



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE ENTRE RÍOS

FACULTAD DE CIENCIA Y TECNOLOGÍA

LICENCIATURA EN CRIMINALÍSTICA

PROYECTO FINAL

**“UTILIZACIÓN DE LUCES FORENSES PARA LA DETECCIÓN DE SEMEN
EN DISTINTOS TIPOS DE TELAS EXPUESTOS A DISTINTOS FACTORES”**

Estudiante:

Téc. Candela Sofía Saccani

Téc. Yanella Soledad Fernández

Director/a:

Dr. Lic. Gastón Narcotti

Oro Verde E.R., Mes 2025

Cátedra Proyecto Final

Lic. Patricia Margheim

Lic. Nayla Michelena

Tribunal Evaluador

Lic. Patricia Margheim

Lic. Nayla Michelena

Lic. German Ledesma Ceriyoni

Resumen

La violencia sexual es una problemática urgente que exige herramientas científicas eficaces para esclarecer los hechos y hacer justicia. En este contexto, la evidencia biológica, como el semen, resulta clave en la investigación criminal, ya que puede vincular al agresor con la víctima o la escena del delito. Sin embargo, su detección en prendas textiles representa un gran desafío: el paso del tiempo, el tipo de tela, el color de la prenda y la exposición al ambiente pueden dificultar su localización. Este trabajo analiza el comportamiento del semen sobre dos telas de uso frecuente —algodón y licra—, evaluando su visibilidad bajo luces forenses de 465 nm, un método que induce fluorescencia y permite identificar manchas invisibles a simple vista. Se expusieron muestras en condiciones ambientales reales durante 78 días, observando sus cambios en intensidad fluorescente mediante un dispositivo lumínico artesanal y el procesamiento de imágenes digitales. Entre los hallazgos más destacados se comprobó que las muestras de semen mantenidas en ambientes cerrados conservaron mejor su fluorescencia, mientras que el algodón negro, sin diluir, resultó ser el soporte más eficaz para la detección. Por el contrario, la licra blanca y las muestras más diluidas presentaron baja visibilidad, incluso desde el primer día. Estos resultados no solo permiten optimizar los protocolos de búsqueda y recolección de evidencia, sino que también ofrecen una herramienta accesible para laboratorios con pocos recursos. En definitiva, la investigación aporta conocimiento forense aplicado, útil para fortalecer el abordaje pericial en casos de violencia sexual.

Palabras Claves: Fluido biológico, abusos sexuales, telas de lycra, telas de algodón, perdurabilidad, factores ambientales, herramienta científica...

Agradecimientos

A lo largo de este camino, muchas personas e instituciones han dejado su huella en nuestra formación y en la realización de este proyecto. Hoy, al llegar al final de esta etapa, queremos expresar nuestro más profundo agradecimiento a quienes, con su experiencia, dedicación y aliento, hicieron posible este trabajo académico.

En primer lugar, agradecemos a nuestras familias, por su amor incondicional, su paciencia, comprensión y apoyo constante en cada desafío. Gracias por ser nuestro pilar en los momentos difíciles y por brindarnos el respaldo emocional indispensable para culminar esta investigación.

A nuestras parejas, por su acompañamiento permanente, su contención y comprensión a lo largo de todo el proceso. Su presencia fue fundamental para transitar los momentos más exigentes del trayecto recorrido.

A nuestras amigas y amigos, tanto del ámbito académico como personal, por estar siempre presentes, por su compañía, sus palabras de aliento y su predisposición. Gracias por recordarnos la importancia de disfrutar el camino y por ser un sostén valioso en cada etapa de esta formación.

Se expresa un reconocimiento especial al Dr. Lic. Gastón Narcotti, director de este proyecto, por su guía técnica y científica, así como por su orientación en el diseño y construcción del dispositivo lumínico artesanal, cuya implementación fue clave para alcanzar los objetivos del estudio. Su experiencia y compromiso enriquecieron cada etapa del proceso investigativo.

Agradecemos profundamente a la Universidad Autónoma de Entre Ríos, en particular a la Facultad de Ciencia y Tecnología, por proveer el marco institucional y académico necesario para llevar adelante esta investigación. Asimismo, destacamos el apoyo de la Dra. Yanina Prieto y la Lic. Patricia Margheim, docentes de la carrera de Licenciatura en Criminalística, por sus valiosas sugerencias, motivación constante y acompañamiento académico.

Reconocemos especialmente a los tres donantes anónimos que, bajo un estricto marco ético y mediante su participación voluntaria, hicieron posible la obtención de las muestras biológicas requeridas para el experimento. Su colaboración desinteresada refleja un verdadero compromiso con el avance del conocimiento forense.

Finalmente, a todas aquellas personas que, de una forma u otra, contribuyeron a que este logro sea posible. Este trabajo es el resultado de años de esfuerzo, pero también del acompañamiento de quienes estuvieron a nuestro lado.

Índice

Resumen	3
Agradecimientos	1
Introducción	4
Planteamiento del Problema	4
Justificación	5
Objetivo General	6
Objetivos Específicos	6
Hipótesis	7
Capítulo 2 – Marco Teórico	7
Criminalística y el Análisis de Evidencias Biológicas	7
Ciencias Forenses: Biología Forense y Química Forense	8
Radiaciones Electromagnéticas, Espectro Electromagnético, Luminiscencia y Fluorescencia	9
Propiedades Ópticas de los Fluidos Biológicos	11
Características de los Materiales Textiles	12
Imagen Digital, Pixel, Procesamiento de Imágenes, Canales RGB	13
Estado del Arte	13
Capítulo 3 – Marco Legal	15
Introducción	16
Código Procesal Penal de la Nación (Ley 23.984)	16
Código Procesal Penal de la Provincia de Entre Ríos	17
Ley Provincial N.º 10.199 – Ejercicio Profesional en Criminalística	18
Ley N.º 25.087 – Delitos contra la Integridad Sexual	18
Estándares Internacionales	19
Capítulo 4 – Metodología	19
Enfoque de la Investigación	20
Diseño Experimental	20
Población y Muestra	21
Variables	21
Procedimiento	22
1. Preparación de las muestras	22
2. Exposición	22
3. Observaciones	22
4. Procesamiento de imágenes	23
Instrumental	23

Capítulo 5 - Resultados	24
Comparación de la Fluorescencia por Tipo de Tela, Color y Dilución (Objetivo Específico 1)	25
<i>Tejidos de algodón</i>	27
<i>Tejidos de licra</i>	33
<i>Impacto del color</i>	39
Impacto de Factores Ambientales y Condiciones de Almacenamiento (Objetivo Específico 2)	41
<i>Factores ambientales</i>	43
<i>Condiciones de almacenamiento</i>	57
Interrelación de variables (Objetivo Específico 3)	60
<i>Tipo de Tela y Color.</i>	60
<i>Condiciones de Almacenamiento</i>	64
<i>Factores Exógenos</i>	65
Corroboración de las Hipótesis	66
Capítulo 6 - Conclusiones	68
Conclusión del Objetivo General	68
Conclusión del Objetivo Específico 1	68
Conclusión del Objetivo Específico 2	69
Conclusión del Objetivo Específico 3	70
Referencias Bibliográficas	72
Anexo	76
Anexo 1: Registro Fotográfico de Muestras	76
Anexo 2: Esquema Técnico del Dispositivo Lumínico	76
Anexo 3: Tabla de Datos Meteorológicos	80
Anexo 4: Tablas de Datos de Fluorescencia	81
Anexo 5: Ejemplos del uso del Software ImageJ:	82
Figura A5 - 1	82
Figura A5- 2	82
Figura A5 - 3	83
Figura A5 - 4	83
Figura A5 - 5	84
Figura A5 - 6	84
Figura A5 - 7	85
Figura A5 - 8	85

Introducción

La violencia sexual representa una problemática persistente a nivel global y nacional. Según el *Ministerio de las Mujeres, Géneros y Diversidad de la Nación* y la *Iniciativa Spotlight (2021)*, el 17.7% de las mujeres argentinas han reportado experiencias de acoso o abuso sexual en algún momento de su vida, lo que subraya la magnitud del fenómeno y la necesidad de fortalecer las herramientas forenses para su investigación. En este contexto, el semen, como fluido biológico con alto contenido genético, emerge como una evidencia clave en delitos contra la integridad sexual, permitiendo vincular al agresor con la escena del crimen o la víctima mediante análisis posteriores, como la extracción de ADN (Bouvet et al., 2017). Sin embargo, la detectabilidad de este fluido en superficies textiles se ve influida por factores exógenos que comprometen su integridad y visibilidad, lo que plantea desafíos significativos para los peritos criminalísticos.

Planteamiento del Problema

En este contexto, la detección efectiva del semen en textiles enfrenta múltiples obstáculos. Factores ambientales como la temperatura, la humedad, la radiación solar y el tiempo transcurrido desde la deposición del fluido pueden acelerar su degradación bioquímica, reduciendo su visibilidad y complicando su identificación (Mangisch y Saciuk, 2022). Asimismo, las características del soporte textil —como la porosidad, la composición química y el color— influyen en la retención y la interacción del semen con la superficie, mientras que prácticas comunes, como el lavado de las prendas, pueden eliminar o alterar las manchas antes del análisis pericial (Karaday et al., 2021). Estos elementos generan incertidumbre sobre el tiempo durante el cual el semen permanece detectable y las condiciones óptimas para su conservación, lo que limita la eficacia de los procedimientos forenses estándar.

Las luces forenses, basadas en la emisión de radiaciones electromagnéticas en longitudes de onda específicas (400-470 nm), han revolucionado la localización de fluidos biológicos al inducir fluorescencia en moléculas como la semenogelina, permitiendo identificar manchas invisibles al ojo humano (Marin et al., 2013). Sin embargo, la literatura científica revela una escasez de estudios sistemáticos que evalúen cómo el tipo de tela, el grado de dilución del semen, las condiciones ambientales y el almacenamiento afectan la persistencia de esta fluorescencia en contextos reales. Esta laguna de conocimiento impacta directamente en la capacidad de los peritos para

recolectar evidencia confiable en casos donde las prendas han estado expuestas a factores exógenos durante períodos prolongados.

Por lo tanto, se plantea la necesidad de investigar la detectabilidad del semen en telas de algodón y licra —materiales ampliamente utilizados en prendas de vestir, especialmente ropa interior— bajo condiciones controladas que simulan escenarios forenses reales. Este estudio busca responder a la siguiente pregunta:

¿Cómo influyen el tipo de tela (algodón y licra), el grado de dilución del semen, los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) y las condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) en la detectabilidad de la fluorescencia del semen mediante luces forenses durante el período agosto-octubre de 2024?

Justificación

La utilización de luces forenses, también conocidas como fuentes de luz alternativa, constituye una herramienta ampliamente utilizada en el ámbito forense para la detección de una gran variedad de indicios en la escena del crimen, desde huellas latentes hasta residuos de armas de fuego o fluidos biológicos como orina, semen, saliva o flujo vaginal. Estos indicios, dependiendo de las características de la superficie sobre la que se encuentren y de las condiciones ambientales, pueden perder contraste y volverse imperceptibles al ojo humano. En este contexto, la presente investigación se justifica desde tres perspectivas interrelacionadas: científica, práctica y social.

Desde el ámbito científico, se aborda una brecha en el conocimiento forense al analizar sistemáticamente la interacción entre el semen, los textiles (particularmente telas sintéticas como la licra) y los factores ambientales. Aunque existen estudios previos sobre la fluorescencia de fluidos biológicos (Laverde-Angarita yClavijo-Bolivar, 2015; Muñiz Mcaleer et al., 2023), pocos han explorado la influencia de las diluciones seminales en condiciones reales de exposición. Esta investigación aporta conocimiento original a las disciplinas de biología y óptica forense al emplear un enfoque experimental innovador.

Desde una perspectiva práctica, el desarrollo y aplicación de un dispositivo lumínico artesanal de 465 nm diseñado específicamente para esta investigación representa una alternativa metodológica eficaz, especialmente útil en contextos con recursos limitados como laboratorios forenses rurales o de países en desarrollo. Esta herramienta no solo optimiza la visualización y detección de semen sobre textiles, sino que también

democratiza el acceso a tecnologías de análisis avanzadas, reduciendo la dependencia de equipos comerciales de alto costo.

En el plano social, esta investigación contribuye directamente al fortalecimiento de los derechos de las víctimas de violencia sexual, al proporcionar herramientas más eficaces para la recolección de evidencia biológica, crucial en el proceso judicial. En Argentina, donde los delitos contra la integridad sexual están contemplados en la Ley 25.087 (1999), una mayor capacidad de detección de semen puede incidir positivamente en el esclarecimiento de hechos y la tipificación de delitos como la violación o el abuso sexual gravemente ultrajante.

De esta manera, el estudio integra saberes interdisciplinarios —criminalística, biología, óptica y química forense— para generar conocimiento aplicado que trascienda el ámbito académico y se traduzca en beneficios tangibles para la justicia y la sociedad.

Objetivo General

El objetivo general de esta investigación consiste en determinar la influencia del tipo de tela (algodón y licra), el grado de dilución del semen, los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) y las condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) en la detectabilidad de la fluorescencia del semen mediante luces forenses durante el período agosto-octubre de 2024.

Objetivos Específicos

Los objetivos específicos que orientan la investigación son los siguientes:

1. Comparar la fluorescencia del semen en telas de algodón y licra según diferentes grados de dilución (natural, 1/2, 1/4, 1/8), considerando la variabilidad en el color.
2. Analizar la influencia de los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar, precipitaciones) y las condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) en la persistencia y detectabilidad de la fluorescencia del semen en diferentes tipos de tejidos.
3. Evaluar la interrelación de todas las variables analizadas previamente.

