



SABER, arte y técnica

Minerva. Saber, Arte y Técnica

AÑO 2 / VOL. 2 DICIEMBRE DE 2018 /

DOSSIER ANÁLISIS DE PATRONES DE MANCHAS DE SANGRE

ISSN en línea 2545-6245

ISSN impreso 2591-3840

Determinación DEL ÁREA DE ORIGEN EN EL ANÁLISIS de **MANCHAS** DE SANGRE

María Soledad Aldao
Instituto Superior de Seguridad Pública
soledad_aldao@hotmail.com

FECHA RECIBIDO: 12-02-18
FECHA DE ACEPTACIÓN: 14-05-18

Resumen El análisis de las manchas de sangre halladas en la escena de un crimen incluye la aplicación de un conjunto de técnicas científicas destinadas a establecer los patrones de las mismas y de este modo reconstruir los eventos que resultaron en la deposición encontrada. Las causas de los errores en el cálculo del ángulo de impacto fueron investigadas incluyendo el tipo de superficie, la velocidad de caída y el método empleado para encajar un elipse en una mancha hemática. El tipo de superficie afecta significativamente la precisión del cálculo de área de impacto y mientras la velocidad de caída aumenta, el cálculo del ángulo de impacto resulta más certero.

Palabras Clave Manchas de sangre- métodos- área de convergencia- ángulo de impacto- área de origen- selección muestras- modo de medición

Abstract The analysis of the bloodstains found at the scene of a crime includes the application of a set of scientific techniques designed to establish the patterns of the them and, in this way, reconstruct the events that resulted in the deposition found. Currently, little is known about the methods used by analysts to select the spots chosen to determine the area of origin.

The causes of the errors in the calculation of the impact angle were investigated including the type of surface, the speed of fall and the method used to fit an ellipse into a blood spot. The surface type significantly affects the precision of the impact area calculation and while the fall speed increased, the calculation of the impact angle becomes more accurate.

Keywords BPA- methods- area of origin- angle of impact- area of convergence- selection of stains-measuring bloodstains

Introducción Así como cadáver y lugar del hecho guardan un vínculo inseparable, la sangre es el elemento que, en forma habitual, los acompaña; pero no siempre es posible encontrarla, no porque no exista, sino porque pudo proyectarse en finísimas partículas o haber sido erradicada de la escena.

El estudio de los patrones de manchas de sangre es una parte fundamental para la reconstrucción del lugar del hecho. Ésta evidencia físico-biológica podría ayudar a comprender lo que sucedió durante un ataque violento o probar la versión de un acusado sobre un hecho.

Además, la correcta interpretación de los patrones dejados por este fluido al incidir sobre determinadas superficies podría revelar información muy importante, tal como las posiciones de la víctima, del agresor y de los objetos del lugar, el tipo de arma que se utilizó para generar el daño físico que dio lugar a la herida y causó la mancha.

Potencialmente se podría establecer el número mínimo de golpes, el movimiento y la dirección de la víctima y del agresor después de comenzado el derramamiento de sangre, entre otras.

Por otra parte, análisis de tipo químicos pueden suministrar otro tipo de información con respecto a las manchas halladas.

Estos datos, convertidos en prueba, podrán ser complementarios con las evidencias físicas obtenidas por el estudio de la proyección de manchas sanguíneas, y en conjunto contribuirán al esclarecimiento del hecho.

Reconstruir la cadena de eventos ocurridos en un determinado escenario, donde se encuentran presentes manchas de sangre de diferentes aspectos, guarda proporción directa con la habilidad y cuidado puestos de manifiesto mientras se concretan los exámenes correspondientes.

Por todo esto, el analista podría utilizar la interpretación para determinar los sucesos acontecidos, cuándo y en qué secuencia; quién estaba presente, y establecer los hechos que no ocurrieron.

El tema de análisis de las manchas de sangre ha sido de gran interés para el desarrollo de la Criminalística y, un adecuado estudio siguiendo procesos científicos, permitiría entonces utilizarla como una evidencia más en el esclarecimiento de delitos violentos. Aquí radica su importancia.

Propósitos del Análisis de Patrones de Manchas de Sangre

El Análisis de Patrones de Manchas de Sangre es una disciplina que utiliza los campos de la biología, la física y las matemáticas. Además, puede ser complementado por el examen directo de la escena y/o el análisis cuidadoso de la misma a través de fotografías (cabe destacar que estas últimas deben ser a color y deben contar con patrón métrico) como así también un detallado examen de la ropa, armas y otros elementos considerados como evidencia física.

Esta disciplina actúa bajo la premisa de que **“La sangre como fluido va a reaccionar a fuerzas externas de una manera predecible”** y, por lo tanto, es un fenómeno reproducible.

Los detalles de registros de hospitales, examen postmortem y las fotografías de la autopsia también proveen información útil y deberían ser incluidos para evaluación y estudio del analista. En los casos en que una investigación de la escena no sea posible, se deberá confiar en las fotografías, croquis, diagramas, anotaciones, informes de los investigadores de la escena del crimen, del laboratorio, los cuales deberán estar todos disponibles para revisión.

En lo concerniente a la formación de la secuencia fáctica¹ de una escena del crimen, el análisis de manchas de sangre puede aportar información al investigador en muchas áreas.

- Áreas de convergencia y origen de las manchas
- Tipo y dirección de impacto que produjo la mancha o salpicadura
- Mecanismos por los cuales fueron producidos los patrones
- Asistencia en la interpretación de cómo las manchas fueron depositadas sobre elementos de evidencia
- Posible posición de la víctima, agresor u objetos en la escena durante el derramamiento
- Posible movimiento y dirección de la víctima, del agresor u objetos en la escena luego del derramamiento
- Sostener o contradecir las declaraciones realizadas por el imputado y/o testigos
- Criterio adicional para la estimación del Intervalo Postmortem
- Correlación con otros hallazgos patológicos de laboratorio relevante a la investigación

El objetivo de la secuencia fáctica de la escena del crimen a través del análisis de patrones sanguíneos es el de asistir en conjunto a la investigación forense respondiendo a las preguntas relacionadas con la labor criminalística:

- **¿Qué ocurrió? ¿Qué no ocurrió?**
- **¿Dónde ocurrió?**
- **¿Cuándo y en qué secuencia ocurrió?**
- **¿Quién estaba ahí durante cada suceso?**
- **¿Quién no estaba ahí durante cada suceso?**

Fundamentos científicos del análisis de patrones sanguíneos

La metodología del Análisis de Patrones de Manchas de Sangre debe adherirse al de tipo científico y debe basarse en los principios de la biología, física y matemáticas. Se recomienda la capacitación en estas áreas para poder desempeñar fielmente esta tarea. Una combinación de entrenamiento a través de la instrucción formal, experimentación personal y experiencia con casos actuales se torna necesaria antes de que el individuo adquiera la técnica adecuada en el Análisis de Patrones de Manchas de Sangre. Además, experimentos contemporáneos que

¹ *Secuencia fáctica: es la diligencia criminalística que establece la hipótesis más probable dentro de las posibles, basada en elementos objetivos. Es el término adecuado a ser utilizado, ya que el término “reconstrucción” se refiere a una diligencia judicial.*

duplican un patrón específico deberían ser considerados al momento de expedir un análisis o conclusión de un caso determinado (James, Kish, Sutton, 2005).

Se permite algún tipo de especulación en la fase inicial de la investigación. Sin embargo, en los puntos finales, en el contenido del informe escrito, en una declaración en un juicio oral, etcétera, deben estar basados con fundamentos científicos sin ningún tipo de especulación. Todas las explicaciones en potencia deberían ser exploradas minuciosamente y reconocidas por el analista. Un análisis de manchas de sangre debería estar en concordancia y ser consistente con los hallazgos que posteriormente puedan revelarse en la autopsia en el caso que contemos con un cuerpo para su análisis. Por ejemplo, cuando se observa un patrón de salpicadura de una arteria, el informe de la autopsia debería indicar un corte en una arteria de la víctima.

