

ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

Fotografía infrarroja digital para la detección de manchas de sangre cubiertas por pintura

Victoria Andrea Barucca¹ ✉¹Laboratorio de Criminalística Aplicada (LACAP), Facultad de Ciencia y Tecnología, Universidad Autónoma de Entre Ríos

✉ vickybarucca@gmail.com

Datos del artículo

Cita: Barucca Victoria Andrea. 2023. Fotografía infrarroja digital para la detección de manchas de sangre cubiertas por pintura. Revista Digital de Ciencia Forense. 2(1): 39-60 pp.

Editor: Mirsha Quinto-Sánchez.

Recibido: 9 diciembre 2022.

Aceptado: 4 abril 2023.

Publicado: 24 abril 2023.

Resumen

Las manchas de sangre son consideradas evidencia de gran peso forense, sumamente valoradas de ser encontradas en una escena del crimen. Sin embargo, es probable encontrarlas cubiertas por pintura si se hallan depositadas en paredes en una escena, por lo que su detección configura un desafío para todo investigador forense. A pesar de que en el último tiempo el empleo de la Fotografía Infrarroja (IR) ha tenido grandes avances en el análisis de indicios relacionados con sangre, su uso como herramienta de inspección del lugar del hecho ha sido poco desarrollado. Actualmente, la escasa cantidad de investigaciones referidas a este tema no consensúan un procedimiento para emplear la Fotografía IR en una escena del crimen intencionalmente modificada para visualizar manchas cubiertas, además de que dichas investigaciones no han sido comprobadas de ser efectivas sobre paredes de ladrillo, material utilizado por excelencia en la construcción de viviendas en Argentina. Este estudio ha intentado ordenar la información faltante mencionada anteriormente y demuestra que las manchas de sangre cubiertas por pintura tanto en paredes de cartón-yeso como en ladrillo, pueden visualizarse configurando una cámara capaz de captar el IR con aperturas de diafragma grandes a medianas, obturaciones lentas a medias lentas y sensibilidades ISO bajas a medias.

Palabras clave: fotografía infrarroja, manchas de sangre, pintura, fotografía forense, luces forenses, Infrarrojo.

Abstract

Bloodstains are considered evidence of great forensic value, extremely appreciated when found at a crime scene. Nonetheless, it is probable to find them covered by paint when deposited on walls at a crime scene, but their detection becomes a challenge for any forensic investigator. Despite the fact that there have been some improvements in the employment of Infrared (IR) Photography for blood evidence examinations, its use as a crime investigation tool has not been highly developed. Recently, limited research referring to this subject has not agreed on any guidelines for the use of IR Photography to visualize painted-over bloodstains in an intentionally modified crime scene. Moreover, said investigations have not been proven effective over brick-walls, the primarily used material in house-construction in Argentina. The present study attempts to organize the aforementioned information gaps and shows that painted-over bloodstains located over drywall as well as brick-walls, could be detected and visualized by setting an IR camera with wide to large-medium apertures (f/stops), slow to mid-slow shutter speeds and low to medium ISO sensitivities.

Keywords: infrared photography, bloodstains, paint, forensic photography, forensic lights, infrared.

Introducción

Investigar escenas del crimen (para los mismos fines conceptuales, lugares del hecho o lugares de intervención) intencionalmente modificadas constituye uno de los desafíos más grandes a los que se enfrentan los criminalistas, en especial cuando se halla involucrada la sangre. Una técnica empleada para lograr tal disimulo es el re-pintado de paredes con manchas de sangre, inusual en lo cotidiano mas no improbable, por lo que contar con una herramienta para desenmascarar tal conducta se considera necesario.

La presencia de este indicio biológico de gran peso forense supone una evidencia significativa en la investigación tanto como instrumento para esclarecer los hechos, como fuente de material genético (1,2), por lo que su detección de la manera menos contaminante posible es indispensable. El uso de ciertos reactivos para tal fin puede tener efectos cancerígenos en el investigador, dañar el ADN o diluir el volumen disponible de la muestra, imposibilitando futuros análisis (3-5). Las Fuentes de Luz Alternativas (FLA) se constituyen como uno de los recursos más simples y no invasivos para detectar fluidos biológicos en el lugar del hecho (1,4,6). Empleadas en combinación con la Fotografía Forense, se presentan como la fuente primaria de detección y preservación de la evidencia de naturaleza no destructiva, permitiendo extender el campo visual del investigador, fijando y exhibiendo aquellos indicios que pudieron pasar inadvertidos en la inspección de una escena. En este sentido, el uso de luz UV no es aconsejable debido a que ciertas longitudes de onda pueden degradar el ADN (3,7); sin embargo, el empleo de fuentes de radiación infrarroja (IR) en conjunto con la Fotografía, se consagran como ideales para visualizar manchas de sangre en variedad de situaciones, ya que las mismas no se ven afectadas de modo alguno.

Las radiaciones IR poseen la capacidad de penetrar materiales para revelar aquello que el ojo humano no puede ver. Incluso, permiten la diferenciación entre distintos componentes que parecen ópticamente similares bajo luz visible (VIS), ya que al comportarse como tal, las mismas pueden ser absorbidas, reflejadas o transmitidas por el objeto sobre el que inciden (2). Debido a la sensibilidad limitada de los sensores de las cámaras digitales, la fotografía forense puede valerse del uso de este espectro solo en su región más cercana (700nm a 1100nm) (7), y bajo esta, tales comportamientos mencionados se visualizan de manera particular en cada caso: si la sustancia absorbe la luz IR, tiende a observarse oscura; si la transmite, desaparece revelando lo que se encuentre por debajo; y si la refleja, se muestra de un tono más claro al que presenta (3). De manera que una toma idónea se obtendrá cuando el objeto a investigar absorba o refleje la luz IR, el fondo reaccione de forma contraria y, en caso de estar cubierto, tal sustancia logre transmitir las radiaciones.

Numerosos estudios se han realizado admitiendo el éxito de la Fotografía Infrarroja por Reflexión como instrumento novedoso en el campo forense,

permitiendo analizar tintas en documentos alterados (8,9), tatuajes borrados con láser en piel (10) y residuos de disparo en telas oscuras (11). Incluso ha encontrado aplicación tanto en investigaciones de sangre encubierta en diferentes sustratos (12,13) como de pintura en el ámbito del arte (14), debido a que particularmente, la primera posee la capacidad de absorber las radiaciones IR (8), mientras que la segunda, dependiendo del vehículo y el pigmento que la componen, puede ser capaz de reflejar o transmitir dicha radiación (15). Sin embargo, la combinación dada de ambos para la modificación de escenas del crimen ha sido poco estudiada, con resultados diversos en cuanto investigados en sustratos de tipo cartón-yeso (1,2,6,15,16), mas no para paredes de ladrillos, material sumamente utilizado en la construcción de viviendas argentinas. A causa de esto, este trabajo decidió centrarse en validar las metodologías empleadas por estudios previos a esta investigación para detectar manchas de sangre cubiertas por pinturas en paredes de cartón-yeso, estableciendo una técnica lo suficientemente efectiva para utilizar en muros de ladrillos con el mismo fin.