Hipótesis

Las hipótesis que sustentan esta investigación se presentan a continuación:

1. La fluorescencia del semen será más persistente en condiciones de almacenamiento cerrado, con baja temperatura y humedad reducida, en comparación con condiciones abiertas expuestas a radiación solar.
2. Las telas de algodón exhibirán una mayor intensidad de fluorescencia que las telas de licra debido a su mayor capacidad de absorción, independientemente del grado de dilución.
3. Las muestras de semen con diluciones más bajas (1/4 y 1/8) presentarán una fluorescencia menos detectable bajo luces forenses, especialmente en telas expuestas a factores ambientales adversos, en comparación con muestras no diluidas o poco diluidas (natural y 1/2).

Estas hipótesis se formularon con base en la literatura existente (Haro y Vaca, 2011; Karaday et al., 2021) y las propiedades físico-químicas de los materiales estudiados, permitiendo contrastar los resultados experimentales con predicciones teóricas.

Capítulo 2 – Marco Teórico

El análisis de evidencias biológicas en la investigación forense requiere un sustento teórico sólido que integre principios de criminalística, biología forense, óptica y ciencia de materiales. Este capítulo desarrolla los fundamentos conceptuales que sustentan la detección de semen en telas de algodón y licra mediante luces forenses, explorando las propiedades de los fluidos biológicos, los fenómenos de fluorescencia y las características de los textiles seleccionados. Asimismo, se presenta un estado del arte que contextualiza la investigación en relación con estudios previos, destacando las lagunas de conocimiento que este trabajo busca abordar.

Criminalística y el Análisis de Evidencias Biológicas

La criminalística se define como una disciplina empírica y multidisciplinaria enfocada en el estudio de indicios presentes en la escena del crimen, con el propósito de

reconstruir los hechos y establecer la participación de los involucrados (Ccaza Zapana, 2012). En este contexto, los indicios biológicos —como sangre, saliva, semen o tejidos— constituyen elementos fundamentales para esclarecer delitos, particularmente aquellos contra la integridad sexual, debido a su capacidad de proporcionar información genética y contextual (Sosa, 2020).

La escena del crimen se define como el lugar del hecho donde, debido a la naturaleza, circunstancias y características del evento, se sospecha la comisión de un delito (Torales, 2007). En este contexto, los indicios, que son objetos, marcas o rastros, juegan un papel crucial al permitir, a través de inferencias basadas en métodos científicos, deducir hechos desconocidos relacionados con el delito (Montiel y Sosa, 1996). Entre las evidencias biológicas, el semen destaca como un indicio importante; su identificación, recolección y análisis requieren técnicas especializadas que aseguren su integridad, dado que es perecedero y sensible a factores externos como la temperatura y la humedad. Este estudio se enfoca en la detectabilidad del semen en textiles mediante el uso de luces forenses, lo que optimiza la localización de manchas invisibles al ojo humano y facilita la posterior extracción de ADN.

Ciencias Forenses: Biología Forense y Química Forense

Las ciencias forenses abarcan un conjunto de conocimientos científicos aplicados a la resolución de controversias legales, proporcionando herramientas clave para la administración de justicia (Sosa, 2020). Dentro de este campo, la biología forense se especializa en el análisis de fluidos corporales, tejidos y restos orgánicos con fines identificatorios y reconstructivos, desempeñando un papel crucial en la investigación de delitos violentos, especialmente en casos de agresión sexual, donde fluidos como el semen son de particular relevancia (Gómez Silva, 2016). El líquido seminal, compuesto por espermatozoides y plasma seminal, contiene proteínas, aminoácidos y minerales que son críticos para su análisis y para la identificación de agresores. La investigación en biología forense se centra en optimizar las técnicas de recolección y análisis, dado que la estabilidad del semen en superficies textiles depende de múltiples factores, como el tiempo transcurrido y las condiciones ambientales, lo que es esencial para mejorar la precisión en la identificación del agresor (Bouvet et al., 2017; Bérnago et al., 2017).

Por otro lado, la química forense es una disciplina que aplica el conocimiento químico para comprobar, identificar, cuantificar o comparar muestras relevantes en el contexto de un hecho delictivo. Esta rama se enfoca en el análisis de evidencias recogidas en la escena del crimen y utiliza métodos científicos combinados con conocimientos de áreas como Toxicología, Genética Forense, Balística y Antropología. La química forense contribuye a la interpretación de las evidencias y ayuda a resolver casos criminales (García Ruiz, 2020: p. 28). Así, tanto la biología como la química forense son fundamentales, cada una aportando herramientas específicas para el análisis de evidencias y la comprensión de los eventos delictivos.

Radiaciones Electromagnéticas, Espectro Electromagnético, Luminiscencia y Fluorescencia

La radiación electromagnética es una forma fundamental de energía que se desplaza a través del espacio en forma de ondas. Según Marin et al. (2013), esta radiación se clasifica en varias categorías, incluyendo las radiaciones ultravioleta (UV), la luz visible, las radiaciones infrarrojas (IR), así como los rayos gamma, los rayos X, las microondas y las ondas de radio. El conjunto de todas estas radiaciones, ordenadas por frecuencia y longitud de onda, se conoce como el espectro electromagnético. Este espectro no solo describe la forma en que la radiación se comporta, sino que también permite la identificación de sustancias con base en su espectro de emisión y absorción, similar a una huella dactilar.

La luminiscencia es un fenómeno crucial en el estudio de la interacción entre la radiación electromagnética y la materia. Esta se define como la emisión de luz por parte de una sustancia después de haber absorbido energía y haber sido excitada a un estado de mayor energía, como se describe en la obra de Marin et al. (2013). Este principio es especialmente relevante en el ámbito forense, donde mejorar la selección de longitudes de onda puede optimizar la calidad del material probatorio obtenido a partir de fotografías forenses. Cuando la luz interactúa con un objeto, la radiación puede reflejarse, ser

absorbida o transformarse. La reflexión produce imágenes brillantes, mientras que la absorción genera imágenes oscuras.

A nivel molecular, la luz puede excitar electrones en la superficie del objeto, transformándose en energía térmica o manifestándose como luminiscencia. Este fenómeno es esencial para localizar y analizar muestras forenses, tales como fibras, residuos de disparos, y fluidos biológicos. Particularmente, la fluorescencia se destaca como un fenómeno óptico donde una sustancia, tras absorber energía de una fuente externa, reemite energía en forma de radiación de mayor longitud de onda (Principles of Inorganic Chemistry, 2017).

Los compuestos capaces de emitir luz por fluorescencia al ser excitados por distintos tipos de radiación se denominan **fluoróforos**. Estas sustancias suelen ser moléculas orgánicas poliaromáticas o heterocíclicas que presentan sistemas de enlaces π -conjugados, los cuales permiten la deslocalización electrónica necesaria para la absorción y posterior emisión de energía luminosa. Sin embargo, este proceso puede ser interrumpido por un fenómeno conocido como **quenching** o extinción de la fluorescencia. Este mecanismo de desexcitación ocurre cuando el fluoróforo interactúa con ciertas moléculas denominadas “quenchers” (como el cloroformo, la acrilamida o el TEMPO), que capturan el exceso de energía del estado excitado y lo disipan en forma de calor, sin emisión de fotones. La adecuada comprensión de estos fenómenos resulta fundamental para obtener mediciones precisas de fluorescencia, como lo demuestran estudios aplicados a sistemas biológicos complejos (Montoya, Treviño, Darszon y Corkidi, 2017).

En conclusión, la comprensión de las **radiaciones electromagnéticas**, el **espectro electromagnético**, así como los fenómenos de **luminiscencia** y **fluorescencia**, no solo es fundamental para la identificación y análisis de sustancias en el laboratorio, sino que

también tiene aplicaciones prácticas en el ámbito forense, donde la detección precisa de evidencia puede contribuir significativamente a la justicia.

Propiedades Ópticas de los Fluidos Biológicos

La detección de fluidos biológicos en criminalística aprovecha fenómenos ópticos como la fluorescencia, que ocurre cuando una sustancia absorbe luz en una longitud de onda específica y emite radiación en una longitud mayor, observable bajo condiciones controladas (Marin et al., 2013). En el caso del semen, su capacidad de fluorescencia se atribuye a la presencia de moléculas como la semenogelina, así como a aminoácidos como la tirosina y el triptófano, la flavina y la colina, esta última proveniente de la vesícula seminal y presente en concentraciones de 11.2 a 14.4 mg/100 mL de semen, considerando un volumen eyaculado de 1.5 a 4 mL (Bouvet et al., 2017). En este sentido, estos compuestos emiten luz visible al ser excitados por radiación ultravioleta o azul-verde (400-470 nm) lo que permite la detección del fluido seminal mediante técnicas forenses de luz forense. Dichas radiaciones son invisibles al ojo humano, pero al ser absorbidas por la muestra, son reflejadas posteriormente con longitudes de onda mayores que corresponden al rango de la luz visible (Gómez Hernández, I. J., Quiñonez Recinos, P. y Ovalle Morales, A. L., 2018).

Las luces forenses, también conocidas como fuentes de luz alternativa (ALS, por sus siglas en inglés), emiten radiaciones en rangos específicos del espectro electromagnético para inducir esta fluorescencia, mejorando la visibilidad de manchas en superficies complejas como textiles (Marin et al., 2013). La longitud de onda de 465 nm, utilizada en este estudio, se encuentra dentro del rango óptimo para el semen, ya que maximiza el contraste y minimiza la interferencia de otros materiales fluorescentes presentes en las telas. El empleo de filtros de barrera (ámbar o anaranjados) bloquea la luz incidente reflejada, resaltando únicamente la emisión fluorescente, lo que constituye una ventaja técnica significativa en entornos forenses.

No obstante, la intensidad y persistencia de la fluorescencia pueden variar según la concentración del fluido, la edad de la mancha y las condiciones de exposición. Además, es fundamental tener en cuenta los interferentes que afectan la fluorescencia del semen, como los detergentes biodegradables utilizados en el lavado de prendas. Karadayı et al. (2020) hallaron que estos detergentes pueden reducir significativamente la

visibilidad de las manchas seminales. Su estudio mostró que las manchas sometidas a diferentes condiciones de lavado presentaron una disminución en la intensidad de fluorescencia, dificultando así su identificación en contextos forenses. También se observó que el tiempo entre la tinción y el lavado influye en la detectabilidad; las mejores condiciones de fluorescencia se lograron cuando las manchas no fueron lavadas durante un mes, lo que indica que la persistencia de las propiedades del semen puede prolongarse en el tiempo. Esto es especialmente relevante en casos de agresiones donde las pruebas se realizan mucho después del incidente, resaltando la necesidad de evaluar detalladamente todos los factores que pueden influir en la detección de fluidos biológicos.

Características de los Materiales Textiles

Los textiles seleccionados para este estudio —algodón y licra— presentan propiedades físico-químicas que influyen en la retención y detectabilidad del semen. El algodón, una fibra natural derivada de la celulosa, se caracteriza por su alta porosidad, absorbancia y resistencia a factores térmicos y químicos (Haro y Vaca, 2011). Estas cualidades facilitan la impregnación de fluidos biológicos, permitiendo que el semen se adhiera a las fibras y permanezca detectable durante períodos prolongados, especialmente en condiciones de baja exposición ambiental.

Por su parte, la licra, un polímero sintético de poliuretano segmentado (comercialmente conocido como Spandex), exhibe alta elasticidad, resistencia mecánica y baja porosidad, lo que limita su capacidad de absorción (Gallegos, 2009). Esta característica sugiere que el semen tiende a depositarse superficialmente en la licra, siendo más susceptible a la degradación por factores externos como la radiación solar o la humedad. Además, el color de la tela (claro u oscuro) puede modificar la visibilidad de la fluorescencia, con tonos oscuros potencialmente ofreciendo mayor contraste bajo luz forense, como han observado Mangisch y Saciuk (2022).

La interacción entre estas propiedades textiles y el semen constituye un eje central de la investigación, ya que determina la viabilidad de detectar fluorescencia en prendas de uso cotidiano sometidas a condiciones variables. Este análisis aporta información crítica para priorizar ciertos tipos de telas en la recolección de evidencia forense.

Imagen Digital, Pixel, Procesamiento de Imágenes, Canales RGB

Una imagen digital puede entenderse como una representación bidimensional de un objeto, en la que se almacena información visual en forma de una matriz de datos compuesta por píxeles (Gonzalez yWoods, 2018). Cada píxel representa la unidad mínima de una imagen y contiene valores que definen su intensidad (brillo) y color, lo cual permite conformar la imagen completa. La cantidad total de píxeles determina la resolución de la imagen, generalmente expresada en dimensiones de ancho por alto (por ejemplo, 1920x1080), y se relaciona directamente con la calidad y el nivel de detalle percibido (Gonzalez yWoods, 2018).

En el contexto del procesamiento digital de imágenes, el modelo de color RGB (Rojo, Verde, Azul) es ampliamente utilizado para representar colores mediante la combinación de estos tres canales. Cada canal puede ser analizado por separado para resaltar diferentes características en una imagen (Gonzalez yWoods, 2018). Por ejemplo, el canal verde ha demostrado ser especialmente útil en el análisis de imágenes biomédicas y forenses, ya que muchas sustancias, como el semen, presentan una fluorescencia más intensa en esta región del espectro. Asimismo, el canal azul es empleado para observar fluorescencia inducida por luz azul, particularmente en longitudes de onda cercanas a los 465 nm, lo que permite detectar indicios que no serían visibles en condiciones normales (Gonzalez yWoods, 2018).

En este sentido, el contraste se vuelve un elemento fundamental, ya que permite diferenciar claramente las regiones de interés del fondo en una imagen. Un alto contraste mejora significativamente la visibilidad de evidencias forenses, como manchas biológicas (Gonzalez yWoods, 2018). Esta capacidad se potencia mediante el uso de la fluorescencia, un fenómeno físico que ocurre cuando un material emite luz visible tras ser excitado por una fuente luminosa específica. Este principio es esencial para la localización de fluidos biológicos, como el semen, cuya fluorescencia puede ser detectada eficazmente sobre diversas superficies (Cortés yIglesias, 2005).

