos, el lugar de origen y la causa de los sangrados encontrados en el lugar de intervención.

Con estos propósitos podemos recurrir a la preparación y observación al microscopio de extendidos sanguíneos y a la realización de ciertas técnicas analíticas que permitan establecer su composición celular o reactividad química (Chub, 2018).

Bajo tales estrategias procedimentales, se pueden reconocer los siguientes tipos de hemorragias: nasal, del tracto digestivo evacuado por la boca, del tracto digestivo evacuado por el ano, del tracto respiratorio evacuado por la boca, vaginal menstrual, vaginal por violencia sexual, vaginal por parto o aborto y vaginal puerperal.

Sangrado nasal

Puede presentar moco, pelos nasales o vibrisas, células epiteliales prismáticas con cilios vibrátiles, células elásticas pulmonares, cristales de Charcot-Leyden (estructuras cristalinas con formas romboidales alargadas, teñibles con eosina y vinculados con procesos inflamatorios relacionados con asma, pólipos nasales, bronquitis y rinosinusitis crónica) (Hoyos, 1999; Rodríguez et al., 1998), así como algunos microorganismos productores de cuadros neumónicos, como el *Streptococcus pneumoniae*, el *Haemophilus influenzae*, la *Legionella pneumophila*, el *Mycoplasma pneumoniae*, la *Chlamydomphila pneumoniae* y la *Moraxella catarrhalis*.

Sangrado del tracto digestivo evacuado por la boca

Se caracteriza por contener células epiteliales esofágicas o estomacales, restos de alimentos parcialmente digeridos, hematina ácida y, en algunos casos, hasta concentraciones variables de medicamentos, drogas, venenos o sustancias con propiedades corrosivas (Hoyos, 1999).

Sangrado del tracto digestivo evacuado por el ano

Puede reconocerse por el hallazgo de materia fecal y huevecillos, trofozoitos, quistes, larvas o parásitos adultos intestinales (amibas, ciliados, flagelados, coccidias, nemátodos, cestodos y tremátodos).

Sangrado del tracto respiratorio evacuado por la boca

Puede reconocerse por el hallazgo de fibras elásticas pulmonares, moco bronquial y células del epitelio intrapulmonar con pestañas vibrátiles (Hoyos, 1999).

Sangrado vaginal menstrual

La sangre menstrual no coagula por contener plasmina y prostaciclina que disuelven la fibrina y los agregados plaquetarios, está constituida por entre el 30-50% de sangre y el 50-70% de células endometriales en diferentes estados de conservación, células cervicales y células de descamación vaginal; posee concentraciones de hemoglobina de hasta un 35% menos que la sangre circulante; y puede llegar a presentar leucocitos polimorfonucleares, histiocitos, detritos celulares, protozoarios, lactobacilos y hongos (Botella y Clavero, 1993; Gaensslen, 1983; Hoyos, 1999).

Sangrado vaginal por violencia sexual

Estos tipos de hemorragias pueden contener espermatozoides, vellos púbicos y células vulvares desprendidas por fricción durante el ataque (Hoyos, 1999).

Sangrado vaginal por parto o aborto

Se presenta acompañado con líquido amniótico, que produce manchas amarillentas o verdosa de bordes grisáceos, restos placentarios o fetales, meconio, lanugo, unto sebáceo y células poliédricas producto de la descamación epidérmica fetal (Hoyos, 1999).

Ante la presunción de este tipo de eventualidades, puede recurrirse a la denominada prueba de Apt o de desnaturalización alcalina con hidróxido de sodio; especialmente útil para determinar el origen fetal o materno de la sangre en caso de hemorragias vaginales o ante el hallazgo de vómito o heces con sangre en el recién nacido.

Para su realización, la sangre o mancha problema se mezcla primero con una pequeña cantidad de agua esterilizada para hemolizar los eritrocitos y liberar la hemoglobina; luego se centrifuga durante algunos minutos, se toman 2.5 ml del sobrenadante y se mezclan finalmente en otro tubo de ensayo con 0.5 ml de hidróxido de sodio 0.2 N.

Vistas a través del microscopio, las muestras de sangre fetal se apreciarán de color rosado y las del adulto entre amarillo y marrón (Faneite et al., 2000).

Sangrado vaginal puerperal

Después del parto, de manera natural y por un periodo de entre dos y seis semanas, se presenta un flujo vaginal compuesto por sangre coagulable, moco y desechos de las paredes del útero, el cérvix y la vagina.

Durante los primeros tres o cuatro días del puerperio, dicho flujo —de color rojizo y olor cárnico— se compone de coágulos, eritrocitos, leucocitos, células epiteliales, lanugo y a veces meconio; luego, generalmente entre el cuarto y décimo día después del parto o cesárea, adquiere un color marrón o pardo rosado donde proliferan los leucocitos; al final del proceso, entre el décimo y regularmente el vigésimo primer día presentará un tono blanco amarillento, por el predominio de los leucocitos en su composición, que irá disminuyendo de forma gradual en su producción (Botella y Clavera, 1993).

Antigüedad de las lesiones

Se puede estimar a través de la coloración de las equimosis. El color de estas contusiones cambia con el transcurso del tiempo y de acuerdo con la degradación química de la hemoglobina; así, se verán rojizas durante el primer día, violáceas entre el segundo y tercero, azules entre el cuarto y sexto, verdes entre el séptimo y duodécimo, y amarillo entre el decimotercero y vigésimo primer día; siendo siempre la coloración más intensa en la parte central que en la periferia de la lesión (figura 128).

Los cambios de coloración antes descritos no se cumplen en las equimosis generadas en la conjuntiva del ojo y debajo de las uñas. En los ojos no cambian su característico color rojo brillante, sólo lo atenúan progresivamente hasta desaparecer; mientras que en las uñas, tienden a oscurecerse, permaneciendo luego así durante varias semanas, hasta ser eliminadas con el crecimiento gradual de la pieza afectada.

La duración de las equimosis puede afectarse por la extensión de la contusión y la edad y el estado de salud de la persona lesionada; siendo, por ejemplo, más rápida en las niñas y los niños que en las personas ancianas y más lenta en individuos con problemas circulatorios, respiratorios y metabólicos (Jiménez, 2018).

Figura 128

Pequeña equimosis de ocho días de antigüedad



Cronotanodiagnóstico

El tiempo transcurrido tras el deceso de una persona puede estimarse con base en los cambios morfológicos eritrocitarios, los cambios morfológicos leucocitarios y los cambios en la velocidad de la coagulación sanguínea.

Basado en los cambios morfológicos eritrocitarios

Los eritrocitos de muestras sanguíneas de cadáveres refrigerados a 4°C conservan su integridad estructural durante las primeras 24 horas posteriores al deceso; luego, al transcurrir entre 24 y 36 horas se aprecia una mezcla de eritrocitos normales y lisados; finalmente, después de 36 horas todos los glóbulos rojos de la muestra problema se aprecian lisados. Antes de lisar suelen observarse ligeramente dismórficos entre las 6 y 12 horas, y muy dismórficos entre las 12 y 36 horas.

La palidez central se conserva durante las primeras seis horas, se reduce entre las 6 y 18 horas y se pierde después de las 18 horas. La periferia celular se visualiza normal durante las primeras 18 horas, palidece entre las 18 y 36 horas y se torna irreconocible después de 36 horas de la muerte de las personas (Shanker et al., 2019). Los fenómenos descritos deben acontecer más rápidamente en cadáveres no refrigerados (tabla 18).

Tabla 18

Cambios morfológicos *post mortem* en los glóbulos rojos

Tiempo después del deceso (en horas)	Integridad	Forma	Palidez central	Contorno celular
0-6	Intactos	Normal	Normal	Hemoglobinizado
6-12	Intactos	Ligeramente dismórficos	Reducida	Hemoglobinizado
12-18	Intactos	Muy dismórficos	Reducida	Hemoglobinizado
18-24	Intactos	Muy dismórficos	Perdida	Pálido
24-36	Intactos y lisados	Muy dismórficos	Perdida	Pálido
36-48	Lisados	Lisados	Perdida	Irreconocible
Más de 48	Lisados	Lisados	Perdida	Irreconocible

Nota. Adaptada de Shanker et al. (2019, p. 147).

Basado en los cambios morfológicos leucocitarios

Bajo las mismas condiciones cadavéricas de refrigeración, todas las células leucocitarias conservan sus características durante las primeras seis horas posteriores al deceso, después de ese tiempo se degradan de manera diferenciada: los eosinófilos y los monocitos comienzan a alterarse entre las 6 y 12 horas y se lisan por completo después de 12 horas; la morfología de los neutrófilos y los linfocitos se afectada, en menor o mayor medida, entre las 6 y 24 horas y comienzan a lisarse después de 24 horas (Shanker et al., 2019) (tabla 19).

Estudios experimentales sobre cadáveres no refrigerados permiten argumentar que el recuento de eosinófilos y monocitos morfológicamente identificables es imposible después de 60 horas del deceso; los neutrófilos desaparecen por completo a las 66 horas y los linfocitos son irreconocibles a las 84 horas de la muerte (Babapulle y Jayasundera, 1993).

Tabla 19

Cambios morfológicos *post mortem* en los glóbulos blancos

Tiempo después del deceso (horas)	Neutrófilos	Linfocitos	Monocitos	Eosinófilos
0-6	Normal	Normal	Normal	Normal
6-12	Ligeramente dismórficos	Ligeramente dismórficos	Muy dismórficos	Muy dismórficos
12-18	Muy dismórficos	Ligeramente dismórficos	Lisados	Lisados
18-24	Muy dismórficos	Muy dismórficos	Lisados	Lisados
24-36	Dismórficos y lisados	Lisados	Lisados	Lisados
Más de 36	Lisados	Lisados	Lisados	Lisados

Nota. Adaptada de Shanker et al. (2019, p. 148).

Basado en la velocidad de coagulación sanguínea

La capacidad de coagulación de la sangre persiste durante las primeras cuatro horas posteriores al deceso y se ralentiza con el paso del tiempo; ocurriendo de manera diferenciada en el interior y el exterior de los vasos sanguíneos. Así pues, una vez instaurada la muerte, la sangre tiende a coagular en el interior de los vasos sanguíneos de manera gradual —proporcional a la cantidad de oxígeno— y como consecuencia de la liberación de tromboplastina de las células endoteliales a medida que estas se desprenden y lisan.

Existen dos tipos de coágulos *post mortem* internos; los coágulos blancos o lardáceos (por su parecido con la grasa animal), constituidos por fibrina y que se forman al sedimentar los elementos formes, y los coágulos rojos o cruóricos (en alusión al término latino *crúor*, empleado para designar antiguamente a la hemoglobina), compuestos mayoritariamente de eritrocitos y escasa fibrina. Ambos, a diferencia de los trombos que se producen en vida, son brillantes, elásticos, suelen adquirir la forma del segmento vascular en que se forman y son poco adheribles a las paredes de los vasos (Chuaqui y González, 2019).

La sangre extraída de una persona viva coagula espontáneamente en el interior de un tubo de ensayo, debido a la activación de la llamada cascada de coagulación inducida por las microirregularidades del vidrio del contenedor, en un tiempo que oscila entre los 5 y 15 minutos (López-Santiago, 2016).

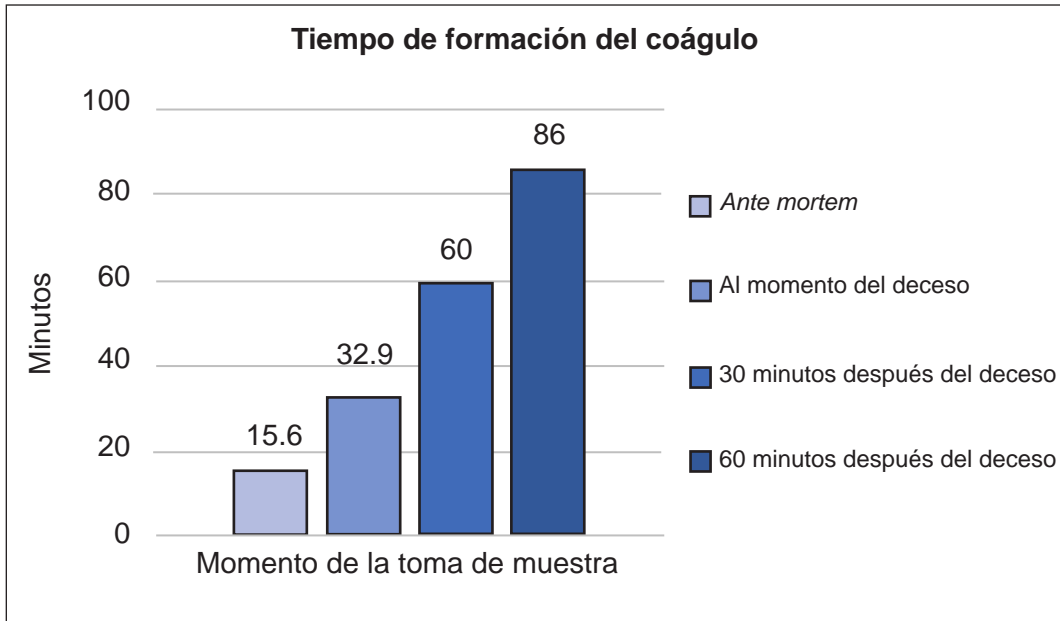
Al morir, la coagulación de su sangre *in vitro* acontece con mayor lentitud. Así pues, una muestra sanguínea tomada inmediatamente después de haberse instaurado el deceso coagula en un plazo aproximado de 30 minutos; en muestras tomadas 30 minutos después del momento de la muerte, el coágulo se forma en alrededor de 60 minutos; y si la muestra se toma a los 60 minutos de la muerte, la coagulación se produce en unos 90 minutos; desapareciendo dicha actividad al cabo de cuatro horas (Lázaro et al., 2011) (figura 129).

Los valores de referencia para el tiempo de protrombina (TP) en vida oscilan entre los 10 y 15 segundos (s) para sangre total en el adulto, y el tiempo parcial de tromboplastina (TPT) varía entre los 16 y 45 s (López-Santiago, 2016 y Ruiz et al., 2007).

Al momento de la muerte, estos valores permanecen prácticamente idénticos a los valores *ante mortem*, pero en muestras tomadas a los 30 minutos, el TP aumenta en promedio a 24 s y el TPT lo hace a 62 s; una hora después, el TP se incrementa a 42 s en promedio y el TPT a 132 s (Ruiz et al., 2011) (figura 130).

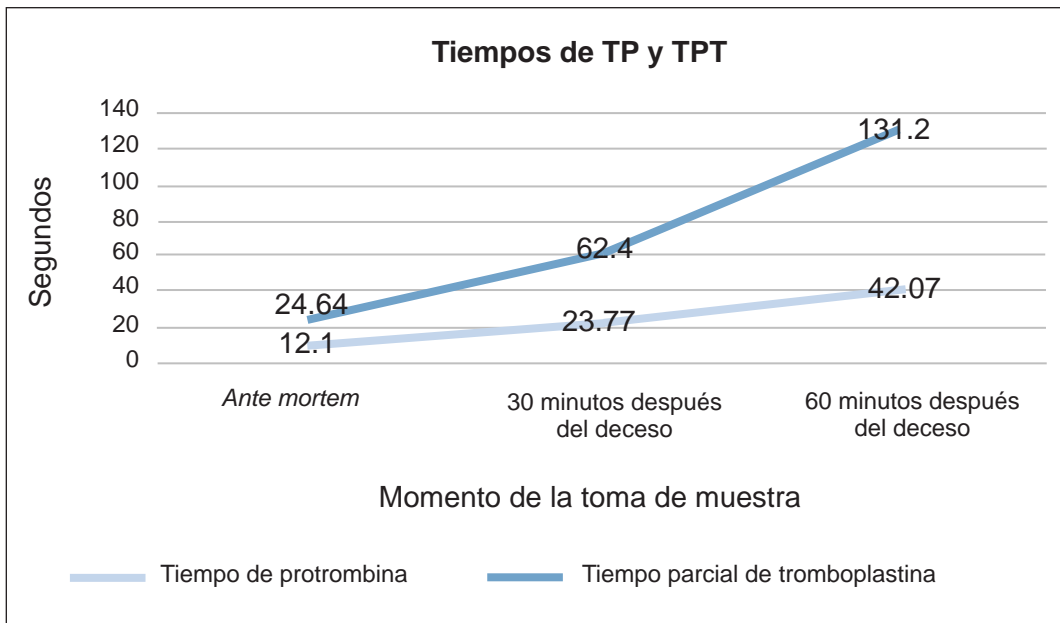
De esta manera, el momento del fallecimiento de una persona podría inferirse por las curvas de ralentización *post mortem* de la hemostasia, elaboradas a partir de los datos antes expuestos, siempre y cuando no hayan transcurrido más de cuatro horas del óbito.

Figura 129
Tiempos de formación de coágulos *post mortem*



Nota. Adaptada de Lázaro et al. (2011, p. 54).

Figura 130
Tiempos de protrombina y parciales de tromboplastina *post mortem*



Nota. Adaptada de Lázaro et al. (2011, p. 57).

Edad de la persona sangrante

El timo es un órgano linfoide ubicado entre el corazón y el esternón, se encarga de la producción, maduración y diferenciación de los linfocitos T producidos en la médula ósea. Una vez alcanzada la adolescencia, este órgano comienza a atrofiarse, persistiendo con intensidad decreciente la producción residual de linfocitos T a lo largo del resto de la vida.

Al disminuir la producción de linfocitos T decrece también la generación de los subproductos de dicho proceso, especialmente de un tipo de moléculas de cadenas cíclicas denominadas círculos de escisión de reordenamiento de los receptores de células T de señal conjunta (sjTREC, por sus siglas en inglés), empleadas para estimar, con base en su concentración en las muestras problema, la edad de las personas de quien provenga la sangre, con un margen de error de ± 8.9 años (Hombreiro, 2013; Ou et al., 2011; Zubakov et al., 2010).

Los niveles de sjTREC permanecen estables durante un plazo de hasta 18 meses, pudiéndose obtener resultados aceptables, aunque con mayor margen de error, en muestras mantenidas en condiciones de almacenamiento laboratorial durante hasta por 20 años (Ou et al., 2012).

Determinaciones médico-legales basadas en la intensidad de la hemorragia y los resultados de ciertos análisis de laboratorio clínico

Gravedad de las hemorragias

Se establece en función del volumen de sangre extravasada y su repercusión en ciertos parámetros fisiológicos, tal y como se muestra a continuación:

- a) *Hemorragias clase I*: cuando se pierde hasta el 15% del volumen total sanguíneo (alrededor de 750 ml de sangre). Son hemorragias de poca gravedad, que no suelen poner en peligro la vida y dan lugar a una ligera taquicardia de no más de 100 latidos/minuto y una frecuencia respiratoria de entre 14 y 20 respiraciones/minuto. No se presentan cambios en la presión arterial y las personas afectadas tienden a manifestarse ligeramente ansiosas.
- b) *Hemorragias clase II*: ocurren al perderse entre el 15 y 30% del volumen hemático circulante (alrededor de 750 y 1,500 ml de sangre). Se consideran hemorragias de mediana gravedad, generan frecuencias cardíacas de entre 100 y 120 latidos/minuto, ligera disminución de la presión arterial y frecuencias respiratorias de entre 20 y 30 respiraciones/minuto. Las personas lesionadas se muestran también ligeramente ansiosas.
- c) *Hemorragias clase III*: en caso de perderse rápidamente entre el 30 y 40% del volumen sanguíneo circulante (entre 1,500 a 2,000 ml de sangre). Cursan con frecuencias cardíacas de entre 120 y 140 latidos/minuto, presiones arteriales disminuidas y frecuencias respiratorias de entre 30 y 40 respiraciones/minuto. Suelen considerarse eventos graves, que ponen en peligro la vida. La mayoría de las personas afectadas presentan sudoración profusa, palidez de piel y mucosas, piel fría, cianosis distal y estados confusos de conciencia. Se requieren de maniobras terapéuticas enérgicas, entre ellas la transfusión, para evitar la irreversibilidad del cuadro.