Material y Método

Luces y fotografía

Para el examen fotográfico en el espectro visible se utilizó un celular Samsung J6+ configurado en automático; mientras que en el espectro infrarrojo se empleó un dispositivo de tres luces LED IR de 850nm de longitud de onda de 3W cada uno; y una cámara digital Canon PowerShot SX50HS, modificada como full spectrum y con filtros IR externos Neewer 720nm y 760nm por delante de la lente, para captar las radiaciones IR.

Las configuraciones de cámara a probar fueron aquellas a las que se tuvo acceso y que pudieron ser recabadas de las metodologías expresadas tanto en los antecedentes directos (estudios de fotografía IR, sangre y pintura), como indirectos (temáticas de fotografía IR y sangre) a este proyecto; como consecuencia de la escasa bibliografía disponible, y como un recurso de comparación entre las sistemáticas utilizadas.

Preparación de las muestras

La sangre empleada fue de tipo animal (cerdo) pura y anticoagulada, que se depositó en cantidades de 1ml por sustrato, a partir de un salpicado realizado con los dedos de la mano, creando un patrón de chapoteo lo más genuino posible.

Como soporte para el depósito de las manchas se utilizó una placa de cartón-yeso tipo Durlock®, seccionada en 30 piezas de 13x27 cm; y 30 ladrillos individuales comunes con medidas de 5x13x27 cm. Dichos materiales se prepararon para simular lo más fielmente un muro, y se trataron con enduido

(Realis enduido interior blanco), y arena, cemento y agua, respectivamente; fijador al agua (Sintoplast primer sellador fijador superficies difíciles); y pinturas de tipo Látex acrílico mate (Sintoplast acriplast interior exterior); Esmalte al agua satinado (Sintoplast recuplast hidroesmalte – esmalte brillante); y Esmalte sintético satinado (Realis esmalte sintético brillante), todas en color blanco y rojo.

El desarrollo de la experimentación se realizó en 3 etapas: fase preliminar, Fase 1 – Aprendizaje y Fase 2 – Aplicación.

Fase preliminar

Esta fase se realizó para probar la capacidad de penetración de las radiaciones IR; y testear, reducir y definir las configuraciones de cámara más adecuadas, previamente utilizadas por los antecedentes a este trabajo, debido a que los mismos empleaban rangos de prueba muy extensos que dificultan la experimentación. Adicionalmente se probó el emplazamiento de las luces IR, todo en un ambiente cerrado, en total oscuridad y colocando las muestras de forma vertical simulando la posición normal de un muro.

Fase 1 - aprendizaje

Las 30 placas de Durlock® preparadas se separaron en conjuntos de cinco para aplicarles dos capas de pintura según el tipo y color que correspondía, para luego depositar las manchas de sangre sobre ellas y, una vez secas, ser fotografiadas en el espectro VIS e IR. Posteriormente se aplicó una capa de la pintura asignada por encima de las manchas y se fotografió en ambos espectros, repitiendo este procedimiento tantas veces como capas fueron necesarias para lograr cubrir las máculas y hacerlas invisibles bajo la incidencia de luz blanca para los dos colores en los tres tipos de pintura.

Las fotos IR se tomaron en total oscuridad con el dispositivo de luces, los filtros IR y la cámara configurada con los settings empleados por los antecedentes directos, y aquellos de los indirectos que permitieron una mayor cantidad de visualizaciones satisfactorias y definidas durante la etapa preliminar (Tabla 1). Tal selección se realizó también entre las ubicaciones de las luces IR, decidiendo trabajar empleando las mismas con una posición a 45° por encima de las placas; a 20 y a 40cm al costado de las placas, apuntando hacia el techo; y por detrás del fotógrafo (Figura 1). De esta forma, fue posible evaluar y comparar el desempeño de los antecedentes de una forma acotada, minuciosa y mediante configuraciones comprobadas como funcionales.

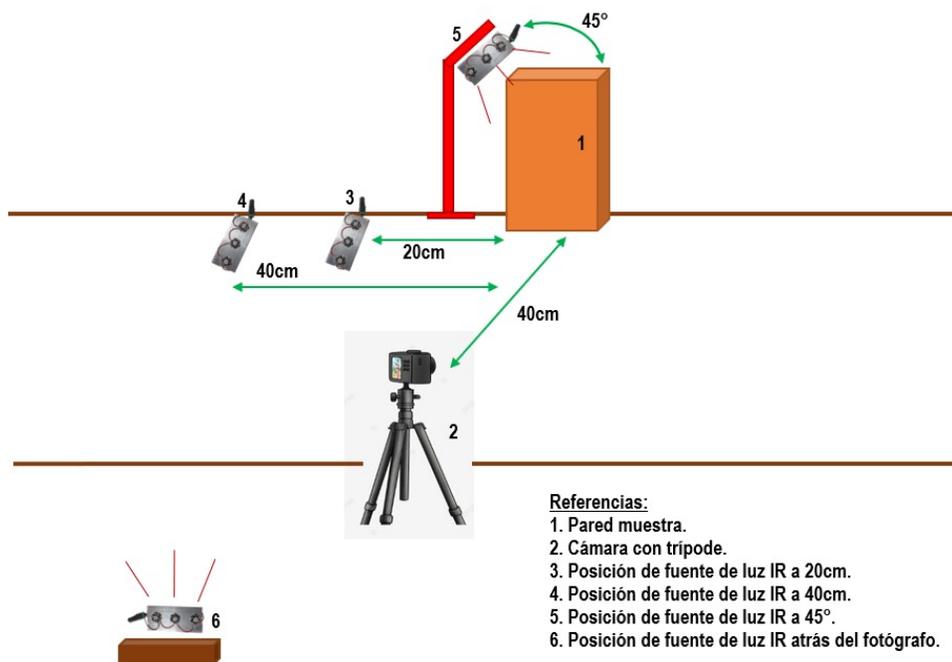
Fase 2 - aplicación

Para esta fase se emplearon los 30 ladrillos revocados de forma semejante a un muro y se procedió tanto para el armado de las muestras como para la sucesión de fotografías, de la misma manera que en la fase anterior.

Tabla 1. Configuraciones de cámara empleadas en Fase 1, modificadas según la cámara en posesión y los materiales disponibles.