Estado del Arte

En el marco de la revisión bibliográfica, se tomó como referencia el trabajo final titulado *"Aplicación de luces forenses para la detección de fluidos biológicos en prendas*

textiles" (Mangisch y Saciuk, 2022), desarrollado en esta misma institución. Dicho estudio analizó la fluorescencia de fluidos biológicos como saliva, semen y sangre en textiles de algodón, jean y lana, en colores blanco, azul y negro, mediante el empleo del equipo Ilumi-naty. Sus resultados indicaron que la saliva presenta baja fluorescencia y se degrada rápidamente; la sangre es fácilmente visible a simple vista, especialmente en superficies oscuras; y el semen muestra una fluorescencia creciente con el paso del tiempo, siendo más detectable en tonalidades oscuras.

Este trabajo evidenció la influencia del color y la composición textil en la detectabilidad de los fluidos, aunque no incluyó tejidos sintéticos como la licra ni contempló variaciones en la concentración del fluido seminal. El presente estudio retoma y amplía dicho abordaje, incorporando estos factores con el objetivo de enriquecer los criterios técnicos aplicables en contextos forenses.

Uno de los estudios relevantes para el presente trabajo es el de Karaday et al. (2021), titulado "Evaluación de la relación entre la detectabilidad de manchas seminales en telas lavadas y la edad de la mancha". El objetivo fue analizar cómo incide el tiempo transcurrido entre la deposición y el lavado en la detección de semen sobre prendas tratadas en condiciones controladas. Para ello, se utilizaron 180 muestras textiles, aplicando protocolos de lavado estandarizados y técnicas como la prueba de antígeno prostático específico (PSA) y el sistema fotográfico FLS. Los resultados indicaron que la fluorescencia de las manchas no lavadas es detectable hasta 72 horas, pero disminuye considerablemente tras la exposición al agua o detergentes. Si bien el estudio aporta datos valiosos sobre la degradación temporal del fluido, no contempla variables ambientales como la radiación solar o la humedad, las cuales son abordadas en la presente investigación.

Delgado Arriola (2021) analizó la persistencia de restos de espermatozoides en soportes absorbentes y no absorbentes, enfatizando el impacto del tiempo en su identificación en casos forenses. La investigación se ejecutó a través de la revisión de dictámenes de la Policía Nacional del Perú, validando la durabilidad y detectabilidad de los espermatozoides. Los hallazgos revelaron que los soportes absorbentes mantienen la presencia de espermatozoides de manera más constante en el tiempo, mientras que en los soportes no absorbentes esta relación no se sostuvo. Se concluyó que las características físicas de los soportes son cruciales para la preservación de muestras biológicas,

sugiriendo ajustes en los protocolos forenses para optimizar la recolección y análisis en agresiones sexuales.

Gómez Hernández, Quiñonez Recinos y Ovalle Morales (2018) realizaron un estudio sobre la comparación de técnicas de luz azul y luz ultravioleta en 20 tipos de textiles, excluyendo la licra, las muestras de semen se sometieron a diversas diluciones (1:2, 1:4, 1:8, 1:16, 1:32, 1:64, 1:128 y 1:256) y fueron impregnadas en los tejidos, que incluyeron algodón, satín, fieltro, poliéster, lino sintético, dacrón seda, entre otros. Los resultados revelaron que la fluorescencia fue detectada en todos los textiles al usar muestras sin diluir, y en algunos casos, en diluciones hasta 1:256 para dacrón seda. La luz azul mostró mayor sensibilidad que la luz UV, observándose una reducción en la detección de fluorescencia a mayores diluciones. La investigación no abordó específicamente los efectos de las condiciones climáticas en las muestras, enfocándose en la comparación de las técnicas de detección.

Laverde-Angarita y Clavijo-Bolivar (2015) compararon la fluorescencia de diversos fluidos biológicos en diferentes soportes, estableciendo que el semen exhibe la mayor intensidad bajo luz forense, incluso en presencia de interferentes como hipoclorito. Sin embargo, su análisis se limitó a telas de algodón y no consideró materiales sintéticos ni diluciones, aspectos que este trabajo incorpora para ampliar el espectro de condiciones evaluadas.

En síntesis, aunque la literatura existente reconoce la eficacia de las luces forenses para detectar semen, persisten vacíos en el análisis de telas sintéticas como la licra, el efecto de diluciones seminales y la interacción con factores ambientales reales. Este estudio llena estas lagunas al adoptar un diseño cuasi-experimental que evalúa simultáneamente el tipo de tela, la concentración del fluido y las condiciones de almacenamiento, contribuyendo al desarrollo de protocolos forenses más precisos y adaptados a escenarios prácticos.

Capítulo 3 – Marco Legal

En los delitos contra la integridad sexual, el análisis de evidencias biológicas como el semen debe cumplir con un marco normativo que garantice la legalidad, objetividad y validez procesal de las pruebas. Este capítulo aborda las normas vigentes en la República Argentina, con foco en la provincia de Entre Ríos —ámbito del estudio—

, e incluye referencias a estándares internacionales. Se examina cómo estas regulaciones respaldan el uso de técnicas como las luces forenses para la detección de semen en textiles.

Introducción

El análisis de indicios biológicos en el marco de procesos penales debe cumplir con principios legales que salvaguarden la integridad de la evidencia, la imparcialidad de los peritos y la admisibilidad de los resultados en el ámbito judicial. En Argentina, este proceso está regulado por el Código Procesal Penal de la Nación y los códigos provinciales, que establecen los procedimientos para la recolección, conservación y análisis de pruebas, así como las responsabilidades de los profesionales involucrados. En el caso de delitos sexuales, la detección de semen en prendas textiles adquiere una relevancia probatoria particular, ya que puede constituir un elemento clave para probar el hecho delictivo y vincular al agresor con la víctima o la escena del crimen.

La presente investigación, centrada en la utilización de luces forenses para identificar fluorescencia seminal en telas de algodón y licra, se enmarca en este contexto normativo. Las disposiciones legales no solo regulan la actuación pericial, sino que también resaltan la necesidad de emplear métodos científicos reconocidos y accesibles, como los propuestos en este estudio, para fortalecer la administración de justicia. Este capítulo examina las leyes relevantes y su relación con la metodología empleada, proporcionando un sustento jurídico al desarrollo experimental.

Código Procesal Penal de la Nación (Ley 23.984)

El Código Procesal Penal de la Nación Argentina (Ley 23.984, 1991) establece las disposiciones que rigen los procesos penales en el ámbito federal, basándose en principios fundamentales como el debido proceso, el derecho a la defensa y la búsqueda de la verdad material. En relación con la prueba pericial, el artículo 259 regula la designación y actuación de los peritos, exigiendo que estos actúen con imparcialidad, objetividad y bajo juramento de desempeñar su labor con fidelidad a los principios científicos. Este requisito asegura que técnicas como las luces forenses, empleadas en este estudio, sean aplicadas con rigor técnico para generar resultados confiables.

Aunque el artículo 183 del Código Procesal Penal de la Nación se limita a establecer la facultad de cualquier persona para denunciar delitos de acción pública, la recolección de evidencia en la escena del crimen debe ajustarse a los principios generales del proceso penal, que incluyen la preservación de la prueba y el respeto de la cadena de custodia. En este contexto, el uso de técnicas como las luces forenses, aplicadas como herramienta de tamizaje no invasivo, permite identificar indicios como manchas seminales sin alterarlas, facilitando su posterior análisis bioquímico o genético y asegurando la fiabilidad de los resultados conforme a estándares científicos y legales. Asimismo, el artículo 236 del Código Procesal Penal de la Nación autoriza expresamente al juez a ordenar diligencias como la inspección ocular del lugar del hecho, el levantamiento de indicios y la producción de registros técnicos, incluyendo fotografías, planos u otros medios de reproducción. Esta disposición **respalda el uso de fotografías obtenidas bajo luz azul (465 nm)** como parte de la documentación forense, validando su empleo en este estudio como una herramienta adecuada dentro del proceso pericial.

Estas disposiciones legitiman la metodología propuesta, al garantizar que los resultados obtenidos mediante el dispositivo lumínico artesanal puedan integrarse en un informe pericial admisible, siempre que se respeten los estándares de documentación y conservación establecidos.

Código Procesal Penal de la Provincia de Entre Ríos

En la provincia de Entre Ríos, el Código Procesal Penal (Ley N.º 9754, texto ordenado por Ley N.º 10.049, 2011) regula los procedimientos penales bajo un sistema acusatorio que prioriza la oralidad, la inmediación y la publicidad, en línea con estándares de derechos humanos. El artículo 223 establece el régimen de prueba pericial, detallando que los peritos deben ser idóneos y basar sus informes en métodos técnicos reconocidos, un criterio que respalda el diseño cuasi-experimental de esta investigación y el uso de software como ImageJ para el análisis de fluorescencia.

El artículo 229 especifica que los informes periciales deben describir los procedimientos utilizados, los instrumentos empleados, las muestras analizadas y las conclusiones alcanzadas, bajo supervisión judicial. Este requisito se alinea con la metodología del estudio, que documenta las condiciones experimentales (temperatura,

humedad, almacenamiento), el dispositivo lumínico (465 nm) y los resultados fotográficos procesados. La exigencia de objetividad y control judicial asegura que los hallazgos sobre la detectabilidad del semen en textiles puedan constituir prueba válida en un proceso penal en Entre Ríos, siempre que se cumplan los protocolos establecidos.

La normativa provincial refuerza la importancia de la capacitación pericial y el uso de herramientas accesibles, como el dispositivo artesanal desarrollado, lo que podría facilitar su implementación en laboratorios locales con recursos limitados.

Ley Provincial N.º 10.199 – Ejercicio Profesional en Criminalística

La Ley N.º 10.199 (2009) regula el ejercicio profesional de la criminalística en Entre Ríos, estableciendo los requisitos para la actuación de los criminalistas como auxiliares de la justicia. Esta norma exige la colegiación obligatoria y el cumplimiento de principios éticos y técnicos, incluyendo competencia, confidencialidad y objetividad. Los profesionales deben emplear métodos científicos validados y documentar sus actuaciones conforme a los protocolos vigentes, lo que legitima la participación de licenciados en criminalística en tareas como la detección de semen mediante luces forenses.

En el marco de esta investigación, la Ley N.º 10.199 respalda la idoneidad de las autoras y el director del proyecto como profesionales capacitados para diseñar y ejecutar el estudio. Asimismo, subraya la responsabilidad ética de garantizar la confidencialidad de los donantes de semen, un aspecto abordado mediante el consentimiento informado y el anonimato, como se detalla en el Capítulo 4. Esta normativa provincial fortalece la aplicabilidad del estudio en el ámbito local, al avalar el uso de técnicas innovadoras siempre que cumplan con los estándares de rigor establecidos.

Ley N.º 25.087 – Delitos contra la Integridad Sexual

La Ley N.º 25.087 (1999) modificó el Código Penal Argentino en lo relativo a los delitos contra la integridad sexual, actualizando su tipificación para incorporar una perspectiva más amplia y centrada en la protección de las víctimas. Esta reforma eliminó el concepto obsoleto de “mujer honesta” y redefinió el acceso carnal como **toda forma de penetración no consentida**, abarcando el abuso sexual simple, el abuso sexual gravemente ultrajante y la violación como delitos autónomos (Código Penal, arts. 119-120).

En este contexto, la **detección de semen en textiles** adquiere una relevancia probatoria crucial, ya que puede demostrar la existencia de contacto sexual no consentido y vincular al presunto agresor con el hecho delictivo. La metodología propuesta en este estudio — **identificación de fluorescencia seminal mediante luces forenses**— se alinea con los objetivos de la Ley N.º 25.087, al proporcionar una herramienta inicial no invasiva para localizar evidencia biológica que respalde la investigación penal.

La capacidad de detectar semen en prendas expuestas a factores ambientales durante períodos prolongados mejora la probabilidad de esclarecer casos donde las víctimas denuncian con retraso, un fenómeno común en delitos sexuales debido al trauma y el estigma (ONU Mujeres, 2020).

Estándares Internacionales

A nivel global, los estándares para la investigación de delitos sexuales han sido establecidos por organismos como las Naciones Unidas. El Manual sobre la Investigación y Documentación Efectiva de la Tortura y Otros Tratos o Penas Crueles, Inhumanos o Degradantes (Protocolo de Estambul, 1999) y las Directrices de la ONU para la Investigación de Delitos Sexuales (2017) recomiendan el uso de técnicas forenses no invasivas, como las luces forenses, para identificar indicios biológicos sin comprometer su integridad. Estas directrices enfatizan la importancia de métodos accesibles y estandarizados para garantizar la justicia en contextos de recursos limitados, un principio que respalda el desarrollo del dispositivo lumínico artesanal en este estudio.

Además, la Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW, 1979), ratificada por Argentina, insta a los Estados a adoptar medidas efectivas para combatir la violencia sexual, incluyendo el fortalecimiento de las capacidades forenses. La detección de semen en textiles, como se propone aquí, contribuye a este objetivo al mejorar la recolección de evidencia en casos de abuso sexual, alineándose con los compromisos internacionales del país.

Capítulo 4 – Metodología

La metodología constituye el núcleo operativo de la investigación, definiendo los procedimientos y herramientas empleados para responder a la pregunta de investigación y alcanzar los objetivos planteados. Este capítulo describe el enfoque cualitativo adoptado, el diseño cuasi-experimental implementado, la población y muestra

seleccionadas, las variables analizadas, los procedimientos ejecutados, los instrumentos utilizados, el procesamiento de datos y las consideraciones éticas observadas. Se busca garantizar la reproducibilidad y validez de los resultados obtenidos en la detección de fluorescencia seminal en telas de algodón y licra bajo diversas condiciones, contribuyendo así al fortalecimiento de las prácticas forenses.