- d) *Hemorragias clase IV*: consideradas ante la pérdida de más del 40% del volumen total sanguíneo (más de 2,000 ml de sangre). Son hemorragias muy graves e incompatibles con la vida a falta de pronta atención. Las personas lesionadas cursan con palidez, letargo o inconsciencia, con más de 140 latidos/minuto, pulso generalmente imperceptible y más de 40 respiraciones/minuto). A quienes se les considera en esta categoría suelen requerir reanimación cardiopulmonar de emergencia y control de hemorragia en quirófano; en caso contrario, todo termina en falla multiorgánica y la muerte por choque hipovolémico o hemorrágico irreversible (Mauriz et al., 2007; Parra, 2011; Ruiz, 2007).

Tiempo de supervivencia

Las hemorragias masivas son la principal causa de muerte en alrededor del 50% de las personas, especialmente jóvenes, durante la primera hora después de resultar lesionadas; mientras que el 30% de los decesos por causas violentas ocurren entre la segunda y la tercera hora posteriores al trauma (Asensio et al., 2003; Parra, 2011).

Ante una hemorragia no atendida, la hipovolemia gradualmente generada conduce a una caída en el retorno venoso y a la disminución del gasto cardíaco; en consecuencia, a un estado de franca hipoxia celular. Si la situación persiste, se llega primero a la falla multiorgánica y luego, en un plazo variable y ante la pérdida de más del 40% de la cantidad total de sangre circulante, acontece la muerte a causa del choque hipovolémico (Santos, 2016; Thews et al., 1983).

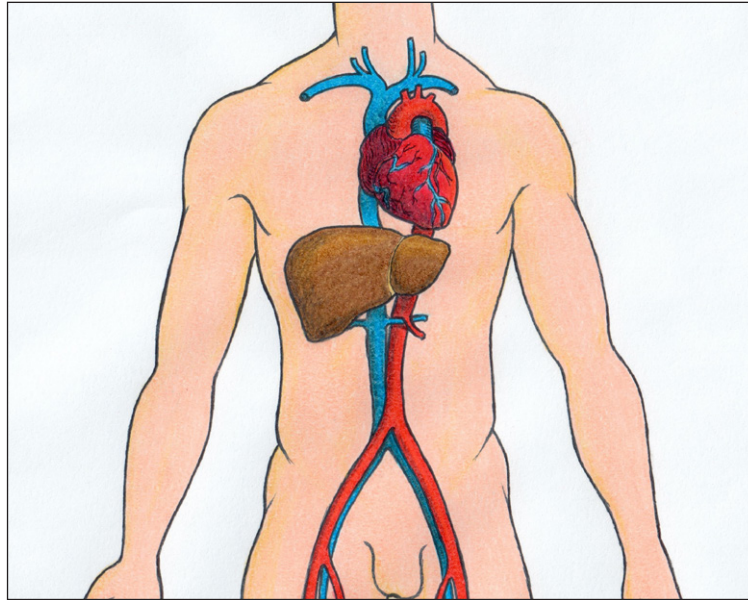
Entre las estructuras anatómicas que al resultar afectadas generan hemorragias de alto riesgo hipovolémico, se encuentra el corazón, el hígado, la aorta torácica y sus ramas principales, la aorta abdominal, la arteria mesentérica superior, las venas cava superior e inferior, así como la vena porta (Asensio et al., 2003).

El tiempo transcurrido entre el evento generador de la hemorragia y la muerte de la víctima, conocido generalmente como tiempo de supervivencia o sobrevida (Rebasa, 2005), depende de diversos factores, entre los que se encuentra su estado previo de salud, el volumen de sangre extravasada en el evento y algunos parámetros hematológicos de la víctima, tales como el valor de su hematocrito, sus cifras plaquetarias y leucocitarias, la concentración plasmática de fibrinógeno y de sus productos de degradación, el tiempo de protrombina, así como el tiempo parcial de tromboplastina activada (Quintana et al., 2003).

Si bien es posible estimar la magnitud y gravedad de prácticamente cualquier hemorragia, el conocimiento o desconocimiento del resto de los datos necesarios para calcular el tiempo de supervivencia, determinará la amplitud o estrechez de su rango de incertidumbre (figura 131).

Figura 131

Órganos y vasos sanguíneos con mayor riesgo hipovolémico



En términos exageradamente generales, se puede llegar a considerar que un adulto sano tarda entre 10 y 20 minutos en morir por choque hipovolémico al afectarse los grandes vasos sanguíneos del antebrazo, entre 5 y 10 minutos por sección de las arterias humerales, y entre 2 y 5 minutos por afectación de las venas yugulares o las arterias carótidas y femorales (figura 132).

Figura 132

Amputación de primeros orfejos con ligaduras en los pies para prolongar, con fines de tortura, el tiempo de supervivencia de la víctima



Las heridas penetrantes de corazón por proyectiles disparados por armas de fuego o instrumentos punzantes o punzocortantes, y el estallamiento cardiaco ocurrido en accidentes de tránsito terrestre, precipitaciones o aplastamientos generan hemorragias mayoritariamente incompatibles con la vida, falleciendo hasta el 90% de las víctimas en un plazo que oscila entre 3 y 10 minutos (Alvarado et al., 2016).

Las heridas por proyectiles disparados por armas de fuego penetrantes de cavidad abdominal tienen una mortalidad global del 12% si no se tratan adecuadamente (Soler, 2004).

El porcentaje de mortalidad en los desgarros o estallidos hepáticos se encuentra entre el 70 y 80%, aconteciendo el deceso en un lapso de entre 5 y 15 minutos; mientras que los del bazo oscila entre el 3 y 6% (Soler, 2004).

En caso de estallido de aneurismas cerebrales, entre el 10 y 15% de las personas afectadas mueren prácticamente de inmediato y entre el 45 y 50% fallecen en los primeros 30 días posteriores al hecho a consecuencia de las secuelas generadas (Muñoz-Guillén et al., 2013). La rotura de un aneurisma aórtico torácico genera hemorragias graves que resultan letales entre el 50 y 80% de los casos, ocurriendo esto en un plazo de entre 5 y 15 minutos (Rojas y Rojas, 2006).

En caso de estallamiento de aneurismas aórticos abdominales, el 60% de las personas afectadas mueren antes de ser atendidas, especialmente cuando el sangrado fluye libre y retroperitonealmente. Si el sangrado genera un hematoma intraperitoneal contenido, el riesgo de mortalidad inmediata disminuye al 20%.

La afectación de la vena cava inferior intrahepática puede alcanzar una mortalidad de entre el 80 y 100%, mientras que a las fracturas pélvicas abiertas se les ha estimado una letalidad de más del 50% (Soler, 2004).

Las hemorragias postparto no controladas conducen, en el 88% de los casos, a la muerte de la mujer en las primeras cuatro horas posteriores al momento de la expulsión del producto (Osakidetza-Servicio Vasco de Salud, 2011).

Causa de la muerte

Ante ciertas condiciones estresantes, dañinas, lesivas o patológicas, el organismo reacciona produciendo y liberando al torrente sanguíneo —generalmente desde el órgano o tejido afectado— ciertos tipos de compuestos químicos. Tales sustancias son conocidas como marcadores sanguíneos o plasmáticos y los valores de sus concentraciones pueden ser empleados para establecer la causa de algunos decesos, especialmente en casos de muertes súbitas, repentinas, inesperadas o en las que los hallazgos anatómopatológicos efectuados al practicar la necropsia sean escasos o inespecíficos (Jiménez, 2009; Muñoz-Guillén et al., 2013).

Entre los marcadores sanguíneos de mayor valor diagnóstico se encuentran:

- *Glucosa*: los valores *post mortem* de glucosa suelen encontrarse elevados en muertes por asfixia, hemorragia cerebral, insuficiencia cardiaca congestiva y electrocuciones, debido al estrés terminal de la víctima durante su agonía; así como en personas a las que se les aplicaron maniobras de reanimación cardiopulmonar antes de morir (Blanco y De la Calle, 2007). Los niveles de glucosa en muestras sanguíneas tomadas de las cavidades izquierdas del corazón en los ahorcados suelen superar los 600 mg/100 ml de sangre (Jiménez, 2006a), debiéndose tener en cuenta que los valores normales de esta sustancia oscilan entre los 70 y 125 mg/100 ml de sangre (Fischbach, 1991). El diagnóstico de cetoacidosis diabética como causa de muerte se infiere ante concentraciones de glucosa de más de 300 mg/dl (Palmiere, 2015) y de cuerpos cetónicos superiores a los 2.5 mmol/l de sangre cadavérica (Klaric et al., 2020). En caso de muerte por coma diabético, los niveles de glucosa en la muestra hemática pueden superar los 1,500 mg/dl y se presentan acompañados de glucosuria, cetonemia y cetonuria (Bernstein, 2011).
- *Hemoglobina glicosilada*: es una sustancia sumamente estable en la sangre del cadáver y el hallazgo de valores elevados de ella indican un deficiente control fisiológico de la glucosa durante por lo menos las cuatro semanas previas al deceso (Jiménez, 2009). En personas diabéticas, el valor *post mortem* de hemoglobina glicosilada (HbA1c) suele oscilar entre 6.5 y 10.7%; encontrándose valores de hasta alrededor de 12.4% en casos de coma diabético (Winecker et al., 2002).
- *Urea y creatinina*: debido a que sus concentraciones sanguíneas permanecen prácticamente constantes durante las primeras 24 horas después de la muerte, el hallazgo de valores elevados podría ser utilizado para determinar, en conjunción con la historia clínica y los hallazgos anatomopatológicos efectuados durante la necropsia, insuficiencia renal como causa de la muerte (Palmiere y Mangin, 2015).
- *Troponinas I y T*: se liberan en caso de daño miocárdico y sus concentraciones plasmáticas se mantienen estables hasta durante 34 horas después de la muerte. Permiten diagnosticar infartos agudos de miocardio o secundarios a electrocución en casos de tortura (Jiménez, 2009).
- *Proteínas estructurales y mediadores de la inflamación*: las concentraciones alteradas de actina, miosina, desmina y mioglobina, así como de la proteína C reactiva, el fibrinógeno y la creatina quinasa miocárdica han sido utilizadas para el diagnóstico *post mortem* de isquemia miocárdica en casos de muerte súbita (Blanco et al., 2004; Jiménez, 2009).

- *Compuestos lipídicos*: existe una marcada elevación en los niveles plasmáticos de triglicéridos, lipoproteínas de baja densidad y apolipoproteína B en casos de muertes súbitas por aterosclerosis coronaria (Jiménez, 2009).
- *Mediadores mastocitarios*: la detección y cuantificación de triptasa y N-metilhistamina en plasma mediante cromatografía líquida de alta eficacia permite evidenciar las muertes por anafilaxia (Sala, 2012).
- *Hormonas*: se han encontrado aumentos significativos en la concentración sanguínea de hormona del crecimiento en muertes súbitas infantiles asociadas al síndrome de dificultad respiratoria aguda, bajos niveles de serotonina en niños muertos mientras dormían, así como elevadas concentraciones plasmáticas de cortisol en personas muertas tras periodos agónicos estresantes (Blanco y De la Calle, 2007).

Además de la detección y cuantificación de los analitos antes referidos, resultan útiles los siguientes dos tipos de procedimientos de laboratorio:

- *Pruebas inmunológicas*: sumamente valiosas para el diagnóstico *post mortem* de algunas enfermedades infecciosas, entre las que se encuentran el síndrome de inmunodeficiencia adquirida, la hepatitis C, las infecciones causadas por adenovirus y retrovirus, la miocarditis vírica y la aortitis sifilítica (Edler et al., 2011; Gormsen, 1984).
- *Cultivos bacteriológicos*: especialmente útiles en caso de muertes súbitas o inesperadas de niños, jóvenes o adultos probablemente infecciosas, en decesos por presuntas infecciones intrahospitalarias, muertes con sospecha de miocarditis infecciosa bacteria o viral y fallecimientos asociados a la transmisión culposa o dolosa de agentes patógenos (Fernández-Rodríguez et al., 2013).

Los resultados indican sólo la presencia del agente infeccioso en la persona fallecida al momento de su muerte, sin poderse establecer o descartar su relación directa e inmediata con la causa del deceso, por lo que se deben complementar con los hallazgos histopatológicos efectuados en el cadáver.

Entre los patógenos más comúnmente involucrados en este tipo de decesos se encuentran, en orden de incidencia descendente, el *Staphylococcus aureus*, la *Escherichia coli*, los estafilococos coagulasa negativos, la *Klebsiella pneumoniae*, el *Enterococcus faecalis*, la *Pseudomonas aeruginosa*, los *Streptococcus pneumoniae*, *viridans* y *pyogenes*, la *Candida albicans*, el *Enterobacter cloacae*, el *Bacteroides fragilis* y cada vez con menor frecuencia el *Haemophilus influenzae*.

En caso de considerarlo necesario y si los recursos humanos y materiales lo permiten, pueden solicitarse análisis moleculares para confirmar o descartar infecciones bacterianas por meningococos, neumococos o estreptococos del grupo B.

Riesgo biológico de los indicios hemáticos

Concepto de riesgo biológico

Término empleado para referir la amenaza al estado de salud de una persona tras resultar expuesta a ciertos organismos o a las sustancias o los productos derivados de ellos, capaces de desencadenar procesos alérgicos, tóxicos o infecciosos (Junta de Castilla y León, 1997).

Factores causales del riesgo biológico

La sangre, al igual que el semen, las secreciones vaginales, el calostro, la leche materna, la saliva y los líquidos cefalorraquídeo, sinovial, peritoneal, pericárdico, pleural, preeyaculatorio y amniótico deben ser considerados como fluidos corporales potencialmente infectantes (Mullins, 2002; NOM-010-SSA2-2010) o de alto riesgo biológico (Gutiérrez y Ballester, 2016).

Existe al menos una veintena de agentes patógenos que pueden transmitirse a través de la sangre o mediante objetos que tuvieron contacto con ella, entre ellos se encuentra el *Treponema pallidum* (agente causal de la sífilis), el *Plasmodium falciparum* y el *Trypanosoma cruzi* (productores de la malaria y la enfermedad de Chagas), los virus del herpes simple tipo 1 y 2, el *Histoplasma capsulatum*, la *Candida albicans* y el *Aspergillus fumigatus* (productores de la histoplasmosis, la candidiasis y la aspergilosis, respectivamente), la *Brucella melitensis* y la *Coxiella burnetii* (agentes causales en los humanos de la fiebre de Malta y fiebre Q), la *Corynebacterium diphtheriae* (que produce la difteria), los virus de la hepatitis B y C, así como el virus de la inmunodeficiencia humana (Guerrero, 2011; Prüss et al., 1999).

Vías de acceso de los factores causales

Los agentes infecciosos presentes en la sangre pueden ingresar al cuerpo humano por cuatro vías: inhalación, ingestión, contacto e inoculación percutánea (Departamento de Justicia de los Estados Unidos, 2017):

- *Por inhalación:* suele ocurrir durante la obtención de muestras hemáticas secas por raspado, al procesar manchas de sangre en las que se ha desarrollado moho, al generarse aerosoles durante la centrifugación en el laboratorio de muestras sanguíneas o al seccionar piezas óseas con sierras eléctricas en la práctica de las necropsias (figura 133).

Figura 133

Actividad pericial con riesgo biológico inhalatorio



- *Por ingestión:* puede ocurrir durante el pipeteo de muestras líquidas o al llevarse los dedos a la boca luego de manipular indicios hemáticos.
- *Por contacto:* puede ocurrir tras alguna salpicadura de sangre en la conjuntiva ocular y las mucosas nasal y oral indemnes o en el tejido epitelial lesionado durante el manejo de los cadáveres en el lugar de intervención o en las instalaciones del servicio médico forense (figura 134).
- *Por inoculación percutánea:* podría acontecer tras alguna lesión punzante, cortante o punzocortante al manipular agujas, cuchillos, tijeras, fragmentos deformados de camisa de cobre de proyectiles disparados por arma de fuego y astillas o bordes afilados de huesos fracturados.

Figura 134
Actividad pericial con riesgo biológico por contacto



Riesgos de infección

El riesgo biológico inherente a la recolección, manipulación, transporte, análisis, almacenaje y disposición final de los indicios hemáticos depende de las condiciones circunstanciales de la exposición, la carga microbiana y el tipo de agente patógeno presente en ellos; así como del esquema de vacunación y el estado de salud de la persona involucrada en el percance (Wilburn y Eijkemans, 2004).

Entre los riesgos de infección de mayor gravedad destacan los relacionados con los virus de la hepatitis B, la hepatitis C y la inmunodeficiencia humana.

Riesgo de infección por el virus de la hepatitis B

El riesgo de infección después de un pinchazo con una aguja hipodérmica con sangre contaminada con el virus de la hepatitis B (VHB) oscila entre el 0.3 y 3% en personas vacunadas y alcanza valores de hasta 62% en personas no vacunadas (Organización Mundial de la Salud, 2011). No existen reportes de infecciones por contacto en piel indemne, pero sí en casos con mucosas intactas y zonas lesionadas de la piel (Pérez y Alonso, 2017; Vergara et al., 2018).

El VHB puede permanecer activo durante más de una semana en manchas de sangre seca puestas sobre prácticamente cualquier superficie (Bevel y Gardner, 2008; Mullins, 2002; Prüss, 1999).

Riesgo de infección por el virus de la hepatitis C

La incidencia de seroconversión por inoculación percutánea con material contaminado con el virus de la hepatitis C (VHC) oscila entre el 0.1 y 7% (Vergara et al., 2018).

No existen casos documentados de transmisión de este virus por contacto con piel intacta y lesionada; siendo poco frecuente, aunque sin datos cuantificables, el contagio a través de las mucosas (Pérez y Alonso, 2017).

El VHC puede mantener su patogenicidad hasta por seis semanas a temperaturas que oscilen entre los 4 y los 22°C. A mayores temperaturas, su capacidad infectante se reduce a no más de siete días (Paintsil et al., 2014).

Riesgo de infección por el virus de la inmunodeficiencia humana

El riesgo de infección percutánea por el virus de la inmunodeficiencia humana (VIH) es de entre el 0.2 y 0.5%; de aproximadamente el 0.1% en caso de contacto con mucosas íntegras y de menos del 0.1% al contacto con piel no intacta (Bevel y Gardner, 2008; Henderson et al., 1990; Vergara et al., 2018).

No existen casos documentados de transmisión tras el contacto de la piel intacta con pequeñas cantidades de sangre (Pérez y Alonso, 2017).

El riesgo en un pinchazo se incrementa en proporción directa a la profundidad de la herida, el diámetro de la aguja, la presencia de sangre visible en el objeto productor de la lesión, la carga viral en el fluido contaminante y el no empleo de guantes. En caso de contacto con alguna mucosa, importa el volumen y el tiempo de exposición al fluido biológico (Osakidetza-Servicio Vasco de Salud, 2009).

Suele considerarse que entre el 90 y 99% de los virus de la inmunodeficiencia humana existentes en una muestra de sangre extravasada se inactivan, dependiendo de las condiciones medioambientales, en un plazo que oscila entre algunos minutos a cinco días, pudiendo permanecer activo hasta por 15 días en las pequeñas cantidades de sangre remanentes en el interior de una aguja hipodérmica (Bevel y Gardner, 2008).

Medidas de bioseguridad

El peligro de infección por exposición a la sangre (y cualquier otro material de alto riesgo biológico) puede minimizarse al adoptar técnicas seguras de operatividad y haciendo uso del equipo de protección personal mínimo necesario para la actividad a realizar (Bevel y Gardner, 2008).

Prevención de riesgos por inhalación

El riesgo de infección por inhalación se reduce con el uso de mascarillas filtrantes desechables, confeccionadas con materiales resistentes a líquidos, ajustables al rostro, sin válvulas y con eficacia de filtración de por lo menos 95% de las partículas con hasta 0.3 μm de diámetro (tipo N95 según la normatividad estadounidense o FFP3 según las normas europeas, véase figura 135). A estas mascarillas se les estima una vida útil segura de hasta ocho horas (National Institute for Occupational Safety and Health, 2018).



Figura 135

Mascarilla filtrante desechable

Prevención de riesgos por ingestión

La ingestión accidental de patógenos por vía oral puede evitarse con la automatización del trasvase de líquidos en los laboratorios, el uso de cubrebocas desechables convencionales y el correcto lavado de manos inmediatamente después de las diligencias realizadas.