En aquellos casos donde tanto el victimario como la víctima producen derramamiento de sangre o cuando hay múltiples víctimas, la individualización de las manchas de sangre por el laboratorio es crítica. Es importante permanecer dentro del área de lo que puede ser científicamente demostrable y no sobreinterpretar la evidencia sanguínea. Las conclusiones basadas en fotografías de la escena del crimen deberían ser moderadas cuando el analista no ha tenido la oportunidad de examinar personalmente la escena del crimen y deba confiar en la documentación fotográfica de otros.

En cuanto a la admisibilidad de la prueba hemática como prueba en un proceso criminal, se fundamenta en el principio general que dice que una técnica será admisible si existe consenso científico sobre su aplicación en un caso dado.

La física aplicada al estudio de manchas de sangre

La física es una ciencia básica y exacta que estudia las propiedades y el comportamiento de la materia, la energía, el espacio y el tiempo así como sus interacciones. Es una ciencia teórica y experimental, busca que sus conclusiones puedan ser verificables mediante experimentos y que la teoría pueda realizar predicciones de experimentos futuros.

La física, en su búsqueda de describir la verdad última de la naturaleza, tiene varias subdivisiones, las cuales podrían agruparse en cinco teorías principales:

- la mecánica clásica, describe el movimiento de cuerpos macroscópicos;
- el electromagnetismo, describe la interacción de partículas cargadas con campos eléctricos y magnéticos;
- la relatividad, describe el espacio-tiempo y la interacción gravitatoria;
- la termodinámica, describe los fenómenos moleculares y el intercambio de calor, y finalmente;
- la mecánica cuántica, trata los sistemas atómicos y subatómicos

Las teorías de la física de interés para el tema competente del presente trabajo son la mecánica clásica y la termodinámica. La primera, a su vez, abarca la temática de la mecánica de fluidos la cual estudia el movimiento de fluidos (gases y líquidos) así como las fuerzas que los provocan, mientras que la segunda estudia los efectos de los cambios de la temperatura, presión y volumen de los sistemas a un nivel macroscópico.

Propiedades físicas de la sangre

La sangre es un fluido, más precisamente un líquido. Un líquido tiene la capacidad de fluir y la de asumir la forma de su contenedor. Esta capacidad de fluir es posible gracias a que las moléculas en un líquido son capaces de moverse libremente. A pesar de esto, el espacio que hay entre las moléculas permanece fijo a menos que haya un cambio de temperatura o presión.

Las características del vello y las de la mancha hemática resultante son consecuencia de las propiedades físicas de la sangre (James et al, 2005). A continuación se detallarán cuatro de estas propiedades que se encuentran íntimamente ligadas al tema en cuestión.

-Viscosidad

La viscosidad de un líquido es la medida de su resistencia para cambiar de forma o fluir. Es la cantidad de fricción interna de un fluido, es decir, el resultado directo de la fuerza de atracción de las moléculas entre sí y el tamaño y forma de las partículas que lo conforman. Se dice que a mayor viscosidad, menor fluidez y viceversa. Las membranas de los glóbulos rojos presentan una amplia concentración de ácido siálico, el cual produce una gran carga electronegativa en la superficie del eritrocito. Es esta gran carga la que le otorga a la sangre su viscosidad (James et al, 2005).

Los cambios en la presión no alteran significativamente la viscosidad de un fluido pero los cambios en la temperatura tienen efecto. Como regla general, la viscosidad de un líquido decrece cuando la temperatura aumenta. La viscosidad puede calcularse tomando en cuenta el tiempo que transcurre cuando cierta cantidad de un líquido fluye a través de un delgado tubo bajo la fuerza de la gravedad.

-Densidad relativa

La densidad de una sustancia es la medida de su masa por unidad de volumen ($\delta = m/v$) y se expresa en gramos por centímetro cúbico (g/cm^3). El término densidad relativa ha reemplazado al de gravedad específica. Como lo sugiere dicho término, la densidad relativa es una comparación de la relación de la densidad de una sustancia dada con la de otra tomada como referencia, ésta última suele ser el agua ($\delta = 1 g/cm^3$). Cualquier sustancia cuya densidad sea menor que la del agua, flotará sobre ésta. Contrario a esto, cualquier sustancia cuya densidad sea superior a $1 g/cm^3$ se hundirá en el agua.

La densidad relativa es adimensional, es decir, se expresa sin unidad, esto sucede debido a que es el cociente entre dos densidades con las mismas unidades lo que provocaría su cancelación.

-Gravedad

Otra propiedad competente al tema en cuestión es la fuerza de gravedad. La misma actúa sobre la sangre (sin la influencia del cuerpo) tan pronto sale del cuerpo. Esta fuerza es un fenómeno por el cual todos los objetos con una masa determinada se atraen entre ellos, esta atracción depende de la cantidad de sangre en cuestión, mientras más cantidad mayor será la fuerza de atracción.

La caída libre es otro aspecto a tener en cuenta ya que es el movimiento que se debe únicamente a la influencia de la gravedad. Todos los cuerpos con este tipo de movimiento tienen una aceleración dirigida hacia abajo cuyo valor depende del lugar en el que se encuentren. En la Tierra este valor es de aproximadamente $9,81 m/s^2$, esto quiere decir que los cuerpos dejados en caída libre aumentan su velocidad (hacia abajo) en $9,81 m/s$ cada segundo, en la caída libre no se tiene en cuenta la resistencia del aire.

-Tensión superficial

A pesar de que los líquidos no son rígidos y que las moléculas se mueven libremente, el espacio entre éstas es fijo bajo condiciones controladas. Las atracciones eléctricas entre las moléculas en este espacio fijado crean fuerzas cohesivas. La intensidad de estas fuerzas cohesivas es ejemplificada por la cantidad de energía requerida para romper estas atracciones.

En la tensión superficial de un líquido, cada molécula se desplaza siempre bajo influencias de sus moléculas vecinas. Una molécula cerca del centro del líquido, experimenta el efecto de atracción de sus vecinas casi en la misma magnitud en todas direcciones. Sin embargo, una molécula en la superficie del líquido no está íntegramente rodeado por otras y, sólo experimenta la atracción de aquellas moléculas que están por abajo y a los lados. Debido a que no existen moléculas arriba de aquellas que yacen en la superficie, hay una inequidad en las atracciones intermoleculares dando por resultado un incremento en las fuerzas cohesivas entre las moléculas de la superficie. Las moléculas están tratando de conseguir la energía más estable y de bajo consumo posible mediante la reducción al mínimo de la superficie expuesta. Las fuerzas cohesivas aumentadas en la superficie de un líquido resultan en lo que se denomina como piel o membrana de tensión superficial. Entonces, esta propiedad es la fuerza que le otorga a la sangre la capacidad para mantener su forma.

La tensión superficial es la fuerza por unidad de longitud de cualquier línea recta de la superficie líquida que las capas superficiales situadas en los lados opuestos de la línea ejercen una sobre otra. Cuando una superficie es sometida a tensión se contrae hasta ocupar el área mínima compatible con los límites de la superficie y con las diferencias de presiones en las caras opuestas de las mismas, esto es lo que origina la forma esférica de una gota.

Esta propiedad depende de la naturaleza del líquido, del medio que lo rodea y de la temperatura. En general, la tensión superficial disminuye con la temperatura, ya que las fuerzas de cohesión disminuyen al aumentar la agitación térmica. La influencia del medio exterior hace que las moléculas de éste ejerzan acciones atractivas sobre las moléculas situadas en la superficie del líquido, contrarrestando las acciones de las moléculas del mismo.