Enfoque de la Investigación

La investigación se encuadra en un enfoque cualitativo, orientado a la descripción y análisis de la fluorescencia del semen como fenómeno observable en textiles sometidos a condiciones controladas. Según Hernández Sampieri et al. (2014), este enfoque privilegia la interpretación de características cualitativas sobre mediciones cuantitativas estrictas, lo que resulta adecuado para evaluar la intensidad y persistencia de la fluorescencia en un contexto experimental. La elección de este enfoque responde a la necesidad de comprender cómo las variables independientes (tipo de tela, dilución, factores ambientales y almacenamiento) interactúan para modificar la detectabilidad del semen, priorizando la calidad de los datos visuales obtenidos mediante luces forenses.

Diseño Experimental

El diseño adoptado corresponde a un modelo cuasi-experimental, descriptivo, longitudinal y prospectivo, sin grupo control estricto, pero con comparación entre grupos experimentales definidos por las variables independientes. Este diseño permite observar la presencia, intensidad y persistencia de la fluorescencia en muestras textiles impregnadas con semen, sometidas a condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) y exposición ambiental durante un período total de 78 días, entre agosto y octubre de 2024. Las observaciones se realizaron con una periodicidad establecida: diaria durante los primeros 14 días y semanal durante las siguientes 9 semanas, totalizando 23 puntos de medición por muestra.

La ausencia de un grupo control se justifica por el objetivo descriptivo del estudio, que busca caracterizar el comportamiento de la fluorescencia bajo condiciones simuladas, más que establecer relaciones causales absolutas. Este diseño se alinea con investigaciones forenses previas que evalúan evidencias biológicas en escenarios realistas (Mangisch ySaciuk, 2022).

Población y Muestra

La población objetivo está constituida por semen humano fresco, obtenido de donantes voluntarios, como indicio biológico relevante en el contexto forense. La muestra experimental comprende 32 fragmentos textiles de 10 x 10 cm, seleccionados por su uso frecuente en prendas de vestir, especialmente ropa interior: 16 de algodón (8 claras, 8 oscuras) y 16 de licra (8 claras, 8 oscuras). Cada fragmento se impregnó con 0.5 ml de semen en cuatro diluciones distintas (natural, 1/2, 1/4, 1/8), preparadas con agua fisiológica estéril, resultando en un total de 128 condiciones experimentales (32 fragmentos x 4 diluciones).

Para homogeneizar las muestras, se creó un pool de semen a partir de tres donantes anónimos, recolectado bajo consentimiento informado. Las telas se dividieron equitativamente: 16 se expusieron en un ambiente abierto (jardín cubierto en Oro Verde, Entre Ríos) y 16 en un ambiente cerrado (caja de cartón a 20-25°C), replicando escenarios reales post-delito.

Variables

Las variables del estudio se definieron como sigue:

- **Variables independientes:**
 - **Tipo de tela:** Algodón (natural, celulósico) y licra (sintética, poliuretano).
 - **Grado de dilución:** Natural (1:0), 1/2 (1:1), 1/4 (1:3), 1/8 (1:7), en proporción semen:agua fisiológica.
 - **Factores ambientales:** Temperatura (°C), humedad relativa (%), radiación solar (W/m²), precipitaciones (mm).
 - **Condiciones de almacenamiento:** Abierto (exterior cubierto) y cerrado (caja opaca).
- **Variable dependiente:** Intensidad de la fluorescencia del semen, clasificada en tres niveles: Intensa (3+), Visible (2+) y Poco Visible (1+), evaluada mediante análisis visual y procesamiento digital.

- **Variables intervinientes:** Edad de la mancha (días desde impregnación), color de la tela (claro/oscura), presencia de interferentes ambientales (polvo, lluvia).

Estas variables permiten evaluar cómo los factores externos y las características del soporte textil afectan la detectabilidad de la fluorescencia, proporcionando un marco analítico integral.

Procedimiento

El procedimiento se dividió en tres etapas principales:

1. Preparación de las muestras

El semen recolectado de tres donantes se mezcló en un pool homogéneo utilizando recipientes estériles, bajo condiciones de bioseguridad (guantes, área desinfectada). Se prepararon cuatro diluciones (natural, 1/2, 1/4, 1/8) con agua fisiológica estéril, empleando jeringas descartables para garantizar proporciones exactas (1; 0,5; 0,25; 0,125). Cada fragmento textil (10 x 10 cm) se impregnó con 0.5 ml de la solución correspondiente mediante pipeteo controlado, asegurando una distribución uniforme. Las muestras se dejaron secar a temperatura ambiente (20-25°C) durante toda una noche antes de su exposición.

2. Exposición

Las 32 muestras se distribuyeron en dos condiciones: 16 en un ambiente abierto (jardín cubierto en Oro Verde, Entre Ríos, protegido de lluvia directa) y 16 en un ambiente cerrado (caja de cartón opaca a 20-25°C, sin luz directa). Las condiciones climáticas (temperatura, humedad, radiación solar, precipitación) se registraron diariamente utilizando datos del sitio meteorológico Meteored para Oro Verde. La exposición se mantuvo durante 78 días, desde el 15 de agosto hasta el 31 de octubre de 2024.

3. Observaciones

Las muestras se fotografiaron en una caja negra estandarizada, utilizando un dispositivo lumínico artesanal de luz azul (465 nm) y filtros de barrera anaranjados. Las observaciones se realizaron diariamente durante los primeros 14 días (1-15 de agosto) y semanalmente durante las siguientes 9 semanas (hasta el 31 de octubre), totalizando 736

imágenes (32 muestras x 23 días de estudio). La cámara utilizada fue un Motorola G30 (64 MP) montada en trípode, con ajustes manuales de exposición para optimizar el contraste.

4. Procesamiento de imágenes

Las imágenes recolectadas se procesaron con el software ImageJ, que permite cuantificar la intensidad de fluorescencia a nivel de píxel. Se aplicó un protocolo estandarizado:

1. Cada imagen se descompuso en canales RGB, priorizando el canal verde para la mayoría de las muestras (donde la fluorescencia seminal muestra mayor contraste).
2. Se delimitó un área de interés (ROI, por sus siglas en inglés) en cada mancha, calculando los valores máximos, mínimo y promedio de intensidad (escala 0-255).
3. La fluorescencia se clasificó en tres niveles: Intensa (3+, 160570–239292), Visible (2+, 81848–160569), Débil (1+, 3125–81847), basándose en umbrales establecidos tras la calibración inicial.
4. Los datos se registraron en planillas Excel para seguimiento longitudinal y comparación entre grupos.

Este análisis permitió evaluar la evolución de la fluorescencia en función del tiempo, tipo de tela, dilución y almacenamiento, generando resultados visuales y numéricos.

Instrumental

Los instrumentos empleados en el estudio incluyeron:

- **Fuente de luz:** Dispositivo artesanal con 3 LEDs de 5V (465 nm), montados sobre un disipador de aluminio con ventilador para control térmico, diseñado en colaboración con el director del proyecto.
- **Cámara fotográfica:** Motorola G30 (64 MP), fijada en trípode, con filtros anaranjados para resaltar la fluorescencia.

- **Caja de observación:** Estructura negra opaca (50 x 50 x 50 cm) para minimizar interferencias lumínicas externas.

- **Software:** ImageJ (versión 1.53), de acceso libre, para análisis de imágenes.

- **Otros:** Jeringas estériles (5 ml), recipientes estériles, ...

El dispositivo lumínico se calibró para emitir luz azul en un rango de 460-470 nm, optimizando la excitación de las moléculas fluorescentes del semen, mientras los filtros anaranjados bloquearon la luz reflejada, mejorando el contraste.

Capítulo 5 - Resultados

Este capítulo presenta los hallazgos del estudio sobre la detectabilidad de la fluorescencia del semen en tejidos de algodón y licra, conforme al diseño experimental descrito en el Capítulo 4 del presente documento. El análisis se centra en tres objetivos específicos: (a) comparar la intensidad de fluorescencia según el tipo de tela (algodón y licra), color (blanco y negro) y dilución (natural, 1/2, 1/4, 1/8), (b) evaluar la influencia de factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) y condiciones de almacenamiento (abiertas frente a cerradas) en la persistencia de la fluorescencia durante 78 días (15 de agosto al 31 de octubre de 2024) y (c) evaluar la interrelación de las variables. Los datos obtenidos se clasifican en tres rangos de fluorescencia: Poco Visible (3125–81847), Visible (81848–160569) e Intensa (160569–239292). Las observaciones cualitativas, realizadas bajo luz de 465 nm y analizadas mediante el canal verde de ImageJ, complementan los resultados cuantitativos. Los hallazgos se organizan para abordar las hipótesis planteadas en el Capítulo 1, examinando la relación entre la absorbancia de los tejidos, las diluciones, y las condiciones ambientales en la detección forense del semen. Los resultados se sustentan en tablas, ilustraciones, datos meteorológicos y gráficos proporcionando una base empírica para el análisis posterior.

- **Hipótesis 1:** La fluorescencia será más persistente en condiciones de almacenamiento cerradas con baja temperatura y humedad en comparación con condiciones abiertas expuestas a la radiación solar (Mangisch ySaciuk, 2022).

- **Hipótesis 2:** Los tejidos de algodón exhibirán una mayor intensidad de fluorescencia que la licra debido a una mayor absorbancia, independientemente de la dilución.
- **Hipótesis 3:** Las diluciones más bajas (1/4 y 1/8) mostrarán una fluorescencia menos detectable bajo luces forenses, especialmente en telas expuestas a condiciones ambientales adversas, en comparación con muestras sin diluir o menos diluidas (naturales y 1/2).

Estas dos hipótesis finales se formularon con base en la literatura existente (Haro y Vaca, 2011; Karaday et al., 2021) y las propiedades físico-químicas de los materiales estudiados, permitiendo contrastar los resultados experimentales con predicciones teóricas.

Comparación de la Fluorescencia por Tipo de Tela, Color y Dilución (Objetivo Específico 1)

Esta subsección aborda el primer objetivo específico: *comparar la fluorescencia del semen en tejidos de algodón y licra en cuatro diluciones (natural, 1/2, 1/4 y 1/8) y dos colores (blanco y negro)*. **La Tabla 5.1**, muestra las intensidades promedio de fluorescencia para los días 1 (15 de agosto de 2024) y 78 (31 de octubre de 2024), clasificadas según los nuevos rangos.

Tabla 5.1

Intensidad Promedio de Fluorescencia por Tipo de Tela, Color y Dilución (Días 1 y 77)

Tela	Color	Dilución	Día 1 (Abierto)	Día 1 (Cerrado)	Día 78 (Abierto)	Día 78 (Cerrado)	Nivel Día 1 (Abierto/Cerrado)	Nivel Día 78 (Abierto/Cerrado)
Algodón Blanco		Natural	57.608	41.142	103.343	178.528	Poco visible / Poco visible	Visible / Intensa
Algodón Blanco		1/2	30.516	27.938	24.689	186.618	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Intensa

Tela	Color	Dilución	Día 1 (Abierto)	Día 1 (Cerrado)	Día 78 (Abierto)	Día 78 (Cerrado)	Nivel Día 1 (Abierto/Cerrado)	Nivel Día 78 (Abierto/Cerrado)
Algodón	Blanco	1/4	24.525	14.953	33.645	162.425	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Intensa
Algodón	Blanco	1/8	6.023	10.874	9,975	131.763	Poco visible / Poco visible	Poco visible / visible
Algodón	Negro	Natural	220.843	189.578	149.650	238.546	Intensa / Intensa	Visible / Intensa
Algodón	Negro	1/2	142.612	110.445	86.812	192.119	Visible / Visible	Visible / Intensa
Algodón	Negro	1/4	76.477	93.276	48.732	154.954	Poco visible / visible	Poco visible / visible
Algodón	Negro	1/8	13.403	16.478	22.913	15.044	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Poco visible
Licra	Blanco	Natural	21.562	35.153	62.817	98.672	Poco visible / Poco visible	Poco visible / visible
Licra	Blanco	1/2	16.630	28.117	7.077	108.621	Poco visible / Poco visible	Poco visible / visible
Licra	Blanco	1/4	9.878	15.641	19.258	53.900	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Poco visible
Licra	Blanco	1/8	3.125	11.407	6.669	35.175	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Poco visible
Licra	Negro	Natural	203.008	176.893	153.848	230.406	Intensa / Intensa	Visible / Intensa
Licra	Negro	1/2	188.272	173.175	51.421	239.292	Intensa / Intensa	Poco visible / Intensa
Licra	Negro	1/4	124.358	138.009	50.935	226.652	Visible / Visible	Poco visible / Intensa

Tela	Color	Dilución	Día 1 (Abierto)	Día 1 (Cerrado)	Día 78 (Abierto)	Día 78 (Cerrado)	Nivel Día 1 (Abierto/Cerrado)	Nivel Día 78 (Abierto/Cerrado)
Licra	Negro	1/8	43.126	13.302	23.608	33.369	Poco visible / Poco visible	Poco visible / Poco visible

Observaciones:

Tejidos de algodón

1. Algodón Negro

Presentó la fluorescencia inicial más alta, especialmente en dilución natural donde para el día 1 presentaron fluorescencia Intensa (220.843 abierto, 189.578 cerrado). Para el día 78, el almacenamiento cerrado mantuvo los niveles de Intensa (238.546, dilución natural), mientras que el almacenamiento abierto disminuyó a Visible (149.650, dilución natural) confirmando de esta manera la hipótesis 1: la fluorescencia persiste en condiciones cerradas. Las diluciones más bajas (1/4, 1/8) fueron mayormente Poco Visible, pero con pequeños aumentos (Tabla 5.1), lo que confirma la hipótesis 3: que las diluciones más bajas reducen la detectabilidad.

