



MÀSTER EN GENÈTICA, FÍSICA I QUÍMICA FORENSE

TREBALL DE FI DE MÀSTER

DETECCIÓ DE SANG MITJANÇANT LLUM MULTIESPECTRAL

Estudiant: Josep Solé Compte

Tutor extern: Ubaldo Fernández

Tutor acadèmic: Josep Maria Serres Serres

Tarragona, Juny del 2021

Universitat Rovira i Virgili

RESUM

La sang té un paper crucial en moltes investigacions policials, ja que es tracta d'un tipus de mostra que dona molta informació d'aspectes rellevants de l'escena d'un crim. Per aquest motiu, és essencial la seva detecció. Actualment, la prova del luminol és el test de detecció de sang més utilitzat en les inspeccions oculars, ja que es tracta d'una tècnica que permet detectar restes de sang que no es poden observar a simple vista en l'escena d'un crim. Tot i això, es tracta d'un mètode que presenta alguns inconvenients com els falsos positius que donen algunes substàncies que no són sang, la dilució de la mostra o la possible interferència en anàlisis posteriors com és l'anàlisi d'ADN.

Per aquest motiu, es vol estudiar la utilització d'equips portàtils de llum multiespectral i d'espectroscòpia per a la detecció de restes de sang. Per fer-ho s'utilitza un aparell de llum UV, un espectrofotòmetre IR i una càmera visible. A més, es dur a terme un estudi per veure l'efecte que té la superfície en la que es troba la sang (fusta, vidre i tèxtil) en la seva detecció, això com quin és l'efecte del tractament utilitzat per netejar la sang (sense tractament, lleixiu, detergent, aigua i pintura).

Els resultats que s'obtenen mitjançant la càmera visible són positius i permeten obrir una nova línia d'investigació per millorar i perfeccionar el mètode com a detector de sang.

En conclusió, els resultats obtinguts d'aquest treball han de permetre continuar la recerca cap a altres formes de detecció a partir de la visió i intel·ligència artificial, i això ens pot permetre obrir un gran àmbit en el món de les tècniques de detecció de sang. Tot i això, es requereixen molts estudis addicionals per poder implantar aquests mètodes en el dia a dia dels investigadors policials.

Paraules clau: sang, detecció, llum, espectroscòpia, superfície, tractament.

RESUMEN

La sangre tiene un papel crucial en muchas investigaciones policiales, ya que se trata de un tipo de muestra que da mucha información de aspectos relevantes de la escena de un crimen. Por este motivo, es esencial su detección. Actualmente, la prueba del luminol es la prueba de detección de sangre más utilizado en las inspecciones oculares, ya que se trata de una técnica que permite detectar restos de sangre que no se pueden observar a simple vista en la escena de un crimen. Sin embargo, se trata de un método que presenta algunos inconvenientes como los falsos positivos que dan algunas sustancias que no son sangre, la dilución de la muestra o la posible interferencia en análisis posteriores como es el análisis de ADN.

Por este motivo, se quiere estudiar la utilización de equipos portátiles de luz multiespectral y de espectroscopia para la detección de restos de sangre. Para ello se utiliza un aparato de luz UV, un espectrofotómetro IR y una cámara visible. Además, se llevó a cabo un estudio para ver el efecto que tiene la superficie en la que se encuentra la sangre (madera, vidrio y textil) en su detección, así como cuál es el efecto del tratamiento utilizado para limpiar la sangre (sin tratamiento, lejía, detergente, agua y pintura).

Los resultados que se obtienen mediante la cámara visible son positivos y permiten abrir una nueva línea de investigación para mejorar y perfeccionar el método como detector de sangre.

En conclusión, los resultados obtenidos de este trabajo deben permitir continuar la investigación hacia otras formas de detección a partir de la visión e inteligencia artificial, y eso nos puede permitir abrir un gran ámbito en el mundo de las técnicas de detección de sangre. Sin embargo, se requieren muchos estudios adicionales para poder implantar estos métodos en el día a día de los investigadores policiales.

Palabras clave: sangre, detección, luz, espectroscopia, superficie, tratamiento.

ABSTRACT

Blood plays a crucial role in many police investigations, as it is a type of sample that provides a wealth of information on relevant aspects of a crime scene. For this reason, its detection is essential. Currently, the luminol test is the blood test most used in eye inspections, as it is a technique that detects blood remains that cannot be observed with the naked eye at the scene of a crime. However, this is a method that has some drawbacks such as false positives that give some substances other than blood, dilution of the sample or possible interference in subsequent analysis such as DNA analysis.

For this reason, we want to study the use of portable multispectral light and spectroscopy equipment for the detection of blood residues. A UV light, an IR spectrophotometer and a visible camera are used to do this. In addition, a study will be carried out to see the effect of the surface on which the blood is found (wood, glass and textiles) in its detection, as well as the effect of the treatment used to clean the blood (without treatment, bleach, detergent, water and paint).

The results obtained using the visible camera are positive and open a new line of research to improve and refine the method as a blood detector.

In conclusion, the results obtained from this work should allow us to continue the search for other forms of detection based on vision and artificial intelligence, and this can allow us to open a large field in the world of detection techniques. of blood. However, many additional studies are required to be able to implement these methods in the day-to-day lives of police investigators.

Keywords: blood, detection, light, spectroscopy, surface, treatment.

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	5
1.1 La sang: importància, composició i formes de detecció:	5
1.2 Prova del luminol:	6
1.3 Espectroscòpia:	8
2. OBJECTIUS	11
3. METODOLOGIA	12
3.1 Superfícies d'estudi i tractaments aplicats:	12
3.2 Temps d'anàlisi:.....	15
3.3 Estudi reactius luminescents:	15
3.4 Observacions i determinacions en les mostres:	16
4. RESULTATS I DISCUSSIÓ.....	18
4.1 Estudi reactius luminescents:	18
4.2 Llum UV a 455 nm:	19
4.3 Espectroscòpia IR:	20
4.4 Càmera visible:	24
4.4.1 Temps inicial:	24
4.4.2 Temps 2 setmanes:.....	26
4.4.3 Temps 4 setmanes:.....	27
4.4.4 Conclusions càmera visible:	28
5. CONCLUSIONS.....	31
6. BIBLIOGRAFIA	32

1. INTRODUCCIÓ

1.1 La sang: importància, composició i formes de detecció:

La sang té un important paper en moltes investigacions criminals realitzades. Es tracta d'una de les evidències que es troben en una major freqüència en les escenes on s'han produït crims. A més, a part de l'elevada freqüència en la que es troba, la sang té capacitat per donar una gran quantitat d'informació a partir del seu anàlisi. D'aquesta manera, es tracta d'un component biològic que pot donar informació de l'escenari on s'ha produït el crim, el nombre de persones implicades, el temps que fa que s'ha produït, entre d'altres aspectes que poden resultar claus per a resoldre el cas investigat. [1][2]

A més a més, la sang es tracta d'una de les evidències biològiques de la qual és més factible poder extreure material genètic a partir del seu anàlisi genètic en el laboratori. D'aquesta manera, mitjançant taques de sang trobades en l'escena del crim es poden obtenir els perfils genètics de la víctima i/o del sospitós/os. Així, per exemple, la obtenció d'aquests perfils pot ajudar a relacionar la víctima amb el sospitós o pot situar a un sospitós en l'escena on s'ha produït el crim. Per tant, la sang té un paper essencial en la majoria de les investigacions criminals dutes a terme. [1][2]

La composició principal en que està formada la sang és: glòbuls vermells, glòbuls blancs, plaquetes, i plasma sanguini. [1]

- Glòbuls vermells: els glòbuls vermells tenen una forma esfèrica, no presenten nucli (per tant no contenen DNA) i són els més nombrosos dels tres principals glòbuls. El seu component principal és l'hemoglobina, que constitueix el 97% del contingut sec de la sang. L'hemoglobina és una proteïna formada per quatre subunitats hemo (cada grup hemo conté un àtom de ferro que es pot unir a una molècula d'oxigen) i que té com a funció principal el transport d'oxigen entre els pulmons i els teixits.
- Glòbuls blancs: els glòbuls blancs són menys nombrosos que els vermells i la seva principal funció és de contribució en el sistema immunològic i de combatre les infeccions. Aquest tipus de glòbuls tenen nucli i contenen DNA i RNA.
- Plaquetes: les plaquetes són fragments de cèl·lules que tenen com a funció principal la coagulació de la sang quan es produeix un dany en els vasos sanguinis.

- Plasma sanguini: el plasma sanguini està format per aigua, sals, proteïnes sèriques (albúmina sèrica, globulines sèriques, hormones...) i factors de coagulació.

Degut a la importància que té la sang en un gran nombre d'investigacions criminals, és essencial poder detectar-la en les escenes del crim per tal de que pugui ser utilitzada com a prova i aporti informació rellevant en la investigació. Per això, els tests de detecció de la sang són molt utilitzats. La funció d'aquests tests és identificar sang en l'escena d'un crim, fins i tot quan aquesta no es pot observar a simple vista, ja que la superfície sobre la que es troba ha estat netejada, tractada amb lleixiu, pintada o entre d'altres. Té una funció molt important quan pot detectar traces de sang en una escena que no es poden observar a simple vista. L'altre gran funció d'aquests tipus de tests és confirmar que la substància que s'ha trobat en l'escena és sang humana i no sang animal o substàncies que tenen una coloració similar a la de la sang.