Prevención de riesgos por contacto

Los riesgos por salpicaduras de sangre a la conjuntiva ocular y las mucosas oral y nasal pueden abatirse con el uso de cubrebocas convencionales, anteojos de seguridad ajustables al rostro y caretas protectoras faciales (NOM-013-SSA2-1994) (figura 136).

Prevención de riesgos por inoculación percutánea

La inoculación percutánea se previene extremando las precauciones al manipular los objetos punzantes, cortantes y punzocortantes y protegiendo las manos con guantes del material que mayor protección ofrezca al nivel del riesgo que se corra.



Figura 136

Equipo de protección personal contra salpicaduras en la cara

Los guantes pueden ser de látex o nitrilo, no necesariamente estériles, pero sí preferentemente sin polvo. Los guantes de látex ofrecen mayor sensibilidad, elasticidad, adaptabilidad y comodidad, pero menor resistencia a los pinchazos que los de nitrilo; presentando prácticamente la misma tasa de permeación e igual resistencia al desgarramiento y a la penetración de microorganismos (Mazón y Orriols, 2018). Los dos tipos de guantes tienen un tiempo de uso seguro de entre 15 y 30 minutos (Boardwalklabel, s.f.), por lo que deben cambiarse con esa regularidad a lo largo del trabajo realizado (figura 137).

Figura 137
Equipo de protección personal contra
inoculación percutánea



Existen opiniones encontradas en cuanto al usar o no usar doble guante (Serra, 2016), siendo aconsejable considerar el aforismo jurídico *quod abundat non nocet*: lo que abunda no daña.

El manejo de objetos punzantes o cortantes de alto riesgo infeccioso obligará el uso de guantes de carnaza y en casos extremos, por ejemplo durante la necropsia de una persona seropositiva al VIH, el empleo de guantes de kevlar o de malla de acero inoxidable (Scharlab, 2020).

Inmediatamente después de quitarse los guantes, cualquiera que haya sido el tipo utilizado, habrá de proceder al lavado de manos con agua y jabón.

Al término de cada diligencia, el equipo, instrumental y material no desechable empleado en el procesamiento deberá lavarse con agua y jabón, para luego ser desinfectados con hipoclorito de sodio al 0.5%, etanol al 70% o agua oxigenada (Flores, 2017; NOM-010-SSA2-2010; Uchikawa et al., 2013).

Diligencias profilácticas tras exposiciones de riesgo

Cuando, a pesar de las precauciones tomadas, se presente alguna eventualidad de alto riesgo infeccioso, como en caso de salpicaduras de sangre líquida, de heridas por punción o corte, de ingestión o de salpicadura en la boca o en los ojos, deberá recurrirse a las siguientes opciones:

En caso de salpicaduras de sangre líquida

- *Sobre piel indemne*: lavar con jabón y abundante agua corriente.
- *Sobre mucosas indemnes*: lavar inmediatamente con abundante agua corriente durante 10 o 15 minutos.
- *Sobre piel no indemne*: lavar inmediatamente con jabón desinfectante y abundante agua corriente durante dos o tres minutos y sin frotar (Organización Mundial de la Salud, 2011); luego aplicar en la zona afectada algún compuesto con propiedades antisépticas (Gutiérrez y Ballester, 2016; Pérez y Alonso, 2017), preferentemente a base de iodopovidona o clorhexidina.

En caso de heridas por punción o corte

Inmediatamente después del incidente habrá de fomentarse, sin presionar ni frotar y preferentemente bajo algún chorro de agua, el sangrado activo en la lesión durante por lo menos 30 segundos; al cabo de este tiempo, se lava la zona afectada con jabón desinfectante a base de alcoholes, yodo, hipoclorito de sodio, permanganato de potasio o fenol; y, tras secarse el área, se aplica algún antiséptico que contenga iodopovidona o clorhexidina, cubriéndose la herida con un apósito impermeable.

En caso de ingestión o salpicadura en la boca

Realizar enjuagues bucales con abundante cantidad de agua oxigenada al 3%.

En caso de salpicaduras en los ojos

Lavar con abundante cantidad de solución fisiológica, debiendo retirar lentes de contacto si usa para optimizar la tarea (Giannuzzi, 2006).

Ante una exposición de riesgo biológico como las antes referidas, el hecho debe reportarse a las entidades laborales o sanitarias correspondientes, a efecto de realizar las evaluaciones clínicas y de laboratorio necesarias para establecer el estado de salud de la persona afectada al momento del percance e instaurar el tratamiento profiláctico postexposición que se estime conveniente; debiéndose dar seguimiento médico durante un plazo de hasta seis meses, con la finalidad de monitorear su evolución (NOM-010-SSA2-2010; Pérez y Alonso, 2017; Osakidetza-Servicio Vasco de Salud, 2009; Vergara et al., 2018).

Disposición final de los indicios hemáticos

Fundamentos legales y normativos

El *Acuerdo A/009/15* por el que se establecen las directrices que deberán observar los servidores públicos que intervengan en materia de cadena de custodia y la *Guía nacional de cadena de custodia*, emitidos por la entonces Procuraduría General de la República y el Secretariado Ejecutivo del Sistema de Seguridad Pública de nuestro país, estipulan que la disposición final de los indicios o elementos materiales probatorios será determinada por las autoridades ministeriales y judiciales competentes; pudiéndose recurrir al decomiso, devolución, destrucción, abandono, extinción de dominio o cualquier otro que determine la ley (PGR, 2015; SESSP, 2015).

Así pues, al concluir su utilidad procesal, los indicios hemáticos recolectados que obren en los lugares destinados para su resguardo tendrán que ser procesados finalmente, según lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, como residuos peligrosos biológico-infecciosos (RPBI).

Diligencias procedimentales

La normatividad sanitaria antes aludida considera, atendiendo las características físicas y la potencialidad infecciosa de estos elementos indiciarios, las siguientes diligencias para su destrucción: separación y envasado; recolección y traslado a centros de acopio autorizados; desinfección, esterilización e inutilización y disposición final.

Separación y envasado

Los indicios hemáticos deberán ser separados y envasados, de acuerdo con Castañeda et al. (2007), bajo las siguientes directrices:

- La sangre líquida puede ser colectada en recipientes rígidos de polipropileno, en color rojo y con tapa hermética, resistentes a las fracturas y pérdidas de contenido, con una resistencia de penetración de por lo menos 12.5 N, destructibles por métodos físicos y con el símbolo universal de riesgo biológico (figura 138) y

la leyenda “RESIDUOS PELIGROSOS LÍQUIDOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS” impresos al exterior.

- Los tubos de ensayo de plástico, las jeringas sin aguja y cualquier tipo de recipientes desechables que contengan sangre se envasarán en bolsas translúcidas de polietileno, también en color rojo, impermeables, con un grosor mínimo de 0.002 pulgadas (calibre 200) y el símbolo universal de riesgo biológico y la leyenda “RESIDUOS PELIGROSOS BIOLÓGICO-INFECCIOSOS” impresos al exterior (figura 139).
- Los tubos de ensayo de vidrio, las jeringas con aguja y las hojas de bisturí habrán de ser colocados en contenedores rígidos de polipropileno de color rojo, que permitan verificar el volumen ocupado en el mismo; resistentes a fracturas y pérdidas de su contenido al caerse y destructibles por métodos físicos; con separador de agujas y abertura para depósito con tapa de ensamble seguro y cierre permanente; así como con el símbolo universal de riesgo biológico y la leyenda “RESIDUOS PELIGROSOS PUNZOCORTANTES BIOLÓGICO-INFECCIOSOS” impresos al exterior (figura 140) (Mullins, 2002).
- Si bien la sangre seca no se considera un residuo peligroso biológico-infeccioso (Castañeda et al., 2007), los hisopos, las porciones de gasas o papel filtro y las prendas de vestir con este tipo de manchas deberán también envasarse en bolsas translúcidas de polietileno color rojo, con las características técnicas antes referidas para su posterior incineración (Mullins, 2002).

Ningún contenedor de residuos peligrosos será llenado a más del 80% de su capacidad; tampoco podrán ser abiertos, vaciados, reutilizados ni compactados; y su tiempo máximo

Figura 138
Símbolo universal de riesgo biológico



Nota. Obtenida de Silsor (2006).

Figura 139
Bolsas de plástico para la recolección de tubos de ensayo de plástico, jeringas sin aguja y otros recipientes que contengan muestras hemáticas



Figura 140
Recipiente de plástico para la recolección de objetos punzantes, cortantes o punzocortantes que tuvieron contacto con sangre



de permanencia en el almacén temporal del establecimiento generador no debe sobrepasar los 30 días (Castañeda et al., 2007).

Las muestras de sangre líquida podrán ser inactivadas, según lo establecido en la Norma Oficial Mexicana NOM-253-SSA1-2012, relacionada con la disposición de sangre humana y sus componentes con fines terapéuticos, para ser vertidas al sistema de descargas residuales de la entidad institucional que las haya resguardado. El procedimiento de inactivación a utilizar deberá ser presentado para su autorización a la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT), debidamente fundamentado y respaldado por protocolos de evaluación de resultados que sustenten su eficacia. La técnica consiste, simple y sencillamente, en adicionar 100 ml de alguna solución de hipoclorito de sodio (NaClO), en concentraciones que oscilen entre el 4 y 10% por cada litro de sangre por inactivar, contenida en un recipiente destinado especialmente para ello. La inactivación microbiana acontecerá en un plazo nunca menor a los 60 minutos, recomendándose agitar la mezcla así preparada al menos cada 20 minutos para eficientizar el proceso (Guerrero, 2011).

Los coágulos o los remanentes hemáticos que no se hayan disuelto durante la inactivación deberán ser dispuestos en bolsas de plástico rojo; el resto de la mezcla podrá verterse directamente a la tarja disponible del lugar.

Recolección y traslado a centros de acopio autorizados

Habiendo dado cumplimiento a los requisitos de envasado y etiquetado antes descritos, los elementos materiales probatorios podrán ser recogidos por empresas especializadas en el transporte, tratamiento y disposición final de residuos peligrosos, debidamente autorizadas por la Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y la Secretaría de Infraestructura, Comunicaciones y Transportes (SICT).

Si la entidad o dependencia que pretende deshacerse de los indicios se encuentra registrada ante las instancias sanitarias estatales y municipales correspondientes como microgeneradora de residuos peligrosos (por generar menos de 400 kg o su equivalente en otra unidad de medida de estos al año), podrá hacerlos llegar por sus propios medios, según lo establecido en la Ley General para la Prevención y Gestión Integral de los Residuos, a los centros de acopio autorizados para su destrucción.

Desinfección, esterilización e inutilización

Ya en las instalaciones de las empresas autorizadas para ello, los residuos peligrosos serán sometidos a diferentes procedimientos con la finalidad de eliminar sus características infecciosas y hacerlos materialmente irreconocibles. Entre los métodos aplicables para la desinfección y esterilización de los desechos, se encuentran la incineración, el uso de sustancias químicas, la irradiación con microondas y el empleo de calor húmedo. Además

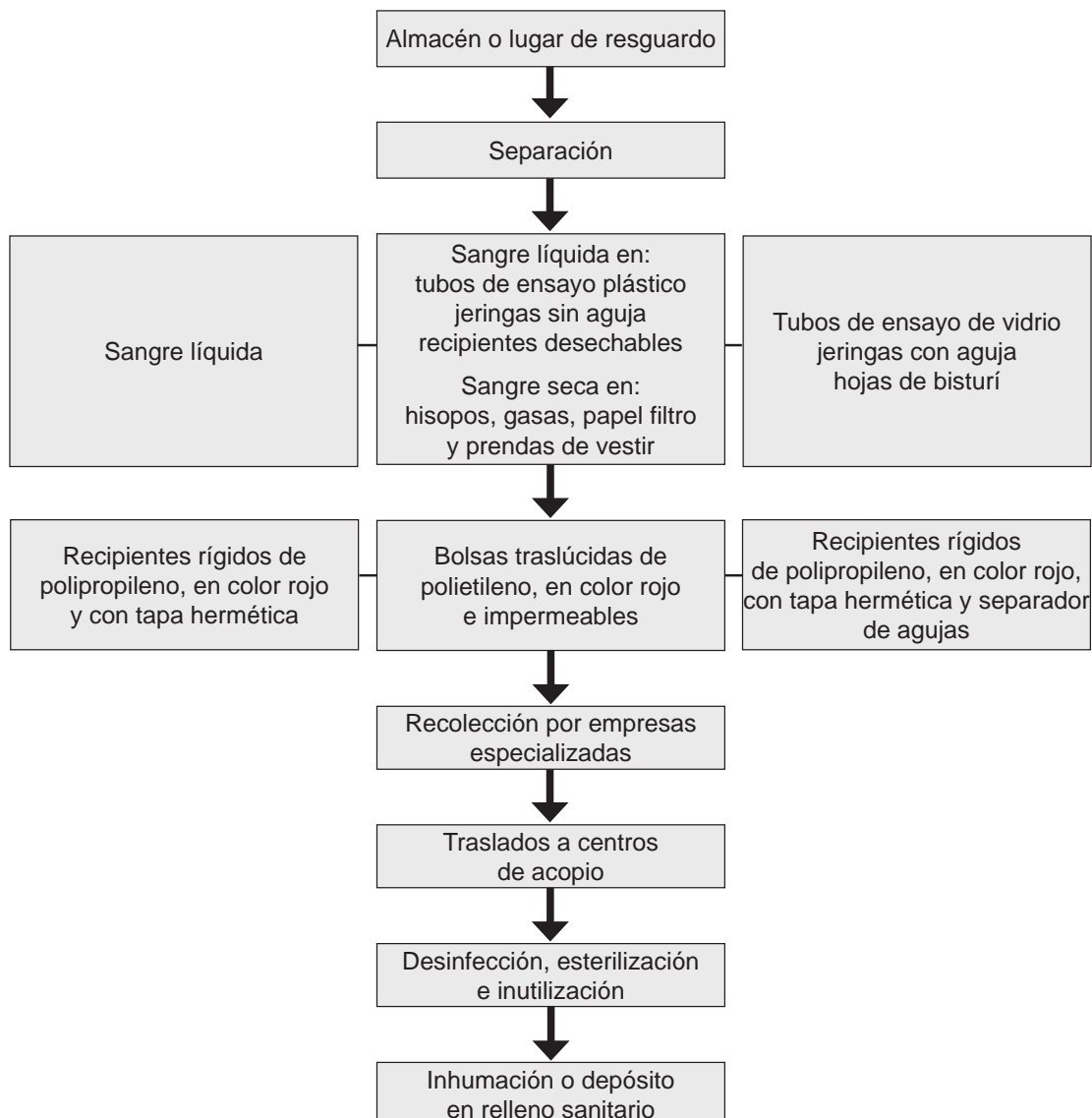
de eliminar la potencialidad infecciosa de los residuos tratados, la incineración los hace simultáneamente irreconocibles, lo que no sucede con los otros procedimientos. En caso de no ser incinerados, los desechos deberán triturarse y aglutinarse con yeso, brea, adhesivos, resinas epóxicas, sustancias bituminosas o cualquier otro producto que permita formar un amasijo con ellos (Castañeda et al., 2007).

Disposición final

Siendo entonces calificados como residuos no peligrosos, podrán ser inhumados o depositados en rellenos sanitarios u otros sitios autorizados por las autoridades correspondientes sin producir ya ningún daño a la salud ni al medio ambiente (figura 141).

Figura 141

Procesamiento y destino final de los indicios hemáticos



Sustitutos de sangre humana para actividades de capacitación y adiestramiento en el ámbito forense

Concepto

Son sustancias líquidas, naturales o preparadas, que reproducen, en menor o mayor medida, el aspecto y las propiedades de la sangre humana al ser utilizadas en actividades prácticas llevadas a cabo durante la formación inicial, continua y de especialización impartida a las personas interesadas en las ciencias forenses.

Campo de aplicación

Se utilizan en el montaje de lugares de intervención simulados, con la finalidad de ensayar la descripción, documentación, muestreo y embalaje de los indicios hemáticos ahí encontrados; practicar las técnicas procedimentales aplicables a la detección de sangre en el lugar del hallazgo o de los hechos; así como desarrollar las habilidades necesarias para el análisis y la interpretación de los patrones de las manchas sanguíneas.

Ventajas de su empleo

Permiten solventar los inconvenientes que se presentan al usar sangre humana en las actividades académicas o de entrenamiento; de entre los que sobresale la dificultad para disponer de ella en grandes cantidades y, en especial, el riesgo biológico que conlleva su manejo.

Productos utilizables

Las sustancias empleadas para estos fines varían en costo, facilidad de preparación o adquisición y grado de similitud con la sangre humana, pudiéndose clasificar en tres categorías de preparación: caseras, comerciales y de laboratorio.

Preparaciones caseras

Sumamente útiles en actividades académicas en las que sólo se requiera representar, sin mayores pretensiones, la existencia de manchas de sangre en la escena montada.

Pueden prepararse empleando miel de abeja, maple o agave, y gel fijador para el cabello, teñidos con colorantes alimentarios; de acuerdo con las proporciones indicadas a continuación:

Preparado a base de miel

Ingredientes	Cantidad
Miel (de abeja, maple o agave)	3 cucharadas
Agua	1 cucharada
Colorante alimentario rojo	20 gotas
Colorante alimentario negro o azul	2 gotas

Se obtiene un producto no tóxico, comestible, viscoso y que puede llegar a generar manchas en la piel y la ropa del usuario a veces difíciles de eliminar. El tono de la mezcla preparada variará de una marca de colorante a otra (figura 142).

Figura 142

Mancha sobre superficie metálica generada con un sustituto de sangre casero preparado a base de miel de maple.



Preparado a base de gel para cabello

Ingredientes	Cantidad
Gel fijador para el cabello	2 cucharadas
Agua	12 cucharadas
Fécula de maíz	1 cucharada
Colorante alimentario rojo	30 gotas
Colorante alimentario negro o azul	6 gotas

El producto obtenido no es tóxico, pero tampoco comestible, es más viscoso y espeso que la preparación a base de miel y produce manchas en la piel y la ropa del usuario que pueden llegar a requerir, dependiendo de la marca de colorante alimentario empleado, del uso de vinagre y agentes limpiadores comerciales con oxígeno activo para su total eliminación (figura 143).

Figura 143

Mancha sobre superficie metálica generada con el sustituto de sangre casero preparado con gel fijador para el cabello



Preparaciones comerciales

Existen diversas empresas especializadas en la producción y distribución de consumibles para las entidades institucionales dedicadas a las ciencias forenses que ofrecen los siguientes dos tipos de productos: *Synthetic blood* y *Spatter blood*.

Synthetic blood

Es una solución acuosa de hemoglobina, diversos aminoácidos y otros compuestos no tóxicos, que reproduce la apariencia y algunas propiedades químicas de la sangre. Sus manchas reaccionan positivamente al ser sometidas a las pruebas del luminol, *Bluestar*, fenoltaleína y cristalización de Takayama y pueden aplicárseles las técnicas de mejora de huellas lofoscópicas a base de leuco cristal violeta o negro de amido (figura 144). No se recomienda para la simulación o reproducción de patrones de manchas hemáticas (Sirchie, 2013).

Spatter blood

Líquido preparado con materias primas de grado alimenticio y que reproduce el aspecto y algunas propiedades físicas de la sangre humana (entre ellas el color, la densidad, la viscosidad y la adherencia); ampliamente recomendado para ser utilizado en la producción de manchas de aparente naturaleza hemática con la intención de practicar su documentación y la interpretación de sus patrones (figura 145). No produce resultados positivos al ser sometido a las pruebas químicas para la identificación de sangre (Sirchie, 2013).

Preparaciones de laboratorio

Son soluciones no comerciales que reproducen las cualidades físicas, químicas y aglutinantes de la sangre humana; de entre las formulaciones incluidas en este grupo de sustitutos sanguíneos destacan los preparados de Millington, de Lee y de Harrison.

Preparado de Millington

Se elabora con productos económicos y de fácil adquisición; dando lugar a una solución con características físicas que genera patrones de manchas producidas por goteo, exhalación, proyección y desprendimiento extremadamente similares a los de la sangre humana. Los componentes requeridos para su preparación son:

Figura 144
Sustituto sintético de
sangre



Nota. Obtenida de Sirchie (2013).

Figura 145
Sustituto de sangre para
análisis de patrones de
manchas



Nota. Obtenida de Sirchie (2013).