Figura 2

Intensidad de fluorescencia del semen en algodón negro según dilución y condiciones de almacenamiento (días 1, 23 y 77)

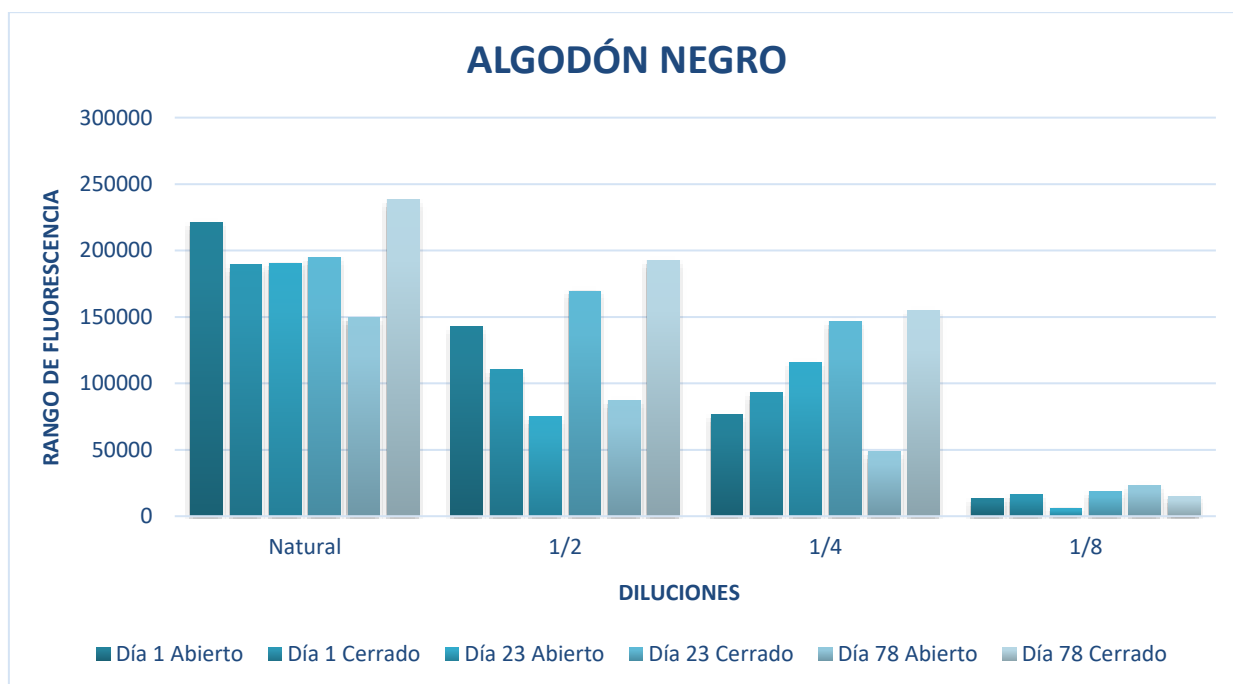


Figura 3

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 1 (220.843, Intensa) y Día 78 (149.650, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

220.843 – Intensa

DIA 78 (31/10/2024)

149.650 – Visible

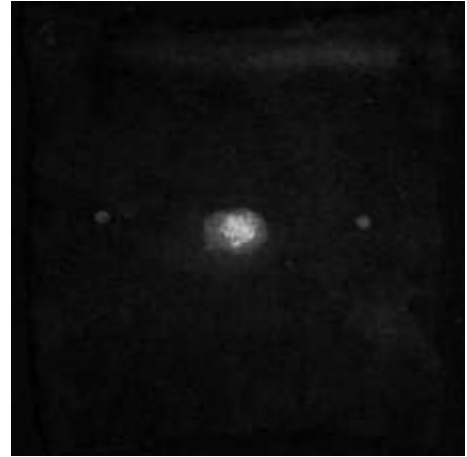
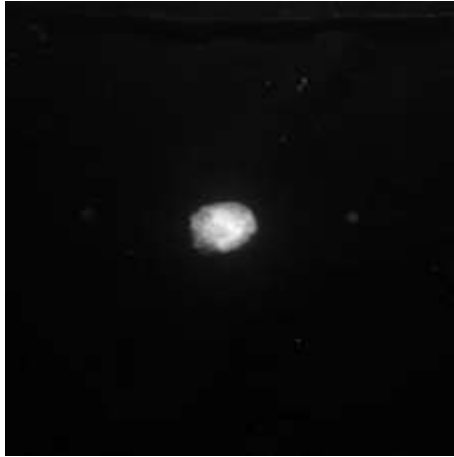


Figura 4

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 1 (189.578, Intensa) y Día 78 (238.546, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

189.578 – Intensa

DIA 78 (31/10/2024)

238.546 – Intensa

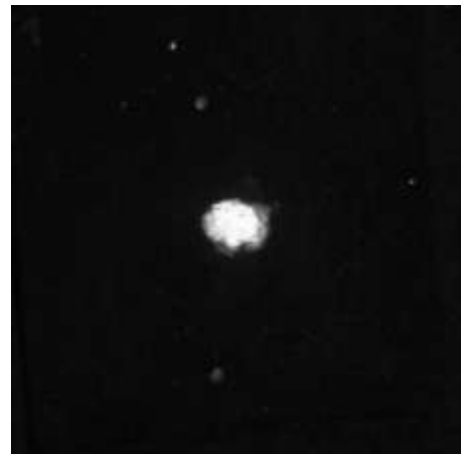
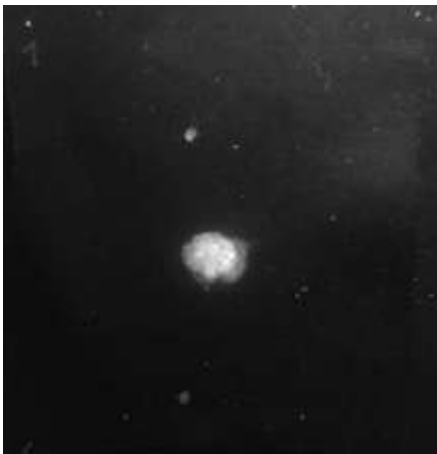


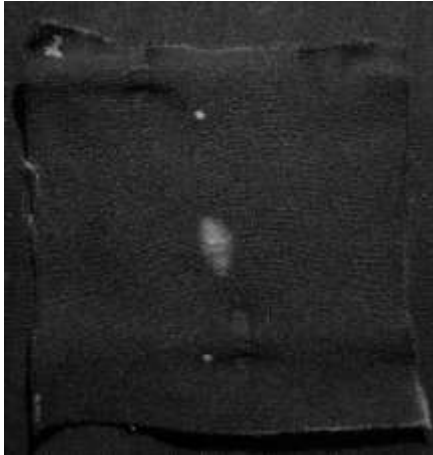
Figura 5

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 23 (75.163, Poco Visible) y Día 78 (86.812, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

75.163 – Poco Visible



DIA 78 (31/10/2024)

86.812 – Visible

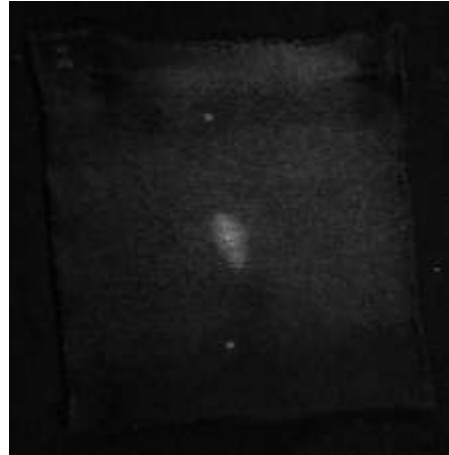


Figura 6

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución 1/4, Condiciones Abiertas, Día 23 (115.711, Visible) y Día 78 (48.732, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/4 _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

115.711 – Visible



DIA 78 (31/10/2024)

48.732 – Poco Visible

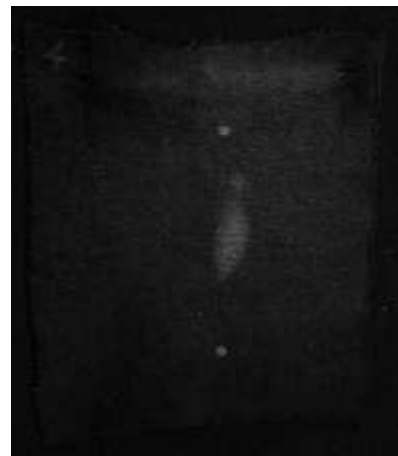


Figura 7

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución 1/8, Condiciones Cerradas, Día 23 (18.178, Poco Visible) y Día 78 (15.044, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

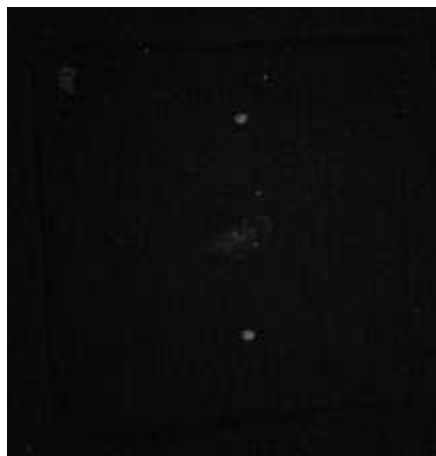
DIA 23 (05/09/2024)

18.178 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

15.044 – *Poco Visible*



2. Algodón blanco

El algodón blanco mostró fluorescencia inicial baja (*Poco Visible*) en todas las diluciones bajo condiciones abiertas, con un aumento a *Visible* en la dilución natural para el Día 78 (Tabla 5.1).

En almacenamiento cerrado hubo aumentos significativos para el Día 78 donde las primeras tres diluciones aumentaron a *Intensa*, mientras que la dilución 1/8 paso a ser *Visible*. Esto sugiere una mejor conservación en condiciones cerradas, lo que respalda la hipótesis 1. El algodón blanco facilitó la visualización cualitativa bajo luz ultravioleta, aunque los valores cuantitativos fueron inferiores a los del algodón negro, lo que respalda parcialmente la hipótesis 2 debido a su capacidad de absorción.

Figura 8

Intensidad de fluorescencia del semen en algodón blanco según dilución y condiciones de almacenamiento (días 1, 23 y 77)

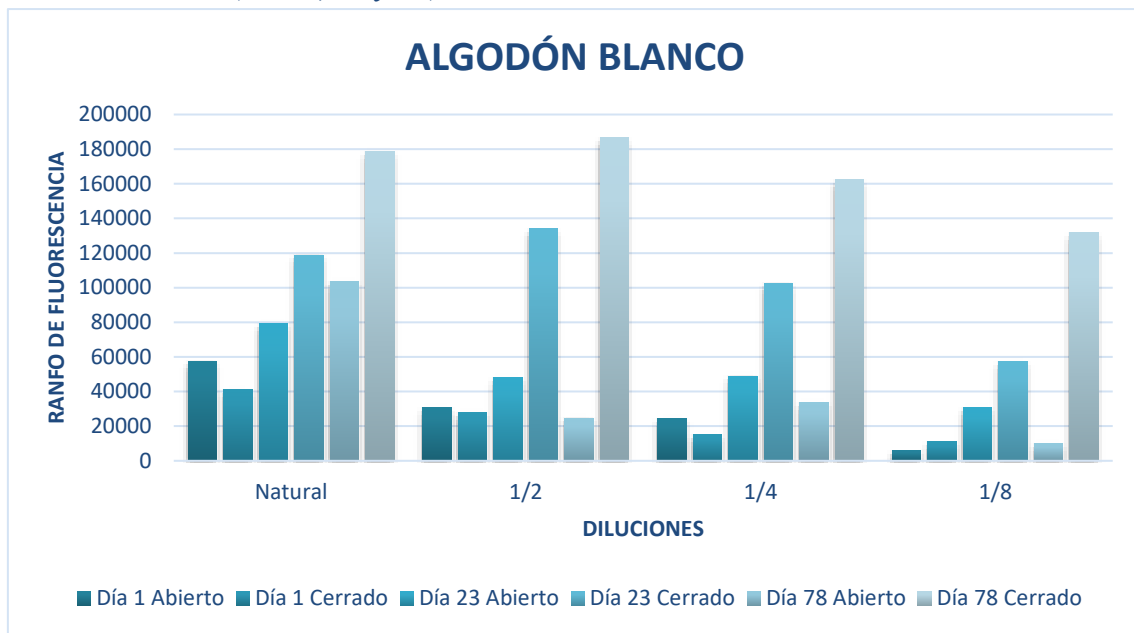


Figura 9

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 1 (57.608, Poco Visible) y Día 78 (103.343, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

57.608 – Poca Visible

DIA 78 (31/10/2024)

103.343 – Intensa

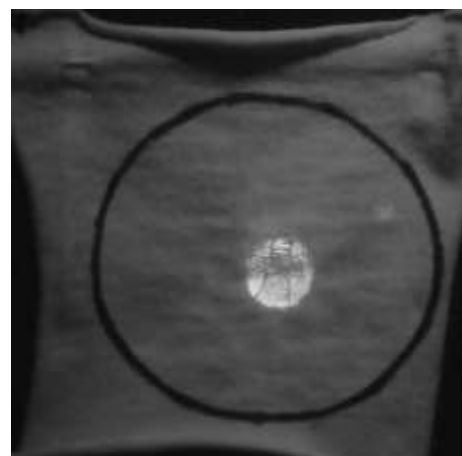
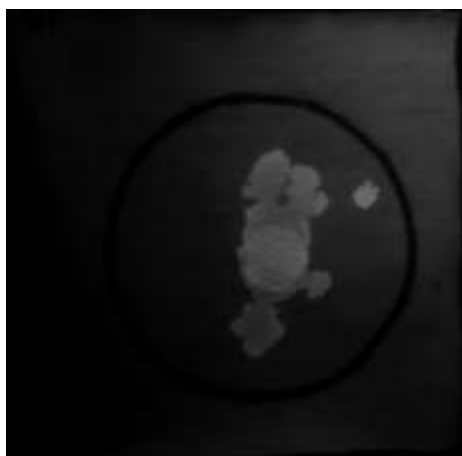