Principalment, hi ha dos tipus de proves de detecció: les orientatives i les confirmatòries.

- Proves orientatives: Permeten saber si la substància analitzada pot ser sang o no. Tot i això, algunes substàncies poden donar falsos positius. Per tant, aquestes proves tenen una elevada sensibilitat, però, en canvi, una baixa especificitat. La prova orientativa més utilitzada és el luminol. [3][4]
- Proves confirmatòries: Permeten confirmar si la substància sospitosa es tracta de sang comprovant la presència d'alguns dels components de la sang. Es tracta de proves amb una elevada especificitat, però amb una baixa sensibilitat. Un exemple de prova confirmatòria són els tests OBTI. [4][5]

1.2 Prova del luminol:

El luminol, el test de detecció de sang més utilitzat en les inspeccions oculars, es tracta d'una tècnica preliminar i orientativa utilitzada per a detectar restes de sang que no es poden observar a simple vista en l'escena d'un crim. Les solucions de luminol per a la detecció de taques de sang són típicament alcalines i contenen peròxid d'hidrogen com a reactiu oxidant. La reacció del luminol es tracta d'una reacció de quimioluminescència, de manera que hi ha una emissió de llum blava quan els grups hemo fèrrics dels glòbuls vermells de la sang catalitzen la oxidació del luminol per descomposició del peròxid

d'hidrogen present en aquesta solució de reactiu. L'emissió de llum blava és gairebé instantània quan es ruixa el luminol sobre la sang. Degut a que aquesta llum desapareix de manera molt ràpida (10-15 segons), és essencial recollir la mostra de sang durant el temps en que s'observa la llum. Un dels grans avantatges d'aquesta tècnica és que permet detectar la presència de sang en quantitats baixes o diluïdes. A més, es tracta d'un reactiu generalment eficaç per taques de sang amb una antiguitat considerable i que presenta una sensibilitat de 1:1000 (s'observa fins a 1:10000). No obstant això, com més petita sigui la quantitat de sang, menor serà l'emissió de llum de la reacció. [6][7][8]

El luminol també presenta alguns inconvenients importants que cal tenir en compte. Un dels més importants és que no es tracta d'un reactiu que sigui específic per a la sang, sinó que algunes substàncies poden donar un fals positiu quan són ruixades amb luminol. D'aquesta manera, és pot donar una reacció positiva i, per tant, una emissió de llum blava, sense que la substància que estigui reaccionant sigui sang. Algunes d'aquestes substàncies que donen falsos positius són: presència de coure o ferro en substàncies que no són sang, fang, rave, lleixiu, entre d'altres substàncies. El fet de que el luminol doni falsos positius amb el lleixiu és un gran inconvenient, ja que en moltes escenes de crims es netegen les gotes de sang amb lleixiu. D'aquesta manera, la reacció amb el luminol pot ser positiva per la presència de lleixiu i no per la presència de sang. [6][8]

Un altre dels inconvenients principals de la tècnica del luminol és que es tracta d'un reactiu que interacciona amb la mostra de sang de l'escena del crim. D'aquesta manera, es pot provocar una pèrdua dels patrons de les taques de sang i, a més, pot interferir en proves posteriors com per exemple l'anàlisi de DNA. Per tant, és un gran inconvenient que els resultats de l'anàlisi de DNA de les taques de sang es vegin afectats per ruixar amb luminol aquestes taques. [6][8]

D'altra banda, un altre gran inconvenient que presenta aquesta tècnica de detecció de restes de sang és que quan es ruixa luminol a sobre de la taca de sang, s'està diluint la taca. D'aquesta manera, al diluir la taca, serà més difícil analitzar-la degut a que hi haurà menys quantitat de mostra o, fins i tot, en aquells casos en que ja hi hagi poca mostra es pot impossibilitar l'anàlisi de la taca de sang al diluir-la. [6][8]

Per tant, tot i que el luminol sigui una prova eficaç i molt utilitzada per trobar sang en l'escena del crim, els nombrosos inconvenients que presenta posen de manifest la necessitat de trobar una nova prova de detecció de sang que no presenti aquests desavantatges. Per això, s'investiga per trobar una prova de detecció de sang que no doni falsos positius, amb especificitat per la sang humana, que no interaccioni amb la mostra, que no interfereixi amb posteriors anàlisis, entre d'altres requeriments.

1.3 Espectroscòpia:

Les ones electromagnètiques es caracteritzen i es classifiquen segons els seus valors de la freqüència o de la longitud d'ona. D'aquesta manera, tota la gamma de freqüències conegudes constitueixen l'espectre electromagnètic, que es defineix com la radiació electromagnètica que emet o absorbeix una substància. Aquest espectre es troba dividit en diferents zones. Aquestes regions són: els rajos gamma, els rajos X, la radiació ultraviolada, la llum visible, la radiació infraroja (dividida en l'infraroig proper, mitjà i llunyà), les regions de microones i les ones de radio.[9][10]

Els intervals de longitud d'ona de l'espectre electromagnètic més utilitzats en la formació d'imatges hiperespectrals són els corresponents a la regió òptica de l'espectre formada per la radiació ultraviolada, visible i infraroja.[10]

Una banda espectral és un interval de l'espectre electromagnètic que es troba definit per dues longituds d'ona, freqüències o números d'ona.[9]

Existeixen múltiples diferències entre una imatge multiespectral i una imatge hiperespectral. Les definicions d'aquests tipus d'imatges són les següents: [9][11][12]

- Imatge multiespectral: aquest tipus d'imatges estan formades normalment per entre 3 i 20 bandes, de manera que el número de bandes és relativament baix. A més, aquestes bandes no són necessàriament contigües unes amb les altres. Per tant, mitjançant una imatge multiespectral es pot obtenir els valors d'intensitat en les longituds d'ona en les que el sistema capti radiació. Aquest tipus d'imatges ofereixen menys informació que les hiperespectrals, però són especialment útils quan es coneixen les longituds d'ona que diferencien un material d'un altre. Les imatges multiespectrals són imatges amb dues dimensions.

- Imatge hiperespectral: aquest tipus d'imatges estan formades per un número major de bandes, que sempre són contigües entre elles. Per tant, mitjançant una imatge hiperespectral es pot obtenir l'espectre continu o la firma espectral de l'objecte analitzat. Per això, en els casos en que es treballa amb imatges hiperespectrals no és necessari un coneixement previ de la mostra, ja que ofereixen una major informació quantitativa i s'utilitzen com a eines de diferenciació i classificació espectral. En aquest tipus d'imatges, un píxel no ve definit per un únic valor d'intensitat, sinó que es tindran tants valors com bandes s'hagin observat. Les imatges hiperespectrals són imatges amb tres dimensions. Els principals inconvenients d'aquest tipus d'imatges són el seu elevat cost i la necessitat de disposar d'un processador ràpid i amb una gran capacitat per emmagatzemar dades.

Actualment, s'està utilitzant l'espectroscòpia visible o d'infraroig, així com múltiples càmeres que poden treballar en el rang del UV, visible o infraroig en moltes investigacions criminals. Aquests aparells s'estan utilitzant, entre d'altres funcions, per a la detecció de taques de sang que no es poden observar a simple vista. D'aquesta manera, es poden obtenir imatges on s'observi una taca de sang en una superfície fosca que no s'observa a simple vista o es poden obtenir espectres de superfícies que continguin pics característics de la sang i que, per tant, indiquin una possible presència de sang en la superfície estudiada. [13][14][15][16]

D'aquesta manera, aquests aparells que utilitzen l'espectroscòpia o imatges obtingudes per càmeres poden solucionar alguns dels problemes que presenta el luminol per a la detecció de la sang. Per exemple, es tracta de tècniques no destructives i, per tant, no interaccionen amb la mostra de sang. D'aquesta manera, s'evita possibles interferències en el posterior anàlisi de DNA o també s'evita la dilució de la mostra. A més, s'eviten possibles falsos positius que algunes substàncies donen en la prova de luminol. [17][18][19]

Quan s'utilitza l'espectroscòpia visible per a la detecció de sang, s'obté un espectre característic d'aquesta substància. L'espectre visible de la sang està dominat per l'espectre de l'hemoglobina present en la sang. D'aquesta manera, principalment consisteix en una forta absorció estreta centrada a uns 415 nm, també anomenada com

a banda de Soret; i a dues absorcions més dèbils i amples entre 500 i 600 nm conegudes com a bandes β i α . Aquesta banda de Soret és la responsable de donar a les taques de sang el seu distintiu color vermell degut a l'absorció en la part blava de l'espectre visible.

[19]

D'altra banda, quan s'utilitza l'espectroscòpia infraroja per a la detecció de sang s'obté un espectre amb pics característics de l'hemoglobina, l'albumina i la globulina. Així, s'han identificat com a pics característics de la sang en l'espectre IR els que es troben aproximadament a les posicions de 930, 1690, 1740, 1940, 2056, 2170, 2290 i 2350 nm.

[17]

2. OBJECTIUS

L'objectiu principal del treball és la detecció de sang mitjançant equips portàtils de llum multiespectral, és a dir, identificar mitjançant aquests aparells taques o restes de sang que s'observin a simple vista o, fins i tot, que no siguin observables a ull nu.

També es vol caracteritzar tres reactius luminescents diferents i determinar el seu pic màxim i la seva intensitat màxima.

A més, es vol determinar l'efecte que té la superfície en la que es troba la sang en la seva detecció a través d'aquests aparells, així com conèixer l'efecte que tenen diversos tractaments que es poden aplicar a les superfícies tacades de sang per tal d'eliminar-ne les restes en aquest tipus de detecció.