Se expresa en términos de fuerza por unidad de longitud (con las unidades del Sistema Internacional: N/m ó J/m²) y representa energía almacenada. La tensión superficial de la sangre es 0.058 N/m.

Todas estas propiedades son explicadas para poder comprender cuáles son los factores más importantes que contribuyen a la producción de una mancha de sangre.

Leyes físicas de los líquidos: principio de adhesión y cohesión

El principio físico de adhesión tiene que ver con las fuerzas de atracción entre moléculas diferentes entre sí, es decir, la interacción entre las superficies de distintos cuerpos, por ejemplo, una gota de sangre será fijada a una pared o a cualquier elemento debido a fuerzas adhesivas (James et al, 2005).

El principio de cohesión difiere con el de adhesión en el sentido de que es producida por fuerzas de atracción entre partículas adyacentes dentro de un mismo cuerpo. En un contenedor de sangre o en una simple gota, serán las fuerzas cohesivas resultantes de las atracciones eléctricas las

que mantienen las moléculas unidas. Como se describió previamente, la tensión superficial es el resultado directo de las fuerzas cohesivas en la superficie de un líquido. Debido a este principio, una gota de sangre se mantiene unida por una película similar a un globo, dicha película es en realidad la tensión superficial o una cobertura exterior de la gota.

Este principio es similar al de una hoja de afeitar que flota en el agua si se la coloca cuidadosamente sobre la superficie y queda entonces sostenida por la capa superficial del agua que ha permanecido intacta. No obstante, si la hoja de afeitar se toma por el borde o se coloca en el agua su borde afilado cortará la capa o tensión superficial y la hoja se hundirá (Guzmán, 1997).

El análisis de manchas de sangre tiene su fundamento en la física y en la aplicación de leyes en lo que respecta a la formación de gotas y cómo estas se rompen cuando asientan en distintas superficies.

Formación de una gota y sus características

En un principio, cuando la gota se desprende se torna ligeramente alargada. Mientras continúa cayendo los efectos de la resistencia del aire causarán que la gota de sangre se aplane ligeramente. En una gota de sangre las fuerzas cohesivas ejercidas por las moléculas en la superficie de la esfera son mayores que las fuerzas ejercidas por las moléculas en el interior de la gota. Las fuerzas de atracción de la tensión superficial causan que la gota asuma una forma que exponga la menor cantidad de área superficial posible: la de una bola o esfera, diferente a la frecuente representación en forma de lágrima.

La forma esférica de una gota de sangre es consecuencia de las fuerzas cohesivas de tensión de superficie pero la viscosidad de la sangre es responsable de la conservación de esta forma esférica. Esta especie de "membrana elástica" hace que la gota sea resistente a la ruptura incluso al chocar con un obstáculo. Cuando ésta impacta sobre una superficie se producirá una deformación que romperá la tensión de superficie; mientras más áspera sea la textura del soporte, mayor será la ruptura de la gota, originando que la misma se "abra" en gotas más pequeñas hacia arriba.

Método científico del análisis morfológico de patrones de manchas de sangre

Para determinar el área de origen

Para poder hacer remisión sobre las cualidades morfológicas de índole físico que posee este fluido una vez que ha sido desalojado de su hábitáculo corporal es menester fundar ciertas definiciones. Se entiende por mancha a toda modificación o alteración de una superficie, ya sea por variación en el color, olor, textura, etcétera o por el depósito de una sustancia ajena a la misma (Cardini et al, 1983). Dichas manchas pueden ser de cualquier naturaleza pero en la presente tesina se detallará el comportamiento de aquellas de tipo sanguíneas.

Análisis morfológico propiamente dicho

Se tienen en cuenta todas aquellas características que refieran a la morfología y aspecto externo para la correcta y total interpretación de las máculas y patrones de fluido hemático.

Miembros del IABPA proponen un método científico efectivo para el análisis morfológico de manchas de sangre, el cual consta de ocho pasos:

- 1- Familiarizarse con toda la escena.
- 2- Identificar cada patrón entre la totalidad de las superficies manchadas.
- 3- Clasificar estos patrones en base a la taxonomía establecida.
- 4- Evaluar aspectos de direccionalidad y movimiento para cada patrón.
- 5- Evaluar ángulos de impacto, puntos de convergencia y áreas de origen.
- 6- Evaluar la interrelación de los patrones de manchas de sangre con otra evidencia.
- 7- Evaluar los eventos de fuentes viables para explicar patrones en base a toda la evidencia.
- 8- Definir la mejor explicación de los eventos.

A continuación se detalla brevemente cada uno de los pasos mencionados del análisis morfológico, haciendo especial hincapié en aquellos que tratan sobre el área de origen y sus cálculos.

PASO N°1: Familiarizarse con toda la escena.

Se refiere a que el analista debería asesorarse de los límites de la escena y lo que ésta contiene de modo que sepa en qué sectores trabajar y qué objetos se encuentran presentes en la misma.

Asimismo, interiorizarse con los eventos que sucedieron antes de su llegada y de cualquier documentación inicial de la escena, consultando al primer interventor para que, de este modo, compare las condiciones iniciales con las que observa al momento de su llegada.

PASO N°2: Identificar cada patrón entre la totalidad de las superficies manchadas.

El siguiente paso del método consiste en que el analista reconozca dónde están los patrones que se pretende evaluar y qué manchas pertenecen a un mismo patrón.

Esto sucede debido a que en hechos de muerte violenta, generalmente, ocurren múltiples eventos en los que manchas y patrones pueden ser depositados por arriba o alrededor de otras manchas. Estos patrones tienden a mezclarse y hacen que se torne difícil o imposible distinguirlos entre sí.

El perito analista de manchas de sangre debe hacer una consideración crítica del tamaño de la mancha, forma, posición y direccionalidad. De esta manera podrá efectuar las determinaciones iniciales que se mantendrán o cambiarán a medida que se avance con los pasos. Se trata de una apreciación inicial de los patrones sanguíneos.

PASO N°3: Clasificar estos patrones en base a la taxonomía establecida.

Este paso del análisis morfológico ya mencionado corresponde a la clasificación taxonómica de los patrones. El analista evalúa los aspectos más precisos de las características de la mancha. Se destaca que diversos autores, tales como Israel Castellanos, Simonín y el IABPA, realizaron clasificaciones según sus estudios y experiencias tomando en cuenta distintas particularidades de las manchas hemáticas al momento de realizar una categorización de las mismas.

PASO N°4: Evaluar aspectos de direccionalidad y movimiento para cada patrón.

Determinar la direccionalidad de las gotas resulta posible dado que el golpe en ángulo contra una superficie produce un patrón en forma de lágrima o también conocido como “signo de admiración”. Ello es provocado por la ley física de la inercia, es decir, la resistencia que posee todo cuerpo en movimiento a toda fuerza que opere sobre él para cambiar su movimiento, dirección o velocidad.

De tal manera, dado que la velocidad se disipa abruptamente debido a la superficie sobre la cual impacta, la gota se desvanece poco a poco, con un final puntiagudo de diverso grado, que depende del ángulo con el que impacta sobre dicha superficie. A mayor ángulo, más elongado y angosto será el patrón de mancha producido (Guzmán, 1997). El extremo puntiagudo indica la dirección de su desplazamiento y la parte más gruesa, su procedencia.