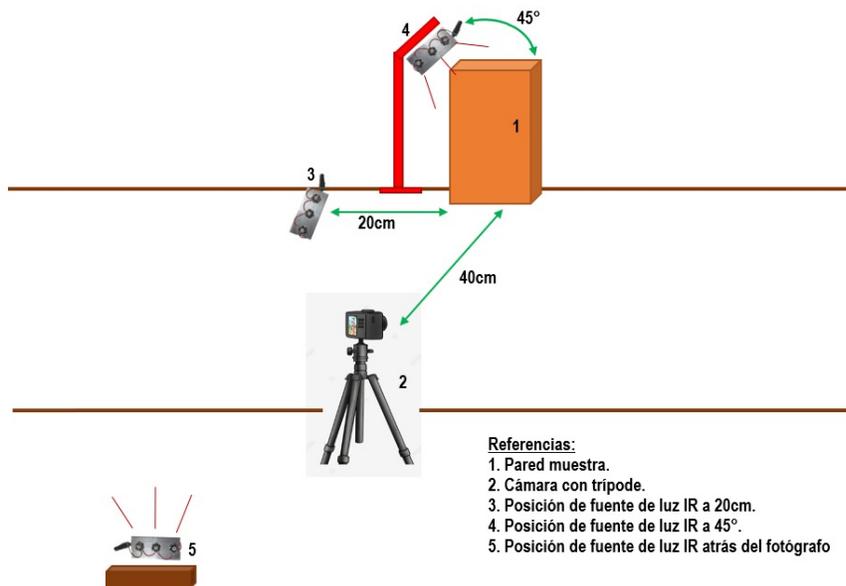
Autor	Configuración de cámara				
	Filtro	Enfoque	Apertura f/	ISO	Vel. Obturación
Farrar et al. (2)	Neewer 760	Manual	f/3.4	100	1/250
Timmons (1)	Neewer 720	Manual	f/5	80 - 2000	1/4
Timmons (1)	Neewer 720	Manual	f/5	80	2s
Barrera et al. (16)	Neewer 760	Manual	f/5.6	1000	1/8
Lin et al. (8)	Sin filtro	Manual	f/3.4	100	1/6
Lin et al. (8)	Neewer 720	Manual	f/3.4	125	1/6
Lin et al. (8)	Neewer 720	Manual	f/3.4	200	1/6
Lin et al. (8)	Sin filtro	Manual	f/3.4	80	6s
Narcotti (7)	Sin filtro	Manual	f/3.4	80	1/40

Figura 1. Diagrama experimental empleado durante la Fase 1 - Aprendizaje.



Las fotografías IR fueron tomadas utilizando las configuraciones de cámara y posicionamiento de las luces IR seleccionadas a partir de los resultados obtenidos en la Fase 1, es decir, aquellas que evidenciaron un mejor desempeño para visualizar en el espectro IR las manchas de sangre cubiertas en paredes de cartón-yeso. (Figura 2).

Figura 2. Diagrama experimental empleado durante la Fase 2 – Aplicación.



De esta manera, se redujeron y unificaron las condiciones de prueba, estableciendo como configuraciones y posible metodología ideal para la detección IR de manchas de sangre cubiertas en paredes de ladrillos, lo ilustrado en Tabla 2. Cabe mencionar que en esta instancia el uso de filtros fue suprimido debido a que su utilización no generó diferencias significativas en las fotografías previamente obtenidas, como consecuencia del empleo de luces puramente IR y total oscuridad.

Tabla 2. Configuraciones de cámara empleadas en Fase 2.

Configuración de cámara					
Posición de la luz	Filtro	Apertura f/	ISO	Vel. Obturación	
A 20cm del ladrillo, apuntando hacia arriba.	Sin filtro.	f/3.4 y f/5	1/2, 1/3, 1/4, 1/6 y 1/8.	80, 100, 125, 160, 200 y 250.	
Ubicada en un trípode a 45° apuntando hacia abajo.	Sin filtro.	f/3.4	1/40, 1/60, 1/80, 1/100 y 1/125.	80, 100, 160, 200 y 250.	
Ambiente (luz detrás del fotógrafo, apuntando hacia arriba)	Sin filtro.	f/5	1/4 y 2s.	80, 200, 250, 300, 400 y 500	

Resultados y discusión

Los resultados obtenidos demostraron la necesidad de al menos tres capas de pinturas para cubrir las manchas de sangre por completo de la vista del ojo humano. En general y para ambos sustratos, las paredes con color blanco requirieron de una mayor cantidad de aplicaciones de pintura para encubrir las máculas en el espectro VIS; mientras que en el IR, al alcanzar aproximadamente

la tercera capa, la posibilidad de detección de tales manchas disminuyó considerablemente (Tabla 3).

Tabla 3. Mínimo de capas de pintura para cubrir las manchas de sangre en el VIS según sustrato, tipo y color de pintura. Referencias: 1Esmalte al agua; 2Esmalte sintético; 3Blanco; 4Rojo.

Capas de pintura para cubrir las manchas											
Cartón - Yeso						Ladrillo					
Látex		EA ¹		ES ²		Látex		EA		ES	
B ³	R ⁴	B	R	B	R	B	R	B	R	B	R
7	5	7	6	5	5	6	4	3	3	6	5

En concreto, para ambos soportes, las pinturas Látex Acrílicas (LAB y LAR) admitieron la detección de las manchas de sangre, por medio de la acción del IR, solo durante las primeras capas ya que, al aplicar las siguientes, la pintura modificó su comportamiento reflejando las radiaciones IR (Figuras 3 y 4).

De manera que las reducidas detecciones que se lograron efectuar, se realizaron particularmente a partir del relieve las manchas y el contraste dado por la posición cercana e incidencia rasante directa de las luces; e incluso, en el caso de los ladrillos, por interrumpir el tramado del revoque, viéndose dichas manchas como dibujos lisos en contraste con la textura granulada de la superficie (Figuras 5 y 6).



Figura 3. Comprobación de efectividad IR. Aumento del comportamiento de reflexión (bloqueador) de las pinturas LAB a lo largo de las capas aplicadas en cartón-yeso. Izq; Muestra LAB4. Medio: Capa 2 LAB4 fotografiada con luz IR a 20cm y configuración f/3.4; vel. 1/6 e ISO 100. Dcha: Capa 7 LAB4 fotografiada con luz IR a 20cm y configuración f/3.4; vel 1/6 e ISO 100.