Finalment, també es vol observar si existeix una degradació de la sang al llarg del temps que dura l'anàlisi que afecti negativament a la seva detecció a través d'aquests equips portàtils multiespectrals.

3. METODOLOGIA

3.1 Superfícies d'estudi i tractaments aplicats:

L'estudi es realitza en tres superfícies diferents: fusta, tèxtil i vidre. L'elecció d'aquestes superfícies es deu a que es tracten d'unes de les superfícies més habituals en les que els investigadors policials troben taques de sang en les inspeccions oculars que duen a terme en les escenes de crims. D'aquesta manera, es busca ajustar els experiments el màxim possible a la realitat. A més, l'elecció d'aquestes tres superfícies permet tenir dues superfícies poroses (la fusta i el tèxtil) i una superfície no porosa (el vidre). Així, es vol estudiar si la naturalesa porosa o no de la superfície pot influir a l'hora de detectar sang en aquesta superfície que ha estat tractada o netejada d'alguna manera.

El nombre de tractaments diferents que s'apliquen entre totes les diferents superfícies és 5. Aquests tractaments són: sense tractament, lleixiu, detergent, aigua i pintura. A cada tipus de superfície d'estudi se li apliquen 4 dels 5 tractaments possibles.

Les diverses combinacions possibles de superfícies i de condicions de tractament de les taques es troben recollides en la següent taula:

Taula 1: Recull de les possibles combinacions de superfície i tractament que s'estudiaran amb la càmera visible.

		Superfícies		
		Fusta	Vidre	Tèxtil
Condicions de tractament de les taques	Sense tractament	Sang en fusta no tractada	Sang en vidre no tractada	Sang en tèxtil no tractada
	Netejades amb detergent	Sang en fusta netejada amb detergent	Sang en vidre netejada amb detergent	Sang en tèxtil netejada amb detergent
	Netejades amb aigua	-	Sang en vidre netejada amb aigua	Sang en tèxtil netejada amb aigua
	Lleixiu	Sang en fusta netejada amb lleixiu	Sang en vidre netejada amb lleixiu	Sang en tèxtil netejada amb lleixiu
	Pintades	Sang en fusta que s'ha pintat	-	-

Per a sembrar les gotes de sang en cada una de les superfícies s'utilitza sang humana extreta unes 2 hores abans de la sembra. Aquesta sang es troba guardada en un tub que conté anticoagulant per evitar la seva degradació i afavorir la seva conservació. A cada

una de les mostres (en total hi ha 192 mostres diferents) se li afegeix una gota de 30 µL de sang en la seva superfície.

Una vegada s'han sembrat totes les mostres de sang, aquestes es deixen assecar durant 48 hores a temperatura ambient de laboratori.

Transcorregudes 48 hores s'aplica el corresponent tractament a cada una de les mostres que tenen la taca de sang. L'aplicació de cada un dels tractaments es produeixen de la següent manera:

- Sense tractament: En aquest cas, no s'aplica cap tipus de tractament a les corresponents mostres que se'ls ha assignat (mostres tant de fusta, vidre com tèxtil). D'aquesta manera, la taca de sang queda inalterada en la superfície. Aquesta absència de tractament s'utilitza per veure quins resultats s'obtenen quan la sang no ha estat alterada i per comparar quin efecte poden tenir els diferents tractaments en la detecció de la sang tractada.
- Lleixiu: En aquest cas, s'aplica una solució que conté lleixiu a les taques de sang de les mostres. La solució aplicada conté 10 ml de lleixiu en 1 litre d'aigua. En aquest tipus de tractament, es frega la superfície (fusta, vidre o tèxtil) amb la solució de lleixiu fins que no s'observa gens la taca de sang, ni tampoc possibles restes de sang que hagin pogut quedar al netejar la taca.
- Detergent: S'utilitzen dos tipus de detergents diferents. D'una banda, el Fairy i per l'altre el Wipp Express.
 - Fairy: Aquest detergent s'utilitza per netejar les taques de sang en la fusta i en el vidre. En aquest cas, s'aplica una solució que conté detergent de la marca Fairy a les taques de sang de les mostres. La solució aplicada conté 10 ml de Fairy en 1 litre d'aigua. En aquest tipus de tractament, es frega la superfície amb la solució de detergent fins que no s'observa gens la taca de sang, ni tampoc possibles restes de sang que hagin pogut quedar al netejar la taca. La superfície d'estudi es frega directament amb la solució, ja que es tracta de la opció que més s'ajusta a la realitat per tal de netejar sang en fusta o vidre.

- Wipp Express: Aquest detergent s'utilitza per netejar les taques de sang en el tèxtil. En aquest cas, s'aplica una solució que conté detergent de la marca Wipp Express a les taques de sang de les mostres. La solució aplicada conté 10 ml de Wipp Express en 1 litre d'aigua. En aquest tipus de tractament, s'introdueixen les peces de tèxtil amb les taques de sang en un recipient que conté la solució de detergent. Aquest recipient es posa en un bany maria a una temperatura de 30°C (per tal d'activar els enzims que conté el detergent, ja que s'activen amb la temperatura) i amb agitació. D'aquesta manera, es realitza un símil amb la manera de treballar d'una rentadora (temperatura elevada i agitació). Aquesta opció es tracta de la opció que més s'ajusta a la realitat per tal de netejar sang en peces de roba.
- Pintura: En aquest cas, es pinta la superfície de la fusta que conté la taca de sang amb una pintura negra que té una composició de pintura a l'aigua d'acabat setinat a base de làtex. La pintura s'aplica a sobre de la taca de sang sense tractar prèviament de cap manera aquesta taca, de manera que es trobi inalterada sota la capa de pintura aplicada. Inicialment, s'aplica una primera capa de pintura negra a sobre de la taca de sang. Llavors, es deixa assecar la pintura uns 25-30 minuts i, a continuació, s'aplica una segona capa de pintura a les mostres. Aquest tractament només s'aplica a la fusta, ja que no té sentit aplicar-lo al vidre o al tèxtil, ja que no es tracta d'una situació que es doni en la vida quotidiana.
- Aigua: En aquest cas, s'aplica una solució que només conté aigua a les taques de sang d'algunes mostres de vidre i tèxtil. En aquest tipus de tractament, es frega la superfície (vidre o tèxtil) amb la solució d'aigua fins que no s'observa gens la taca de sang, ni tampoc possibles restes de sang que hagin pogut quedar al netejar la taca.

Una vegada s'han aplicat tots els diversos tractaments a les mostres, aquestes es mantenen a temperatura ambient i en condicions de laboratori fins al moment del seu anàlisi.

3.2 Temps d'anàlisi:

En total hi ha tres temps d'anàlisi diferents. Aquests temps són els següents:

- Primer temps d'anàlisi: L'anàlisi inicial es produeix al cap d'una setmana que s'hagin sembrat les mostres amb la sang humana.
- Segon temps d'anàlisi: Aquest segon anàlisi es produeix al cap de tres setmanes de la sembra de les mostres i, per tant, dues setmanes després de l'anàlisi inicial.
- Tercer temps d'anàlisi: L'últim anàlisi de les mostres es produeix cinc setmanes després de la sembra de les mostres.

S'estableixen tres temps d'anàlisi diferents, per tal d'observar si el pas del temps causa una degradació en la sang de les mostres que dificulta o impedeix la seva detecció. D'aquesta manera, la comparació dels anàlisis permetrà veure quin paper desenvolupa el temps que es tarda a analitzar una mostra de sang en la seva detecció i identificació per part dels cossos policials en la inspecció d'una possible escena d'un crim.

3.3 Estudi reactius luminescents:

Adicionalment, s'ha realitzat un estudi per determinar la intensitat i el pic màxim dels 3 reactius luminescents dels que es disposa per a la detecció de la sang. Aquests 3 reactius són el Bluestar, el Lumiscene i el LumiUCIO. Per tal de dur a terme aquest estudi és necessari la preparació d'aquests 3 reactius, que es realitza de la següent manera:

- Bluestar: S'afegeixen dues pastilles de Stock en 125 mL d'aigua destil·lada i la solució es barreja mitjançant moviments circulars suaus fins que les pastilles es dissolen.
- Lumiscene: S'afegeixen 0,2 g de cada una de les pastilles Stock en 100 mL de solució Stock i la mescla es barreja suaument fins aconseguir la dissolució de les pastilles.
- LumiUCIO: Primer, s'afegeixen 150 mL d'aigua destil·lada en un matràs aforat de 250 mL. A continuació, es pesen 925 mg de NaOH en una balança, s'afegeixen al matràs i es dissolen amb moviments suaus. Després, s'afegeixen 350 mL de luminol al matràs i el recipient es deixa a l'agitador fins a la seva dissolució. Finalment, s'afegeixen 2,5 mL d'H₂O₂ al 30% i s'enrasa el matràs aforat amb aigua destil·lada. La solució es guarda en un envàs de vidre fosc.

Una vegada es tenen preparats els 3 reactius luminescents, en tubs de vidre es realitzen dilucions seriades de sang amb aigua destil·lada. Les dilucions són 1/10, 1/1000 i 1/100000. Per cada dilució hi ha tres rèpliques i en total hi ha 27 tubs (3 reactius x 3 dilucions x 3 rèpliques = 27 tubs). S'afegeix 0,5 mL de la dilució i 1 mL del reactiu corresponent. L'anàlisi es dur a terme mitjançant un espectrofotòmetre acoblat a fibra. Mitjançant aquest aparell, es mesura la intensitat lumínica i el pic màxim en un rang de 200 – 900 nm, ja que el Bluestar i el Lumiscene tenen el seu pic a 425 i 525 nm, respectivament.