Ingredientes	Cantidad
Harina de trigo con levadura química	13 g
Cloruro de sodio	1 g
Glicerina	1 ml
Jarabe de fresa	1 ml
Colorante alimentario rojo	1 ml
Agua destilada	183 ml

Resulta particularmente útil en actividades de capacitación y adiestramiento relacionadas con la interpretación de patrones de manchas hemáticas (Millington, 2000).

Preparado de Lee

Es un producto de composición compleja con color, viscosidad, densidad y tensión superficial extremadamente similares a los de la sangre humana, produce patrones de goteo con parecidos morfológicos que superan a los de los productos comerciales contra los que ha sido comparado.

Ingredientes	Cantidad	Ingredientes	Cantidad
Mezcla de aminoácidos	45	Cloruro de sodio	0.90
Albúmina de suero bovino	1	Colorante de alquitrán R 504	1
Hemoglobina de sangre bovina	0.15	Colorante de alquitrán V 401	0.25
Ferricianuro de potasio	2.3	Fenoxietanol	0.40
Ácido hialurónico	22	Agua destilada	27

La mezcla de aminoácidos antes referida contiene los siguientes productos químicos:

Ingredientes	Cantidad	Ingredientes	Cantidad
L-Serina	5.1654	L-Histidina	0.7695
Glicina	3.0992	L-Valina	0.5165
DL-Alanina	1.5496	Cloruro de sodio	34.7873
L-Lisina	2.0556	Cloruro de magnesio	0.0002
L-Leucina	0.5165	Cloruro de calcio anhidro	0.0008
L-Treonina	0.7695	Cloruro de zinc	0.0001
L-Asparagina	0.7695		

Para su preparación, se añade primero el agua destilada y el ácido hialurónico a la mezcla de aminoácidos y se integran por agitación; luego se agrega el cloruro de sodio, el ferricianuro de potasio, así como la hemoglobina y la albúmina de origen bovino, y se mezclan también mediante agitación. La solución resultante se deja en reposo, a temperatura ambiente, por aproximadamente una hora o hasta que la capa de burbujas e impurezas se separe de la parte inferior.

Luego de retirar el sobrenadante, se añaden los colorantes en las proporciones indicadas y se agita para homogeneizar. Al cabo de aproximadamente una hora más de reposo, se elimina la capa sobrenadante de burbujas e impurezas y se agrega finalmente el fenoxietanol para que actúe como conservador de la solución preparada (Lee et al., 2020).

Preparados de Harrison

Son soluciones acuosas de oxisales que, en presencia de ácidos inorgánicos, reaccionan de manera similar a como lo hace la sangre en las pruebas de tipificación.

Sustituto de sangre tipo A

Ingredientes	Cantidad
Solución acuosa de nitrato de plata 0.1 M	10 ml
Glicerina	1 ml
Colorante alimentario rojo	5 gotas

Sustituto de sangre tipo B

Ingredientes	Cantidad
Solución acuosa de nitrato de bario 0.1 M	10 ml
Glicerina	1 ml
Colorante alimentario rojo	5 gotas

Sustituto de sangre tipo AB

Ingredientes	Cantidad
Solución acuosa de nitrato de plata 0.1 M	5 ml
Solución acuosa de nitrato de bario 0.1 M	5 ml
Glicerina	1 ml
Colorante alimentario rojo	5 gotas

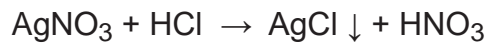
Sustituto de sangre tipo O

Ingredientes	Cantidad
Agua destilada	10 ml
Glicerina	1 ml
Colorante alimentario rojo	5 gotas

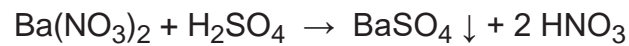
Los sustitutos preparados se hacen reaccionar durante las sesiones prácticas planeadas con una solución acuosa de ácido clorhídrico (2 M), que actuará como suero anti-A, y una solución acuosa también 2 M de ácido sulfúrico, que hará la función de suero anti-B (Harrison, 2015).

La adición de las diluciones ácidas da lugar a precipitados específicos de cloruro de plata y sulfato de bario en las muestras de los sustitutos de sangre tipo A y B, respectivamente; ambos precipitados en las muestras ensayadas del sustituto de sangre tipo AB; y ningún precipitado en las muestras del sustituto de sangre tipo O, tal y como se muestra a continuación:

Reacción química al tipificar el sustituto de sangre tipo A:



Reacción química al tipificar el sustituto de sangre tipo B:



En ambas reacciones, las flechas hacia abajo que se aprecian a la derecha del cloruro de plata y el sulfato de bario dan cuenta de los productos que precipitan en cada reacción.

Sangre animal

De entre las distintas especies animales disponibles, el cerdo posee la sangre con propiedades físicas y reológicas más parecidas a la del ser humano; por tal razón y con el objetivo de garantizar tales semejanzas, especialmente si la muestra se requiere para el adiestramiento en el análisis de los patrones de manchas hemáticas, la sangre deberá ser extraída por venopunción de la vena yugular externa del espécimen elegido, y recolectada en tubos de recogida directa o al vacío con citrato de sodio, fosfato de sodio, dextrosa y adenina (CPDA-1 o CPDA-2) como anticoagulante; conservando sus propiedades por un máximo de 20 días si permanece almacenada a una temperatura de 4 °C (Sparer, 2016).

Terminología propuesta por la *International Association of Bloodstain Pattern Analysts* (IABPA)

Tras varios años de debates, el *Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis* (SWGSTAIN) publicó en abril de 2009 una lista de términos recomendados para ser usados al enseñar, discutir, escribir o testificar sobre el análisis de patrones de manchas de sangre. Seis meses después, los miembros de la *International Association of Bloodstain Pattern Analysts* (IABPA) votaron a favor de adoptarla también como su terminología recomendada; reconociendo que, dadas sus limitaciones, algunos analistas de patrones de manchas hemáticas han creado sus propios métodos de clasificación y sistemas de nomenclatura.

El listado considera los siguientes términos (International Association of Bloodstain Pattern Analysts, 2010; Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis, 2010):

Accompanying drop | **gota acompañante o de acompañamiento:** pequeña gota de sangre generada como subproducto de la formación de otra.

Altered stain | **mancha alterada:** mancha de sangre con características que indican que ha tenido un cambio físico.

Angle of impact | **ángulo de impacto:** ángulo agudo (alfa), relativo al plano de un objetivo con el que una gota de sangre impacta en él.

Area of convergence | **área de convergencia:** área que contiene las intersecciones generadas por líneas trazadas a lo largo de los ejes largos de las manchas individuales y que indican, en dos dimensiones, la ubicación de la fuente de sangre.

Area of origin | **área de origen:** localización tridimensional del sitio desde el que se originaron las salpicaduras.

Backscatter pattern | **patrón de salpicadura de retorno:** patrón producido por gotas de sangre desplazadas en dirección opuesta a la fuerza externa aplicada, se asocian con heridas de entrada originadas por proyectiles.

Blood clot | **coágulo de sangre**: masa gelatinosa formada por un mecanismo complejo que involucra glóbulos rojos, fibrinógeno, plaquetas y otros factores del proceso de coagulación.

Bloodstain | **mancha de sangre**: depósito de sangre en una superficie.

Bloodstain pattern (patrón de mancha de sangre): agrupación o distribución de manchas de sangre que indica —por su forma, orden o disposición— la manera en que se depositó.

Bubble ring | **anillo de burbuja**: contorno dentro de una mancha de sangre resultante del aire en la sangre.

Cast-off pattern | **patrón de desprendimiento**: patrón de mancha resultante de las gotas de sangre liberadas de un objeto debido a su movimiento.

Cessation cast-off pattern | **cese de patrón de desprendimiento**: patrón resultante de las gotas de sangre liberadas de un objeto en rápida desaceleración.

Directionality | **direccionalidad**: característica de una mancha de sangre que indica la dirección en la que esta se movía al momento de su producción.

Directional angle | **ángulo direccional**: ángulo (γ) entre el eje largo de una mancha de salpicadura y una línea de referencia definida en el objetivo.

Drip pattern | **patrón de goteo**: patrón de mancha de sangre resultante de un líquido que ha goteado sobre otro líquido, siendo sangre al menos uno de ellos.

Drip stain | **mancha de goteo**: mancha de sangre resultante de la caída de una gota formada por acción de la gravedad.

Drip trail | **rastro o reguero de goteo**: patrón de mancha de sangre resultante del movimiento de una fuente de manchas de goteo entre dos puntos.

Edge characteristic | **característica de borde**: cualidad o atributo físico de la periferia de una mancha de sangre.

Expiration pattern | **patrón de espiración**: patrón de mancha de sangre resultante de la sangre forzada por el flujo de aire que sale de la nariz, la boca o una herida.

Flow pattern | **patrón de flujo**: patrón de mancha de sangre resultante del movimiento de un volumen de sangre en una superficie debido a la gravedad o al movimiento del objetivo.

Forward spatter pattern | **patrón de salpicadura hacia adelante**: patrón de mancha de sangre resultante de gotas de sangre que se desplazaron en la misma dirección que la fuerza de impacto.

Impact pattern | **patrón de impacto**: patrón de mancha de sangre resultante de un objeto que golpea sangre líquida.

Insect stain | **mancha de insecto**: patrón de mancha de sangre resultante de la actividad de los insectos.

Mist pattern | **patrón de niebla o en llovizna**: patrón producido por la sangre reducida a un aerosol de microgotas como resultado de la fuerza aplicada.

Parent stain | **mancha matriz**: mancha de sangre de la que se originó una mancha satélite.

- Perimeter stain** | **mancha de perímetro o perimetral**: mancha alterada compuesta por las características periféricas de la mancha original.
- Pool** | **charco**: mancha de sangre resultante de la acumulación de sangre líquida en una superficie.
- Projected pattern** | **patrón proyectado**: patrón de mancha de sangre resultante de la eyección de un volumen de sangre bajo presión.
- Satellite stain** | **mancha satélite**: mancha de sangre más pequeña originada al impactar la mancha matriz en alguna superficie.
- Saturation stain** | **mancha de saturación**: mancha de sangre resultante de la acumulación de sangre líquida en un material absorbente.
- Serum stain** | **mancha de suero**: mancha generada por el suero de la sangre que se separa durante la coagulación.
- Spatter stain** | **mancha de salpicadura**: mancha producida por una gota de sangre que se dispersa en el aire debido a cualquier fuerza externa aplicada a alguna fuente de sangre líquida.
- Splash pattern** | **patrón de salpicadura o chapoteo**: patrón de mancha de sangre resultante de un volumen de sangre líquida que cae o se derrama sobre una superficie.
- Swipe pattern** | **patrón de deslizamiento**: patrón resultante de la transferencia de sangre de una superficie que la contiene a otra superficie carente de ella, con características que indican un movimiento relativo entre las dos superficies.
- Target** | **objetivo**: superficie sobre la cual se ha depositado cierta cantidad de sangre.
- Transfer stain** | **mancha transferida o de transferencia**: mancha de sangre resultante del contacto entre una superficie que contiene sangre y otra superficie que carece de ella.
- Void** | **vacío**: ausencia de sangre en una mancha o patrón de sangre por lo demás continuo.
- Wipe pattern** | **patrón de limpieza**: patrón de mancha de sangre alterado producido al moverse un objeto a través de una mancha de sangre húmeda preexistente.

Conclusiones

Habiendo desglosado la información relacionada con el análisis de los diferentes tipos de indicios hemáticos considerados a lo largo de este trabajo, podemos finalmente argumentar las siguientes conclusiones:

La búsqueda, fijación, recolección, embalaje, traslado, almacenaje y análisis de los indicios aparentemente hemáticos debe realizarse de manera metódica y rigurosa, según las directrices dictadas por la comunidad científica internacional contenidas en los manuales de buenas prácticas en el lugar de intervención y los protocolos de actuación pericial establecidos para el procesamiento de todos los fluidos biológicos. De no hacerse así, quedaría en entredicho la confiabilidad y la validez de este tipo de evidencias.

Dada su composición y atributos biológicos, la sangre es un excelente indicio identificador que permite establecer, primero, su origen animal o humano y luego —en caso de ser de naturaleza humana— el grupo sanguíneo, la edad, el sexo y el perfil genético de la persona de la que proviene la muestra.

El análisis de los patrones de manchas de sangre es una disciplina de la hematología forense en constante evolución y su aplicabilidad no debe limitarse a la mera descripción de sus características morfológicas, debiéndose siempre emplear con el propósito de determinar —en la medida de lo técnicamente posible— la ubicación, posición, desplazamientos y maniobras de la víctima y su victimaria o victimario y, con ello, la mecánica general del hecho que se investiga.

Debido a su participación en el transporte y distribución de diversas sustancias químicas, la sangre se constituye en una de las mejores muestras biológicas para detectar y estimar la concentración de etanol y otras sustancias de interés toxicológico.

La extensión, los cambios en la coloración y apariencia, la composición química y celular, y el avance de las modificaciones morfológicas de los elementos celulares en las manchas de sangre analizadas ocurridas tras su deposición, permiten inferir la magnitud y la procedencia anatómica de las hemorragias, así como la antigüedad de las máculas consecuentemente generadas.

La intensidad de la hemorragia y los resultados de ciertos análisis de laboratorio clínico hacen posible estimar la gravedad de los sangrados, el tiempo de sobrevivencia que debió tener la víctima e incluso —en ciertos casos— inferir la causa probable de su deceso.

Si bien las técnicas de los análisis químicos y biológicos aquí presentados son confiables, no están exentos de limitaciones en sus alcances ni de sesgos interpretativos. Existen diversas condiciones medioambientales, como la temperatura, la humedad, la luz solar, la acción de agentes químicos y la posible interacción entre las manchas y sus sustratos, que dificultan o impiden la detección de ciertas sustancias y pueden comprometer, con ello, la validez de algunos de sus resultados.

Los avances técnicos en materia de química analítica y biología molecular han revolucionado el estudio de los indicios hemáticos. La posibilidad de extraer perfiles genéticos y detectar e identificar diversos metabolitos y otras sustancias de interés forense de muestras sanguíneas mínimas o degradadas fortalecen su utilidad probatoria.

El indicio hemático debe analizarse de manera integral, interdisciplinaria y contextualizada; solo así se podrá llegar a inferencias, deducciones o conclusiones objetivas, sólidas y confiables que marcarán la diferencia entre la incertidumbre y el esclarecimiento de los hechos que se investigan.

Entre las líneas de investigación actualmente en desarrollo en torno al tema que nos ocupa, destacan la incorporación de modelos de inteligencia artificial para sistematizar e interpretar patrones de manchas de sangre complejos. De igual manera, se impulsa el desarrollo y la aplicación de técnicas instrumentales de frontera —como la espectrometría de masas de alta resolución, la espectroscopía infrarroja por transformada de Fourier con reflectancia total atenuada, la secuenciación genómica avanzada y la microscopía electrónica de última generación—, tendientes a incrementar la sensibilidad, especificidad y confiabilidad de las determinaciones analíticas; innovaciones que, sin lugar a dudas, redefinirán en el mediano plazo los alcances de la investigación criminalística en torno al estudio del indicio hemático.

Glosario

Aglutinación: agrupación eritrocitaria inducida por la formación de enlaces antígeno-anticuerpo en las células involucradas.

Aglutininas: anticuerpos que manifiesta su acción aglutinando o aglomerando eritrocitos, bacterias o partículas inertes en suspensión. En estas reacciones el término aglutinina se emplea para describir anticuerpos capaces de aglutinar un antígeno. De la misma forma, el antígeno en forma de partículas empleado en estas reacciones se denomina aglutinógeno.

Aglutininas incompletas: anticuerpos específicos con bajo poder de aglutinación.

Aglutinógenos: sustancias antigénicas que producen la aglutinación al inducir la formación de aglutininas.

Análisis moleculares: pruebas de laboratorio practicadas para detectar alteraciones estructurales en ácidos nucleicos y ciertas proteínas contenidas en muestras de tejidos o fluidos corporales relacionadas con el origen y desarrollo de diversas enfermedades.

Analito: componente químico (ion, elemento o compuesto) que se pretende detectar o cuantificar en una muestra.

Aneurisma: dilatación anormal, localizada y permanente en las paredes de los vasos sanguíneos debida a aterosclerosis, hipertensión, traumatismos, procesos infecciosos o debilidad congénita de sus capas musculares.

Anticuerpo: proteína sintetizada por el organismo en respuesta a la introducción de algún antígeno.

Antígeno: sustancia extraña al organismo que al ingresar a este genera una respuesta inmunitaria específica.

Apresto: tratamiento dado a ciertos productos textiles con el fin de mejorar su consistencia, lustre, firmeza o apariencia.

Cuerpos apoptóticos: estructuras vesiculares formadas durante la fragmentación celular en las etapas tardías de la apoptosis, una modalidad de muerte celular genéticamente programada y regulada.

Detritos celulares: residuos, generalmente sólidos, provenientes de la descomposición de los tejidos.

Embebimiento: término tendiente a la obsolescencia empleado como sinónimo de absorción.

Enfermedades mieloproliferativas: padecimientos ocasionados por la producción excesiva e incontrolada de células sanguíneas en la médula ósea; entre estas se encuentra la policitemia vera, la trombocitopenia esencial, la mielofibrosis primaria o idiopática crónica, la mastocitosis sistémica y las leucemias.

Epiluminación: técnica de observación microscópica que aprovecha la luz reflejada por la muestra.

Extravasación: salida anómala de sangre, suero o linfa desde el vaso arterial, venoso o capilar que los contiene, hasta los tejidos corporales que los rodean.

Factor de retención (Rf): parámetro cromatográfico que expresa la relación existente entre las distancias recorridas por el soluto y el eluyente bajo ciertas condiciones, pudiéndose determinar mediante la siguiente fórmula:

$$Rf = x / y$$

Donde:

x = Distancia recorrida por el soluto.

y = Distancia recorrida por el eluyente.

Fluidos no newtonianos: sustancias —generalmente líquidas— cuya viscosidad varía con la temperatura y la intensidad de las fuerzas que actúan sobre ellas.

Fotoluminiscencia: fenómeno producido por absorción y liberación de energía radiante; debiéndose emplear los términos fluorescencia si la luminosidad generada es inmediata y mientras existe la causa que la produce y fosforescencia si es retardada y persiste tras el cese de la causa que la originó.

Haptenos: sustancias de bajo peso molecular que al combinarse con ciertas proteínas corporales producen respuesta inmunológica, referidos también como antígenos incompletos.

Hemartrosis: acúmulo de sangre en alguna cavidad articular.

Hemoperitoneo: acúmulo de sangre en la cavidad abdominal.

Hemotórax: acúmulo de sangre en la cavidad torácica.

Imbibición: fenómeno natural en el que un líquido retenido en un cuerpo poroso es desplazado por algún otro fluido, generalmente inmiscible.

Inmunidad celular: respuesta inmunitaria adquirida dependiente de la actividad de ciertas células, principalmente linfocitos T.

Inmunidad humoral: respuesta inmunitaria dependiente de anticuerpos circulantes.

Lugar de intervención: espacio físico en el que se ha cometido un hecho probablemente delictivo o en el que se localizan o aportan indicios relacionados con el mismo; término comúnmente empleado para referir, de manera genérica o indistinta, al lugar de los hechos y de los hallazgos.

Óbito: sinónimo de muerte, fallecimiento o defunción.

Propedéutica clínica: conjunto de procedimientos, técnicas y diligencias necesarias para reconocer y clasificar los signos y síntomas en el paciente, necesarios para el diagnóstico y tratamiento de una enfermedad.

Propiedades reológicas: propiedades que determinan los efectos de las fuerzas en el flujo y los cambios de forma de las sustancias líquidas y gaseosas.

Seroconversión: aparición de anticuerpos específicos en el suero de una persona contra una determinada enfermedad infecciosa.

Soporte: superficie sobre la que se encuentra una determinada mancha.

Suero: fracción líquida obtenida tras la coagulación de la sangre extravasada; carente, por ello, de fibrinógeno.

Sustratos ferruginosos: suelos típicos de regiones tropicales subhúmedas, con pH ácido e importantes cantidades de óxido de hierro.