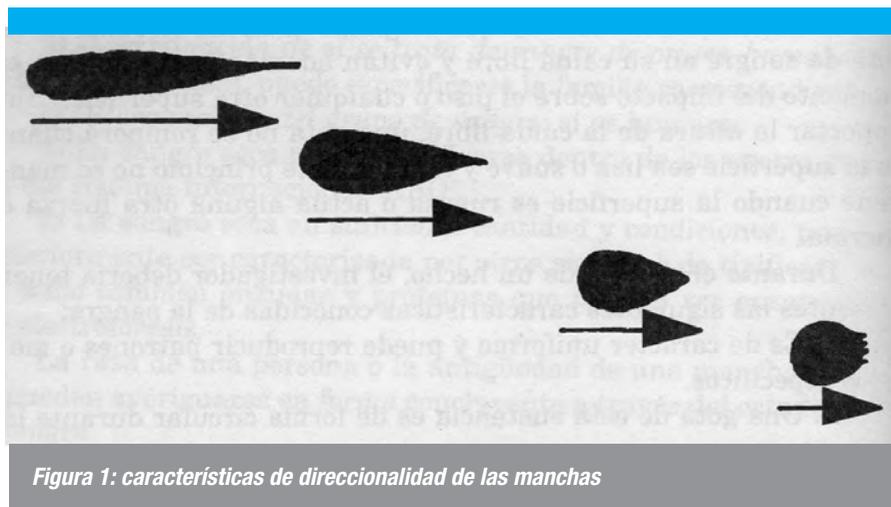


Figura 1: características de direccionalidad de las manchas

En cuanto a la función del diámetro de la mancha como determinante de la distancia que ha recorrido una gota de sangre, se destaca que podría dar lugar a graves errores de interpretación y algunos autores no lo recomiendan (James et al, 2005).

Se debe conocer el volumen de la gota creadora de la mancha como también el efecto de la superficie en la que impacta deberá ser tenido en cuenta. Un derramamiento de sangre en una escena del crimen puede producir varias gotas de diferentes volúmenes que crean manchas sobre diversas superficies. Resulta fácil reproducir la superficie donde éstas impactan mientras que la determinación del volumen original de la gota de sangre es posible pero se vuelve extremadamente difícil. Lo fundamental es determinar cómo fue producida la gota durante la actividad violenta.

Para estimar con relativa precisión la distancia desde la cual una gota de sangre ha caído es necesario llevar a cabo una serie de experimentos sobre la superficie en cuestión y utilizar los resultados como patrones conocidos para comparar en forma directa con los que se desconocen.

PASO N°5: Evaluar ángulos de impacto, puntos de convergencia y áreas de origen.

Cálculo del ángulo de impacto contra una superficie

Otro aspecto de utilidad para un análisis morfológico es el cálculo del ángulo con el cual las manchas impactan sobre las superficies objetivo.

El ángulo de impacto para una mancha individual es el ángulo interno formado entre la trayectoria de vuelo en caída de la sustancia hemática y la superficie del soporte. Por esto, 90° es el mayor ángulo de impacto posible para el Análisis de Patrones de Manchas de Sangre y describe una gota cayendo directamente hacia abajo contra una superficie proviniendo de una fuente perpendicular a dicho plano. Un ángulo de impacto de 90° produce una mancha que es igual tanto en ancho como en largo (James et al, 2005).

Tal como se mencionó anteriormente, la forma geométrica de una gota de sangre es esférica durante la mayor parte de su tiempo en vuelo y, por lo tanto, es considerada así también en el momento de impacto. Una vez que la gota impacta la superficie en un ángulo diferente a 90° , se vuelve una mancha elongada.

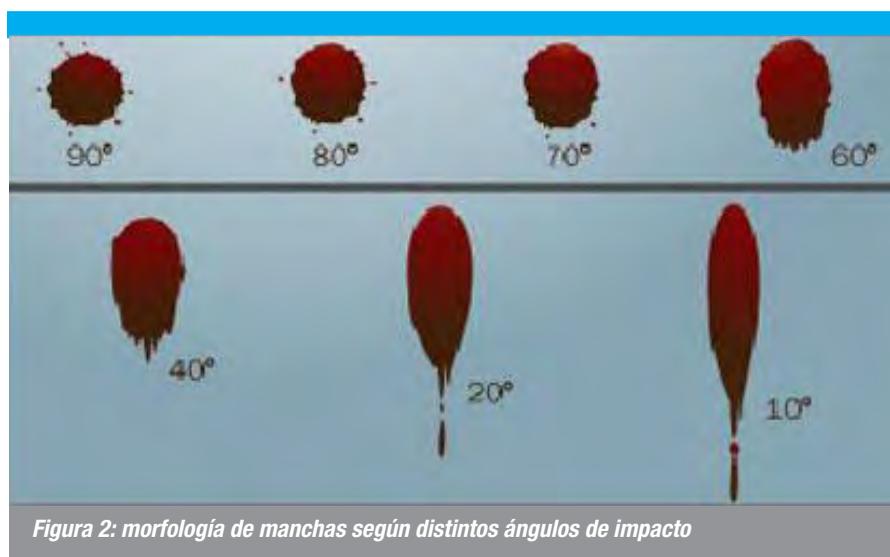


Figura 2: morfología de manchas según distintos ángulos de impacto

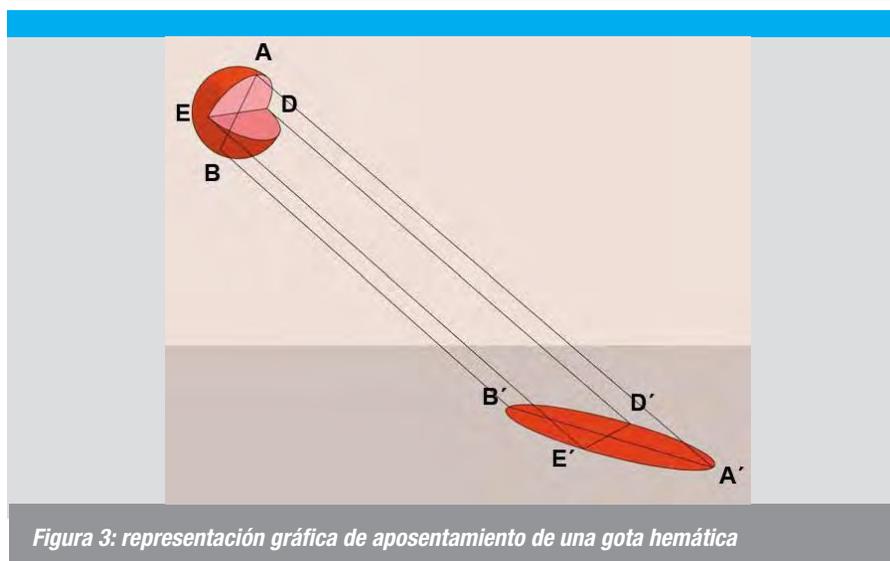


Figura 3: representación gráfica de aposentamiento de una gota hemática

En la figura 3, la línea D'E' corresponde al ancho de la gota de sangre antes de su impacto contra la superficie. Existe un desplazamiento radial de la sangre pero las fuerzas cohesivas de la tensión superficial contrarrestan la extensión lateral. Por esta razón, el ancho de la mancha resultante equivale al ancho de la gota de sangre original cuando se encontraba en vuelo. El largo de la mancha resultante varía proporcionalmente con el cambio en el ángulo de impacto y es representado por la línea A'B' de la figura 3. Otra manera de pensar sobre la longitud axial de una mancha es como el producto de la gota resbalando a lo largo de la superficie de impacto (suponiendo una superficie lisa y dura).

Aquellas manchas producidas sobre superficies de características diferentes pueden parecer disímiles al ojo humano. Sin embargo, esta variación en su apariencia visual es el resultado de los efectos de la superficie sobre la que impacta y no afecta al cálculo del ángulo de impacto. Lo que aporta las bases necesarias para determinar el ángulo de impacto es la relación entre ancho y largo de la mancha.

Debido a que una gota de sangre es igual en ancho y largo previo a impactar ($AB = ED$), la línea proyectada desde la base de la gota al punto B y la línea extendiéndose desde la cúspide de la gota de sangre al punto A son líneas paralelas.