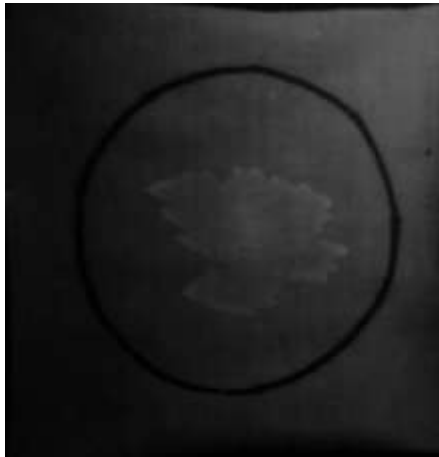
Figura 10

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución 1/4, Condiciones Abiertas, Día 1 (24.525, Poco Visible) y Día 78 (33.645, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/4 _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

24.525 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

33.645 – *Poco Visible*

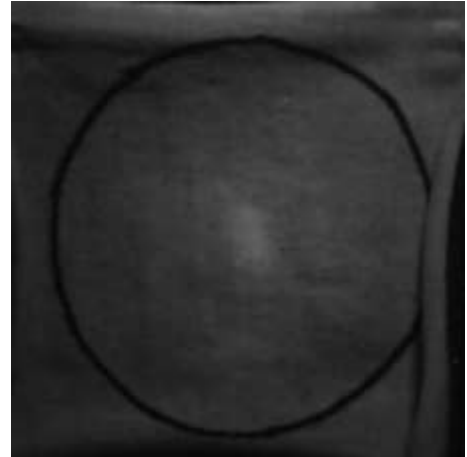


Figura 11

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 1 (41.142, Poco Visible) y Día 78 (178.528, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

41.142 – *Poca Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

178.528 – *Intensa*



Figura 12

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución 1/8, Condiciones Cerradas, Día 1 (10.874, Poco Visible) y Día 78 (131.763, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/8 _ Lugar cerrado

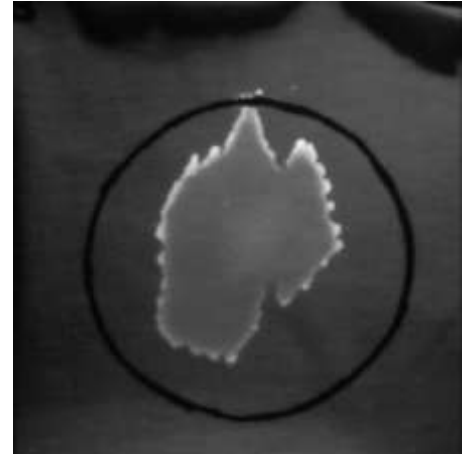
DIA 1 (15/08/2024)

10.874 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

131.763 – *Visible*



Tejidos de licra

3. Licra negra

Presentó una alta fluorescencia inicial en la mayoría de las diluciones por arriba del rango visible, a excepción de las diluciones 1/8 que se mantuvieron Poco Visibles en ambas condiciones de almacenamiento. Para el día 78, el almacenamiento cerrado mantuvo los niveles de Intensa en las tres primeras diluciones, mientras que en abierto disminuyó a Visible en Dilución natural o Poco Visible en 1/2 y en 1/4 (Tabla 5.1), lo que respalda las hipótesis 1 y 3.

La Licra negra proporcionó un fuerte contraste visual bajo luz de 465 nm, en concordancia con Mangisch y Saciuk (2022).

Figura 13

Intensidad de fluorescencia del semen en licra negra según dilución y condiciones de almacenamiento (días 1, 23 y 77)

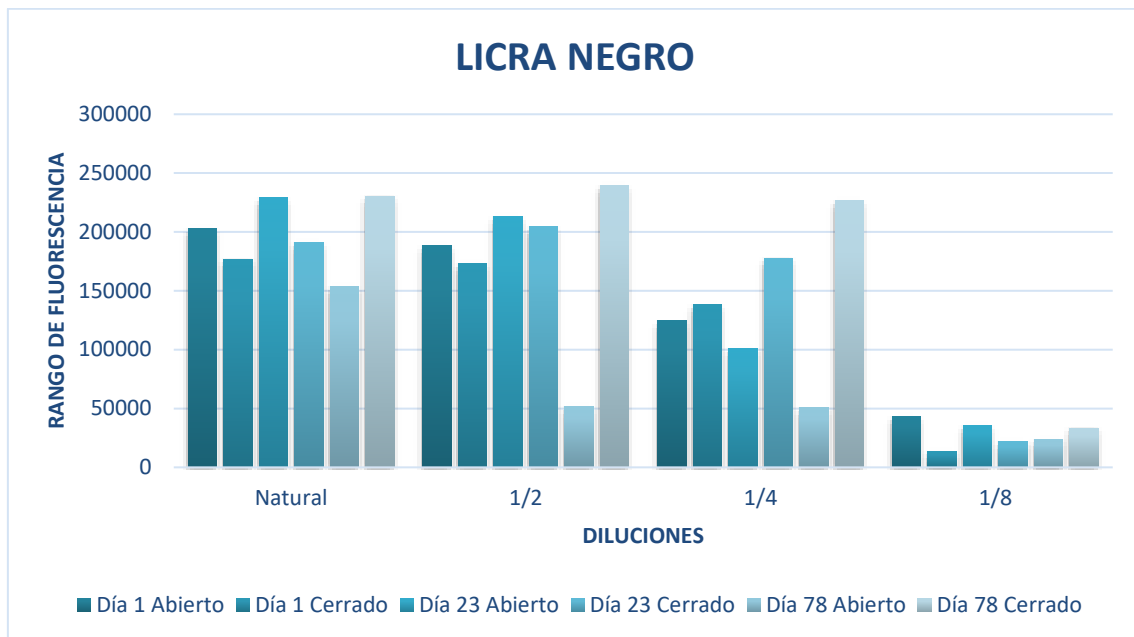


Figura 14

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 1 (203.008, Intensa) y Día 78 (153.848, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

203.008 – Intensa



DIA 78 (31/10/2024)

153.848 – Visible

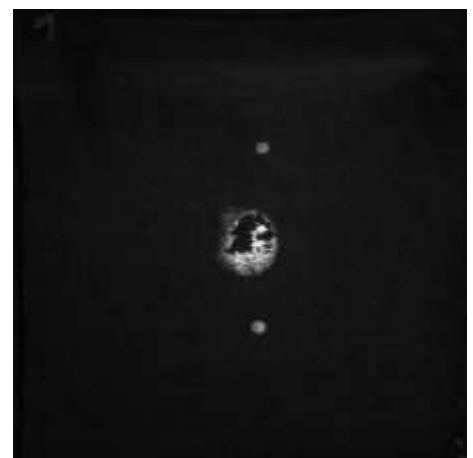


Figura 15

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 1 (188.272, Intensa) y Día 78 (51.421, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

188.272 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

51.421 – *Poco visible*



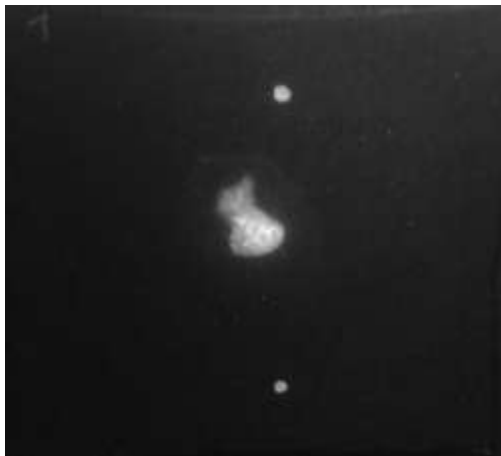
Figura 16

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 1 (176.893, Intensa) y Día 78 (230.406, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

176.893 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

230.406 – *Intensa*

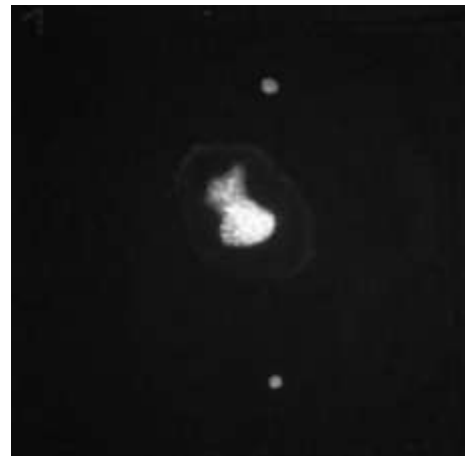


Figura 17

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/2, Condiciones Cerradas, Día 1 (173.175, Intensa) y Día 78 (239.292, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

173.175 – Intensa



DIA 78 (31/10/2024)

239.292 – Intensa

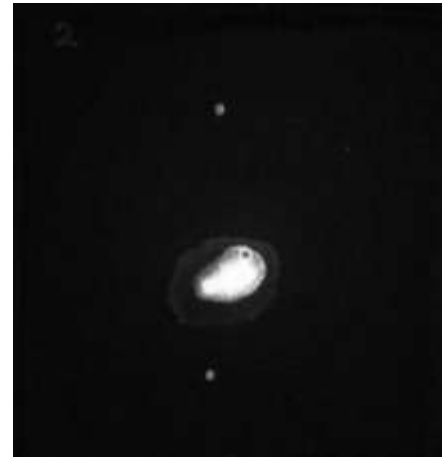


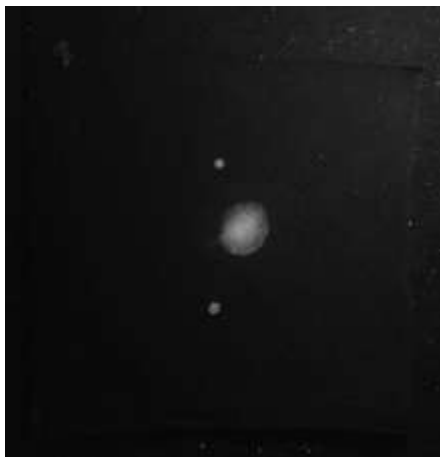
Figura 18

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/4, Condiciones Abiertas, Día 1 (124.358, Visible) y Día 78 (50.935, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/4 _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

124.358 – Visible



DIA 78 (31/10/2024)

50.935 – Poco Visible



4. Licra blanca

Se registraron los valores de fluorescencia más bajos precisamente en Lugar Abierto, donde todas las muestras se mantuvieron Poco Visibles con pequeños aumentos de intensidad a excepción de la dilución 1/2 que disminuyó notablemente de Día 1 al Día 78-. Esta rápida disminución, especialmente en abierto, refuta la hipótesis 2, ya que la baja absorbancia de la Licra provocó una menor retención de la fluorescencia en comparación con el algodón.

En cuanto al Lugar Cerrado, en el Día 1 se mantuvieron los niveles de Poco Visibles en las diluciones más bajas, mientras que para el día 78, hubo incremento hacia lo Visible para la dilución natural y la dilución 1/2 refutando de esta manera la Hipótesis 3 sobre la débil detectabilidad a medida que disminuye la concentración del semen.

Figura 19

Intensidad de fluorescencia del semen en licra blanca según dilución y condiciones de almacenamiento (días 1, 23 y 77)

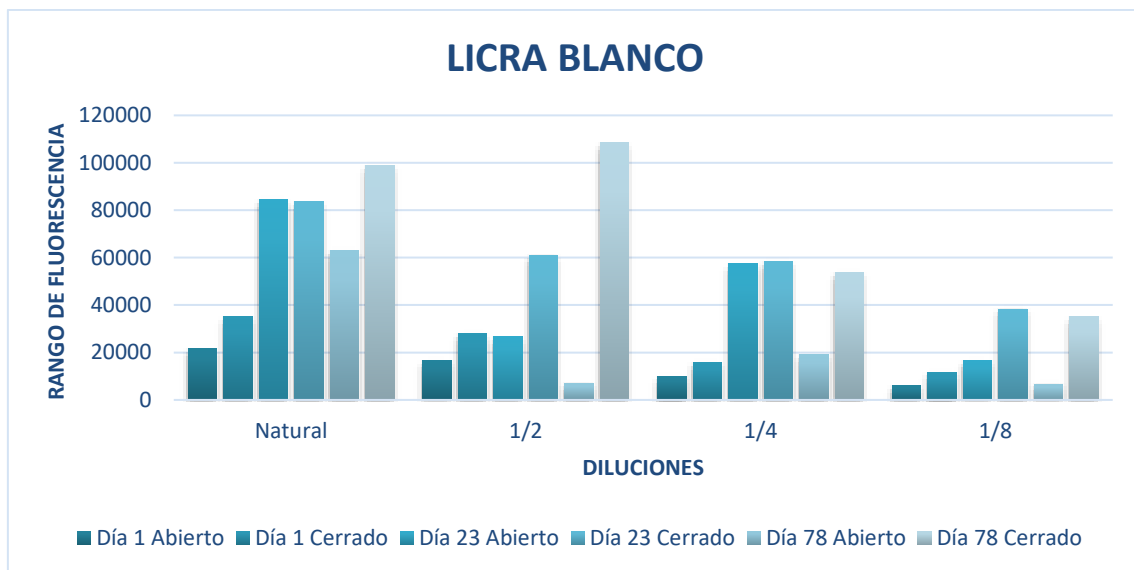


Figura 20

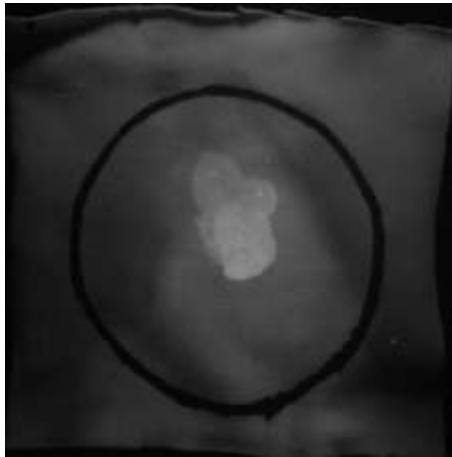
Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 23 (84.394, Visible) y Día 78 (62.817, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