Tinciones tipo Romanowsky: procesos tintoriales basados en las diferencias de afinidad química de las estructuras celulares por los colorantes ácidos, básicos y neutros empleados. Entre dichas técnicas se encuentran las tinciones de Wright, de Giemsa, de May-Grünwald y de May-Grünwald-Giemsa o panóptica de Pappenheim.

Título: cantidad de anticuerpos en un suero, suele expresarse como el valor recíproco de la mayor dilución del suero en la que el anticuerpo da una reacción de aglutinación visible.

Transiluminación: técnica de observación microscópica que aprovecha la luz transmitida por la muestra.

Trazabilidad: conjunto de acciones, procedimientos y registros que permiten seguir el rastro de un indicio, desde su obtención hasta su ubicación o situación actual.

Venopunción: proceso mediante el cual se extrae sangre o se inyecta alguna sustancia en una vena.

Volemia: volumen sanguíneo contenido en cada individuo, cuyo valor generalmente es estimado en alrededor de 75 ml de sangre/kg de peso corporal.

Zona de equivalencia: zona óptima de concentración de antígeno y anticuerpo en la cual se forman complejos; sin dejar antígeno ni anticuerpo sobrante.

Referencias

- Abacus Diagnostics. (s.f.). *Hematrace*. <https://www.abacusdiagnostics.com/compare.htm#2>.
- Acampora, G., Vitiello, A., Di Nunzio, C., Saliva, M. y Garofano, L. (2014). Bloodstain pattern analysis. New challenge for computational intelligence community. Proceedings of the 6th. International Conference on Fuzzy Computation Theory and Applications (FCTA 2014). 211-216. <https://doi.org/10.5220/0005155602110216>
- Aldao, M. S. (2018). Determinación del área de origen en el análisis de manchas de sangre. *Minerva. Saber, arte y técnica*, 2(2), 52-72. <https://ojs.editorialiupfa.com/index.php/minerva/article/view/196>
- Aleph Society. (2019). *Nidda 62a-b: Cleansing agents of the Talmudic Period*. <https://steinsaltz.org/daf/nidda62/>.
- Alfonso, Y. y Bencomo, A. (2001). Procedimientos para la detección e identificación de anticuerpos eritrocitarios. *Revista Cubana de Hematología, Inmunología y Hemoterapia*, 17(2), 98-107. http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S0864-02892001000200003&script=sci_abstract
- Alkhuder, K. (2022). Attenuated total reflection-Fourier transform infrared spectroscopy: a universal analytical technique with promising applications in forensic analyses. *International Journal of Legal Medicine*, 136(6), 1717-1736. <https://doi.org/10.1007/s00414-022-02882-2>
- Almagro, M. (2014). Modelo 3D de la molécula trans-4,5-epoxy-(E)-2-decenal [Imagen digital]. Wikipedia. [https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-4,5-Epoxy-\(E\)-2-decenal#/media](https://en.wikipedia.org/wiki/Trans-4,5-Epoxy-(E)-2-decenal#/media)
- Alonso, A. (2011). ADN forense, investigación criminal y búsqueda de desaparecidos. Cuadernos de divulgación científica de la Sociedad Española de Bioquímica y Biología Molecular. Rincón del profesor de ciencias 2009-2011, 65-66. https://doi.org/10.18567/sebbmdiv_RPC.2011.12.1
- Alvarado, C., Vargas, F., Guzmán, F., Zárate, A., Correa, J. L., Ramírez, A., Quintero, D. M. y Ramírez, E. M. (2016). Trauma cardíaco cerrado. *Revista Colombiana de Cardiología*, 23(1), 49-58. <https://doi.org/10.1016/j.rccar.2015.07.010>
- Alvarado, A. T., Raudales, I. y Vega, J. P. (2008). Determinación de alcohol *post mortem*: Aspectos a considerar para una mejor interpretación. *Medicina Legal de Costa Rica*, 25(2), 35-46. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152008000200004
- Alvarado-Noguez, M. L., Cano-Europa, E., Franco-Colín, M., Hernández-Aguilar, C., Domínguez-Pacheco, F. A. y Cruz-Orea, A. (2017). Obtención y análisis del espectro de absorción óptico de sangre de rata Fisher con daño hepático mediante espectroscopía fotoacústica. *Revista Mexicana de Ingeniería Biomédica*, 38(1), 357-362. <https://doi.org/10.17488/RMIB.38.1.31>

- Álvarez, F. J. (2003). *Diccionario de criminalística. Los secretos de las investigaciones de la policía científica*. Planeta.
- Anadón, M. J. y Uroz, V. (2017). Toxicología forense I. Intoxicaciones por alcohol etílico. En M. J. Anadón y M. M. Robledo (comp.), *Manual de criminalística y ciencias forenses. Técnicas forenses aplicadas a la investigación criminal* (pp. 76-114). Tébar Flores.
- Andersson, R. (2017). *An evaluation of two presumptive blood tests and three methods to visualise blood* [Tesis de licenciatura, Department of Physics, Chemistry and Biology], Linköping University.
- Ann, C. (s.f.). *This history of CSI*. <https://www.timetoast.com/timelines/this-history-of-csi>.
- Antón, F. y De Luis, J. V. (1998). *Policía científica* (3a. ed., Vol. II). Tirant lo Blanch.
- Arbeláez, L. F. y Ríos, L. S. (2009). *Validación de los métodos Bluestar Forensic Free y Thevenon Roland-Piramidón como pruebas preliminares en la investigación de sangre de interés forense* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias], Pontificia Universidad Javeriana.
- Asensio, J. A., Rojo, E., Petrone, P., Karsidag, T., Pardo, M., Demiray, S., Ramírez, J., Roldán, G., Pak-art, R. y Kuncir, E. (2003). Síndrome de exsanguinación. Factores predictivos e indicativos para la institución de la cirugía de control de daños. *Cirujano General*, 25(3), 207-218. [https://doi.org/10.1016/S0009-739X\(03\)72102-2](https://doi.org/10.1016/S0009-739X(03)72102-2)
- Babapulle, C. J. y Jayasundera, M. P. (1993). Cellular changes and time since death. *Medicine, Science and the Law*, 33(3), 213-222. <https://doi.org/10.1177/002580249303300306>
- Barbagallo, M. F. (2010). *Influencia de la temperatura para la datación de una mancha de sangre sobre tela de lienzo* [Tesina de licenciatura, Facultad de Psicología], Universidad del Aconcagua.
- Barni, F., Lewis, S. W., Berti, A., Miskelly, G. M. y Lago, G. (2007). Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. *Talanta*, 72, 896-913. <https://doi.org/10.1016/j.talanta.2006.12.045>
- Bayón, C. (2014). El ADN: una certeza científica que nos hace únicos (parte I). *Quadernos de Criminología: Revista de Criminología y Ciencias Forenses*, 27, 12-15.
- Begoña, M., Sureda, M. y Rebollo, J. (2012). Células dendríticas I: aspectos básicos de su biología y funciones. *Inmunología*, 31(1), 21-30. <https://doi.org/10.1016/j.inmuno.2011.10.001>
- Bennett, J. C. y Plum, F. (1996). *Cecil textbook of medicine* (20a. ed.). Saunders.
- Bergman, T., Klöden, M., Dreßler, J. y Labudde, D. (2022). Automatic classification of bloodstains with deep learning methods. *Künstliche Intelligenz*, 36, 135-141. <https://doi.org/10.1007/s13218-022-00760-y>
- Bergman, T. y Labudde, D. (2023). Forensic analysis of bloodstain color. *IntechOpen*. <https://doi.org/10.5772/intechopen.112635>
- Bermejo, E. (2017). Plaquetas. *Hematología*, 21 (número extraordinario: Fisiología de la hemostasia normal), 10-18. <https://www.sah.org.ar/revistasah/numeros/vol21/extra/06-Vol%2021-extra.pdf>
- Bernstein, R. K. (2011). *Diabetes solution: a complete guide to achieving normal blood sugars*. Little, Brown Spark.

- Bertomeu Sánchez, J. R. (2016). *El olor de la sangre*. <https://www.investigacionyciencia.es/blogs/ciencia-y-sociedad/90/posts/el-olor-de-la-sangre-14381>.
- Bevel, T. y Gardner, R. M. (2008). *Bloodstain pattern analysis. With an introduction to crime scene reconstruction* (3a. ed.). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420052725>
- BioAssay Systems. (2025). *EnzyChrom™ Ethanol Assay Kit*. <https://bioassaysys.com/ethanol-assay-ecet-100-kit/>
- Blanco, J. y De la Calle, C. (2007). Evolución *post mortem* de los parámetros bioquímicos sanguíneos: su interés en el diagnóstico diferencial en los casos de muerte súbita. *Boletín Galego de Medicina Legal e Forense*, 15, 15-28. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062004000100005>
- Blanco, J., García, S. A. e Hinojal Fonseca, R. (2004). Proteínas estructurales y mediadores de la inflamación: marcadores para el diagnóstico *post mortem* de la isquemia miocárdica (estudio inmunohistoquímico). *Cuadernos de Medicina Forense*, 35, 51-70. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062004000100005>
- Bluestar. (2021). *Modo de empleo comprimidos Bluestar Forensic*. https://www.bluestar-forensic.com/wp-content/uploads/2023/11/MODO_DE_EMPLEO_tablets_8_ES_20210507.pdf.
- Boardwalklabel. (s.f.). *Disposable glove buying guide*. <https://www.boardwalklabel.com/wp-content/uploads/2016/06/Disposable-Gloves-Buying-Guide.pdf>.
- Bobadilla, P. (2016). *Manual de investigación criminal. Una perspectiva desde la evidencia*. Tirant lo Blanch.
- Bosquet, S. (2015). *Criminalística forense*. Tirant lo Blanch.
- Botella, J. y Clavero, J. A. (1993). *Tratado de ginecología* (14a. ed.). Díaz de Santos.
- Bravo-Urquiola, M., Arends, A., Montilla, S., Velásquez, D., García, G., Álvarez, M., Guevara, J. y Castillo, O. (2004). Ventajas de la técnica de cromatografía líquida de alta presión (HPLC-CE) en el estudio de hemoglobinopatías en Venezuela. *Investigación Clínica*, 45(4), 309-315. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0535-51332004000400003
- Buquet, A. (2006). *Manual de criminalística moderna. La ciencia y la investigación de la prueba*. Siglo XXI Editores.
- Calvo, Á. (2015). *Estudio y evaluación de la estabilidad del alcohol etílico en muestras de sangre almacenadas en condiciones de temperatura de congelación* [Tesis de doctorado, Facultat de Medicina i Odontologia], Universitat de València.
- Camarena, F. (2017). *Biología celular y molecular. Manual de prácticas 2017-2*. Universidad Autónoma de Baja California.
- Campbell, T. W. (2014). Citología hemática: evaluación del frotis sanguíneo. *Zoológica*, 1(1), 19-34.
- Canales, C. A. (2020). *Determinación de la variación de la concentración de alcohol etílico en el tiempo en varones vivos en el distrito de Lima Metropolitana utilizando el método de cromatografía de gases* [Tesis de doctorado, Facultad de Farmacia y Bioquímica], Universidad Nacional Mayor de San Marcos.
- Cano, J. A. y Arce, B. (2014). Genética forense: crimen e identidad. *Expresión Forense*, 1(11), 44-49.

- Cárdenas, J. M. y Arroyo, J. L. (2013). Inmunohematología. Grupos sanguíneos. En J. M. Moraleda Jiménez (comp.), *Pregrado de hematología* (pp. 175-188). Luzán 5.
- Carr, J. (2015). Coágulo sanguíneo. [Fotomicrografía]. https://pixnio.com/es/ciencia/imagenes-microscopia/rojo-sangre-células.enredado-fibrinosa-matriz#img_info
- Carr, J. H. y Rodak, B. F. (2010). *Atlas de hematología clínica* (3a. ed.). Editorial Médica Panamericana.
- Cassidy, B., Lu, Z., Martin, J. P., Tazik, S. K., Witherspoon, K. A., Dejong, E., Belliveau, E., Kilgore, K. E., Ervin, S. M., Myrick, M. L. y Morgan, E. L. (2017). A quantitative method for determining a representative detection limit of the forensic luminol test for latent bloodstains. *Forensic Science International*, 278(3), 396-403. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.06.031>
- Castañeda, L. E., Jiménez, J., Urzúa, A., Manzano, R. E., Valentín, J. J., Pérez, E. S., Cruz, S. y Gálvez, A. M. (2007). *Guía de cumplimiento de la Norma Oficial Mexicana NOM-087-SEMARNAT-SSA1-2002, Protección ambiental-Salud ambiental-Residuos peligrosos biológico-infecciosos-Clasificación y especificaciones de manejo* (2a. ed.). Secretaría de Salud-Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales.
- Castaño, J. L. (1991). Espectrometría derivada en química clínica. *Química Clínica*, 10(5), 347-359.
- Castelló, A. (2016). La nueva huella de Taylor. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, 20, 3-4. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5584761>
- Castelló, A., Francès, F., Corella, D. y Verdú, F. (2009). Active oxygen doctors the evidence. *Naturwissenschaften*, 96(2), 303-307. <https://doi.org/10.1007/s00114-008-0466-9>
- Castelló, A., Francès, F. y Verdú, F. (2012). Chemistry in crime investigation: sodium percarbonate effects on bloodstains detection. *Journal of Forensic Science*, 57(2), 500-502. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2011.01999.x>
- Castelló, A. (1997). *Revisión crítica del diagnóstico de orientación en el estudio de las manchas de sangre: falsos negativos en la prueba de Adler. Una aportación de la química legal* [Tesis de doctorado, Facultat de Medicina i Odontología], Universitat de València.
- Castelló, A. (2017). *Manual de química forense*. Comares.
- Castelló, A., Álvarez, M., Miquel, M. y Verdú, F. A. (2002). Revelado de manchas latentes: efectividad del luminol y evaluación de su efecto sobre el estudio del DNA. *Cuadernos de Medicina Forense*, 28, 33-36. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062002000200004>
- Castillo-Rodríguez, N. J. y Cortés-Osorio, J. A. (2019). Validation of the Takayama confirmatory test for blood identification in stains. *Scientia et Technica*, 24(1), 140-145. <https://doi.org/10.22517/23447214.20431>
- Castillo-Rodríguez, N. J. y Martínez-García, S. (2020). TEICHMANN Prueba confirmativa para identificación de sangre en manchas. *Scientia et Technica*, 25(1), 158-163. <https://doi.org/10.22517/23447214.22301>
- Castro, H. J., Velázquez, M. A., Pinzón, A., Fontanilla, G. A., Jaramillo, S. H., Rizo, M. A. y Pérez, N. M. (2010). *Toxicología forense, embriaguez y alcoholemia*. Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

- Castro, R. (2016). *La prueba de ADN en el proceso penal: análisis de sensibilidad de los cálculos probabilistas* [Trabajo de fin de grado, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales], Universidad Politécnica de Madrid.
- Caza, J. E. (2013). *Criminalística y derecho probatorio en materia penal*. Editorial Flores.
- Cedillo, E. (2010). *Estudio comparativo entre muestras de sangre y orina para determinación de la concentración de alcohol* [Tesis de especialidad, Escuela Superior de Medicina], Instituto Politécnico Nacional.
- Cedrón, J. C. (2011). El luminol. *Revista de Química PUCP*, 25(1-2), 13-14. <https://revistas.pucp.edu.pe/index.php/quimica/article/view/4606>
- Chen, A., Aquino, R. M., Vidal, H. A., Wong, C. V. y Luo, R. Y. (2025). A liquid chromatography-high-resolution mass spectrometry method for separation and identification of hemoglobin variant subunits with mass shifts less than 1 Da. *Journal of Mass Spectrometry and Advances in the Clinical Lab*, 35, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.jmsacl.2025.01.002>
- Chen, L., Zhu, Y., Ma, Ch. y Lyu, Z. (2025). Automated identification of impact spatters and fly spots with a residual neural network. *Forensic Science International*, 367, 112354. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2024.112354>
- Chuaqui, B. y González, S. (2019). *Manual de patología general*. Escuela de Medicina de la Pontificia Universidad Católica de Chile. http://publicacionesmedicina.uc.cl/PatologiaGeneral/Patol_041.html.
- Chub, A. E. (2018). *Tendencias de los patrones de sangre en las escenas de crímenes provocadas con armas blancas* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales], Universidad Rafael Landívar.
- Coleman, M. (2004). Metabolismo de la hemoglobina. En B. F. Rodak (comp.), *Hematología. Fundamentos y aplicaciones clínicas* (pp. 107-116). Panamericana.
- Comisión de Monitorización de Fármacos y Toxicología Clínica de la Sociedad Española de Química Clínica y Patología Molecular (2013). Importancia del laboratorio clínico en el análisis de drogas de abuso. *Educación Continua en el Laboratorio Clínico*, 16, 109-118. <https://www.seqc.es/download/tema/7/3326/6846157/82154/cms/tema-9-importancia-del-laboratorio-en-el-analisis-de-drogas-de-abuso.pdf/>
- Comité Internacional de la Cruz Roja. (2009). *Personas desaparecidas, análisis forense de ADN e identificación de restos humanos. Guía sobre prácticas idóneas en caso de conflicto armado y de otras situaciones de violencia armada* (2a. ed.). CICR.
- Cortés, F. (2008). *Progresiva pérdida de elementos fonéticos*. <https://dicciomed.usal.es/palabra/hemoglobina>.
- Criminalística Moderna. (2022). *“Salpicadura hacia atrás” vs “retro proyección”*. <https://www.linkedin.com/pulse/salpicadura-hacia-atr%C3%A1s-vs-retro-proyecci%C3%B3n-criminal%C3%ADsticamoderna/>.
- Cuttaia, C., Di Stefano, B., Sorçaburu Ciglieri, S., Vetrini, R., Previderè, C. y Fattorini, P. (2024). Immunochromatographic detection of human blood: a forensic review. *Separations*, 11(3), 66. <https://doi.org/10.3390/separations11030066>

- Daher, V., Be, C. y Youlton, R. (1986). Cromatina de Barr: análisis de su valor actual. *Revista Chilena de Pediatría*, 57(6), 506-509. <https://doi.org/10.4067/S0370-41061986000600006>
- Dameshek, W. (1963). William Hewson, thymicologist; father of hematology? *Blood*, 21(4), 513-516. <https://doi.org/10.1182/blood.V21.4.513.513>
- De Micheli, A. (2005). William Harvey y los inicios de la ciencia médica moderna. *Gaceta Médica de México*, 141(3), 233-237. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0016-38132005000300012
- Delgado, C. (2015). *El pH sanguíneo*. <https://quimicageneralylaboratorio.wordpress.com/2015/11/18/el-ph-sanguineo/>.
- Delgado, E. y Ballén, V. (2006). *Validación de una técnica inmunocromatográfica para la detección de sangre humana en manchas de interés forense en el Laboratorio de Biología del Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses-Regional Bogotá, empleando el kit RapidSignal Occult Blood-Cassette, de la firma Orgenics* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias], Pontificia Universidad Javeriana.
- Departamento de Justicia de los Estados Unidos. (2017). *Guía del participante del curso: Análisis y procesamiento del lugar de los hechos* (versión 6.30). Programa Internacional de Capacitación y Asistencia en Investigación Criminal.
- Diccionario Etimológico Castellano En Línea (2024a). www.deChile.net <https://etimologias.dechile.net/?indicio>
- Diccionario Etimológico Castellano En Línea (2024b). www.deChile.net. <https://etimologias.dechile.net/?hemorragia>
- Dinçer, D., Ulukal Karanci, E., Akin, M. y Adanir, H. (2019). NSAID, antiaggregant, and/or anticoagulant-related upper gastrointestinal bleeding: is there any change in prophylaxis rate after a 10-year period? *Turkish Journal of Gastroenterology*, 30(6), 505-510. <https://doi.org/10.5152/tjg.2019.19057>
- Dinis-Oliveira, R. J., Vieira, D. N. y Magalhães, T. (2017). Guidelines for collection of biological samples for clinical and forensic toxicological analysis. *Forensic Science Research*, 1(1), 42-51. <https://doi.org/10.1080/20961790.2016.1271098>
- Dong, Z. y Zhang, Z. (2023). Enhancing bloodstain analysis through AI-based segmentation: leveraging segment anything model for crime scene investigation. *arXiv*, 2308.13979. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2308.13979>.
- Doro, G. (2004). Análisis de muestras de sangre. En P. M. Caro (comp.), *Manual de química forense* (pp. 33-76). La Rocca.
- Doty, K. C., McLaughlin, G. y Lednev, I. K. (2016). A Raman "spectroscopic clock" for bloodstain age determination: the first week after deposition. *Analytical and Bioanalytical Chemistry*, 408(15), 3993-4001. <https://doi.org/10.1007/s00216-016-9486-z>
- Doty, K. C., Muro, C. K. y Lednev, I. K. (2017). Predicting the time of the crime: Bloodstain aging estimation for up to two years. *Forensic Chemistry*, 5, 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.forc.2017.05.002>
- Doyle, D. (2006). William Hewson (1739-74): the father of haematology. *British Journal of Haematology*, 133(4), 375-381. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2141.2006.06037.x>