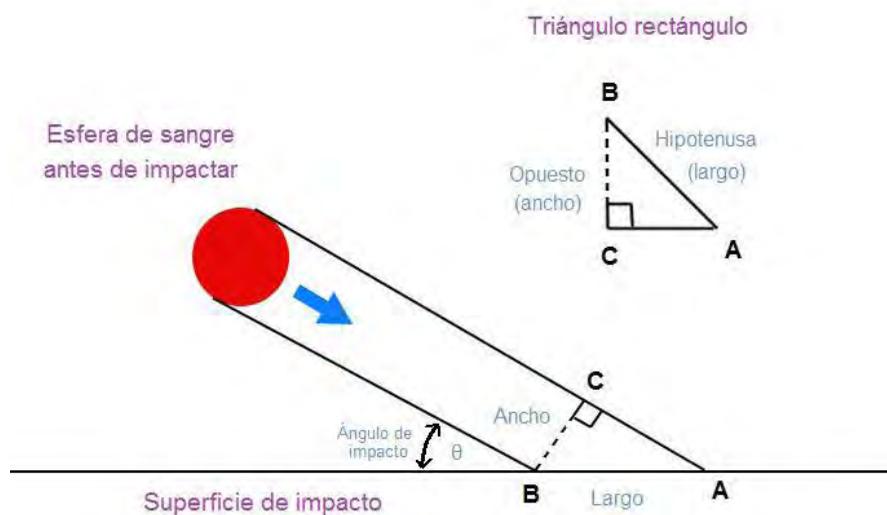


Figura 4: representación gráfica de la aplicación de trigonometría para el cálculo del ángulo de impacto en manchas de sangre

El ángulo de impacto es el ángulo comprendido entre la línea extendiéndose desde la base de la esfera hasta el punto B. Ya que las dos líneas son paralelas, el ángulo de impacto θ es equivalente al ángulo A en la ilustración 36. De nuevo, debido a que la forma esférica de una gota de sangre en vuelo tiene igual largo que ancho, uno puede marcar una línea perpendicular desde B a C. Entonces se crearía un triángulo rectángulo ABC con su ángulo recto de 90° en C.

Como se describió previamente, se calcula el ángulo de impacto a través de una relación trigonométrica mediante el cálculo del ángulo A. El lado opuesto del triángulo rectángulo lo

representa el ancho de la mancha de sangre, y el largo es representado por la hipotenusa. Si el ancho es dividido por el largo, en esencia, el lado opuesto al ángulo θ ha sido dividido por la hipotenusa. Esto define el seno del ángulo θ . Como se quiere determinar el ángulo, se calcula mediante el arco seno del ángulo θ .

$$\text{Sen ángulo de impacto } \theta = \frac{\text{opuesto}}{\text{hipotenusa}} = \frac{\text{ancho}}{\text{largo}}$$

$$\text{Ángulo de impacto } \theta = \text{arcoseno } \frac{\text{ancho}}{\text{largo}}$$

Modo de medición de las manchas de sangre

Bajo circunstancias ideales de velocidad, ángulo y superficie de impacto, una gota de sangre creará una mancha ovalada perfecta y uniforme sobre la superficie objetivo. James et al (2005) afirman que, en la práctica, rara vez suceden las circunstancias ideales y, de existir alguna oportunidad, se producen con mucha menor frecuencia. La distorsión creada en respuesta al paisaje de la superficie de impacto evitará que la mancha adquiera la forma de un óvalo perfecto. Si el volumen de la gota es lo suficientemente grande, aquella sustancia que no haya sido establecida por deposición sobre la superficie continuará a lo largo del recorrido, creando aún mayor deformación de la mancha elíptica ideal. Todas estas causas de distorsión son el resultado de las condiciones más que del ángulo de impacto. Por esta razón, cualquier deformación en el extremo terminal de una mancha debe ser descartada cuando se mida el largo de la misma para la determinación del ángulo de impacto.

El método consiste en demarcar imaginariamente el borde de las manchas con el fin de regenerar este óvalo o elipse ideal lo más perfecto posible antes de efectuar la medición. Esto se logra mediante el intento de unir visualmente el extremo terminal de la mancha con su inicial. Se recalca que no se debe alterar el lugar del hecho y mucho menos las características de las propias manchas y, de ser necesario una alteración, previamente los peritos deberán registrar en forma adecuada y dejar asentado tal evento en el acta.

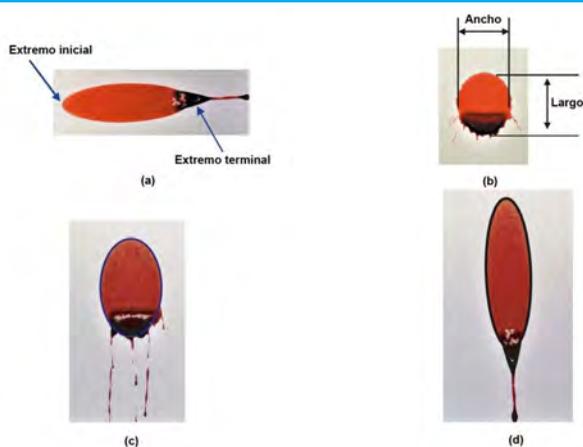


Figura 5: ejemplos de tomas de medida en manchas de fluido hemático

Los dispositivos empleados para medir manchas varían entre los analistas y sus preferencias. Algunos optan por usar lupas con aumento con una escala, y otros prefieren utilizar calibres para realizar las mediciones. Como para cualquier otra situación, las mediciones efectuadas sólo pueden ser tan precisas como el dispositivo de medición utilizado.

Es importante reconocer que la fórmula provee al analista de un ángulo de impacto estimativo. La precisión de la matemática no debe interpretarse en el sentido de una precisión similar en la definición del ángulo. Cuestiones relacionadas con la trayectoria balística de la gota evita que aceptemos este ángulo como absoluto. Como regla general, los ángulos de impacto son considerados precisos con un margen de error de entre 5° y 7° . Siempre se ha reconocido que manchas de forma circular presentan un mayor nivel de error. Otras influencias tienen que ver también con el tipo de superficie de impacto y la velocidad de caída de las gotas. Estudios recientes demostraron que al tratarse de manchas que impactan entre 10° y 45° , el rango de error es solo 2° a 3° . Este error incrementa de 6° a 7° para manchas que impactan a 60° . Después de 60° , el rango de error aumenta dramáticamente. Es por eso que cuestiones de rango de error exigen que el analista considere cuidadosamente qué manchas utilizar para determinar el área de origen. Las de tipo elípticas serían las más fieles a la realidad..

Punto o área de convergencia

Otro aspecto considerado por los peritos para un análisis morfológico de manchas de sangre es la determinación del área de convergencia. Una vez que se identifica un patrón, determinar el área de convergencia resulta un proceso relativamente simple. Los expertos en Análisis de Patrones de Manchas de Sangre realizan una selección de manchas de diferentes sectores de un patrón . atendiendo a que sean de calidad y en cantidad suficiente. Luego, toman una cuerda que es alineada con el eje longitudinal de la mancha y se la extiende hacia atrás de ésta o a 180° opuesta a su dirección de viaje (James et al, 2005).

Cada una de estas líneas aproxima el recorrido del viaje de cada gota de sangre previo a impactar, obviamente ignorando el eje perpendicular. Mientras continúa el proceso, la línea cruza por un área generalizada que equivale a la ubicación de la fuente sanguínea en la escena: el punto o área de convergencia. Este procedimiento demuestra una ubicación geográfica. En otras palabras, es una solución en dos dimensiones. En ciertos casos, es útil conocer el punto de convergencia de las manchas de sangre por proyección, en el escenario del delito, con la finalidad de conocer si tienen o no una única zona de procedencia.