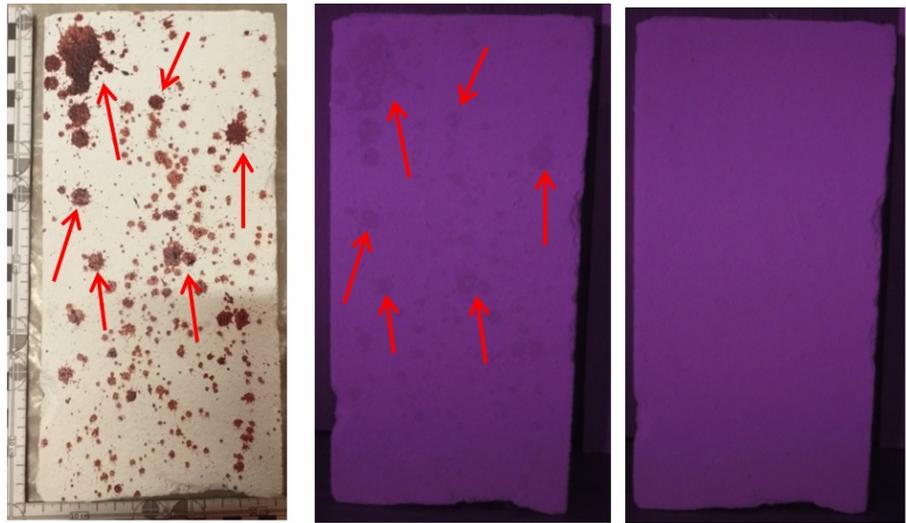


Figura 4. Comprobación de efectividad IR. Aumento del comportamiento de reflexión (bloqueador) de las pinturas LAB a lo largo de las capas aplicadas en ladrillo. Izq: Muestra LAB2. Medio: Capa 2 LAB2 fotografiada con luz atrás y configuración f/5; vel. 1/4 e ISO 400. Dcha: Capa 6 LAB2 fotografiada con luz atrás y configuración f/5; vel 1/4 e ISO 400.



Figura 5. Detección en cartón-yeso de manchas por relieve e incidencia, posición y angulación de las luces IR utilizadas. Izq: Muestra LAR1. Medio: Capa 5 LAR1 totalmente cubierta. Derecha: Capa 5 LAR1 incidida con luz IR a 20cm y configuración de cámara f/3.4; vel 1/6 e ISO 100.



Figura 6. Detección en ladrillo de manchas por relieve e incidencia, posición y angulación de las luces IR utilizadas. Izq: Muestra LAR5. Medio: Capa 4 LAR1 totalmente cubierta. Derecha: Capa 4 LAR1 incidida con luz IR a 20cm y configuración de cámara f/3.4; vel 1/3 e ISO 200.

De esta forma, el IR demostró una efectividad relativa para la detección en este tipo de pintura siendo que al alcanzar las capas definitivas para cubrir las manchas en el espectro VIS, las radiaciones incidentes fueron totalmente reflejadas, imposibilitando la localización de las manchas encubiertas.

Similarmente se comportaron el Esmalte al Agua blanco (EAB) sobre Durlock® y ambos colores del Esmalte al Agua (EAB y EAR) sobre ladrillos, siendo que en este último, estas pinturas fueron las que más entorpecieron el accionar de las radiaciones IR. De esta manera, se generaron visualizaciones extremadamente pobres a partir de manchas con mucha densidad y contenido de hemoglobina, las cuales fueron imposibles de detectar luego de aplicada la última capa de pintura (Figura 7 y 8).

Por el contrario, el Esmalte al Agua rojo sobre Durlock® y ambos colores de los Esmaltes Sintéticos (ESB y ESR) permitieron localizar una buena cantidad de manchas grandes y medianas bien definidas en todas las capas aplicadas, en especial con el color rojo, en donde las manchas fueron apreciables incluso cuando en el espectro VIS ya se encontraban totalmente cubiertas (Figuras 9 y 10). Particularmente el Esmalte Sintético blanco sobre el cartón-yeso presentó cierta capacidad de reflexión frente al IR, no obstante el fenómeno de transmisión se efectuó y un número reducido de manchas fue detectado. De esta manera, en cuanto a la efectividad de las radiaciones IR, ambos colores de los Esmaltes Sintéticos fueron los que mejor desempeño tuvieron, exhibiendo manchas más definidas y en mayor cantidad que en el espectro VIS, en comparación con los demás tipos de pintura.



Figura 7. Detección en cartón-yeso de manchas por relieve e incidencia, posición y angulación de las luces IR utilizadas. Izq: Muestra EAB2. Medio: Capa 7 EAB2 totalmente cubierta. Derecha: Capa 7 EAB2 incidida con luz IR a 20cm y configuración de cámara f/3.4; vel 1/6 e ISO 100.



Figura 8. Detección en ladrillo de manchas por relieve e incidencia, posición y angulación de las luces IR utilizadas. Izq: Muestra EAR1. Medio: Capa 3 EAR1 totalmente cubierta. Derecha: Capa 3 EAR1 incidida con luz IR a 20cm y configuración de cámara f/5; vel 1/3 e ISO 200.



Figura 9. Detección en cartón-yeso de manchas por transmisión y absorción del IR. Izq: Muestra EAR3. Medio: Capa 6 EAR3 totalmente cubierta. Derecha: Capa 6 EAR3 incidida con luz IR a 45° y configuración de cámara f/3.4; vel 1/40 e ISO 80.



Figura 10. Detección en ladrillo de manchas por transmisión y absorción del IR. Izq: Muestra ESR3. Medio: Capa 5 ESR3 totalmente cubierta. Derecha: Capa 5 ESR3 incidida con luz IR a 45° y configuración de cámara f/3.4; vel 1/40 e ISO 100.

Lo anterior se logró confirmar cuando todas las muestras se observaron utilizando la fuente de luz IR posicionada por detrás del fotógrafo, incidiendo indirectamente. Al disponer la luz de esta forma, las placas perdieron a la vista los detalles particulares de las superficies y la aplicación de las pinturas y se apreciaron lisas; de manera que, en los casos donde el IR fue reflejado y la detección de las manchas se realizó por su relieve, las mismas no pudieron apreciarse (Figura 11).