- DuBey, I. S. (2018). *A study of the impact of the physical properties of blood on the interpretation of bloodstain patterns in forensic investigations* [Tesis de doctorado, The Graduate Center], The City University of New York.
- Duboscq, C. (2017). Endotelio vascular. *Hematología*, 21, 19-30. <https://www.sah.org.ar/revistasah/numeros/vol21/extra/07-Vol%2021-extra.pdf>
- Edler, C. Wulff, B., Schröder, A. S., Wilkemeyer, I., Polywka, S., Meyer, T., Kalus, U. y Pruss, A. (2011). A prospective time-course study on serological testing for human immunodeficiency virus, hepatitis B virus and hepatitis V virus with blood samples taken up to 48 h after death. *Journal of Medical Microbiology*, 60(7), 920-926. <https://doi.org/10.1099/jmm.0.027763-0>
- Eliséiev, V. G., Afanasiev, Y. I. y Yúrina, N. A. (1985). *Histología*. Mir.
- Esperança, P. (2018). Clave de identificación de patrones (de) mancha(s) de sangre. *Minerva. Saber, arte y técnica*, 2(2), 24-37. <https://ojs.editorialiupfa.com/index.php/minerva/article/view/88/65>
- European Network of Forensic Science Institutes (2022). *Best practice manual for human forensic biology and DNA profiling*. ENFSI.
- Faneite, P., Ojeda, L., Repilloza, M. y Pineda, F. (2000). Prueba de la desnaturalización alcalina de la hemoglobina en obstetricia. *Revista de Obstetricia y Ginecología de Venezuela*, 60(2), 73-76. https://www.sogvzla.org/wp-content/uploads/2023/03/2000_vol60_num2_2.pdf
- Fernández, E., Gamba, C. y López, A. M. (2017). El ADN en las ciencias forenses. En M. J. Anadón Baselga y M. M. Robledo Acinas (comp.), *Manual de criminalística y ciencias forenses. Técnicas forenses aplicadas a la investigación criminal* (pp. 285-305). Tébar Flores.
- Fernández, L. E., Bustamante, Y. y García, G. (2006). Valores de referencia obtenidos con el autoanalizador Coulter GEN-S. *Revista de la Facultad de Medicina*, 29(1), 38-43. https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-04692006000100006
- Fernández, S. A., Rudilla, M. M., Pérez, R., Sicilia, M. y Augustin, M. Á. (2002). *Infografía Forense*. Editorial C.S.V.
- Fernández-Rodríguez, A., Alberola, J. y Cohen, M. C. (2013). Análisis microbiológico *post mortem*. *Enfermedades Infecciosas y Microbiología Clínica*, 31(10), 685-691. <https://doi.org/10.1016/j.eimc.2012.09.019>
- Ferrari, L. A. (2008). Análisis toxicológico de etanol y su interpretación forense. Cálculos retrospectivos, pérdida o generación en tejidos humanos e indicadores biológicos de ingesta. Breve revisión. *Ciencia Forense Latinoamericana*, 2(1-2), 20-35.
- Figueroa, F., Martínez, V. E. y Villavicencio, A. (2022). Pruebas presuntivas y confirmatorias de sangre: enseñanza de la química en la hematología forense. *Educación Química*, 33 (número especial), 85-95. <https://doi.org/10.22201/fq.18708404e.2022.4.83537>
- Fischbach, F. T. (1991). *Manual de pruebas diagnósticas de laboratorio* (3a. ed., Tomo 2). Interamericana-McGraw Hill.
- Flanagan, R., Connally, G. y Evans, J. (2005). Analytical toxicology: guidelines for simple collection *post mortem*. *Toxicological Reviews*, 24(1), 63-71. <https://doi.org/10.2165/00139709-200524010-00005>

- Flores, R. (2017). *Criminalística, notas de campo*. Editorial Flores. <https://doi.org/10.5406/illinois/9780252037573.003.0015>
- Forensics. (2025) *Hemident*. <https://forensicssource.com/products/hemident-mcphails-reagent-pack-of-10-1006055?srsltid=AfmBOoq1RoECVvDX8tYbeEcok2WQWpai0CjGD858QufMVQrO7AUVxi-Q>.
- Forensi-Tech Limited. (2025). *Leucomalachite dischaps set*. <https://forensi-tech.com/shop/forensic-evidence-analysis/blood-and-fluid-testing/leucomalachite-dischaps-set-dcb200/>.
- Francès, F., Castelló, A. y Verdú, F. (2008). El diagnóstico genético del sexo mediante el test de la amelogenina: métodos y posibles fuentes de error. *Cuadernos de Medicina Forense*, 14(52), 119-125. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062008000200002>
- Franco, M. (1991). *Hematología forense*. Porrúa.
- Freeman, S. y Gerbis, N. (2008). *How bloodstain analysis works*. <http://science.howstuffworks.com/bloodstain-pattern-analysis.htm>.
- Gaensslen, R. E. (1983). *Sourcebook in forensic serology, immunology and biochemistry*. U.S. Department of Justice-National Institute of Justice.
- Gálvez, K. M. y Cortés, C. A. (2011). Coagulación y sangrado masivo: nuevos conceptos fisiopatológicos. *Medicina UPB*, 30(2), 163-169. <https://www.redalyc.org/pdf/1590/159022496007.pdf>
- García, C. y Moraleda, J. M. (2013). Hematopoyesis. Hematíes: estructura y función. En J. M. Moraleda Jiménez (comp.), *Pregrado de hematología* (pp. 15-33). Luzán 5.
- García, A. M. y Jarque, I. (2013). Leucocitos. Patología de los granulocitos. Agranulocitosis. En J. M. Moraleda Jiménez (comp.), *Pregrado de hematología* (pp. 205-226). Luzán 5.
- García, M. E. y Salinas, E. (2018). *Criminalística. Calidad y deontología*. Editorial Flores.
- Garrido, A., Mendoza, C., Villaverde, C., Olmo, R., Ramírez, J. y Castel, C. (2001). *Bioquímica metabólica*. Tébar.
- Gaspar, G. (2000). *Nociones de criminalística e investigación criminal* (2a. ed.). Editorial Universidad.
- Geneser, F., Brüel, A., Christensen, E. I., Tranum-Jensen, J. y Qvortrup, K. (2015). *Histología* (4a. ed.). Panamericana.
- Giannuzzi, L. (2006), Capítulo 1: Aspectos de seguridad en el laboratorio de toxicología. En L. Giannuzzi y L. A. Ferrari (ed.), *Manual de técnicas analíticas en el laboratorio de toxicología y química forense* (pp. 7-18). Praia.
- Gil, F., Pla, A., Hernández, A., Rodrigo, L. y López, O. (s.f.). *Determinación de etanol en sangre total (alcoholemia)*. <https://www.ugr.es/~fgil/proyecto/etanol/cuestiones.html>.
- Gil, P., Verdú, F., Castelló, A. y Negre, M. C. (2010). Técnica de criminalística en manchas de sangre: factor ambiental en las pruebas de orientación. *Revista de la Escuela de Medicina Legal*, junio de 2010, 4-14. <https://revistas.ucm.es/index.php/REML/article/download/REML1010220004A/22878>
- Giulietti, N., Discepolo, S., Castellini, P. y Martarelli, M. (2023). Neural network based hyperspectral imaging for substrate independent bloodstain age estimation. *Forensic Science International*. 349, 111742. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2023.111742>

- Glaister, J. (2010). *A text-book of medical Jurisprudence and toxicology*. Gale.
- Gómez, A. (s.f). *Determinación de etanol en sangre*. <https://www.ugr.es/~kogin/PowerPoint/habilidades/10%20Determinacion%20Etanol%20en%20sangre.pdf>.
- Gomollón, F. (2014). *El olor de la sangre*. <https://isqch.wordpress.com/2014/11/26/el-olor-de-la-sangre/>.
- González, E. R. (2008). *Validación del método para determinación de alcohol en sangre por cromatografía de gases doble columna con detector de ionización de flama* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia], Universidad de San Carlos de Guatemala.
- González, A. (2016). *Valoración de la prueba de ADN en el proceso penal: cuestiones científicas [sic], legales y de probabilidad* [Tesis de licenciatura, Escuela Técnica Superior de Ingenieros Industriales], Universidad Politécnica de Madrid.
- Gormsen, H. (1984). *Postmortem diagnosis of syphilitic aortitis, including serological verification on postmortem blood*. *Forensic Science International*, 24(1), 51-56. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(84\)90151-8](https://doi.org/10.1016/0379-0738(84)90151-8)
- Griffiths, G., Liscio, E. y Northfield, D. (2020). Accuracy of area of origin analysis on textured, wallpaper surfaces. *Journal of Bloodstain Pattern Analysis*, 35(1), 9-19.
- Grupo Moscaro. (s.f.). *Hemosure iFOB*. https://grupomoscaro.com/main/index.php?id_product=15&controller=product
- Grupo Systop. (2012). *Levantamiento con escáner láser del lugar de los hechos*. <https://www.youtube.com/watch?v=sNYG46rJe98>.
- Guerrero, G. E. (2011). *Capacitación del método de inactivación química de los residuos peligrosos biológicos, líquidos* [Trabajo de intervención para obtener el grado de Maestría], Instituto Nacional de Salud Pública.
- Güido, C. (2019). ¿Qué es la microfotografía? <https://fotografia.ceduc.com.mx/que-es-la-fotomicrografia/>.
- Guo, K., Achilefu, S. y Berezin, M. Y. (2012). Dating bloodstains with fluorescence lifetime measurements. *Chemistry*, 18(5), 1303-1305. <https://doi.org/10.1002/chem.201102935>
- Gutiérrez, C. A. (2018). Análisis de patrones de manchas de sangre y su importancia en la investigación forense moderna. *Minerva. Saber, arte y técnica*, 2(2), 74-85. <https://ojs.editorialiupfa.com/index.php/minerva/article/view/91>
- Gutiérrez, M. y Ballester, M. (2016). *Manejo accidentes cortopunzantes con exposición a sangre o fluidos corporales de alto riesgo*. Facultad de Odontología de la Universidad Andrés Bello.
- Halkides, C. y Lott, K. (2017). Presumptive and confirmatory blood testing. En W. J. Koen y C. M. Bowers (ed.), *Forensic science reform-Protecting the innocent* (pp. 246-269). Elsevier.
- Harrison, T. (2015). Investigating blood types. *Science in School*, 32, 33-36. <https://scienceinschool.org/article/2015/investigating-blood-types/>
- Henderson, D. K., Fahey, B. J., Willy, M., Schmitt, J. M., Carey, K., Koziol, D. E., Lane, H. C., Fedio, J. y Saah, A. J. (1990). Risk for occupational transmission of human immunodeficiency virus type 1 (HIV-1) associated with clinical exposures. A prospective evaluation. *Annals of Internal Medicine*, 113, 740-746. <https://doi.org/10.7326/0003-4819-113-10-740>

- Hernandes, V. V., Barbas, C. y Dudzik, D. (2017). A review of blood sample handling and pre-processing for metabolomics studies. *Electrophoresis*, 38(18), 2227-2361. <https://doi.org/10.1002/elps.201700086>
- Hernández, M. (2020). Manchas de sangre y sus soportes. Cambios morfológicos de los patrones. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, 35, 31-42. https://www.uv.es/gicf/4A1_Hernandez_GICF_35.pdf
- Hernández, C. R. (2016). Efecto del tiempo y la temperatura en la viabilidad del ADN en la perfilación genética de muestras de sangre. En O. A. Cuello Videla (comp.), *Criminalística* (pp. 143-161). Editorial Flores.
- Hilscher, A. (1910). Karl Landsteiner [Fotografía]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Karl_Landsteiner_nobel.jpg
- Hombreiro, L. (2013). *El ADN de Locard. Genética forense y criminalística*. Reus.
- Hook, E., Fieldhouse, S., Flatman-Fairs, D. y Williams, G. (2024). Bloodstain classification methods: a critical review and a look to the future. *Science & Justice*, 64(4), 408-420. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2024.06.004>
- Hortolà, P. (2001). *Morfología de eritrocitos de mamíferos en manchas de sangre: estudio sobre materiales líticos de interés tecnoprehistórico* [Tesis de doctorado, Departament d'Estratigrafia i Paleontologia], Universitat Rovira i Virgili.
- Hortolà, P. (1992). SEM analysis of red blood cells in aged human bloodstains. *Forensic Science International*, 55, 139-159. [https://doi.org/10.1016/0379-0738\(92\)90120-L](https://doi.org/10.1016/0379-0738(92)90120-L)
- Hoyos, E. (1999). El examen forense de los fluidos biológicos. En M. Rivas Souza (comp.), *Medicina forense* (pp. 295-329). Ediciones Cuéllar.
- Huerta, J. y Cela, E. (2018). Hematología práctica: interpretación del hemograma y de las pruebas de coagulación. En Asociación Española de Pediatría de Atención Primaria (ed.), *Curso de Actualización Pediatría 2018* (pp. 507-526). Lúa Ediciones 3.0.
- Hutchins, L. A. (2018). Sistemas de clasificación de huellas de fricción. En A. McRoberts (ed.), *El libro de referencia de las huellas dactilares* (pp. 5-3-5-25). Instituto Nacional de Justicia-Departamento de Justicia de los Estados Unidos.
- láñez, E. (s.f.). *Curso de inmunología general: 11. Maduración, activación y diferenciación de los linfocitos T*. Universidad de Granada. https://www.ugr.es/~eianez/inmuno/cap_11.htm
- Impacto Forense. (2020). ¿Qué es la retro salpicadura (back spatter) en disparo por arma de fuego? <https://impactoforense.wordpress.com/2020/07/20/que-es-la-retro-salpicadura-back-spatter-en-disparo-por-arma-de-fuego/>.
- Instituto Mexicano del Seguro Social. (2010). *Guía de práctica clínica: prevención, diagnóstico y tratamiento de la anemia por deficiencia de hierro en niños y adultos. Evidencias y recomendaciones*. IMSS.
- Instituto Nacional de Ciencias Penales-Academia Iberoamericana de Criminalística y Estudios Forenses. (2011). *Manual de buenas prácticas en la escena del crimen*. Instituto Nacional de Ciencias Penales.
- International Association of Bloodstain Pattern Analysts. (2010). *Translated spanish BPA terminology*. <https://www.iabpa.org/uploads/files/Translated%20Docs/Spanish%20translation.pdf>.

- International Organization for Standardization. (2007). *ISO 20473:2007 Optics and photonics-Spectral bands*. ISO.
- Islam, M., Li, B., O'Hare, L. y Beveridge, P. (2014). The detection and age estimation of bloodstains at crime scenes using visible wavelength hyperspectral imaging. *Evidence Technology Magazine*, 12(1), 12-14.
- Izaguirre-Ávila, R. y De Micheli, A. (2005). Evolución del conocimiento sobre la sangre y su movimiento. Parte II. El saber sobre su composición. *Introducción a la química de la sangre*. *Revista de Investigación Clínica*, 57(1), 85-97. https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0034-83762005000100011
- Jackson, A. R. W. y Jackson, J. M. (2007). *Forensic science* (4a. ed.). Pearson.
- James, S. H. y Eckert, W. G. (1998). *Interpretation of bloodstain evidence at crime scene* (2a. ed.). Taylor & Francis Group.
- James, S. H., Kish, P. E. y Sutton, T. P. (2005). *Principles of bloodstain patterns analysis. Theory and practice*. Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420039467>
- James, S. H., Kish, P. E. y Sutton, T. P. (2014). Bloodstain Patterns. En S. H. James, J. J. Nordby y S. Bell (ed.), *Forensic science: an introduction to scientific and investigative techniques* (pp. 67-106). Taylor & Francis Group.
- Jeanmonod, R., Skelly, C. L., Jenkins, S. M. y Agresti, D. (2023). *Vaginal bleeding*. StatPearls.
- Jiménez, P. (2009). Marcadores sanguíneos utilizados en el diagnóstico y pronóstico del riesgo cardiovascular. En A. López Farré y C. Macaya Miguel (comp.), *Libro de la salud cardiovascular del Hospital Clínico San Carlos y la Fundación BBVA* (pp. 231-238). Fundación BBVA.
- Jiménez, J. P. y Rodríguez, W. E. (2018). Actividad de enzimas antioxidantes eritrocitarias en una muestra de adultos jóvenes y mayores del Valle Central, Costa Rica. *Revista Biomédica*, 29(1), 13-24. <https://doi.org/10.32776/revbiomed.v29i1.586>
- Jiménez, J. A. (2006a). *Estudio mecánico del ahorcamiento* [Tesis de maestría, Facultad de Derecho], Barra Nacional de Abogados.
- Jiménez, J. A. (2006b). *Planimetría forense*. Barra Nacional de Abogados.
- Jiménez, J. A. (2016). *Tanatología forense*. Editorial Flores.
- Jiménez, J. A. (2018). *Traumatología forense*. Editorial Flores.
- Johll, M. E. (2008). *Química e investigación criminal. Una perspectiva de la ciencia forense*. Reverté.
- Jones, A.W y Rössner, S. (2007). False-positive breath-alcohol test after a ketogenic diet. *International Journal of Obesity*, 31(3), 559-561. <https://doi.org/10.1038/sj.ijo.0803444>
- Joris, P. (2018). *Forensic image computing. Applications in bloodstain pattern analysis and virtual autopsy* [Tesis de doctorado, Faculty of Engineering Science], Université Catholique de Lovaina.
- Joris, P., Develter, W., Jenar, E., Suetens, P., Vandermeulen, D., Van de Voorde, W. y Claes, P. (2015). HemoVision: an automated and virtual approach to bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 251, 116-123. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2015.03.018>

- Joris, P., Jenar, E., Moermans, R., Van de Voorde, W., Vandermeulen, D. y Claes, P. (2022). Bloodstain impact pattern Area of Origin estimation using least-squares angles: a HemoVision validation study. *Forensic Science International*, 333, 111211. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2022.111211>
- Junta de Castilla y León. (1997). *Manual de prevención de los riesgos biológicos*. Junta de Castilla y León.
- Khan, P., Idress, D., Moxley, M. A., Corbett, J. A., Ahmad, F., von Figura, G., Sly, W. S., Waheed, A. y Hassan, M. I. (2014). Luminol-based chemiluminiscent signals: clinical and non-clinical application and future uses. *Applied Biochemistry and Technology*, 173(2), 333-355. <https://doi.org/10.1007/s12010-014-0850-1>
- Kind, S. S. y Cleevly, R. J. (1969). Identification of blood stains. *Forensic Science*, 13(2), 215-225.
- Klaric, K-A., Milroy, C. M. y Parai, J. L. (2020). Utility of *postmortem* vitreous beta-hydroxybutyrate testing for distinguishing sudden from prolonged deaths and for diagnosing ketoacidosis. *Journal of Forensics Sciences*, 65(5), 1588-1593. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14443>
- Koshkin, N. I. y Shirkévich, M. G. (1975). *Manual de física*. Mir.
- Krane, D. E. y Ford, S. (2017). Essential elements of a critical review of DNA evidence. En W. J. Koen y C. M. Bowers (ed.), *Forensic science reform-Protecting the innocent* (pp. 211-238). Elsevier.
- Kuby, J., Punt, J., Stranford, S. A., Jones, P. P. y Owen, J. A. (2020). *Inmunología* (8a. ed.). McGraw-Hill.
- Laan, N. (2015). *Impact of blood droplets* [Tesis de doctorado, Faculteit der Natuurwetenschappen], Universiteit van Amsterdam.
- Laverde, L. J. y Clavijo, Y. (2015). Influencia de los soportes, tiempo, origen e interferentes en la observación de fluidos biológicos con luces forenses. *Colombia Forense*, 2(1), 45-56. <https://doi.org/10.16925/cf.v3i1.1215>
- Lázaro, E. (2017). *El perito en el sistema penal acusatorio*. Editorial Flores.
- Lázaro, E., Agustín, G., Ruiz, S. y Pérez, M. E. (2011). La coagulación sanguínea y la determinación del momento de la muerte. *Ciencia Forense INACIPE. Revista de Criminalística y Estudios Forenses*, 1(2), 51-62.
- Lee, H. C. (1986). *Estimation of original volumen of bloodstains*. <https://static1.squarespace.com/static/543841fce4b0299b22e1956a/t/54be8c1ee4b054556ec56820>.
- Lee, S.-Y., Seo, Y.-I., Moona, B.-S., Kima, J.-P., Goha, J.-M., Parka, N.-K. y Shinb, S.-H. (2020). Study on development of forensic blood substitute: Focusing on bloodstain pattern analysis. *Forensic Science International*, 316, 110461. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2020.110461>
- Levin, I. W. y Bhargava, R. (2005). Fourier transform infrared vibrational spectroscopic imaging: integrating microscopy and molecular recognition. *Annual Review of Physical Chemistry*, 56, 429-474. <https://doi.org/10.1146/annurev.physchem.56.092503.141205>
- Levinson, W. E. (2004). *Medical microbiology & Immunology* (8a. ed.). McGraw-Hill.
- Li, B., Beveridge, P., O'Hare, W. T. e Islam, M. (2013). The age estimation of bloodstains up to 30 days old using visible wavelength hyperspectral image analysis and linear discriminant analysis. *Science and Justice*, 53(3), 270-277. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2013.04.004>