Figura 6: demarcación del área de convergencia

En la práctica, son muy pocas las heridas cuya impronta queda determinada en forma precisa, y las proyecciones por impacto se deberían estimar a partir del espacio entero que abarcan a causa de la herida sumado a cualquier área en la cual la sangre haya sido depositada. Por esta razón, muchos analistas usan el término “área” en lugar de “punto”.

Área de origen

Siguiendo con la información que se puede obtener a partir de una mancha hemática, se podría considerar el cálculo del área de origen. Precisararlo combina el cálculo del área de convergencia sumado a la determinación del ángulo de impacto para cada una de las manchas seleccionadas.

El ángulo de impacto adiciona la tercera dimensión a la determinación del punto de convergencia, creando una representación espacial de la localización de la fuente hemática. El área de convergencia aporta la información acerca de la ubicación de una víctima en una habitación o área, y el área de origen brinda información acerca de su postura relativa: de pie, de rodillas, sentado o en el piso (James et al, 2005).

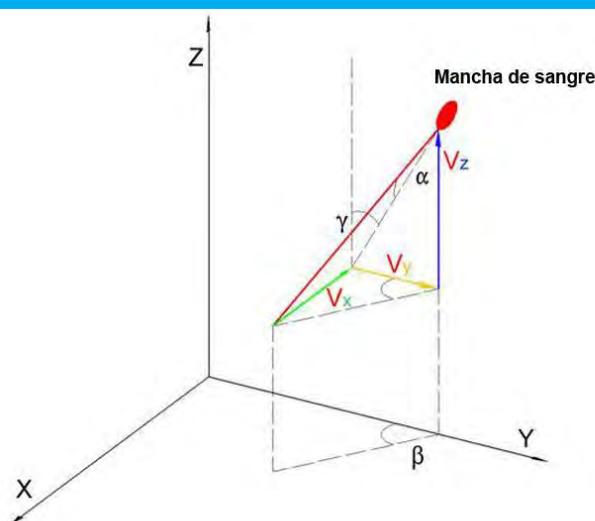


Figura 7: demostración del cálculo del área de origen de manchas de fluido hemático

Existen varios métodos disponibles empleados por los expertos para determinar el área de origen los cuales se describirán a continuación. El método elegido es frecuentemente una cuestión de preferencia personal o puede estar sujeto a las limitaciones impuestas por cada escena.

Métodos para el cálculo del área de origen

Método mediante “Stringing”²

En el método mediante Stringing, el cual todavía es empleado por numerosos analistas, el investigador documenta la ubicación de cada mancha usando un sistema de ejes de coordenadas (James et al, 2005).

² Se refiere al término en inglés que en este caso significa método mediante tensado de cuerdas elásticas.

Luego del procedimiento base para todo tipo de evidencia física, sobre lo cual se hizo referencia en el capítulo presente específicamente para este tipo de testigo mudo, los analistas establecen lo que se denomina línea de nivel para demostrar cómo la mancha está orientada, por ejemplo, con relación al suelo. Ésta se recomienda que se dibuje siempre por debajo de la mancha en cuestión.



Figura 8: ejemplo de demarcación de línea de nivel

Mediante el uso de cuerdas elásticas, el analista “dibuja” líneas desde cada mancha y a través de la línea de nivel. El color de la cuerda elástica seleccionada debería contrastar con respecto al fondo. Se destaca que aquellas cuerdas que carecen de elástico son más difíciles de mantener tensas.

Posteriormente, el perito analista pega con cinta adhesiva la cuerda elástica en el punto preciso donde la gota de sangre impactó la superficie. Para esto es importante reconocer la dirección y procedencia de la misma, como se explicó en el apartado de distancia y dirección del presente capítulo.

Al colocar las cuerdas elásticas desde la superficie para representar el ángulo de impacto resulta imperativo el empleo de un transportador con su cero sobre la línea de base.

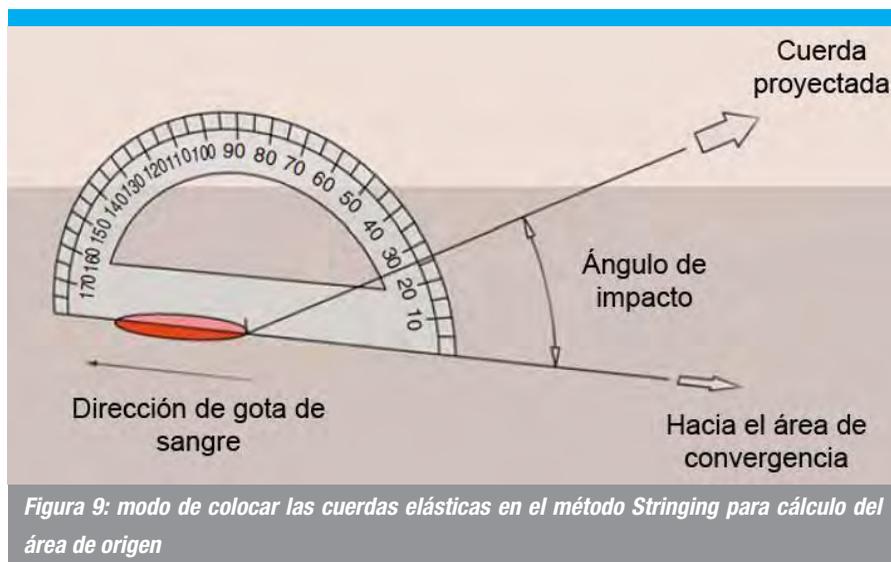


Figura 9: modo de colocar las cuerdas elásticas en el método Stringing para cálculo del área de origen

Una vez que la cuerda elástica está asegurada, se toma un transportador y se eleva la cuerda hasta el ángulo de impacto calculado previamente por el perito para cada mancha. Luego, se extiende dicha cuerda en forma tensa hasta fijarla a la superficie de sostén, generalmente una especie de trípode o palo dispuesto en forma vertical. Esto se realiza con todas las manchas seleccionadas y, la intersección de éstas en un punto o área efectivamente determinaría el área de origen.

Autores afirman que puede resultar difícil la documentación fotográfica en estas situaciones. Una vez que las cuerdas son fijadas, ya se comienza a trabajar con un modelo tridimensional versus un diagrama de dos dimensiones. El intento de documentar cualquier modelo en tres dimensiones sobre un plano de dos dimensiones no es práctico. Como mínimo sugieren tomar fotografías de las cuerdas demostrando la distancia entre el soporte contenedor de manchas y el origen.

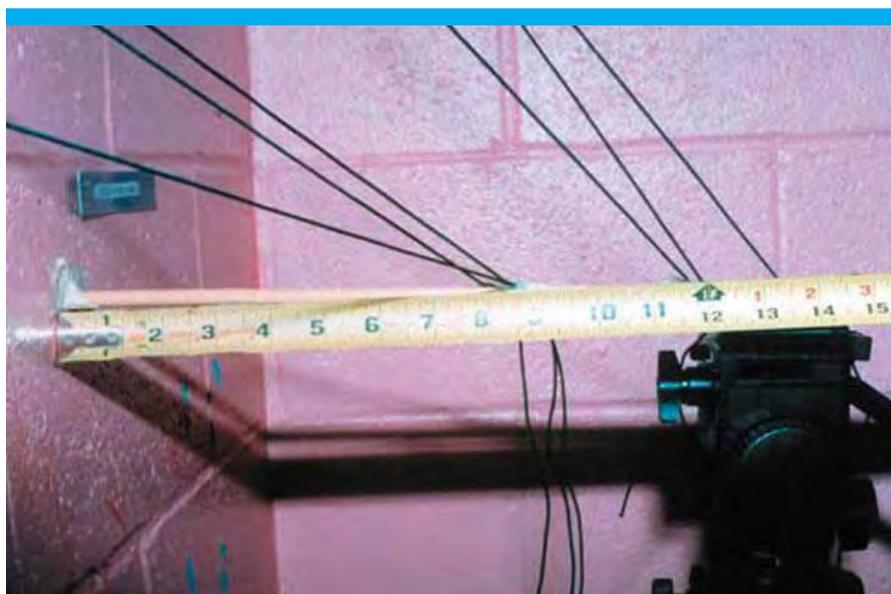


Figura 10: ejemplo modo de registración del resultado del método mediante Stringing

Método trigonométrico

Otro método para cálculo de área de origen empleado por algunos expertos, es el método trigonométrico.