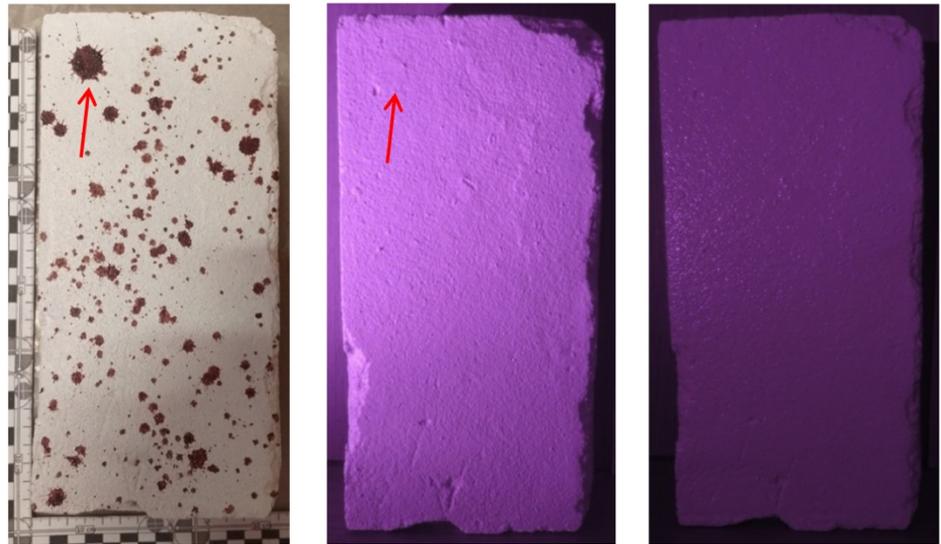


Figura 11. Comprobación del comportamiento de reflexión de pinturas frente al IR en ladrillo. Izq: EAB4. Medio: Capa 2 EAB4 incidida con luz a 20cm y configuración de cámara $f/3.4$; vel. $1/6$ e ISO 200. Dcha: Capa 3 EAB4 incidida con luz atrás y configuración de cámara $f/5$; vel $1/4$ e ISO 400.

En cambio, en aquellas en las que el IR efectivamente pudo ser transmitido, las manchas de sangre se percibieron como máculas oscuras visibles y con bastante definición (Figura 12).

Un resultado llamativo de las muestras de ladrillo fue la influencia de la posición de las luces IR en la visualización de la superficie condicionando la detección de las manchas, más allá del comportamiento óptico de las pinturas que las cubrían. De esta manera, al ubicar la fuente IR a 20cm al costado de la muestra, todos los detalles del revoque de las paredes, incluso aquellos no perceptibles en VIS, fueron acentuados, interfiriendo con la detección de las manchas cubiertas por ambos colores de pinturas Látex y Esmaltes Acuados, y Esmaltes Sintéticos de color blanco. Al ubicar la luz a 45° , los detalles y relieves de las superficies se visualizaron de forma tenue, sin entorpecer la detección de las manchas. Finalmente, como se mencionó con anterioridad, al posicionar la luz IR por detrás del fotógrafo, todas las superficies se apreciaron casi lisas, permitiendo una mayor cantidad de detecciones definidas y sin interferencias (Figura 13).

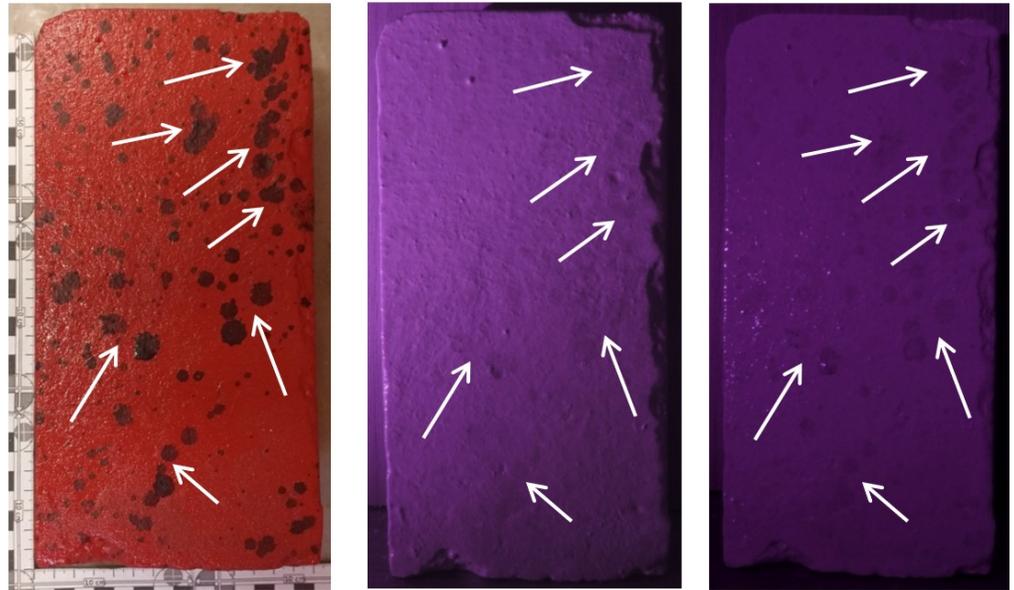


Figura 12. Comprobación del comportamiento de transmisión de las pinturas frente al IR en ladrillo. Izq: Muestra ESR1. Medio: Capa 5 ESR1 incidida con luz a 20cm y configuración de cámara f/5; vel. 1/3 e ISO 160. Derecha: Capa 5 ESR1 incidida con luz atrás y configuración de cámara f/5; vel 2seg e ISO 80.



Figura 13. Comparativa de efectos de incidencia IR sobre la superficie de las paredes de ladrillos tratadas con Látex Acrílico. Izq: Muestra LAB4 incidida por luz IR a 20cm, acentuando detalles del revoque (configuración de cámara f/5; vel. 1/4 e ISO 80). Medio: LAB4 incidida por luz IR a 45°, iluminando sin resaltar particularidades (configuración de cámara f/3.4, vel. 1/40 e ISO 80). Dcha: LAB4 incidida por luz IR atrás, alisando las superficies (configuración f/5; vel. 1/4 e ISO 400).

En este sentido, respecto a la ubicación de la fuente de luz IR, en general se lograron las visualizaciones más nítidas al posicionar la luz por detrás del fotógrafo. No obstante, al no lograr transmitir el IR, dos de los tres tipos de pintura de esta manera no permitieron detecciones. Por lo tanto, al posicionar las luces a 20 cm de las muestras, incidiendo oblicuamente, y empleando la cámara con una apertura de diafragma $f/3.4$, fue posible divisar manchas de sangre no solo por el efecto per se del IR, sino también por el relieve y/o contraste producido con el fondo para aquellas en donde la pintura reflejó las radiaciones.

En tanto a la selección de la metodología ideal para emplear, si lo que se busca es solo la detección de las manchas de sangre, es posible afirmar que la mayoría de los settings empleados sobre las muestras de Durlock® generaron resultados útiles. Sin embargo, se optó por reducir las condiciones de prueba y seleccionar aquellas que exhibieron la mayor cantidad de manchas nítidas y definidas. Así entonces se pudo establecer que las más efectivas fueron ciertos rangos de configuraciones empleadas por los trabajos de Timmons (1), Narcotti (7) y Lin et al. (8) (Tabla 4); tomando el primero, a su vez, como forma de comprobación de la capacidad de transmisión del IR de las pinturas. (Figuras 14 y 15).