DIA 78 (31/10/2024)

84.394 - Visible



62.817 - Poco visible

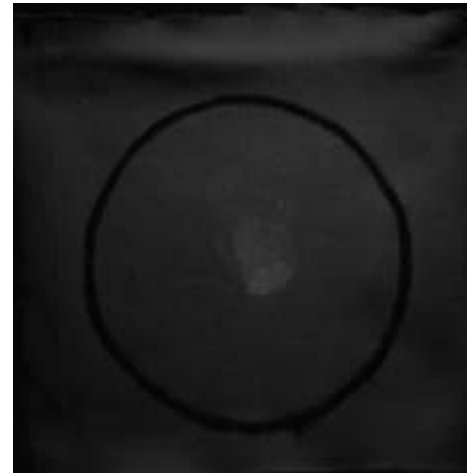


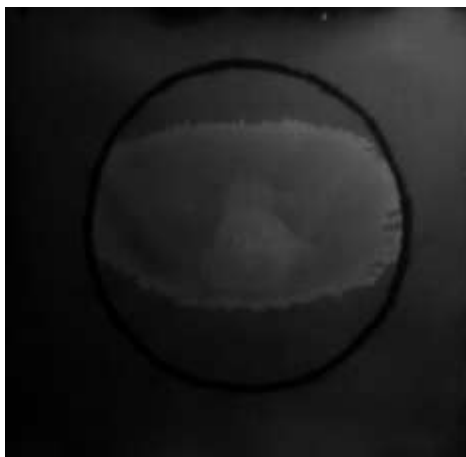
Figura 21

Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 1 (35.153, Poco Visible) y Día 78 (98.672, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución natural _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

35.153 - Poco visible



DIA 78 (31/10/2024)

98.672 - Visible

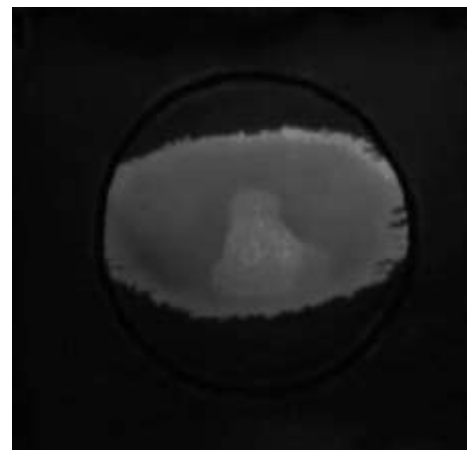


Figura 22

Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución 1/2, Condiciones Cerradas, Día 1 (28.117, Poco Visible) y Día 78 (108.621, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar cerrado

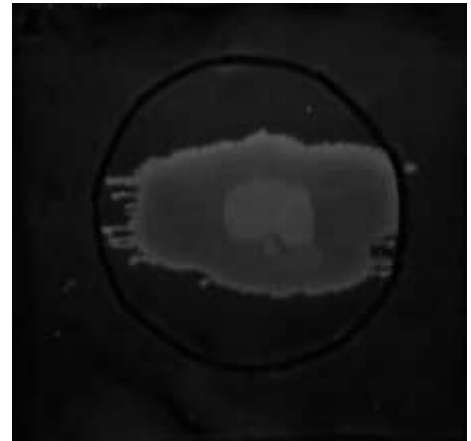
DIA 1 (15/08/2024)

DIA 78 (31/10/2024)

28.117 – *Poco visible*



108.621 – *Visible*



Impacto del color

Las **telas negras (algodón y licra)** ofrecieron un **mejor contraste visual** bajo luz de 465 nm, lo que facilitó la detección forense, ya que el fondo oscuro realza la emisión de luz de las moléculas fluorescentes.

Cuantitativamente, las **telas negras mostraron un porcentaje significativamente mayor de muestras con fluorescencia "Intensa"** en comparación con las telas blancas. Este mejor contraste visual es crucial para la detectabilidad práctica.

A pesar del contraste visual, la fluorescencia cuantitativa no siempre fue mayor en telas negras que en blancas en todas las condiciones. Esto sugiere que, si bien el color oscuro proporciona un fondo ideal para el contraste, la absorbancia del material (como la del algodón) fue un factor más determinante para la persistencia cuantitativa de la fluorescencia que el color por sí solo

Discusión

Las **telas negras, tanto de algodón como de licra**, exhibieron una **fluorescencia inicial "Intensa"** en las diluciones más concentradas (natural y 1/2), **facilitando un fuerte contraste visual** bajo la luz de 465 nm. Particularmente, el algodón negro presentó los valores de fluorescencia inicial más altos en ambas condiciones de almacenamiento.

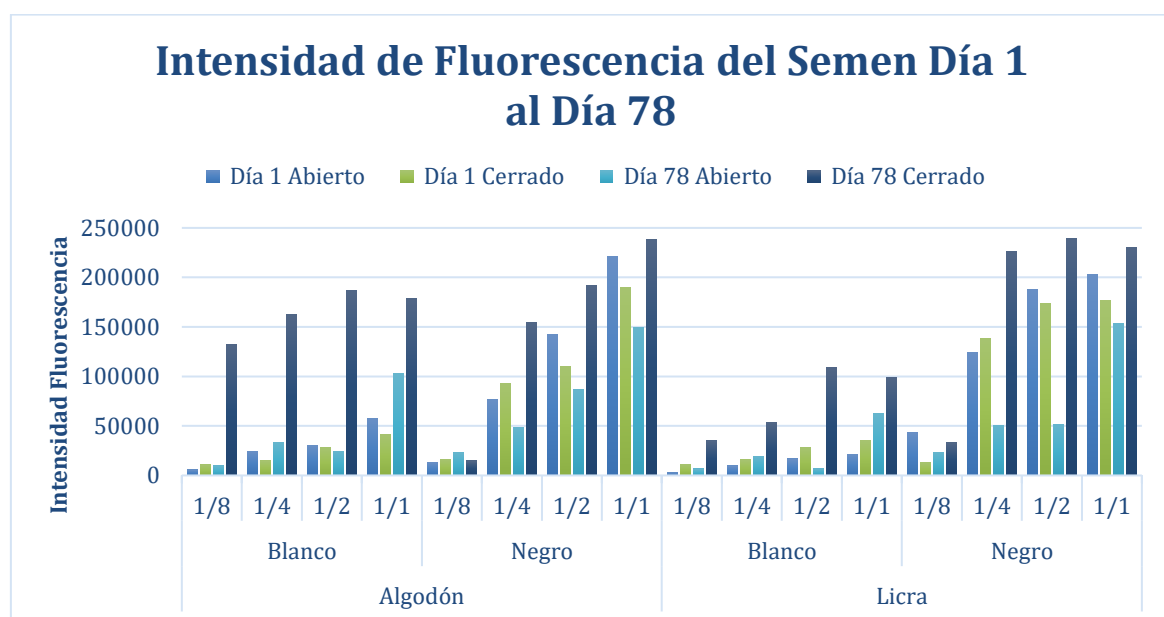
En contraste, las **telas blancas, especialmente la licra blanca**, mostraron consistentemente una **fluorescencia "Poco Visible"** en la mayoría de las diluciones desde el Día 1. Esto se asocia a la baja capacidad de absorción de la licra.

De manera general, las **diluciones más altas (natural y 1/2) fueron las más detectables y consistentes** en cuanto a su fluorescencia inicial, mientras que las diluciones más bajas (1/4 y 1/8) resultaron en una señal "Poco Visible" y menos confiable desde el inicio del estudio. Estos hallazgos preliminares subrayan la importancia del tipo y color de la tela, así como la concentración del semen, en la visibilidad inicial de la fluorescencia para fines forenses.

Dada la **menor detectabilidad y consistencia** de las diluciones más bajas (1/4 y 1/8) observada en estos resultados iniciales, para el Objetivo N° 2 se optó por utilizar **únicamente las diluciones "Natural" y "1/2"**. Esta decisión se fundamenta en que estas concentraciones son **más representativas de una exposición biológica realista** y presentaron los **rangos de fluorescencia más altos y consistentes** a lo largo del tiempo y entre las distintas condiciones ambientales. La **baja señal de las diluciones 1/4 y 1/8** reduce su valor analítico, lo que podría llevar a que pasen desapercibidas o a falsos negativos en contextos forenses. Adicionalmente, el software de cuantificación de fluorescencia demostró **limitaciones para detectar señales tan bajas**, comprometiendo la confiabilidad de los datos de estas diluciones. Por tanto, su exclusión permitió enfocar el análisis en las condiciones más relevantes y representativas del estudio.

Figura 23

Intensidad de Fluorescencia del Semen en Algodón y Licra por Tela, Color, Dilución y Condición de Almacenamiento (Día 1 vs. Día 78)



Impacto de Factores Ambientales y Condiciones de Almacenamiento (Objetivo Específico 2)

Esta subsección aborda el segundo objetivo específico: *analizar el impacto de los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar, precipitaciones) y las condiciones de almacenamiento (abierto vs. cerrado) en la persistencia de la fluorescencia del semen*. Los datos de la tabla de rango de fluorescencia se correlacionan con los datos meteorológicos para Oro Verde, Entre Ríos (del 15 de agosto al 31 de octubre de 2024). **La Tabla 2** resume el porcentaje de muestras por nivel de fluorescencia en los días 1, 23 y 78, de las diluciones estudiadas, mientras que los datos ambientales se integran para explicar las tendencias.

Tal como se ha fundamentado previamente, para el presente análisis se considerarán exclusivamente las diluciones “Natural” y “1/2”, por representar las concentraciones más relevantes desde el punto de vista experimental y analítico. En consecuencia, la siguiente tabla presenta una síntesis de los resultados porcentuales correspondientes a dichas diluciones:

Tabla 2

Porcentaje de Muestras por nivel de Fluorescencia según almacenamiento – Dilución natural y dilución 1/2

Día	Condición	Intensa (160.569– 239.292)	Visibles (81.848– 160.568)	Poco visible (3125– 81847)
Día 1	Abierto	37,5%	12,5%	50%
Día 1	Cerrado	37,5%	12,5%	50%
Día 23	Abierto	37,5%	12,5%	50 %
Día 23	Cerrado	50%	37,5%	12,5%
Día 78	Abierto	0%	50%	50%
Día 78	Cerrado	75%	25%	0%

Integración de Datos Meteorológicos (Ver Anexo Tabla 7, página 83)

- **Día 1 (15 de agosto de 2024):** 52 % de nubosidad, 47 % de humedad, temperatura entre 10,8 y 22,5 °C, radiación solar moderada, sin precipitación significativa (0,1 mm). Las distribuciones iniciales de fluorescencia fueron similares (25 % de intensidad en ambas condiciones), lo que indica un impacto ambiental inmediato mínimo.
- **Día 23 (5 de septiembre de 2024):** 100 % de nubosidad, humedad del 66 %, temperatura de 13 a 22 °C, alta precipitación (94 mm). El almacenamiento cerrado mostró una mayor proporción de muestras de Intensa (37,5 % frente al 31,25 % abierto), lo que sugiere que la protección contra la humedad preservó la fluorescencia, lo que respalda la Hipótesis 1.
- **Día 78 (31 de octubre de 2024):** 50 % de nubosidad, 50 % de humedad, temperatura entre 19 °C y 31 °C, sin precipitaciones. El almacenamiento cerrado mantuvo un 50 % de muestras de Intensa, mientras que el almacenamiento abierto redujo el 12,5 % de Intensa, con un 56,25 % de Poco Visible, lo que confirma una degradación acelerada debido a la exposición ambiental (radiación solar, fluctuaciones de humedad).

Tabla 3

Factores ambientales intervinientes en condiciones cerradas y abiertas

CONDICIÓN	TEMP MAX	TEMP MIN	RADIACIÓN SOLAR	HUMEDAD	PRECIPITA CIONES
<i>ABIERTO 15/8/24</i>	22,5°	10,8°	52%	47%	0,1 mm
<i>CERRADO 15/08/24</i>	20°	16°	0%	40%	0 mm
<i>ABIERTO 05/09/24</i>	22°	13°	66%	90%	94,00 mm
<i>CERRADO 05/09/24</i>	21°	17°	0%	80%	0 mm
<i>ABIERTO 31/10/24</i>	31°	19°	50%	50%	0 mm
<i>CERRADO 31/10/24</i>	26°	22°	0%	43%	0 mm

Observaciones:

Factores ambientales

- *Radiación solar*

Los días con baja cobertura de nubes (por ejemplo, 17 de agosto, 4% de nubosidad; 26 de agosto, 0% de nubosidad) probablemente aumentaron la exposición a rayos UV en condiciones abiertas, acelerando la pérdida de fluorescencia:

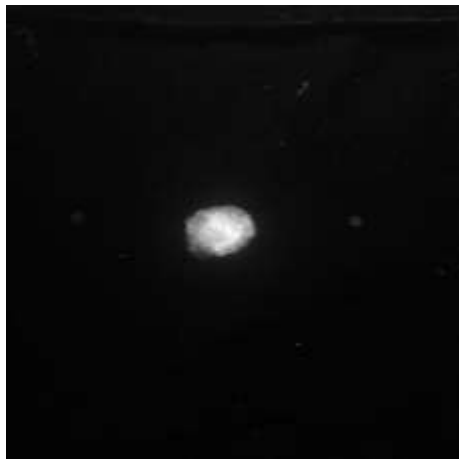
Figura 24

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 1 (220.843, Intensa) y Día 78 (149.650, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde.