Según James et al (2005), al examinar cada mancha individualmente, uno puede visualizar un triángulo rectángulo. La cuerda es la hipotenusa de dicho triángulo y el ángulo de impacto es el ángulo \emptyset . La longitud de la cuerda o línea desde la base de la mancha al área de convergencia es el lado adyacente del ángulo \emptyset . Este concepto facilita el uso de trigonometría para determinar la longitud del lado opuesto al ángulo de impacto. El lado opuesto representa la distancia por sobre el plano de los ejes X e Y.

Haciendo referencia a las funciones trigonométricas, se define a la tangente del ángulo \emptyset como la longitud del lado opuesto dividida por la longitud del lado adyacente. El punto descrito por el punto de convergencia en dos dimensiones ha definido la ubicación para la intersección de los

ejes vertical y horizontal. La tercera dimensión, o el eje llamado "Z", se adiciona para determinar la distancia sobre la horizontal por donde la cuerda es fijada (d) desde la base de la mancha al área de convergencia. El valor resultado (Z) es la ubicación del área de origen en el espacio, es decir, su localización en tres dimensiones.

Por todo lo expuesto, la fórmula del método trigonométrico o también llamado método de la tangente, podría expresarse de la siguiente manera:

$$Z = \tan \text{Ángulo de impacto} \cdot d$$

$$Z = \text{Área de origen} \\ (\text{desde la superficie})$$

Método gráfico

El método gráfico también hace uso del concepto de que cada cuerda estaría formando un triángulo rectángulo y la distancia por arriba del plano de X e Y iguala al lado opuesto al ángulo de impacto. Debido a que la localización geográfica del área de convergencia ha determinado la ubicación por la intersección de los ejes horizontal y vertical, determinar el área de origen equivale a localizar el punto por arriba de la horizontal. Tal como describen James et al (2005), los pasos requeridos serían los siguientes:

Determinar ángulo de impacto para las manchas selectas.

Determinar distancia desde la base de cada mancha individual hasta el área de convergencia.

Mediante el empleo de un papel cuadriculado medir los ejes vertical y horizontal. El eje horizontal debería correlacionarse con las medidas tomadas al medir la longitud de la cuerda desde la base de la mancha al punto de convergencia. El eje vertical será utilizado para determinar los valores para la distancia perpendicular a los ejes **X e Y**.

Para cada mancha, marcar la escala horizontal de la distancia que corresponda a la longitud de aquella cuerda desde la base de la mancha hasta el área de convergencia.

Ubicar el cero del transportador sobre la marca en el eje horizontal y realizar una segunda marca correspondiente al valor de ese particular ángulo de impacto.

Extender una línea recta desde el valor marcado en el eje horizontal hasta el valor marcado para el ángulo de impacto y continuar la línea hasta que intercepte el eje vertical.

El valor indicado para el punto donde la línea intercepta al eje vertical es la distancia sobre el plano de **X e Y**.

Mediante software informático

El procedimiento se denomina el Análisis Direccional de Patrones de Manchas de Sangre³, donde se analizan fotografías individuales de manchas de sangre sobre superficies verticales con la ayuda de una computadora y programas como el BackTrack Suite, Hemospat, entre otros (James et al, 2005).

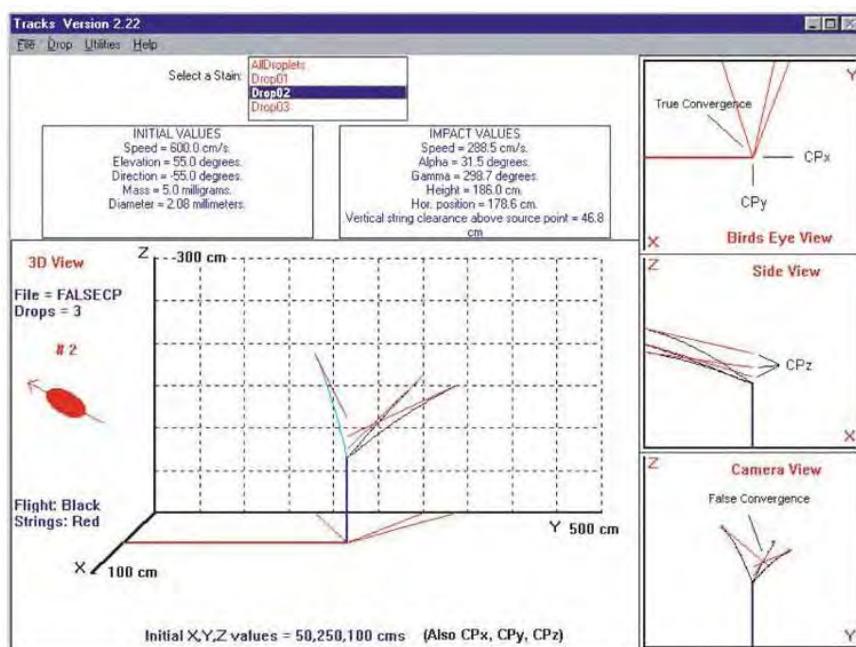


Figura 11: ejemplo ventana del programa BackTrack Suite

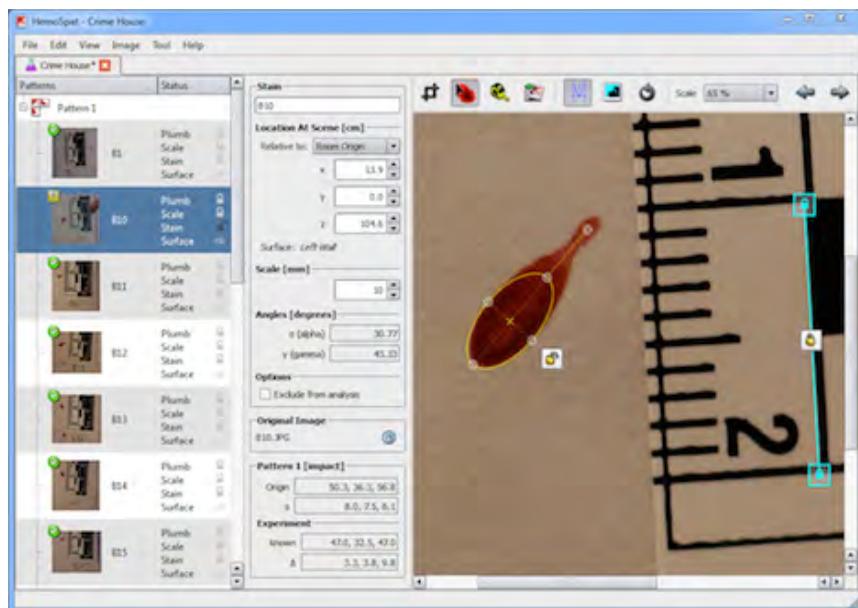


Figura 12: ejemplo de ventana del programa Hemospat

³ El equivalente para su nombre original en inglés: *The Directional Analysis of bloodstain patterns.*

Para algunos analistas, la reconstrucción de las trayectorias de vuelo de las gotas de sangre mediante cuerdas resulta un procedimiento largo y de mucho trabajo, el cual es enseñado en la mayoría de los cursos de Análisis de Patrones de Manchas de Sangre. El objetivo de este método consiste en disminuir el tiempo y facilitar el trabajo, como así también descubrir cuántos golpes o eventos sanguíneos ocurrieron y dónde sucedieron esos eventos.