Tabla 4. Configuraciones destacadas para fotografiar placas de cartón-yeso tratadas con los tres tipos de pintura y en ambos colores, en orden de mayor a menor desempeño.

Configuraciones ideales para fotografiar paredes de cartón-yeso					
Autor	Luz	Filtro	Apertura f/	Shutter	ISO
Lin et al. (8)	A 20cm	Sin filtro	$f/3.4$	1/6	100
Narcotti (7)	A 45°	Sin filtro	$f/3.4$	1/40	80
Timmons (1)	A 20cm	Neewer 760	$f/5$	1/4	80 a 200
Timmons (1)	Atrás	Neewer 760	$f/5$	1/4	200 a 500
Timmons (1)	Atrás	Neewer 720	$f/5$	2s	80

Con base a esto se unificaron las condiciones de prueba para poder desarrollar la fase 2, configurando la cámara con una serie de rangos según la posición de la luz empleada con aperturas de diafragma grandes a medianas; velocidades de obturación lentas a medias rápidas, y sensibilidades ISO bajas a medias altas (Tabla 2).

Finalmente, a partir de los resultados obtenidos en la última fase, fue posible establecer como configuraciones eficaces y comunes a todos los colores y tipos de pinturas, el empleo de aperturas de diafragma grandes a medianas y, según la posición de la luz, el uso de velocidades de obturación medias lentas e ISOS medios bajos para la luz IR 20cm; shutters medios rápidos e ISOS medios bajos para luz a 45°; y obturaciones lentas e ISOS medios altos para luz IR de modo ambiental (Tabla 5) (Figuras 16 y 17).

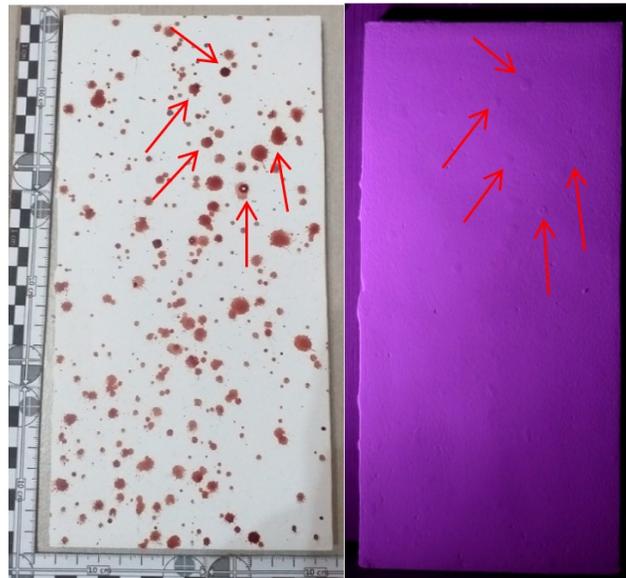


Figura 14. Configuración destacada para fotografiar paredes de cartón-yeso (reflexión). Izq: Muestra LAB2. Derecha: Muestra LAB2 totalmente cubierta, incidida con luz IR a 20cm y cámara IR con $f/3.4$; vel $1/6$ e ISO 100.



Figura 15. Configuración destacada para fotografiar paredes de cartón-yeso (transmisión). Izq: Muestra EAR2. Derecha: Muestra EAR2 totalmente cubierta, incidida con luz IR a 45° y cámara IR con $f/3.4$; vel $1/40$ e ISO 80.

Tabla 5. Configuraciones útiles para visualizar manchas en paredes de ladrillos pintadas con pintura blanca o roja en general.

Configuraciones ideales para fotografiar paredes de ladrillos			
Luz	Apertura f/	Shutter	ISO
A 20cm	f/3.4 y f/5	1/4	125
		1/4	160
		1/6	250
		1/3	100
		1/6	200
A 45°	f/3.4	1/4	200
		1/60	160
		1/80	160
Atrás	f/5	2 seg	80
		1/4	400
		1/4	500

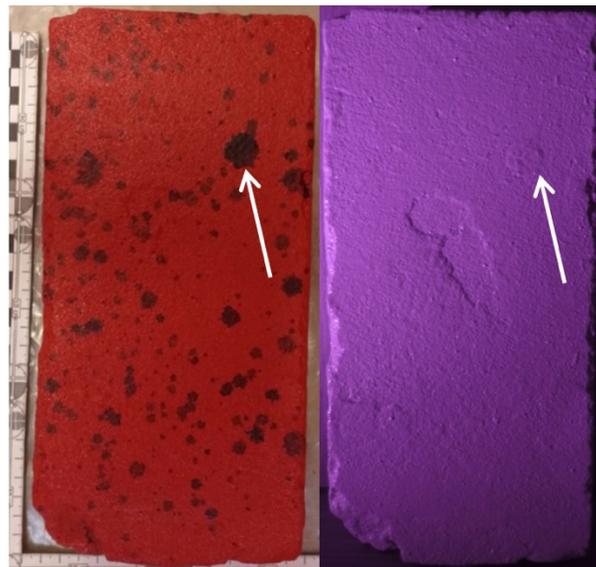


Figura 16. Configuración para fotografiar paredes de ladrillo (reflexión). Izq: EAR3. Dcha: EAR3 totalmente cubierta, incidida con luz IR a 20cm y cámara IR con f/3.4; vel. 1/4 e ISO 125.

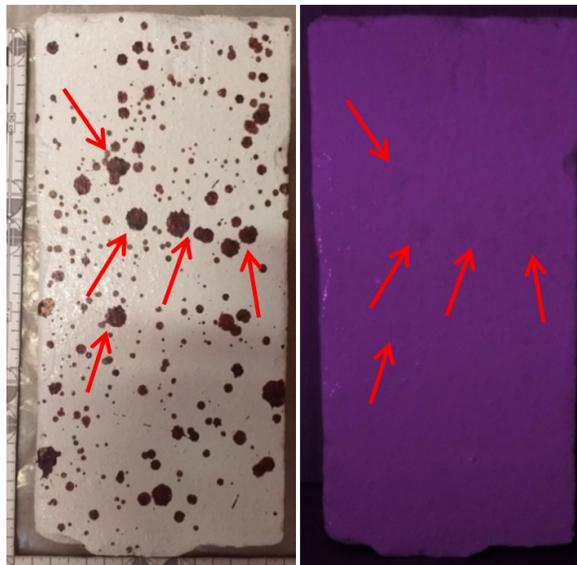


Figura 17. Configuración para fotografiar ladrillos (transmisión). Izq: ESB4. Dcha: ESB4 totalmente cubierta, incidida con luz IR atrás y empleo de cámara IR con $f/5$; vel. $1/4$ e ISO 400.