- Li, Y. y Shen, W. (2025). From images to detection: machine learning for blood pattern classification. *arXiv*, 2501.02151. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2025.112558>
- Lin, H., Zhang, Y., Wang, Q., Li, B., Huang, P. y Wang, Z. (2017). Estimation of the age of human bloodstains under the simulated indoor and outdoor crime scene conditions by ATR-FTIR spectroscopy. *Scientific Reports*, 7, 13254. <https://doi.org/10.1038/s41598-017-13725-1>
- Lin, J., Fay, L. B., Welti, D. H. y Blank, I. (1999). Synthesis of trans-4,5-epoxi-(E)-2-decenal and its deuterated analog used for the development of a sensitive and selective quantification method based on isotope dilution assay with negative chemical ionization. *Lipids*, 34(10), 1117-1126. <https://doi.org/10.1007/s11745-999-0463-8>
- Lin, J., Fay, L. B., Welti, D. H. y Blank, I. (2001). Quantification of key odorants formed by autoxidation of arachidonic acid using isotope dilution assay. *Lipids*, 36(7), 749-756. <https://doi.org/10.1007/s11745-001-0781-x>
- Liu, Y., Attinger, D. y De Brabanter, K. (2020). Automatic classification of bloodstain patterns caused by gunshot and blunt impact at various distances. *Journal of Forensic Sciences*, 3, 729-743. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.14262>
- Lomonte, B. (2020). *Manual de métodos inmunológicos* (5a. ed.). Universidad de Costa Rica.
- López, A., Pastor, C., Arlandis, A. y Calvo, A. (2014). Repercusión clínica y jurídica de la ingesta de alcohol etílico. Resolución de casos prácticos. *Revista Española de Drogodependencias*, 39(1), 74-83. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5014181>
- López, P. y Gómez, P. (2006). *Investigación criminal y criminalística* (2a. ed.). Temis.
- López-Santiago, N. (2016). Pruebas de coagulación. *Acta Pediátrica de México*, 37(4), 241-245. <https://doi.org/10.18233/APM37No4pp241-245>
- Loy, T. H. (1983). Prehistoric blood residues: detection on tool surfaces and identification of species of origin. *Science*, 220, 1269-1271. <https://doi.org/10.1126/science.220.4603.1269>
- Lozano, M. L. y Cerezo, J. J. (2013). Fisiología de la hemostasia. En J. M. Moraleda Jiménez (comp.), *Pregrado de hematología* (pp. 559-578). Luzán 5.
- MacDonell, H. L. (1971). *Flight characteristics and stain patterns of human blood*. National Institute of Law Enforcement and Criminal Justice.
- Mainou, L., Antuna, S., Fortoul, T. I. y Straulino, L. (2017). Identificación de restos de tejidos humanos en instrumentos rituales prehispánicos de México. *Intervención*, 8(15), 22-32. <https://doi.org/10.30763/Intervencion.2017.15.171>
- Manascero, A. R. (2014). *Atlas de hematología*. Pontificia Universidad Javeriana.
- Margaria, R. (1930). The vapour pressure of normal human blood. *The Journal of Physiology*, 70(4), 417-433. <https://doi.org/10.1113/jphysiol.1930.sp002705>
- Marie, C. (2008). Presumptive testing and enhancement of blood. En T. Bevel y R. M. Gardner, *Bloodstain pattern analysis. With an introduction to crime scene reconstruction* (3a. ed.) (pp. 275-296). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/9781420052725.ch12>
- Mariotti, K.C., Ortíz, R. S. y Ferrão, M. F. (2023). Hyperspectral imaging in forensic science: an overview of major application áreas. *Science & Justice*, 63(3), 387-395. <https://doi.org/10.1016/j.scijus.2023.04.003>

- Marquardt, B. (2016). El Espejo Sajón de 1225: Derecho público del Medioevo europeo en imágenes. *Pensamiento Jurídico*, 43, 17-58.
- Martínez, J. C. (2013). Anticuerpos, antígenos leucocitarios humanos y biomoduladores en los efectos adversos agudos de las transfusiones. *Gaceta Médica de México*, 149, 81-88. https://www.anmm.org.mx/GMM/2013/n1/GMM_149_2013_1_081-088.pdf
- Martínez-Silvestre, A., Lavín, S. y Cuenca, R. (2011). Hematología y citología sanguínea en reptiles. *Clínica Veterinaria de Pequeños Animales*, 31(3), 131-141. https://ddd.uab.cat/pub/clivetpeqani/clivetpeqani_a2011v31n3/clivetpeqaniv31n3p131.pdf
- Martínez-Quiroz, J. (2023). Guía de almacenaje temporal de indicios biológicos en el laboratorio forense. *Revista Mexicana de Medicina Forense*, 8(1), 123-144. <https://doi.org/10.25009/revmedforense.v8i2.3016>
- Mauriz, J. L., Martín, J., Barrio, J. P., Culebras, J. M. y González, P. (2007). Modelos experimentales sobre shock hemorrágico. *Nutrición Hospitalaria*, 22(2), 190-198. https://scielo.isciii.es/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0212-16112007000200008
- Mazón, L. y Orriols, R. M. (2018). Gestión de guantes sanitarios. Protección adecuada del profesional, coste-efectividad y responsabilidad ambiental. *Revista de la Asociación Española de Especialistas en Medicina del Trabajo*, 27, 175-181.
- Melvin, M. (2015). Eritrocito infectado por *Plasmodium* en frotis sanguíneo. [Fotomicrografía]. <https://pixnio.com/es/ciencia/imagenes-microscopia/la-malaria-plasmodium/microfotografia-frotis-de-sangre-plasmodium-malariae-parasitos-infectando-globulos-rojos-anillo-etapa>
- Menor-Salván, C. (2018). *Noticia No. 50: El corpúsculo de Barr*. <http://espiadellabo.com/2018/11/el-copusculo-de-barr/>
- Mijtens, D. (ca. 1627). William Harvey [Óleo]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Harvey_2.jpg
- Millington, J. (2000). *Development of a synthetic blood substitute for use in forensic science teaching* [LTSN Physical Sciences Development Project: Final Report], London Metropolitan University.
- Ministerio de Salud. (2013). *Manual de toma, manejo y envío de muestras de laboratorio*. Ministerio de Salud de la República de El Salvador.
- Ministerio de Salud de la Nación. (2016). *Guía para la obtención, conservación y transporte de muestras para análisis toxicológicos* (2a. ed.). Ministerio de Salud de la Nación-Presidencia de la República Argentina.
- Misencik, A. y Laux, D. L. (2007). Validation study of the Seratec HemDirect hemoglobin assay for the forensic identification of human blood. *Midwestern Association of Forensic Scientists Newsletter*, 18-26. https://seratec.com/docs/HemDirect_Validation_MAFS.pdf
- Mistek, E. y Lednev, Í. K. (2018). FT-IR spectroscopy for identification of biological stains for forensic purposes. *IR Spectroscopy for Today's Spectroscopists*, 33, 8-19. <https://www.spectroscopyonline.com/view/ft-ir-spectroscopy-identification-biological-stains-forensic-purposes>
- Mistek, E. y Lednev, Í. K. (2020). Discrimination between human and animal blood by attenuated total reflection Fourier transform-infrared spectroscopy. *Communications Chemistry*, 3, 178. <https://doi.org/10.1038/s42004-020-00424-8>

- Mixco, M. A. (2008). *Interpretación de resultados toxicológicos*. <http://www.csj.gob.sv/bj/verticales/Toxicologia/Interpretaci%C3%B3n%20de%20resultados%20toxicol%C3%B3gicos.pdf>.
- Mohana, S. R., Yandava, S., Kumar, T. M., Ananth, K., Satyasree, K., Mamatha, K. y Argi, A. (2024). DNA extraction from *postmortem* blood: a pilot study for advancing molecular diagnostics in forensic medicine casework. *Indian Journal of Forensic Medicine and Toxicology*, 18(1), 124-129. <https://doi.org/10.37506/1p784p86>
- Montiel, J. (1990). *Criminalística* (Tomo I). Noriega-Limusa.
- Moreno, L., Calderas, F., Sánchez-Olivares, G., Medina-Torres, L., Sánchez-Solís, A. y Manero, O. (2013). La sangre humana desde el punto de vista de la reología. *Materiales Avanzados*, 20, 33-37. https://www.researchgate.net/publication/259106557_La_sangre_humana_desde_el_punto_de_vista_de_la_reologia
- Moreno, M. (2015). *Análisis e interpretación de los patrones de manchas de sangre: experiencia, conocimientos formación y opiniones de los profesionales implicados en la investigación criminalística* [Tesis de doctorado, Facultad de Biología], Universidad de Murcia.
- Mullins, C. A. (2002). Recolección de la muestra. En B. F. Rodak (comp.), *Hematología. Fundamentos y aplicaciones clínicas* (2a. ed.) (pp. 19-32). Editorial Médica Panamericana.
- Muñoz-Guillén, N. M., León-López, R., Túnez-Fiñana, I. y Cano-Sánchez, A. (2013). Del vasoespasmio a la lesión cerebral precoz: una nueva frontera en la investigación de la hemorragia subaracnoidea. *Neurología*, 28(5), 309-316. <https://doi.org/10.1016/j.nrl.2011.10.015>
- Murillo-Godínez, G. (2019). Breve historia del descubrimiento de la circulación sanguínea y de las células circulantes. *Revista de Hematología*, 20(2), 146-149. <https://revistadehematologia.org.mx/article/breve-historia-del-descubrimiento-de-la-circulacion-sanguinea-y-de-las-celulas-circulantes/>
- National Institute for Occupational Safety and Health. (2018). *Filtering out confusion: frequently asked questions about respiratory protection, respirator reuse and extended use*. NIOSH.
- National Institute of Justice. (1990). *Forensic serology training manual: Unit 2-Crystal tests for blood*. U.S. Department of Justice.
- National Institute of Standards and Technology. (2020). *The Organization of Scientific Area Committees for Forensic Science*. <https://www.nist.gov/topics/organization-scientific-area-committees-forensic-science/bloodstain-pattern-analysis>.
- Negre, M. C., Castelló, A., Gil, P. y Verdú, F. A. (2003). ¿Manchas de sangre?: seguridad en pruebas de orientación. *Cuadernos de Medicina Forense*, 9(34), 29-34. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062003000400003>
- Norma Oficial Mexicana NOM-010-SSA2-2010, "Para la prevención y control de la infección por *Virus de la Inmunodeficiencia Humana*".
- Norma Oficial Mexicana NOM-013-SSA2-1994, "Para la prevención y control de las enfermedades bucales".
- Norma Oficial Mexicana NOM-087-ECOL-SSA1-2002, "Protección ambiental-Salud ambiental-Residuos peligrosos biológico-infecciosos-Clasificación y especificaciones de manejo".
- Norma Oficial Mexicana NOM-253-SSA1-2012, "Para la disposición de sangre humana y sus componentes con fines terapéuticos".

- Núñez, J. (2016). Aportes de la hematología al campo forense: pruebas de orientación y de certeza. *Skopein*, 13, 32-40. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5644545>
- Olay, G., Díaz, P., Hernández, R., Cervantes-Villagrana, D., Presno-Bernal, J. M. y Alcántara, L. E. (2013). Determinación de intervalos de referencia para química clínica en población mexicana. *Revista Latinoamericana de Patología Clínica*, 60(1), 43-51. <https://www.medigraphic.com/pdfs/patol/pt-2013/pt131e.pdf>
- Organización Mundial de la Salud (OMS). (2010). *WHO guidelines on drawing blood: best practices in phlebotomy*. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241599221>
- Organización Mundial de la Salud. (2011). *OMS/SIGN: Carpeta de material sobre seguridad de las inyecciones y los procedimientos conexos*. OMS. <https://www.who.int/es/publications/i/item/9789241599252>
- Orr, A., Illes, M., Beland, J. y Stotesbury, T. (2019). Validation of Sherlock, a linear trajectory analysis program for use in bloodstain pattern analysis. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 52(2), 78-94. <https://doi.org/10.1080/00085030.2019.1577793>
- Osakidetza-Servicio Vasco de Salud. (2009). *Protocolo de actuación en accidentes laborales con material biológico*. <https://ope2011.osakidetza.net/ProcesoSelectivo/B12006/DocInteres3.pdf>.
- Osakidetza-Servicio Vasco de Salud. (2011). *Manejo multidisciplinario de la hemorragia obstétrica*. Hospital Donostia.
- Ou, X., Zhao, H., Sun, H., Yang, Z., Xie, B., Shi, Y. y Wu, X. (2011). Detection and quantification of the age-related sjTREC decline in human peripheral blood. *International Journal of Legal Medicine*, 125(4), 603-608. <https://doi.org/10.1007/s00414-010-0528-3>
- Ou, X., Gao, J., Wang, H., Wang, H., Lu, H. y Sun, H. (2012). Predicting human age with bloodstains by sjTREC quantification. *PLoS ONE*, 7(8): e42412. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0042412>
- Ozturk, A., Temel, I., Yalcindag, A., Ucar, F. y Yay, F. (2022). Verification of enzymatic ethanol analysis method and method comparison with headspace gas chromatography. *Turkish Journal of Biochemistry*, 47(5), 557-563. <https://doi.org/10.1515/tjb-2021-0280>
- Paintsil, E., Binka, M., Patel, A., Lindenbach, B. D. y Heimer, R. (2014). Hepatitis C Virus maintains infectivity for weeks after drying on inanimate surfaces at room temperature: implications for risks of transmission. *The Journal of Infectious Diseases*, 209(8), 1205-1211. <https://doi.org/10.1093/infdis/jit648>
- Palmiere, C. (2015). *Postmortem* diagnosis of diabetes mellitus and its complications. *Croatian Medical Journal*, 56(3), 181-193. <https://doi.org/10.3325/cmj.2015.56.181>
- Palmiere, C. y Mangin, P. (2015). Urea nitrogen, creatinine, and uric acid levels in *postmortem* Serum, vitreous humor, and pericardial fluid. *International Journal of Legal Medicine*, 129, 301-305. <https://doi.org/10.1007/s00414-014-1076-z>
- Parra, M. V. (2011). Shock hemorrágico. *Revista Médica Clínica Las Condes*, 22(3), 255-264. [https://doi.org/10.1016/S0716-8640\(11\)70424-2](https://doi.org/10.1016/S0716-8640(11)70424-2)

- Pérez, M. R. y Alonso, E. (2017). Accidente biológico en un profesional sanitario. *AMF: Actualización en Medicina Familiar*, 13(3), 153-156. <https://amf-semfyc.com/es/web/articulo/accidente-biologico-en-un-profesional-sanitario>
- Perico, H. (s.f.). Actualización de las técnicas para el análisis de las manchas de sangre en la escena del crimen. *Criminalistica.mx*. <https://www.criminalistica.mx/areas-forenses/criminalistica/312-actualizacie-las-ticas-para-el-ansis-de-las-manchas-de-sangre-en-la-escena-del-crimen>.
- Peschel, O., Kunz, S. N., Rothschild, M. A. y Mützel, E. (2011). Blood stain pattern analysis. *Forensic Science, Medicine and Pathology*, 7(3), 257-270. <https://doi.org/10.1007/s12024-010-9198-1>
- Pinvisa Coatings. (2015). *Carta de colores RAL*. http://pinturasvillada.net/wp-content/uploads/2015/11/Carta_RAL_Pinvisa_compressed.pdf
- Piotrowski, E. (1895). Über Entstehung, Form, Richtung, und Ausbreitung der Blutspuren nach Hieb- und Stichwunden des Kopfes. [Editorial no identificada]. https://books.google.com.mx/books/about/%C3%9Cber_Entstehung_Form_Richtung_und_Ausbr.html?id=RUOCZTZsqaUC&redir_esc=y
- Pixabay. (2025). Molécula de ADN. [Imagen]. <https://pixabay.com/es/illustrations/adn-biolog%c3%ada-medicamento-gene-163466/>
- Pomilio, A. B. y Vitale, A. A. (2006). Técnicas para determinación cuali/cuantitativa de drogas de abuso en fluidos biológicos. *Acta Bioquímica Clínica Latinoamericana*, 40(3), 347-382. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=53540310>
- Poon, H., Elliott, J., Modler, J. y Frégeau, C. (2009). The use of Hemastix and the subsequent lack of DNA recovery using the Promega DNA IQ system. *Journal of Forensic Science*, 54(6), 1278-1286. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2009.01173.x>
- Pose, A. (2017). *Adquisición, procesamiento y análisis de imágenes hiperespectrales: de la microscopía de fluorescencia a la industria satelital* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Exactas y Naturales], Universidad de Buenos Aires.
- Procuraduría General de la República. (2015). *Acuerdo A/009/15 por el que se establecen las directrices que deberán observar los servidores públicos que intervengan en materia de cadena de custodia*. PGR.
- Prüss, A., Giroult, E. y Rushbrook, P. (1999). *Safe management of wastes from health-care activities*. OMS. <https://www.who.int/publications/i/item/9789241548564>
- Qi, B., Kong, L. y Lu, Y. (2013). Gender-related difference in bloodstain RNA ratio stored under uncontrolled room conditions for 28 days. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 20(4), 321-325. <https://doi.org/10.1016/j.jflm.2012.09.014>
- Quintana, M., Cabestrero, D. y García y Mateo, A. (2003). Coagulación y hemorragia en el paciente crítico. Parte II. Factor pronóstico y tratamiento. *Medicina Intensiva*, 27(10), 676-685. [https://doi.org/10.1016/S0210-5691\(03\)79992-6](https://doi.org/10.1016/S0210-5691(03)79992-6)
- Quintanar, M. A. y Calderón, J. V. (2006). Eriptosis, la apoptosis del eritrocito. *Revista de Educación Bioquímica*, 25(3), 85-89. <https://www.redalyc.org/pdf/490/49025304.pdf>
- Quispe, I. N. (2018). *Determinación del volumen de sangre a partir de manchas de sangre tipo charco en superficies no absorbentes para investigaciones de interés forense* [Tesis de