3.4 Observacions i determinacions en les mostres:

Finalment, una vegada es tenen les mostres preparades i tractades, els temps d'anàlisi decidits i el reactiu luminescent que s'utilitzarà triat, s'inicia els anàlisi de les mostres. Per a realitzar les observacions i les determinacions s'utilitzen tres aparells diferents: excitació amb llum UV a 455 nm, espectrofotòmetre IR i càmera visible.

L'excitació amb llum UV a 455 nm consisteix en un aparell que emet llum UV a 455 nm. D'aquesta manera, les mostres s'il·luminen amb aquesta llum i s'observa si el resultat millora l'observació a ull nu. En aquest cas, les mostres no es ruixen amb reactiu luminescent, ja que no millora la possible observació de les mostres.



Figura 1: Imatges de l'aparell de llum UV des de dos angles diferents.

L'espectrofotòmetre IR (Neospectra – SiWare®) consisteix en un aparell que permet obtenir l'espectre IR de diferents superfícies. El rang en el que treballa és de 1350 fins a 2550 nm. En aquest cas, primer s'obté un espectre sense ruixar amb el reactiu luminescent i, posteriorment, s'obté un segon espectre de la mateixa mostra després de ruixar-la amb el reactiu. Cada un dels espectres que s'obtenen contenen dues gràfiques. Una consisteix en una gràfica control i representa l'espectre IR de la superfície que

s'estudia en la qual no hi ha restes de sang. En canvi, l'altra gràfica representa l'espectre IR de la superfície estudiada en la qual hi ha la taca o les restes de sang.

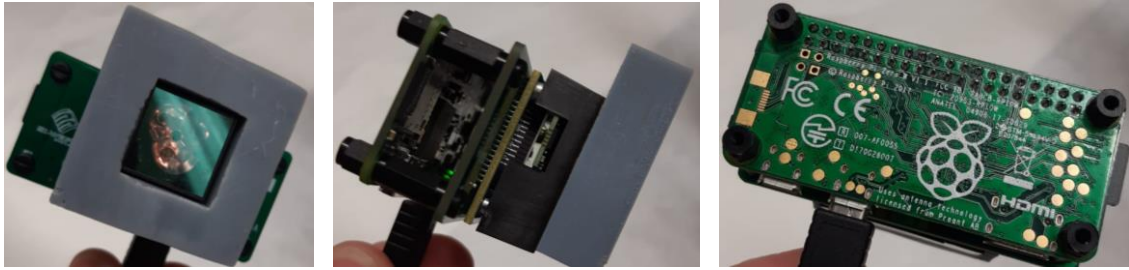


Figura 2: Imatges de l'espectrofotòmetre IR des de tres angles diferents.

La càmera visible consisteix en una càmera amb un filtre específic per a la llum visible (a una longitud d'ona de 455 nm), de manera que només aquest tipus de llum pot irradiar la mostra. El rang en el que treballa és de 350 fins a 900 nm. En aquest cas, la mostra s'ha de ruixar 1 o 2 vegades amb el reactiu luminescent per tal de poder observar la mostra amb la càmera. El temps d'anàlisi és 1 minut.

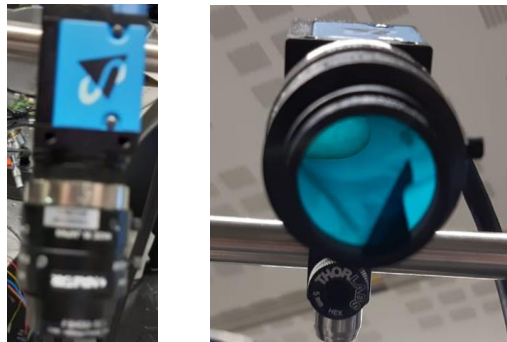


Figura 3: Imatges de la càmera visible des de dos angles diferents.

4. RESULTATS I DISCUSSIÓ

4.1 Estudi reactius luminescents:

Els resultats que s'obtenen de l'estudi dels 3 reactius luminescents es troben recollits en la següent figura:

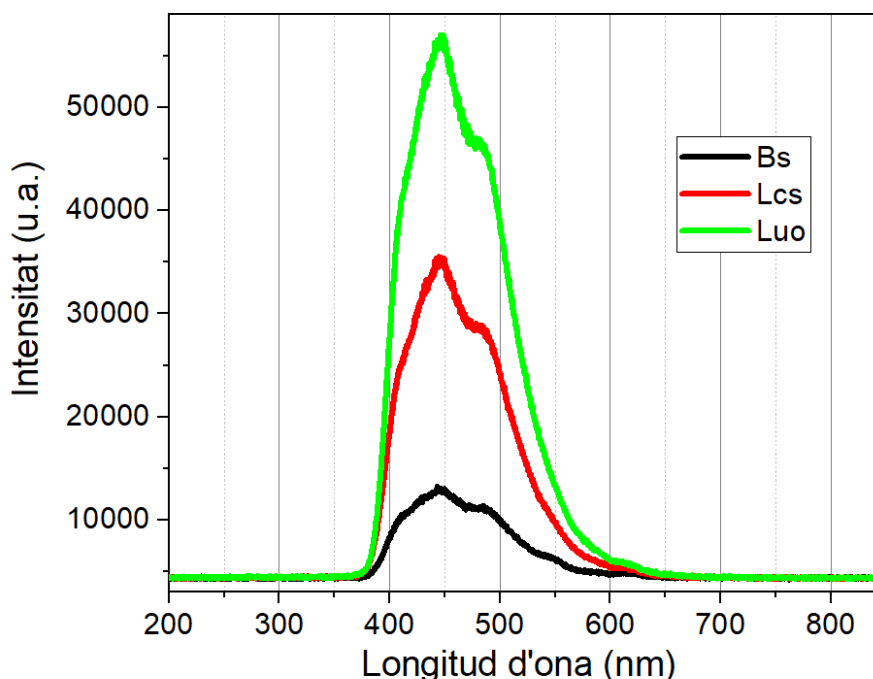


Figura 4: Gràfica de cada un dels 3 reactius luminescents estudiats on es mostra el pic i la intensitat màxima de cada un d'ells.
Bs: Bluestar; Lcs: Lumiscene; Luo: LumiUCIO.

Els resultats que s'observen són els que corresponen a la dilució de 1/1000. Els resultats per a les altres dues dilucions (1/10 i 1/100000) no han estat correctes i s'han descartat.

En la figura s'observa com el pic màxim dels 3 reactius es troba situat al voltant de 450 nm. Per això, es decideix que per la càmera visible s'utilitzarà un filtre de 455 nm, ja que és en la longitud d'ona on es produeix el pic de màxima intensitat del reactiu luminescent utilitzat.

Pel que fa a les intensitats màximes dels 3 reactius, s'observa com el Bs té una intensitat màxima d'unes 15000 u.a. (unitats arbitràries), el LCS d'unes 35000 u.a. i el Luo d'unes 55000 u.a. D'aquesta manera, dels 3 reactius luminescents, el LumiUCIO és el que presenta una intensitat més elevada. Per això, l'estudi amb la càmera visible i l'espectrofotòmetre IR es realitzarà utilitzant el LumiUCIO com a reactiu luminescent, ja que és el que presenta una intensitat més elevada. En aquesta decisió no s'ha tingut en

compte el pic de cada un d'ells, ja que la diferència era mínima en el valor de la longitud d'ona en que cada reactiu assolía el seu pic màxim d'intensitat.

4.2 Llum UV a 455 nm:

L'excitació amb llum UV a 455 nm no ha donat els resultats esperats. Les fotos que s'han obtinguts de les mostres en el moment en que eren irradiades amb llum UV no ha permès observar cap detall que no sigui observable a simple vista. D'aquesta manera, en les fotos només es poden observar les taques de sang o les restes que ja s'observen a simple vista i, en canvi, no s'observen aquelles taques que han estat netejades i que no s'observen a ull nu. Degut a que els resultats obtinguts no aporten informació addicional a la que s'obté amb els altres aparells, l'excitació amb llum a 455 nm no s'utilitza en l'estudi de la degradació de les taques de sang.

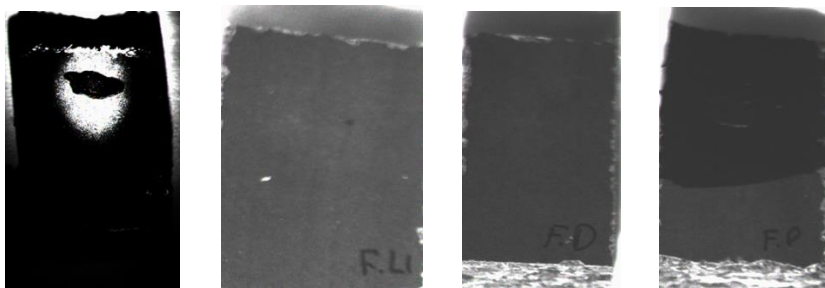


Figura 5: Imatges amb llum UV de la fusta sense tractar, tractada amb lleixiu, amb detergent i pintura, respectivament.