Discusión

Para ambas clases de paredes se necesitaron al menos 3 capas de pintura para cubrir totalmente las manchas de sangre. Específicamente, en promedio se requirieron de 3 a 4 capas de pinturas blancas, y de 2 a 6 de pinturas de colores, concordando con lo expuesto por la mayoría de los antecedentes a esta investigación, quienes emplearon paredes de cartón-yeso como sustrato base, y precisaron de más de las 2 capas usualmente empleadas para pintar una pared (1,2,6,15). Excepcionalmente se hallaron resultados singulares donde las manchas cubiertas por rojos acrílicos continuaron perceptibles bajo luz visible post 6 capas de pintura (2). Particularmente para este estudio, la mayor cantidad de capas se emplearon sobre las muestras tratadas con látex acrílico blanco, las cuales se caracterizan por presentar propiedades de aplicación más pobres que aquellas de solventes oleosos, generando que la cobertura deseada se alcance con más dificultad (17).

Tanto las pinturas látex acrílicas como los hidroesmaltes blancos, fueron las más complejas de penetrar por las radiaciones IR, obteniéndose siempre una mayor cantidad de visualizaciones en el espectro VIS. Para ambos sustratos, estas pinturas permitieron la transmisión del IR y las visualizaciones de las manchas, solo durante las primeras capas aplicadas, a pesar de que en esta instancia todavía eran totalmente detectables en el espectro VIS; y concordando con las investigaciones previas que emplearon pinturas de base acuosa (1,2,6,15,16). El

esmalte sintético blanco, en cambio, logró transmitir la radiación IR en ambos sustratos aunque con poca definición, presentando más dificultad para hacerlo en las paredes de cartón-yeso.

En el caso del color rojo, las pinturas látex acrílicas tampoco fueron penetrables por el IR; mientras que los esmaltes al agua reflejaron intensamente dicha radiación sobre las paredes de ladrillos pero lograron transmitirla con dificultad sobre el cartón-yeso. Estudios donde se evaluaron pinturas de colores de este tipo, hallaron resultados similares, recalcando que este color en particular permitió mejorar el contraste dado entre las manchas y el fondo, mejorando la visualización (2,16). Por último, sobre ambos sustratos evaluados, los esmaltes sintéticos rojos fueron la clase de pintura más capaz de transmitir el IR, permitiendo apreciar un buen número de máculas nítidas y definidas.

En relación a la forma de obtención de las visualizaciones mencionadas, las apreciaciones más destacadas conseguidas por la reacción esperada de los materiales con el IR, se obtuvieron posicionando la fuente de luz por detrás del fotógrafo incidiendo indirectamente y permitiendo visualizar las manchas como máculas oscuras regularmente definidas. Sin embargo, en los casos donde las pinturas reflejaron el IR, las detecciones fueron similarmente posibles a partir del contraste generado entre las sombras dadas por el relieve de las manchas más densas y la incidencia directamente oblicua de la luz IR, posicionándola en cercanía de los sustratos y apuntando hacia el techo. De este modo, fue posible mejorar la información visual contenida sobre las placas y localizar las manchas eficazmente a pesar de no poder hacerlo por acción concreta del IR (6,15).

Por lo tanto es factible señalar que la detección por fotografía IR de manchas cubiertas por pinturas puede ser exitosa de ambas maneras. Esta afirmación es sostenida parcialmente por quienes consideran esta técnica como inútil para tal fin, pero apropiada de ser empleada como método primario de localización no invasivo, sujeto a un segundo de confirmación (1, 2). No obstante y en línea con lo primero, otros manifiestan que la misma genera resultados superiores a los obtenidos mediante otras herramientas, permitiendo las detecciones cuando el IR es transmitido por ciertas pinturas de colores de base acusa, mas no para las mismas de color blanco, específicamente, acrílicas (2,16).

En este sentido, es entonces factible atribuir la posibilidad de detección de las manchas a la pintura empleada para cubrirlas y su conducta frente a la incidencia de una fuente de luz IR (2,15,16,18). Frente a esto, se decidió contrastar el vehículo, el solvente y los pigmentos constitutivos tanto de las pinturas empleadas en este estudio como de aquellas detalladas por los antecedentes, hallándose ciertas particularidades las cuales, se cree, fueron los condicionantes del actuar de la Fotografía IR por Reflexión para revelar las manchas de sangre en ambos sustratos:

- Las pinturas látex acrílicas (base acuosa) pueden absorber o reflejar el IR pero son incapaces de transmitirlo (6,15).
- Los esmaltes al agua o acrílicos, es decir, aquellos de solvente acuoso con vehículo de resinas de copolímero acrílico pueden ser capaces de absorber, reflejar o transmitir la radiación infrarroja, según el color de la pintura. De manera que:
- Las pinturas blancas acrílicas reflejan el IR (1,2,15,16). Estas acostumbran utilizar dióxido de titanio como pigmento principal, el cual se caracteriza por reflejar la luz y mejorar la resistencia de las pinturas al aplicarlo en capas (17), confirmando el hecho de que, con este tipo de pintura, la transmisión se produzca sólo durante las primeras.
- Las pinturas acrílicas de colores son capaces de transmitir y reflejar el IR, demostrando el rol que cumple el pigmento en cuanto al comportamiento de las mismas frente a la incidencia de la luz. Adicionalmente se destaca la influencia del sustrato, siendo que para colores como el amarillo, naranja y violeta, Farrar et al. (2) y Barrera et al. (16), quienes emplearon Durlock® y empapelado respectivamente, coincidieron en la capacidad de transmisión del IR; más discreparon para los colores azul y verde. Por cuanto para el color rojo, las detecciones fueron posibles tanto en cartón-yeso como en empapelado (2,16) mas no en ladrillos.
- Las pinturas de solvente orgánico son capaces de transmitir la radiación IR por lo menos para el color blanco y rojo, al emplearlas sobre sustratos tipo Durlock® (2) y ladrillo.

Dentro de este marco, es viable mencionar la ocurrencia del fenómeno señalado por Dilkie (15) de *re-wetting* (re-humedecimiento) en ambos sustratos, consistente en el corrimiento de las manchas de sangre a lo largo de las paredes luego de aplicadas las primeras capas de pintura, extremadamente notorio al observarse en el espectro VIS aunque casi imperceptible bajo el IR. Tal fenómeno se cree puede deberse a ciertos agentes antiespumantes y/o humedecedores responsables de la adhesión de las pinturas de base acuosa, ya que el mismo se produjo al emplear pintura látex acrílica y esmalte al agua, mas no al aplicar la primera capa de la única pintura empleada de base no acuosa (esmalte sintético). Incluso, es factible cuestionar si el hecho de emplear estas pinturas y generar este re-humedecimiento de las manchas, las mismas atraviesen un proceso de dilución accidental, siendo este un posible causante de la falta de detección IR por medio de la Fotografía Infrarroja por Reflexión, la cual es conocida por reducir su rendimiento en tales circunstancias (2,8).