El método se halla fuertemente basado en los principios científicos de la matemática y la física. Las hipótesis relativas a cantidades desconocidas, tales como las medidas y velocidades de las gotas de sangre y la parábola de su trayectoria en vuelo, no son necesarias. La única data requerida son las medidas de las posiciones de las manchas individuales, sus direcciones y las formas de las manchas tal como fueron registradas fotográficamente.

El análisis produce resultados numéricos para la ubicación de cada golpe y en algunos casos la desviación estándar de errores. Este resultado es científicamente válido y basado únicamente en cantidades medidas, por lo tanto, puede ser defendido con confianza en cualquier juicio oral.

Es un procedimiento matemático, descubierto por el autor, empleado para hallar las direcciones en el espacio (cuerdas virtuales) que van desde las manchas de sangre hasta un punto directamente por arriba de la ubicación de la fuente sanguínea. Si es visto desde arriba, se aprecia la convergencia de las cuerdas virtuales en la posición de la fuente. Si se visualiza en forma lateral, las cuerdas virtuales proveen un límite superior de la posible altura de dicha fuente sanguínea. La dirección de la cuerda virtual es computada a partir del ángulo de impacto de la gota de sangre y del ángulo de visión de la mancha.

PASO N°6: Evaluar la interrelación de los patrones de manchas de sangre con otra evidencia.

En este paso, el analista comienza a observar los patrones en relación a otros patrones y a otros objetos de la escena. Mientras que el paso 3, ya descrito, era una apreciación más individual, en éste el perito observa la escena con una perspectiva más amplia.

PASO N°7: Evaluar los eventos de fuentes viables para explicar patrones, basado en toda la evidencia.

Empleando toda la información obtenida de los pasos 1 a 6, las manchas y patrones deben ser considerados en el contexto de la escena para poder establecer qué causó las manchas. Esto incluye toda variable propia de la escena tales como temperaturas extremas, superficies, etcétera.

Además, en este paso se debe considerar información adicional como por ejemplo los resultados de la autopsia, como así también cualquier resultado de serología o ADN.

PASO N°8: Definir la mejor explicación de los eventos.

Finalmente, en este paso se utiliza toda la información presentada en un sentido más amplio para reconstruir el orden y naturaleza de los eventos asociados al derramamiento de sangre. Se responde qué es lo que pasó y en qué orden sucedió.

Conclusión

Las limitaciones del Análisis de Patrones de Manchas de Sangre incluyen el hecho de que no pueden recrear exactamente el escenario en su totalidad ya que existen variables desconocidas que el analista no puede calcular al usar estos métodos científicos. El análisis de patrones de sangre recrea las acciones de manchas específicas con razonable certeza basada en medida y entendimiento del comportamiento científico de la sangre, no suposición o inferencia sobre ésta.

Es por ello que para lograr un nivel de certeza que represente la realidad en la escena del crimen, al momento del cálculo de la explicada área de origen por cualquiera de los métodos desarrollados se sugiere la selección de manchas acordes a tal fin. Esto brindará al analista mejores resultados de carácter científico respaldados por principios físicos, matemáticos y biológicos.

Los distintos métodos para calcular el área de origen existentes y empleados por diversos analistas de manchas de sangre fueron descritos, siendo éstos: método mediante "Stringing", método trigonométrico, método gráfico y método mediante software informático. Será elección del propio analista, los recursos disponibles y según cada caso en particular el método a utilizar.

Referencias Bibliográficas

- Ávila, M. S.: Análisis de los patrones de manchas de sangre en la escena del crimen. III Congreso Nacional de Criminalística y Accidentología Vial 2012, Entre Ríos, 2012.
- Bevel, T. y Gardner R.: Bloodstain Pattern Analysis: with an introduction to crime scene reconstruction- 3rd edition. CRC Press Taylor & Francis Group, Estados Unidos, 2008.
- Castellanos, I.: La sangre en policología. Habana, Carasa, 1940.
- Cardini, Carrara, Centron, Fernández, Gobbi, Graells de Kempny, Granja, Guatelli, Gurrea, Macchi, Monstalto de Mecca, Oneto, Padula, Palacios, Penacino, Rodriguez Angriman, Rubinstein de Rodriguez, Salvo, Viglione, Volpato: Tratado de criminalística, Tomo II, la química analítica en la investigación del delito. Editorial policial, Buenos Aires, 1983.
- Carter, A.L., Illes, M., Maloney, K., Yamashita, A.B., Allen, B., Brown, B., Davidson L., Ellis, G., Gallant, J., Gradkowski, A., Hignell, J., Jory, S., Laturnus, P.L., Moore, C.C., Pembroke, R., Richard, A., Spenard, R. y Stewart, C.: "Further Validation of the BackTrack™ Computer Program for Bloodstain Pattern Analysis – Precision and Accuracy". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Septiembre 2005), Research article, 15-22.
- Chafe, F.: "Determination of impact angle using mathematical properties of the ellipse". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Marzo 2003), Technical Article, 5-9.
- Chafe, F.: "The tangent method and spreadsheets: Determining Point or Area of Origin in Bloodstain Pattern Analysis". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA- Septiembre 2007 23(3), Technical article, 4-14.
- Flippence, T. y Little, C.: "Calculating the Area of Origin of Spattered Blood on Curved Surfaces". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA- Septiembre 2011 27(3), 3-16.
- Forensic investigations: Fake blood recipes (teacher background information) FSB06 | revised June 2013 | © The University of Western Australia.
- Guzmán, C.: Manual de Criminalística. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 1997.
- Guzmán, C.: El examen en el escenario del crimen: método para la reconstrucción del pasado. Editorial B de F, Montevideo- Buenos Aires, 2010.

- James, Kish, Sutton: Principles of bloodstain pattern analysis. Theory and practice. Taylor & Francis Group, Estados Unidos, 2005.
- Laber, T., Kish, P., Taylor, M., Owens, G., Osborne, N. y Curran, J.: "Reliability Assessment of Current Methods in Bloodstain Pattern Analysis". Final Report for the National Institute of Justice- EEUU. 2014. Document No.: 247180. Award Number: 2010-DN-BX-K213.
- Mavin, J. T.: "A laser angle gauge for use in stringing blood patterns". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Septiembre 2002), Technical note, 2-4.
- Pace, A.: "The Relationship between Errors in Ellipse Fitting and the Increasing Degree of Error in Angle of Impact Calculations". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Septiembre 2005), Research article, 12-14.
- Pace, A., Carter, A.L., Moore, C. y Yamashita, B.: "Another Treatment of Three-Dimensional Bloodstain Pattern Analysis". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Marzo 2006), Research article, 4-11.
- Palacios, C. A.: "Apuntes de química aplicada III". Cátedra Química Aplicada II de la carrera Licenciatura en Criminalística del Instituto Universitario de la Policía Federal Argentina, 2009.
- Pulido, H. P.: "Actualización de las técnicas para el análisis de las manchas de sangre en la escena del crimen". Colombia, 2007.
- Raffo, O.: La muerte violenta. Editorial Universidad, Buenos Aires, 1980.
- Reynolds, M. "Bloodstain size, shape and formation, implications of the bloodstain pattern analyst". Australia.
- Reynolds, M.: "Measurements of Bloodstains using Microsoft ® Excel Autoshapes: An Accurate and Precise Bloodstain Measurement System". Journal of Bloodstain Pattern Analysis- IABPA (Diciembre 2008), Abstract, 11-12.
- Silveyra: Investigación científica del delito: la escena del crimen,1. Ediciones La Rocca, Buenos Aires, 2004.
- <http://www.iabpa.org>
- <http://www.swgstain.org>