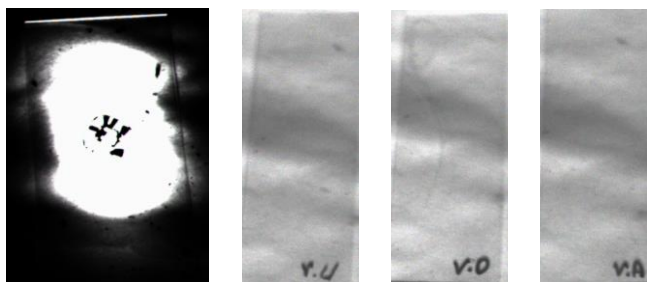


Figura 6: Imatges amb llum UV del vidre sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua, respectivament.



Figura 7: Imatges amb llum UV del tèxtil sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua, respectivament.

4.3 Espectroscòpia IR:

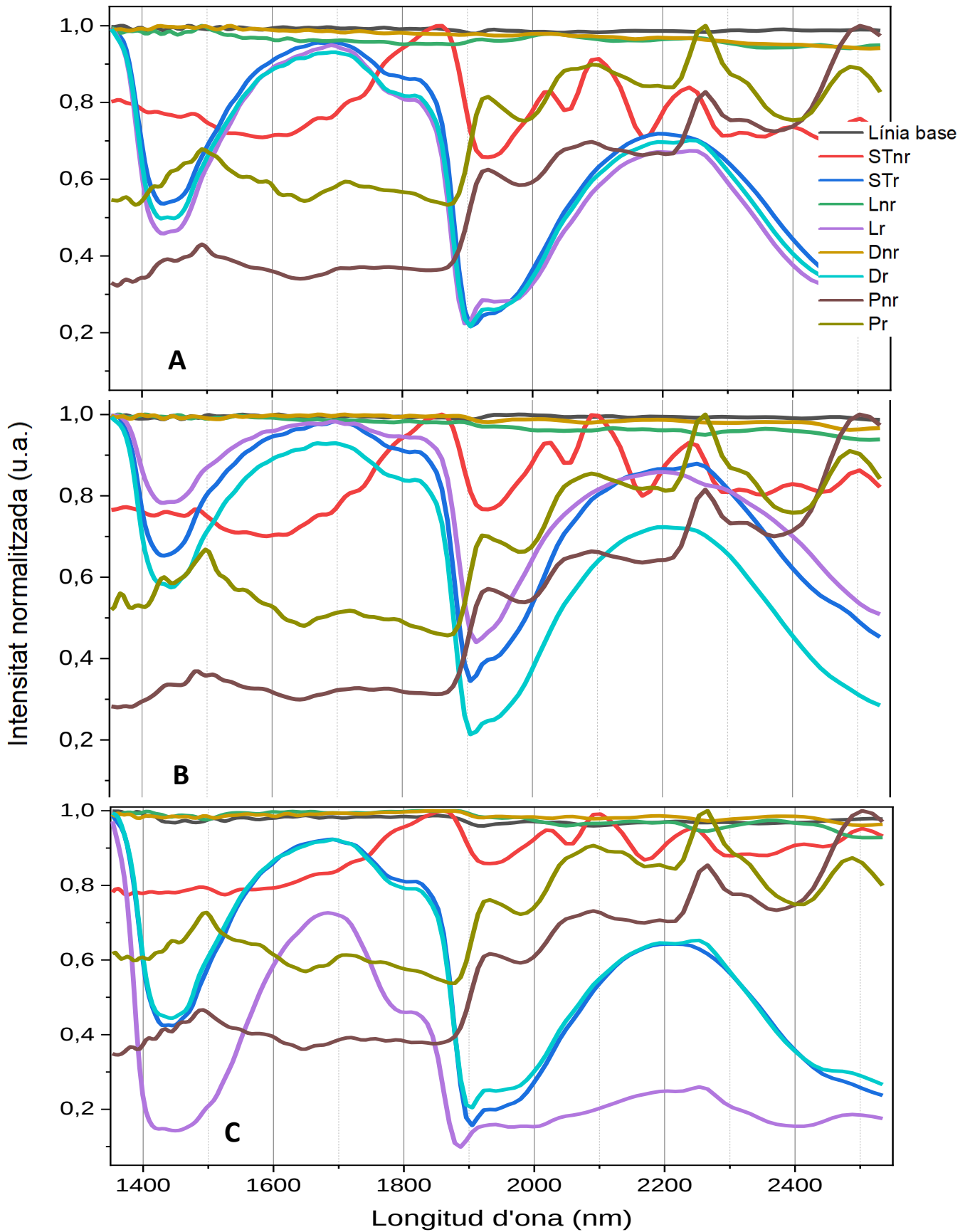


Figura 8: Espectres IR de la fusta obtinguts mitjançant l'espectrofotòmetre IR. ST: Sense Tractament; L: Lleixiu; D: Detergent; P: Pintura; nr: No Reactiu; r: Reactiu

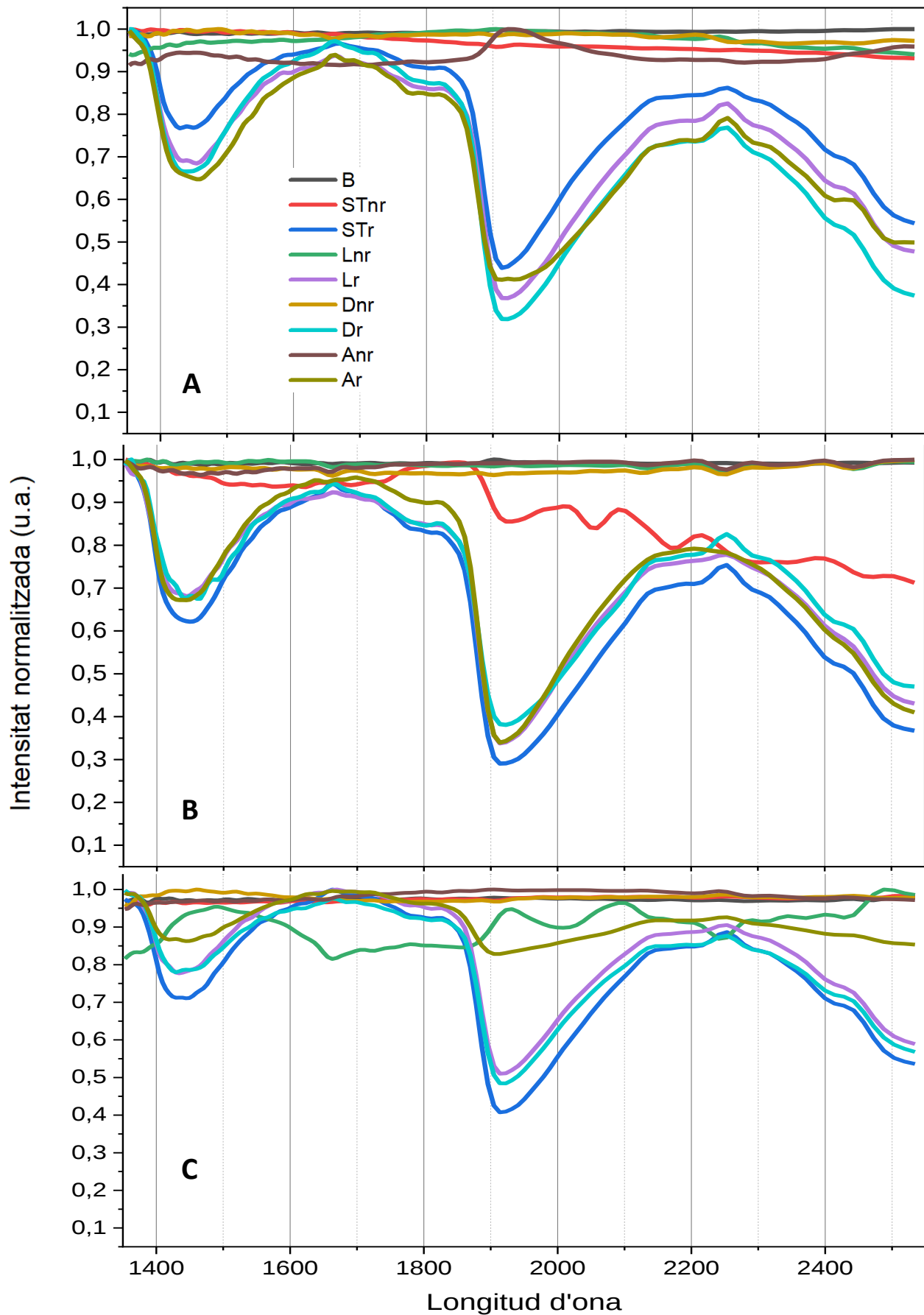


Figura 9: Espectres IR del tèxtil obtinguts mitjançant l'espectrofotòmetre IR. ST: Sense Tractament; L: Lleixiu; D: Detergent; A: Aigua; nr: No Reactiu; r: Reactiu