- licenciatura, Facultad de Ciencias Biológicas], Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- Quispe, Y. A. y Loaiza, E. A. (2011). *Evaluación del método analítico colorimétrico de dosaje etílico frente al método de cromatografía de gases: estudio en bebedores sociales y diabéticos abstemios de la ciudad del Cusco. Determinación de interferentes: especial interés en acetona e isopropanol* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas, Físicas y Matemáticas], Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Radzicki, J. (1960). *Bloodstain prints in practice of Technology*. Wydawnictwo Zakładu Kryminalistyki Komendy Glownej Mo.
- Rajamannar, K. (1977). Determination of the age of bloodstains using immunoelectrophoresis. *Journal of Forensic Science*, 22(1), 159-164. <https://doi.org/10.1520/JFS10381J>
- Reagan, W. J., Sanders, T. G. y DeNicofa, D. B. (1999). *Hematología veterinaria. Atlas de especies domésticas*. Ediciones S.
- Real Academia Española. (2023). *Sangre*. <https://dle.rae.es/sangre>.
- Rebasa, P. (2005). Conceptos básicos del análisis de supervivencia. *Cirugía Española*, 78(4), 222-230. [https://doi.org/10.1016/S0009-739X\(05\)70923-4](https://doi.org/10.1016/S0009-739X(05)70923-4)
- Repetto, M. y Repetto, G. (2009). *Toxicología fundamental* (4a. ed.). Díaz de Santos.
- Reyes, J. A. (2000). *Tratado de criminalística* (2a. ed.). Cárdenas Editor y Distribuidor.
- Riedel, S., Morse, S. A., Mietzner, T. A. y Miller, S. (2020). *Jawetz, Melnick & Adelberg. Microbiología médica* (28a. ed.). McGraw-Hill.
- Rivas, I. (1999). Genitorragia. *Revista Chilena de Pediatría*, 70(3), 248-249. <https://doi.org/10.4067/S0370-41061999000300015>
- Roca, P., Oliver, J. y Rodríguez, A. M. (2003). *Bioquímica. Técnicas y métodos*. Hélice.
- Rodrigo, A. M., Quintela, Ó., Bravo, B. y Ayuso, S. (2023). Optimization of a rapid method for screening drugs in blood by liquid chromatography tandem mass spectrometry. *Advances in Laboratory Medicine*, 4(4), 365-371. <https://doi.org/10.1515/almed-2023-0154>
- Rodríguez, A. L., Hernández, R. y Cruz, A. G. (1995). Interpretación de las manchas de sangre. En D. A. Castro Bodabilla y A. R. Dickerman Kraunick (comp.), *Compendio de medicina forense* (pp. 365-374). Alin Editora.
- Rodríguez, R. A., Sarmiento, L. y Rodríguez, G. (1998). Los cristales de Charcot-Leyden. *Biomédica*, 18(1), 89-92. <https://doi.org/10.7705/biomedica.v18i1.974>
- Rojas, N. A. (2016). *La medicina legal y el orden social. Saber y práctica médico judicial en Colombia, 1850-1936* [Tesis de maestría, Facultad de Ciencias Humanas-Departamento de Historia], Universidad Nacional de Colombia.
- Rojas, R. y Rojas, A. (2006). Morbimortalidad de la ruptura del aneurisma de aorta abdominal en el área geográfica del Hospital de Puerto Montt. *Revista Chilena de Cirugía*, 58(2), 138-146. <https://doi.org/10.4067/S0718-40262006000200011>
- Rothermel, L. D. y Lipman, J. M. (2016). Estimation of blood loss is inaccurate and unreliable. *Surgery*, 160(4), 946-953. <https://doi.org/10.1016/j.surg.2016.06.006>
- Rubio, F., García, B. y Carrasco, M. (2012). *Fundamentos y técnicas de análisis hematológicos y citológicos*. Paraninfo.

- Ruiz, G. J. (2009). *Fundamentos de hematología* (4a. ed.). Panamericana.
- Ruiz, E., López, B. y Dionisio, I. (2007). Evaluación del tiempo de protrombina y tiempo de tromboplastina parcial en sangre total. *Revista Mexicana de Patología Clínica*, 54(3), 136-143. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=13272>
- Ruiz, J. O. (2007). *Heridas por proyectiles de armas de fuego*. Alfil.
- Sala, A. (2012). *Mediadores mastocitarios durante la anafilaxia: utilidad y limitaciones de la triptasa como marcador diagnóstico actual e implicación del sistema de contacto y de la coagulación en la anafilaxia* [Tesis de doctorado, Facultat de Medicina], Universitat Autònoma de Barcelona.
- Sánchez, P., Sánchez, A. y Moraleda, J. M. (2013). Anemia: concepto, clínica y clasificación. En J. M. Moraleda Jiménez (comp.), *Pregrado de hematología* (pp. 35-55). Luzán 5.
- Sánchez, N. N. (1911). Hemorragias ocultas en las enfermedades del aparato digestivo, úlceras y cáncer gástrico. *España Médica*, 1(25), 6-8.
- Sánchez, M., Miró, O. y Coll-Vinent, B. (2000). Las hemorragias. *Medicina Integral*, 36(6), 203-210. <https://www.elsevier.es/es-revista-medicina-integral-63-articulo-las-hemorragias-15332>
- Santos, J. E. (2016). *Análisis reconstructivo forense mediante patrones de manchas de sangre* (2a. ed.). Ediciones Jurídicas de Santiago.
- Santos, J. E. (2020). Importancia de las manchas de sangre de retrosalpicadura (back spatter), en lesiones por disparos de arma de fuego en la cabeza. *Expresión Forense*, 7(57), 38-42.
- Scharlab. (2020). *Equipos de protección individual (E.P.I.). Protección de manos*. https://prevencio.uib.cat/digitalAssets/192/192146_guantes_sharlab.pdf.
- Seashols, S. J., Cross, H. D., Shrader, D. L. y Rief, A. (2013). A comparison of chemical enhancements for the detection of latent blood. *Journal of Forensic Science*, 58(1), 130-133. <https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02259.x>
- Secretariado Ejecutivo del Sistema Nacional de Seguridad Pública. (2015). *Guía nacional de cadena de custodia*. SESNSP.
- Seratec. (2013). *Instructivo de uso de HemDirect*. https://www.seratec.com/docs/user_instructions/hbf07_multi.pdf.
- Serra, C. (2016). Guantes, guantes adicionales o guantes especiales para la prevención de exposiciones percutáneas en personal sanitario. *Archivos de Previsión de Riesgos Laborales*, 19(2), 116-117. <https://doi.org/10.12961/apr.2016.19.02.9>
- Shanker, S., Punia, R. K., Kumar, M. y Sharma, S. (2019). Effect of time since death on morfological changes of red and white blood cells. An autopsy based study at S.M.S Medical College & Attached Group of Hospitals, Jaipur during the year 2016-2017. *Medico-legal Update*, 19(2), 145-150. <https://doi.org/10.5958/0974-1283.2019.00162.2>
- Sharma, S., Chopi, R., Jossan, J. K. y Singh, R. (2021). Detection of bloodstains using attenuated total reflectance-Fourier transform infrared spectroscopy supported with PCA and PCA-LDA. *Medicine, Science and Law*, 61, 292-301. <https://doi.org/10.1177/00258024211010926>
- Silsor. (2006). Símbolo de riesgo biológico. [imagen]. Wikimedia Commons. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Biohazard_symbol.svg#mw-jump-to-licens
- Simon, S. I. y Kim, M. (2010). A day (or 5) in a neutrophil's life. *Blood*, 116(4), 511-512. <https://doi.org/10.1182/blood-2010-05-283184>

- Simonelli, A. F. (2013). *Degradación de la mancha hemática por acción del calor* [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Jurídicas y Sociales], Universidad Fasta.
- Simonin, C. (1973). *Medicina legal judicial* (2a. ed.). Jims.
- Sirchie. (2013). *Investigación criminalista-Productos, vehículos y entrenamiento* (Catálogo 2014-2015). Sirchie. <https://sirchie.com/synthetic-blood-8-oz.html>
- Sirisathitkul, Ch. y Sirisathitkul, Y. (2025). Bloodstain in forensics: from visual inspections to AI-assisted pattern analysis and age estimation. *History of Science and Technology*, 15(1), 26-46. <https://doi.org/10.32703/2415-7422--2025-15-1-26-46>
- Smith, F. R. y Brutin, D. (2018). Wetting and spreading of human blood: recent advances and applications. *Colloid & Interface Science*, 36, 78-83. <https://doi.org/10.1016/j.cocis.2018.01.013>
- Sniegovski, M., Bortolato, J. y Formolo, F. (2016). Manchas de sangre: el análisis de su patrón en la escena del crimen. *Skopein*, 14, 6-18. <https://skopein.org/ojs/index.php/1/article/view/94>
- Soler, R. (2004). *Lesiones traumáticas abdominales*. http://www.sld.cu/galerias/pdf/uvs/cirured/primer_a_parte.pdf.
- Soria-Sánchez, M. L. y Valverde-Villarreal, J. L. (2015). Interés de las muestras para los estudios químico-toxicológicos *post mortem*. *Revista Española de Medicina Legal*, 41(2), 72-80. <https://doi.org/10.1016/j.reml.2015.01.002>
- Sparer, A. (2016). *Porcine blood in forensic bloodstain pattern analysis: Hemorheological issues* [Tesis de maestría, Department Health Sciences], University of Applied Sciences.
- Stovall, G. (2013). White blood cell differential count [Fotomicrografía]. <https://pulpbits.net/8-white-cells-pictures/white-blood-cell-differential-count/>
- Streiff, M. B. (2023). *How blood clots*. <https://www.merckmanuals.com/en-ca/home/blood-disorders/blood-clotting-process/how-blood-clots?>
- Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis. (2009). Scientific Working Group on Bloodstain Pattern Analysis: recommended terminology. *Forensic Science Communications*, 11(2).
- Tapia, M. A. (2015). *Método para el cálculo de pérdida de sangre en cirugía*. <https://es.slideshare.net/slideshow/mtodos-para-el-clculo-de-prdida-de-sangre/47220820>.
- Taylor, A. C. (1997). Titration of heparinase for removal of the PCR-inhibitory effect of heparin in DNA samples. *Molecular Ecology*, 6(4), 383-385. <https://doi.org/10.1046/j.1365-294X.1997.00191.x>
- The Works of Williams Hewson. (1847). *The Medico-Chirurgical Review*, 5(9), 1-20. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC5106633/pdf/medchirrev77049-0007.pdf>
- Thews, G., Mutschler, E. y Vaupel, P. (1983). *Anatomía, fisiología y patofisiología del hombre. Manual para farmacéuticos y biólogos*. Reverté.
- Toledo, B. J. (2000). Validación de método espectrofotométrico, como metodología alterna, para la medición de alcohol en sangre [Tesis de licenciatura, Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia], Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Torres, E. A. (2012). *Análisis cromático y morfológico de manchas de sangre* [Tesis de licenciatura, Facultad de Psicología], Universidad del Aconcagua.

- Tortosa, J. M. y Crespo, S. (2011). *Conceptos básicos de patología forense*. Palibrio.
- Toscanini, U. (2019). Historia y evolución de la genética forense. Grupos de trabajo de estandarización científica. En M. C. Crespillo Márquez y P. A. Barrio Caballero (ed.), *Genética forense. Del laboratorio a los tribunales* (pp. 1-21). Díaz de Santos.
- Trujillo, Y., Arce, S., Viguera, R., Martínez, I. y White, V. (2018). El complejo mayor de histocompatibilidad. Organización genética, estructura, localización y función. *Panorama. Cuba y Salud*, 13(1), 53-57. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=81675>
- Turrina, S., Filippini, G., Atzei, R., Zaglia, E. y De Leo, D. (2008). Validation studies of rapid stain identification-blood (RSID-blood) kit in forensic caseworks. *Forensic Science International: Genetics Supplement Series*, 1, 74-75. <https://doi.org/10.1016/j.fsigss.2007.10.166>
- Uchikawa, M., Uchikawa, K., Gomes, F. M., Quartim, C., Queiroz, R. y Angelo, C. (2013). Eficacia de la desinfección con alcohol al 70% (p/v) de superficies contaminadas sin limpieza previa. *Revista Latino-Americana de Enfermería*, 21(2), 618-623. <https://doi.org/10.1590/S0104-11692013000200020>
- Valdivieso-González, L. G., Muñoz-Potosi, A. F. y Navas-Gómez, K. J. (2020). Identificación del área de origen de manchas hemáticas en una escena de crimen: análisis teórico. *Iteckne*, 17(1), 31-37. <https://doi.org/10.15332/iteckne.v17i1.2427>
- Vandergutch, H. R. (s.f.). William Hewson [Grabado]. https://commons.wikimedia.org/wiki/File:William_Hewson_b1739.jpg
- Varcode. (2023). *Blood sample transportation guidelines*. <https://www.varcode.com/industry-blog/temperature-controlled-travels-blood-sample-transportation-guidelines?>
- Vaughan-Shaw, P. G., Walker, M., Ooi, L., Gilbert, N., Farrington, S. M. y Dunlop, M. G. (2015). A simple method to overcome the inhibitory effect of heparin on DNA amplification. *Cellular Oncology*, 38(6), 493-495. <https://doi.org/10.1007/s13402-015-0250-8>
- Velarde-Félix, J. S., Molina-Benítez, C. E., Solórzano-Rosales, S. R., Cázarez-Salazar, S. G., Rendón-Aguilar, H., Murillo-Llanes, J. y Ríos-Tostado, J. J. (2008). Identificación del sexo mediante análisis molecular del gen de la amelogenina. *Revista Mexicana de Patología Clínica*, 55(1), 17-20. <https://www.medigraphic.com/cgi-bin/new/resumen.cgi?IDARTICULO=15441>
- Vergara, T., Véliz, E., Fica, A. y Dabanch, J. (2018). Exposición a fluidos de riesgo en el personal de salud. Evaluación de gastos directos en su manejo. *Revista Chilena de Infectología*, 35(5), 490-497. <https://doi.org/10.4067/s0716-10182018000500490>
- Viero, A., Montisci, M., Pelletti, G. y Vanin, S. (2019). Crime scene and body alterations caused by arthropods: implications in death investigation. *International Journal of Legal Medicine*, 133(1), 307-316. <https://doi.org/10.1007/s00414-018-1883-8>
- Vicente, V. (2019). *Sangre viva y elocuente: Lecciones de la historia*. <https://hematoncologia.com/archivos/2020-01/PDF-2.pdf>.
- Villalobos, K. y Fernández, J. M. (2016). Fenómeno de diente rosado en asfixia por sumersión. *Medicina Legal de Costa Rica*, 33(2), 133-137. https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1409-00152016000200133

- Villalobos, H. (2017). Las pruebas de ADN en el contexto forense. *Revista de Ciencias Forense de Honduras*, 3(2), 28-38. <https://www.bvs.hn/RCFH/pdf/2017/pdf/RCFH3-2-2017-8.pdf>
- Villanueva, E. (1999). Estudio toxicológico y médico-legal del alcohol etílico. En J. A. Gisbert Calabuig (comp.), *Medicina legal y toxicología* (pp. 764-780). Masson.
- Villegas, M. R., Acevedo, M. L., Miranda, J. y Pinto, E. A. (2005). Validación de técnicas para detección de sangre, sangre humana y grupo sanguíneo ABO en diferentes soportes y condiciones con fines forenses. *Cuadernos de Medicina Forense*, 11(42), 267-274. <https://doi.org/10.4321/S1135-76062005000400004>
- Voigt, G. L. (2003). *Conceptos y técnicas hematológicas para técnicos veterinarios*. Acribia.
- Weber, A., Wójtowicz, A., Wietecha-Posluszny, R. y Lednev, I. K. (2024). Raman spectroscopy for the time since deposition estimation of a menstrual bloodstain. *Sensors*, 24(11), 3262. <https://doi.org/10.3390/s24113262>
- Wilburn, S. Q. y Eijkemans, G. (2004). Preventing needlestick injuries among healthcare workers: A WHO-ICN collaboration. *International Journal Occupational Environmental Health*, 10, 451-456. <https://doi.org/10.1179/oeh.2004.10.4.451>
- Willard, H. H., Merritt Jr., L. L., Dean, J. A. y Settle Jr., F. A. (1991). *Métodos instrumentales de análisis*. Grupo Editorial Iberoamérica.
- Winecker, R. E., Hammett-Stabler, C. A. y Roper Miller, J. (2002). HbA1c as a *postmortem* tool to identify glycemic control. *Journal of Forensic Sciences*, 47(6), 1373-1379. <https://doi.org/10.1520/JFS15578J>
- Wonder, A. Y. (2001). *Blood dynamics*. Academic Press.
- Yamashita, B., French, M., Bleay, S., Cantú, A., Inlow, V., Ramotowski, R., Sears, V. y Wakefield, M. (2018). Desarrollo de la impresión latente. En A. McRoberts (ed.), *El libro de referencia de las huellas dactilares* (pp. 7-1-7-77). Instituto Nacional de Justicia-Departamento de Justicia de los Estados Unidos.
- Yang, Q., Zhang, X., Qi, Y., Xie, J., Zhang, J., Liang, Y., Wu, J. y Ma, K. (2023). Age estimation of bloodstains based on convolutional neural network algorithm and hyperspectral imaging technology. *Analytical Methods*, 15(38), 5063-5070. <https://doi.org/10.1039/D3AY00984J>
- Zou, T. y Stern, H. (2022). Towards a likelihood ratio approach for bloodstain pattern analysis. *arXiv*, 2209.03562. <https://doi.org/10.2139/ssrn.4209110>
- Zubakov, D., Liu, F., Van Zelm, M. C., Vermeulen, J., Oostra, B. A., Van Duijn, C. M., Driessen, G. J., Van Dongen, J. J. M., Kayser, M. y Langerak, A. W. (2010). Estimating human age from T-cell DNA rearrangements. *Current Biology*, 20(22), 970-971. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2010.10.022>
- Zulfiqar, M., Ahmad, M., Sohaid, A., Mazzara, M. y Distefano S. (2021). Hyperspectral imaging for bloodstain identification. *Sensors*, 21(9), 3045. <https://doi.org/10.3390/s21093045>

El indicio hemático, de Jesús Alberto Jiménez Ochoa, fue editado en la Dirección General de Publicaciones de la Universidad de Colima, avenida Universidad 333, Colima, Colima, México, www.ucol.mx. La edición digital se terminó en junio de 2026. En la composición tipográfica se utilizó la familia Arial. El tamaño del libro es de 22.5 cm de ancho por 28 cm de alto. Programa Editorial No Periódico: Eréndira Cortés Ventura. Diseño de portada: Adriana Minerva Vázquez Chávez. Diseño de interiores, corrección y cuidado de la edición: Myriam Cruz Calvario. Plataformas digitales: Benjamín Cortés Vega y Damara Josselin Jiménez Armenta.

La sangre suele ser considerada como el indicio más frecuente e importante en la investigación criminal; particularmente en aquellos hechos en los que se atenta contra la vida o la integridad corporal de las personas. Ante este tipo de eventualidades, la criminalística se ha apropiado de una selecta serie de conocimientos de la física, la química y la medicina para dar lugar a la hematología forense. Así pues, el presente libro recopila e integra parte de la vasta información dispersa en numerosas fuentes especializadas; tratando de presentarla, técnica y científicamente fundamentada, motivada y sustentada. El contenido podría ser útil a estudiantes, profesionales y profesionistas de diversas áreas de las ciencias forenses; especialmente para quienes se interesan y ocupan en el procesamiento criminalístico del lugar de intervención, la dictaminación en materia de mecánica de hechos, la identificación y el análisis laboratorial de los indicios biológicos, la capacitación y el entrenamiento laboral del personal sustantivo adscrito a las procuradurías o fiscalías, así como a quienes se mantienen en constante actualización.

Jesús Alberto Jiménez Ochoa

Doctor en ciencias forenses por el Instituto de Ciencias Jurídicas de Nayarit. Es responsable del Laboratorio de Criminalística de la Facultad de Derecho de la Universidad de Colima y catedrático a nivel licenciatura y posgrado de las materias de ciencias forenses y química forense en la misma Universidad; así como de criminalística, medicina legal, criminología y balística forense en la Univer Colima, la Universidad Vizcaya de las Américas campus Colima y el Instituto Colimense de Ciencias Forenses. Es autor de diversos artículos relacionados con temas forenses publicados en revistas especializadas en la materia, así como de los libros *¿Quiénes, cómo, dónde y cuándo se suicidan en Colima? Un estudio retrospectivo de la incidencia suicida en el área conurbada Colima-Villa de Álvarez (1996-2000)*; *Planimetría forense*; *Tanatología forense* y *Traumatología forense*.

ORCID: 0009-0000-1341-0701



UNIVERSIDAD DE COLIMA