Finalmente, en cuanto a las configuraciones de cámara utilizadas, los parámetros planteados como útiles fueron análogos a lo largo de las distintas fases de estudio, obteniendo como resultados variadas combinaciones derivadas de las configuraciones de cámara empleadas por Timmons (1), Narcotti (7) y

Lin et al. (8), siendo lo convenientemente modificadas a las posibilidades que la cámara utilizada en este trabajo permitía, denotando que las visualizaciones se dieron en mayor medida al emplear las metodologías planteadas para la relación fotografía IR-sangre en general y no para las empleadas por los antecedentes directos en paredes de Durlock®.

Consideraciones finales

Los resultados obtenidos señalan que la efectividad de las metodologías empleadas sobre los muros de cartón-yeso es relativa. Esta investigación halló resultados coincidentes con los expuestos por los antecedentes directos, confirmando la eficiencia de la técnica, pero los mismos no fueron alcanzados replicando las condiciones por ellos indicadas, sino combinando la única metodología directa exitosa con las mismas empleadas por estudios de foto IR y sangre en general, permitiendo extrapolar el procedimiento resultante logrando detecciones sobre paredes de ladrillos.

Las fases experimentales desarrolladas admiten enunciar que la Fotografía IR por Reflexión permite visualizar manchas de sangre cubiertas por pintura de manera particular: para algunas, a partir de la capacidad de transmisión del IR de las mismas y la concentración de hemoglobina presente en las manchas. Para otras, reflexivas al IR, la incidencia directa y cercana de la luz IR permite interactuar con ellas, resaltando ciertos aspectos de las superficies donde las manchas se hallan escondidas, actuando como herramienta de localización y permitiendo las detecciones según la densidad, sombras y relieves de las máculas. En relación a lo habitualmente utilizado como pinturas en los hogares de Argentina (pinturas látex acrílicas mate), se podría decir que la fotografía IR serviría cuando empleada de la segunda forma mencionada, mas eso no descarta que ante el uso de otras pinturas, la metodología establecida sea realmente exitosa para realizar detecciones por acción del IR en paredes de ladrillo.

Por ello, para que la Fotografía Infrarroja por Reflexión funcione para el fin que ha sido estudiado es necesario, primeramente, que la sangre encubierta no se halle diluida y absorba la radiación IR, que el sustrato de fondo lo refleje, y que las pinturas utilizadas para encubrir, idealmente lo transmitan. En segundo lugar, total oscuridad y el empleo de fuentes de radiación IR (de longitud de onda de al menos 850nm), emplazadas de manera simétrica, incidiendo directamente de forma oblicua a distancias sumamente cortas del sustrato a analizar o a distancias considerables como para que incidan de manera indirecta tipo ambiental. Finalmente, una cámara capaz de captar el espectro IR configurada con aperturas grandes a medianas, velocidades de obturación lentas a medias lentas, con uso de trípode recomendable; y sensibilidades ISOS bajas a medias. El empleo de filtros IR dependerá de la fuente de luz IR usada y elegida. Reiterando, este aporte solo se desarrolló siguiendo el trabajo previo reportado, donde no se utilizaron pruebas de control con otros pigmentos que

pueden confundirse con la sangre ni se analizaron otras variables, aunque está contemplado realizar tales pruebas en contribuciones futuras. Más aún, este trabajo experimental, en futuras contribuciones, deberá revisarse con resultados en campo.

Bibliografía

1. Timmons K. Detection and Documentation of Bloodstains Concealed by Paint: A Practical Approach. (Marshall University Forensic Science Program). 2014.
2. Farrar A, Porter G, Renshaw A. Detection of Latent Bloodstains Beneath Painted Surfaces Using Reflected Infrared Photography. *J Forensic Sci.* 2012; 57: 1190–1198.
3. Robinson E. *Crime Scene Photography*. 3rd Edition. Academic Press; 2016.
4. Vandenberg N, Oorschot R. The use of Polight® in the detection of seminal fluid, saliva and bloodstains and comparison with conventional chemical-based screening tests. *J Forensic Sci.* 2006; 51(2): 361–370.
5. Virkler K, Lednev IK. Analysis of body fluids for forensic purposes: from laboratory testing to non-destructive rapid confirmatory identification at a crime scene. *Forensic Sci Int.* 2009; 188(1-3): 1-17.
6. Adair T. Experimental Detection of Blood Under Painted Surfaces. *IABPA News.* 2006;12–19.
7. Narcotti G. *La Fotografía Pericial. El uso de la fotografía digital infrarroja en la Criminalística.* Ciudadela: Dosyuna Ediciones; 2013.
8. Chun-Yen Lin A, Hsieh H, Tsai L, Linacre A, Lee J. Forensic Applications of Infrared Imaging for the Detection and Recording of Latent Evidence. *J Forensic Sci.* 2007; 52(5): 1148–50.
9. De Broux ST, McCaul KK, Shimamoto S. *Infrared Photography.* 2007.
10. McKechnie M, Porter G, Langlois N. The detection of latent residue tattoo ink pigments in skin using invisible radiation photography. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2008; 40(1): 65–72.
11. Bailey J. Digital infrared photography to develop GSR patterns. *Australian Journal of Forensic Sciences.* 2007; 39(1): 33–40.
12. Sterzik V, Bohnert M. Reconstruction of crimes by infrared photography. *International Journal of Legal Medicine.* 2016; 130(5): 1379–85.
13. Bastide B, Porter G, Renshaw A. Detection of latent bloodstains at fire scenes using reflected infrared photography. *Forensic Science International.* 2019; 302.
14. Sierra Dimas HDL. *Análisis Infrarrojo de Obra Pictórica Contemporánea de la Colección de la Universitat Politècnica de València (Trabajo Final de Máster).* (Máster en conservación y restauración de bienes culturales); 2013.
15. Dilkie N. *Documenting Bloodstain Patterns Concealed beneath Architectural Paint Layers using Multi-Spectral Forensic Photography Techniques (Tesis para acceder al grado de Master of Science in Applied Science).* (Nova Scotia: Saint Mary University); 2016.
16. Barrera V, Haas C, Meixner EA, Fliss B. Detection of painted-over traces of blood and seminal fluid. *International Journal of Legal Medicine.* 2018; 132: 1067–74.
17. Caddy B. *Forensic Examination of Glass and Paint. Analysis and Interpretation.* London: Taylor & Francis; 2001.
18. Mairinger F. *The Infrared Examination of Paintings.* In: *Radiation in Art and Archeometry.* New York: Elsevier Science; 2000. p. 40–55.