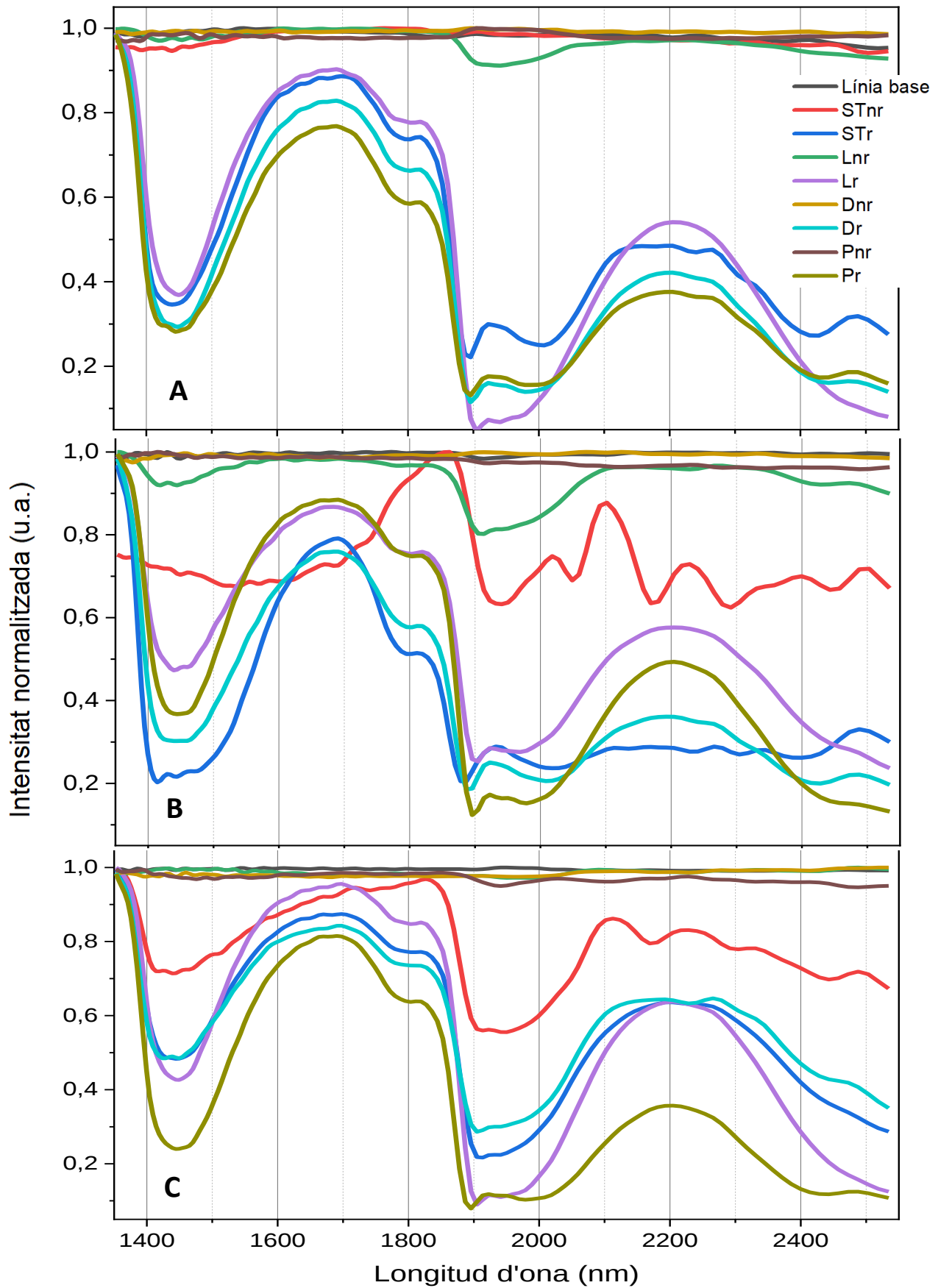


Figura 10: Espectres IR del vidre obtinguts mitjançant l'espectrofotòmetre IR. ST: Sense Tractament; L: Lleixiu; D: Detergent; A: Aigua; nr: No Reactiu; r: Reactiu

Els resultats obtinguts mitjançant l'espectrofotòmetre IR presenten alguns aspectes interessants a comentar.

Pel que fa a la fusta s'observa una línia vermella que correspon a la que no ha estat tractada que en teoria consisteix en l'espectre de la sang. En canvi, els gràfics corresponents a la fusta netejada amb detergent o lleixiu són molt similars al de la línia base, és a dir, al de la fusta sense cap taca ni resta de sang. Pel que fa als 3 gràfics d'aquests tractaments quan s'utilitza el reactiu luminescent, són tots 3 molt similars, de manera que probablement s'estigui observant l'espectre del reactiu utilitzat. Finalment, el gràfic de la pintura és diferent a la resta, ja que el que s'està observant és l'espectre del tipus de pintura que ha estat utilitzat. En general no hi ha gaire variabilitat en els resultats al llarg dels 3 anàlisis.

Pel que fa al tèxtil, la majoria dels gràfics en els que no s'ha utilitzat reactiu luminescent són molt similars al de la línia base i en els que s'ha utilitzat el reactiu són molt similars tots entre si. D'aquesta manera, és més complicat extreure conclusions d'aquesta superfície, ja que hi ha una major variabilitat en els resultats al llarg dels 3 anàlisis.

Pel que fa al vidre, igual que passava en el tèxtil, la majoria dels gràfics en els que no s'ha utilitzat reactiu luminescent són molt similars al de la línia base i en els que s'ha utilitzat el reactiu són molt similars tots entre si. D'aquesta manera, també és molt complicat extreure conclusions d'aquesta superfície, ja que hi ha una gran variabilitat en els resultats al llarg dels 3 anàlisis.

Per tant, els resultats que s'obtenen mitjançant l'espectrofotòmetre IR no permeten extreure conclusions gaire concloents respecte si es tracta d'un bon aparell per a la detecció de sang ni tampoc permet observar gaire bé quin és l'efecte de cada una de les superfícies i tractaments en els resultats.

4.4 Càmera visible:

4.4.1 Temps inicial:

Les fotos preses amb la càmera visible en el temps inicial han permès obtenir resultats interessants en les tres superfícies estudiades:

La fusta es tracta de la superfície en que millor s'observen amb la càmera visible les taques de sang quan són ruixades amb luminol. La taca de sang sense tractar s'observa perfectament quan és ruixada amb luminol a través de la càmera. El mateix passa en la taca de sang en la fusta que ha estat pintada amb dues capes de pintura. Aquesta última taca també s'observa perfectament quan és ruixada amb luminol. En canvi, aquelles mostres de sang que han estat netejades amb lleixiu o detergent no s'observen gaire, tot i que si que s'observa que hi ha reacció amb el luminol. En general, la reacció s'observa millor en la fusta netejada amb detergent que amb lleixiu. A més a més, la reacció del luminol amb la sang de la fusta és bastant llarga i dura uns 30-45 segons. Per tant, s'observa que la sang de la fusta es pot veure a través de la càmera fins i tot quan ha estat netejada amb lleixiu o detergent. Segurament, aquest aspecte es deu a que la fusta es tracta d'una superfície porosa i que, per tant, costa més de netejar de manera que no quedi ni una resta de la taca de sang.

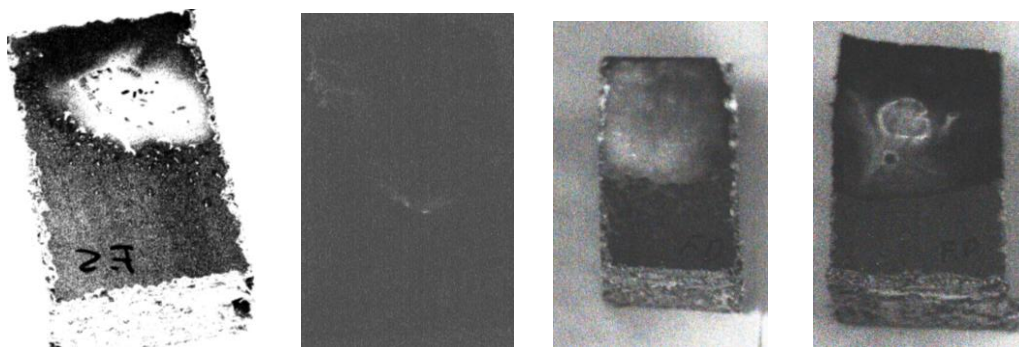


Figura 11: Imatges de dreta a esquerra de la fusta sense tractar, tractada amb lleixiu, amb detergent i pintura al temps inicial.

El vidre es tracta de la superfície en que menys s'observen amb la càmera visible les taques de sang quan són ruixades amb luminol. La taca de sang sense tractar s'observa perfectament quan és ruixada amb luminol a través de la càmera. En canvi, aquelles taques de sang que han estat netejades amb lleixiu, aigua o detergent no s'observen gens. De fet, no s'observa que hi hagi reacció amb el luminol. A més a més, la reacció del luminol amb la sang del vidre és bastant llarga i dura uns 30-45 segons, és a dir és molt similar a la durada que té en la fusta. Per tant, s'observa que la sang del vidre

només es pot veure a través de la càmera quan no ha estat netejada, ja que quan ho ha estat amb lleixiu, aigua o detergent no s'observa. Segurament, aquest aspecte es deu a que el vidre es tracta d'una superfície no porosa i que, per tant, és molt més fàcil de netejar sense que hi quedin restes de la taca de sang.

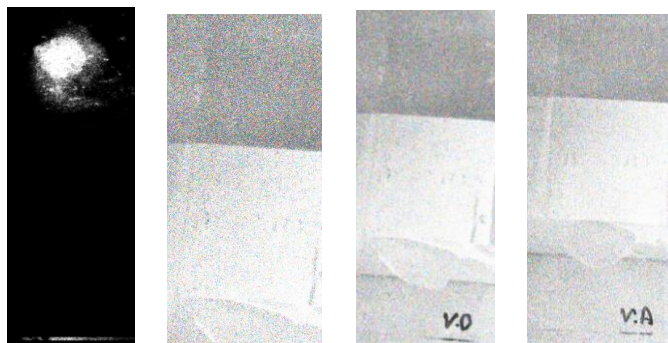


Figura 12: Imatges de dreta a esquerra del vidre sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua al temps inicial.

El tèxtil es tracta de la segona superfície en que millor s'observen amb la càmera visible les taques de sang quan són ruixades amb luminol. La taca de sang sense tractar s'observa perfectament quan és ruixada amb luminol a través de la càmera. També s'observa de manera bastant clara la taca de sang quan és ruixada amb luminol la tela que ha estat netejada amb detergent. En canvi, aquelles mostres de sang que han estat netejades amb lleixiu o aigua no s'observen gens. A més a més, la reacció del luminol amb la sang del tèxtil és molt més curta que en la fusta i el vidre, i dura uns 10-15 segons. Per tant, s'observa que la sang del tèxtil es pot veure a través de la càmera si no ha estat netejada o s'ha netejat amb detergent i, en canvi, no es pot observar si s'ha netejat amb lleixiu o aigua. Segurament, el fet que en el tèxtil s'observi millor la sang que en el vidre és perquè a diferència del vidre, que és una superfície no porosa, el tèxtil es tracta d'una superfície porosa. Per tant, costa més de netejar i és més complicat eliminar totalment totes les restes de la taca de sang.

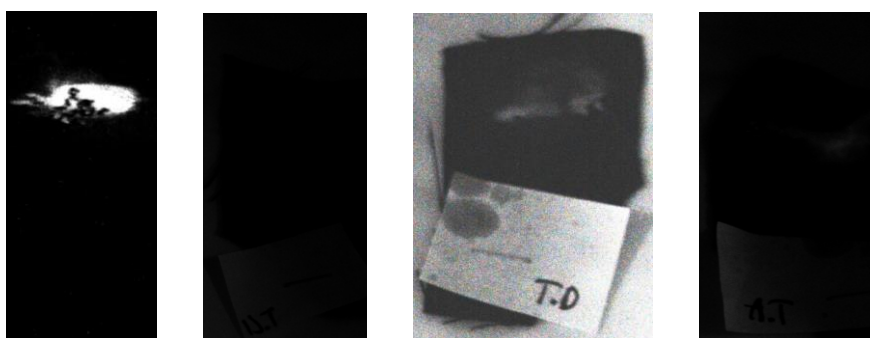


Figura 13: Imatges de dreta a esquerra del tèxtil sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua al temps inicial.

4.4.2 Temps 2 setmanes:

Al cap de dues setmanes, els resultats en la fusta són molt similars, tot i que en la majoria de casos la reacció és menor i s'observa menys. La taca de sang de la fusta sense tractar, així com la que ha estat pintada amb dues capes de pintura (aquesta s'observa menys que la no ha estat tractada) s'observen perfectament quan són ruixades amb luminol a través de la càmera. Igualment, aquelles mostres de sang que han estat netejades amb lleixiu o detergent no s'observen gaire, tot i que si que s'observa que hi ha reacció amb el luminol. En general, la reacció també s'observa millor en la fusta netejada amb detergent que amb lleixiu.



Figura 14: Imatges de dreta a esquerra de la fusta sense tractar, tractada amb lleixiu, amb detergent i pintura a les 2 setmanes.

Dues setmanes després, els resultats en el vidre són lleugerament millors que en el temps inicial. La taca de sang en el vidre sense tractar es segueix observant perfectament amb la càmera visible. En canvi, en aquest cas s'observa una lleugera reacció amb el reactiu luminescent en els vidres que han estat tractats amb detergent, lleixiu i aigua. Tot i això, la reacció és molt feble i gairebé no s'observa.



Figura 15: Imatges de dreta a esquerra del vidre sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua a les 2 setmanes.

En aquest segon temps d'anàlisi, els resultats en el tèxtil milloren de manera considerable. En aquest cas, s'observa reacció en els 4 casos estudiats, tot i que la reacció més intensa es dona en el material tèxtil que no s'ha tractat.



Figura 16: Imatges de dreta a esquerra del tèxtil sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua a les 2 setmanes.

La petita millora dels resultats al cap de dues setmanes respecte als obtinguts a temps inicial afecta al vidre i sobretot al tèxtil. Aquesta millora pot ser deguda a que, en aquest segon temps d'anàlisi, el reactiu luminescent es va utilitzar només al cap de 1-3 hores després de la seva preparació. En canvi, en l'anàlisi a temps inicial es va utilitzar el reactiu luminescent fins al cap de 24 hores després de la seva preparació, trobant-se aquest temps dins de l'interval en què el reactiu pot ser utilitzat des de la seva preparació.

4.4.3 Temps 4 setmanes:

A les 4 setmanes, els resultats observats en la fusta són molt similars. D'aquesta manera, la reacció s'observa perfectament en la fusta sense tractar i en la pintada, mentre que la reacció s'observa lleugerament en la fusta netejada amb detergent i amb lleixiu.

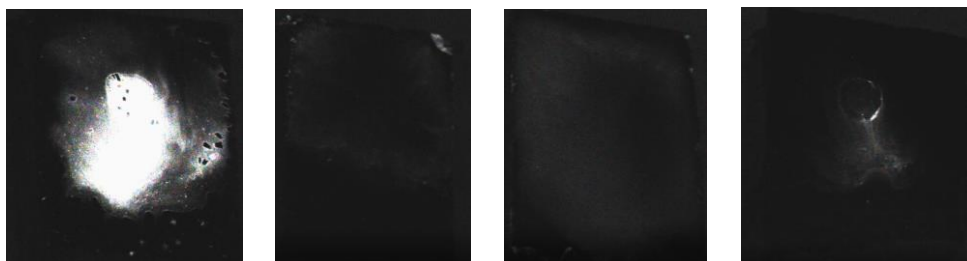


Figura 17: Imatges de dreta a esquerra de la fusta sense tractar, tractada amb lleixiu, amb detergent i pintura a les 4 setmanes.

En aquest anàlisi, els resultats en el vidre han empitjorat respecte al primer anàlisi. En aquest cas, només s'observa la reacció en el vidre sense tractar. En la resta de casos, la reacció no s'observa.

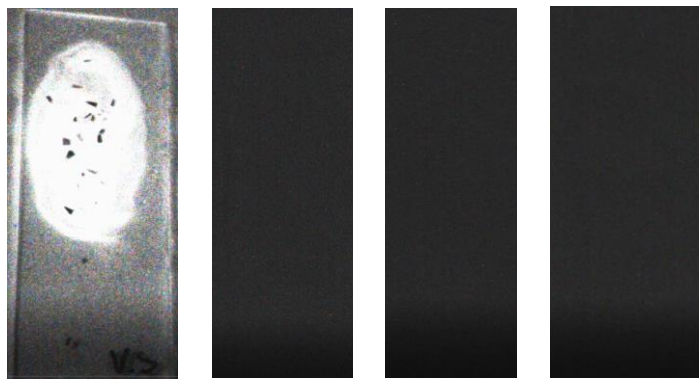


Figura 18: Imatges de dreta a esquerra del vidre sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua a les 4 setmanes.

Finalment, en el tèxtil els resultats continuen sent molt similars als de l'anàlisi anterior. En aquest cas, s'observa la reacció en els 4 casos, sent la més intensa en el tèxtil que no ha estat tractat.

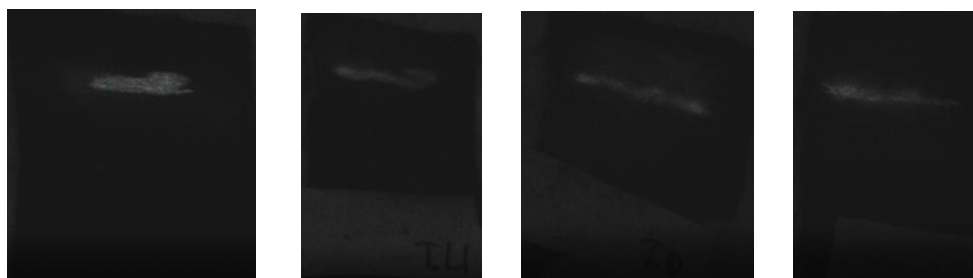


Figura 19: Imatges de dreta a esquerra del tèxtil sense tractar, tractat amb lleixiu, amb detergent i aigua a les 4 setmanes.

Per tant, els resultats que s'observen en aquest últim anàlisi són molt similars als que es van obtenir en el segon. L'únic aspecte que canvia és que en aquest anàlisi en el vidre la reacció s'observa menys. A més, cal remarcar que, igual que en el segon anàlisi, el reactiu luminescent s'ha utilitzat només al cap de 1-3 hores després de la seva preparació.

4.4.4 Conclusions càmera visible:

En la següent taula es recull com s'ha observat la reacció amb la càmera visible quan la sang ha estat ruixada amb el reactiu luminescent segons en quina superfície es trobés i a quin tractament hagi estat sotmesa. Els quadres verds indiquen que la reacció s'ha observat perfectament; els taronges indiquen que la reacció s'ha observat més o menys bé, tot i que no de manera perfecta; i els vermells indiquen que la reacció no s'ha pogut observar.

Taula 2: Recull dels resultats obtinguts amb la càmera visible segons la superfície d'estudi i el tractament realitzat.

		Superfícies		
		Fusta	Vidre	Tèxtil
Condicions de tractament de les taques	Sense tractament	Sang en fusta no tractada	Sang en vidre no tractada	Sang en tèxtil no tractada
	Netejades amb detergent	Sang en fusta netejada amb detergent	Sang en vidre netejada amb detergent	Sang en tèxtil netejada amb detergent
	Netejades amb aigua	-	Sang en vidre netejada amb aigua	Sang en tèxtil netejada amb aigua
	Lleixiu	Sang en fusta netejada amb lleixiu	Sang en vidre netejada amb lleixiu	Sang en tèxtil netejada amb lleixiu
	Pintades	Sang en fusta que s'ha pintat	-	-

En conclusió, la utilització d'una càmera visible es tracta d'un mètode útil per a la detecció de gotes de sang que no han estat tractades, així com d'algunes restes de sang que queden després d'haver estat netejades amb productes com lleixiu o detergent. És important remarcar que, en el cas que la sang hagi estat netejada, serà més fàcil de detectar mitjançant la càmera visible si es troba en una superfície porosa com la fusta o el tèxtil, que si es troba en una no porosa com és el vidre. En aquest últim tipus de superfícies, la neteja de la sang és més eficaç i és improbable poder detectar restes de sang amb la càmera visible. En canvi, la neteja de sang en superfícies més poroses és més complicada i és habitual que quedin restes de sang que puguin ser detectades mitjançant aquest aparell fotogràfic.

En general, no s'ha observat una degradació de la sang al llarg de l'anàlisi, ja que els resultats obtinguts han estat similars al llarg dels tres temps d'estudi. Per tant, el fet de que els resultats no hagin empitjorat amb el temps que s'han realitzat els experiments (menys de 2 mesos), permet afirmar que la degradació de la sang no afectat als resultats obtinguts amb la càmera visible.

Un dels avantatges que s'ha observat al treballar amb aquesta càmera visible és que permet treballar en unes condicions parcials de foscor, és a dir, no és necessari que hi hagi una foscor absoluta. Aquest aspecte suposa una possible millora pels investigadors,

ja que quan treballen amb el luminol necessiten unes condicions de foscor absoluta per tal de poder observar la reacció del reactiu luminescent amb la sang. Per tant, es tracta d'un dels aspectes favorables d'aquest aparell i que pot contribuir a millorar les condicions de treball dels investigadors policials.

En canvi, tot i que el mètode hagi donat uns resultats acceptables, no soluciona l'aspecte d'evitar la utilització d'un reactiu luminescent. D'aquesta manera, no s'eviten els possibles falsos positius, la dilució de la taca de sang o la possible interferència del reactiu en els posteriors anàlisis de la mostra.

5. CONCLUSIONS

Després dels anàlisis i experiments duts a terme, es poden extreure algunes conclusions dels objectius plantejats inicialment.

D'una banda, s'ha observat que és possible detectar taques o restes de sang que es veuen de manera total o parcial mitjançant aparells de llum multiespectral o d'espectroscòpia. Tot i això, no tots els aparells han permès obtenir els mateixos resultats. La càmera visible si que ha funcionat bastant bé a l'hora de detectar aquesta sang, però, en canvi, l'espectrofotòmetre IR i la llum UV no han permès obtenir uns bons resultats.

Pel que fa a la caracterització dels 3 reactius luminescents (Bluestar, Lumiscene i LumiUCIO), s'ha observat que els 3 presenten un valor de longitud d'ona similar en el punt on assoleixen el seu pic d'intensitat. En canvi, pel que fa a la seva intensitat s'ha vist que l'ordre de major a menor és el següent: LumiUCIO, Lumiscene i Bluestar.

Pel que fa a l'efecte de les superfícies en la detecció de la sang, s'ha observat que les superfícies poroses (fusta i tèxtil) costen més de netejar respecte les no poroses (vidre) i, per tant, és més complicat d'eliminar completament les restes de sang. Per tant, la detecció és més fàcil en les superfícies poroses, que en les que no ho són. Pel que fa als tractaments, s'ha observat que si no se n'aplica cap, és més fàcil la detecció. En canvi, s'ha observat que la pintura té un comportament molt diferent respecte al detergent, el lleixiu i l'aigua, que es tracta de 3 tractaments diferents que tenen un efecte similar en la detecció de la sang.

Finalment, al llarg dels anàlisi no s'ha observat una degradació significativa de la sang en les diferents mostres estudiades que hagi impedit o dificultat la seva detecció.

En conclusió, s'ha observat que el camp dels aparells de llum multiespectral i d'espectroscòpia té un gran potencial en la detecció de restes de sang. Tot i això, és necessari un major estudi i una experimentació addicional per poder extreure conclusions més significatives que permetin la seva implantació en el dia a dia de les investigacions policials.

6. BIBLIOGRAFIA

- [1] Rolf H. Bremmer, Karla G. de Bruin, Martin J.C. van Gemert, Ton G. van Leeuwen, Maurice C.G. Aalders. Forensic quest for age determination of bloodstains. *Forensic Science International*. 2012;216(1–3):1-11.
- [2] Bo Li, Peter Beveridge, William T. O'Hare, Meez Islam. The age estimation of blood stains up to 30days old using visible wavelength hyperspectral image analysis and linear discriminant analysis. *Science & Justice*. 2013;53(3):270-277.
- [3] Gil Pitarch P, Verdú Pascual F, Castelló Ponce A, Negre Muñoz MC. Técnica de criminalística en manchas de sangre: factor ambiental en las pruebas de orientación. *Revista de la Escuela de Medicina Legal*. 2010:1885-9577.
- [4] Universidad de Valencia. <https://www.uv.es/acastell/1.-Introduccion.pdf>. [accés Maig 7, 2021].
- [5] Villegas MR, Acevedo ML, Miranda J, Pinto EA. Validación de técnicas para detección de sangre, sangre humana y grupo sanguíneo ABO en diferentes soportes y condiciones con fines forenses. *Cuad. med. Forense*. 2005;42:267-274.
- [6] Filippo Barni, Simon W. Lewis, Andrea Berti, Gordon M. Miskelly, Giampietro Lago. Forensic application of the luminol reaction as a presumptive test for latent blood detection. *Talanta*. 2007;72(3):896-913.
- [7] Quispe Sergio, Flores Andrés. Detección de manchas de sangre mediante la Prueba de Luminol en la investigación forense. *Rev.Cs.Farm*. 2014;2(1):83-91.
- [8] Brianna M. Cassidy, Zhenyu Lu, Jennifer P. Martin, Shawna K. Tazik, Katie W. Kellogg, Stephanie A. DeJong, Elle O. Belliveau, Katherine E. Kilgore, Samantha M. Ervin, Mackenzie Meece-Rayle, Alyssa M. Abraham, Michael L. Myrick, Stephen L. Morgan. A quantitative method for determining a representative detection limit of the forensic luminol test for latent bloodstains. *Forensic Science International*. 2017;278:396-403.
- [9] Sánchez Bernabé E. http://oa.upm.es/44860/3/TFG_ESTHER_SANCHEZ_BERNABE.pdf. [Accés Maig 8, 2021].

- [10] Ivorra Martínez E. Desarrollo de técnicas de visión hiperespectral y tridimensional para el sector agroalimentario. <https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/48541/Ivorra%20-%20Desarrollo%20de%20t%C3%A9cnicas%20de%20visi%C3%B3n%20hiperespectral%20y%20tridimensional%20para%20el%20sector%20agroali....pdf?sequence=1>. [Accés Maig 7, 2021].
- [11] Rodríguez Villamizar J. http://oa.upm.es/34812/1/PFG_JULIAN_RODRIGUEZ_VILLAMIZAR.pdf. [Accés Maig 7, 2021].
- [12] Alava Ingenieros. <http://www.grupoalava.com/repositorio/5347/pdf/7468/2/articulo-tecnicomulti-e-hiper.pdf>. [Accés Maig 7, 2021].
- [13] G.J. Edelman, M.C. Aalders. Photogrammetry using visible, infrared, hyperspectral and thermal imaging of crime scenes. *Forensic Science International*. 2018;292:181-189.
- [14] Belinda Bastide, Glenn Porter, Adrian Renshaw. Detection of latent bloodstains at fire scenes using reflected infrared photography. *Forensic Science International*. 2019;302.
- [15] Sterzik, V., Bohnert, M. Reconstruction of crimes by infrared photography. *Int J Legal Med*. 2016;130:1379–1385.
- [16] Andrew Farrar B., Glenn Porter M, Adrian Renshaw D. Detection of Latent Bloodstains Beneath Painted Surfaces Using Reflected Infrared Photography. *Forensic Sciences*. 2012;57(5):1190-1198.
- [17] Gerda Edelman, Vicky Manti, Saskia M. van Ruth, Ton van Leeuwen, Maurice Aalders. Identification and age estimation of blood stains on colored backgrounds by near infrared spectroscopy. *Forensic Science International*. 2012;220(1–3):239-244.
- [18] Gerda Edelman, Ton G. van Leeuwen, Maurice C.G. Aalders. Hyperspectral imaging for the age estimation of blood stains at the crime scene. *Forensic Science International*. 2012;223(1–3):72-77.

[19] Bo Li, Peter Beveridge, William T. O'Hare, Meez Islam. The application of visible wavelength reflectance hyperspectral imaging for the detection and identification of blood Stains. Science & Justice. 2014;54(6):432-438.