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

220.843– *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

149.650– *Visible*

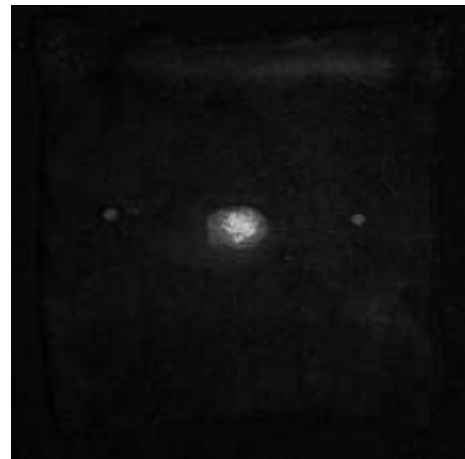


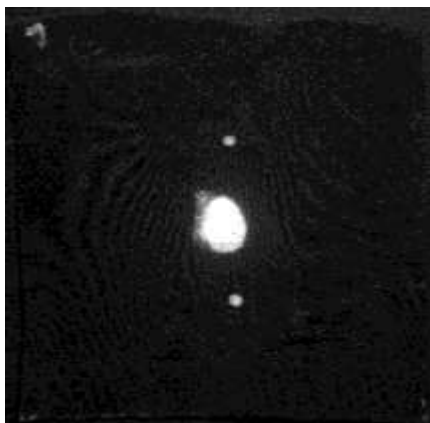
Figura 25

Fluorescencia en Licra Negro, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 23 (228.853, Intensa) y Día 78 (153.848, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

228.853– *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

153.848– *Visible*

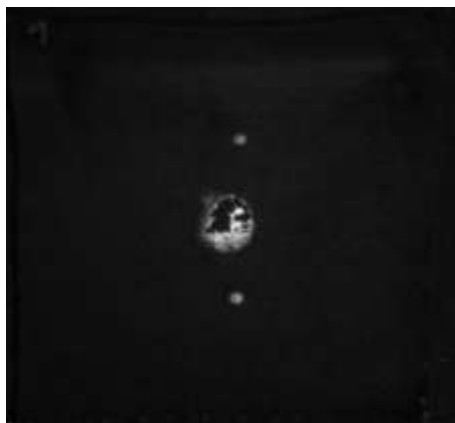


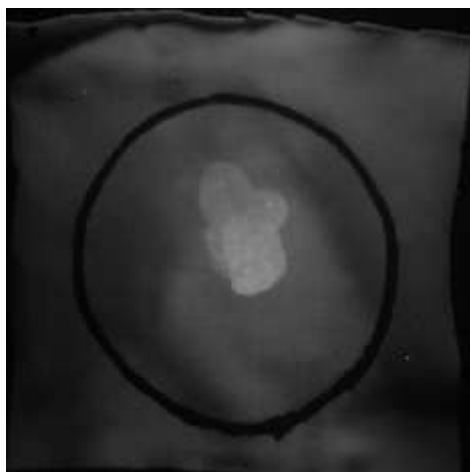
Figura 26

Fluorescencia en Licra Blanco, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 23 (84.394 - Visible) y Día 78 (62.817 - Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

84.394 – *Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

62.817– *Poco Visible*

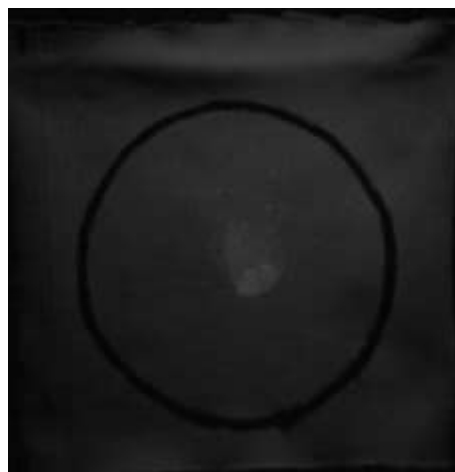


Figura 27

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 1 (188.272 - Intensa) y Día 78 (51.421 - Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

188.272 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

51.421 – *Poco Visible*

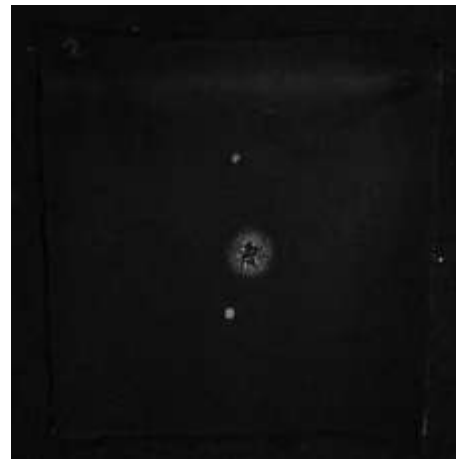


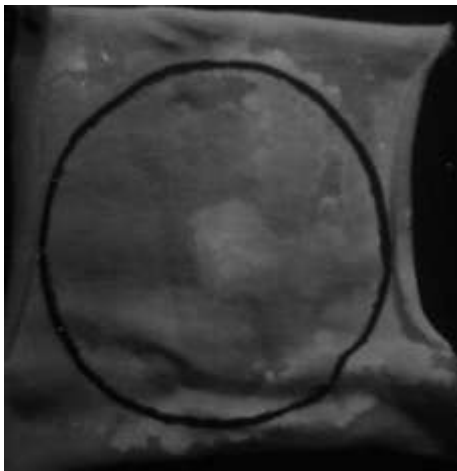
Figura 28

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 23 (47.868 - Poco Visible) y Día 78 (24.689 - Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

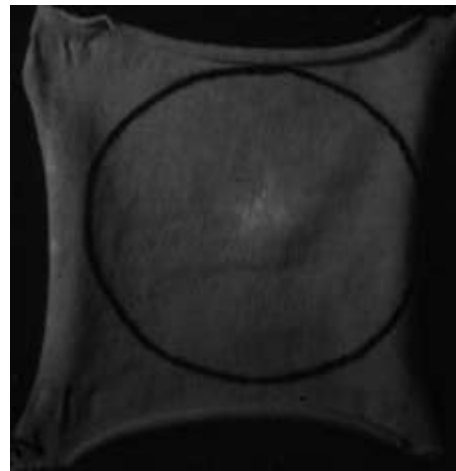
DIA 23 (05/09/2024)

47.868 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

24.689 – *Poco Visible*



Discusión: La luz solar, especialmente la radiación ultravioleta, puede dañar los fluoróforos presentes en las muestras de semen, debilitando su capacidad de emitir fluorescencia (Montoya, Treviño, Darszon y Corkidi, 2017). Esta radiación puede romper o alterar dichas moléculas y favorecer mecanismos como el **quenching**, donde la energía del fluoróforo se transfiere a moléculas “quenchers” y se disipa como calor, **impidiendo la emisión luminosa**. Como resultado, **las muestras expuestas al sol tienden a mostrar menor fluorescencia que aquellas conservadas en condiciones cerradas**, donde se evita tanto la degradación por radiación como la acción de quenchers.

Humedad

Los días de alta humedad (p. ej., 20-21 de agosto, 85-90 %, 20 mm de precipitación) se correlacionaron con una fluorescencia reducida en condiciones abiertas, especialmente para la licra. El almacenamiento en recinto cerrado mitigó este efecto, como se observó en el algodón blanco (Ver ilustración 26).

Figura 29

Fluorescencia en Licra Negro, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 1 (203.008, Intensa) y Día 78 (153,848, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

203.008– *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

153.848 - *Visible*

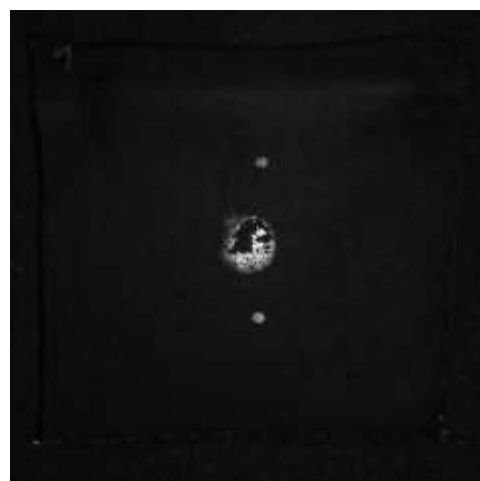


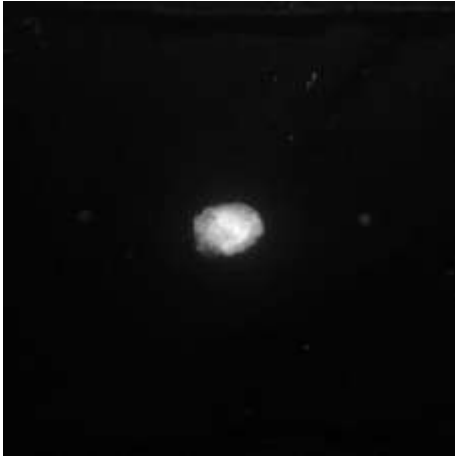
Figura 30

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 23 (190.541, Intensa) y Día 78 (149.650, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

190.541 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

149.650 - *Visible*

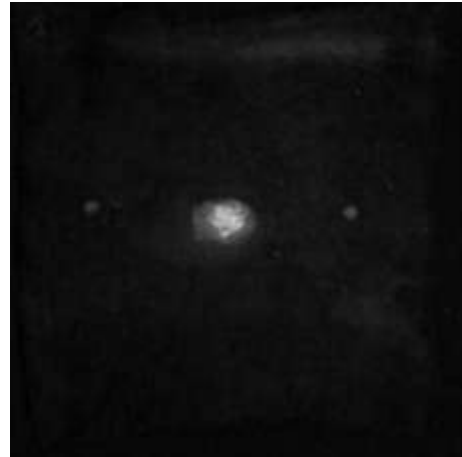


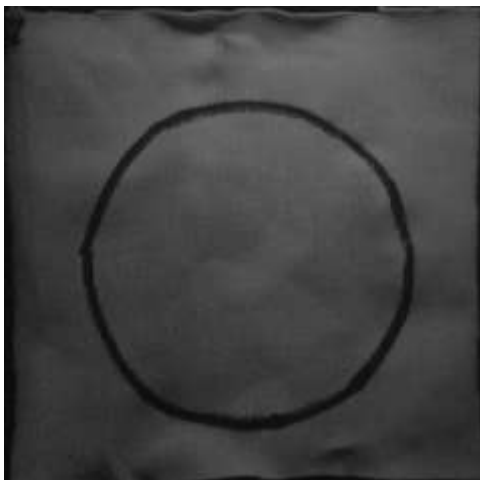
Figura 31

Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 23 (26.552, Poco Visible) y Día 78 (7.077, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

26.552 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

7.077 – *Poco Visible*

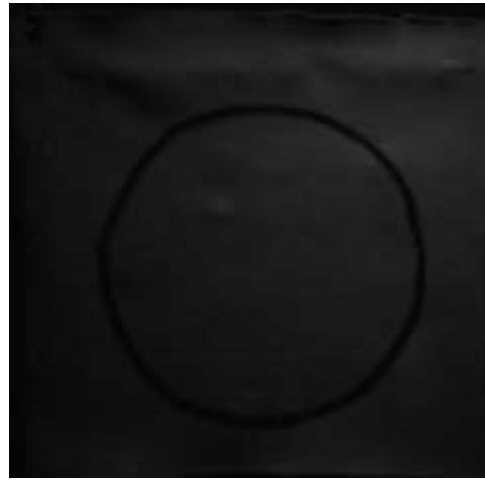


Figura 32

Fluorescencia en Licra Blanco, Dilución 1/2, Condiciones cerradas, Día 1 (28.117, Poco Visible) y Día 78 (108.621, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

28.117 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

108.621 - *Visible*

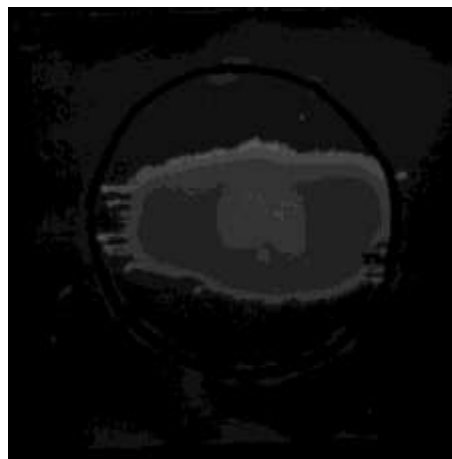


Figura 33

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 23 (118.864, Visible) y Día 78 (178.528, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar cerrado

DIA 23 (05/09/2024)

118.864 – *Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

178.528– *Intensa*



Figura 34

Fluorescencia en Licra negra, Dilución Natural, Condiciones cerradas, Día 23 (191.185, Intensa) y Día 78 (230.406, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar cerrado

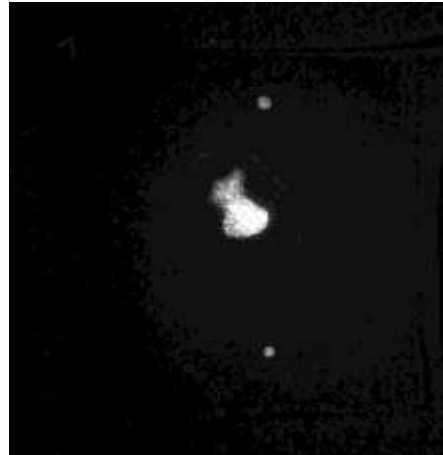
DIA 23 (05/09/2024)

191.185 – Intensa



DIA 78 (31/10/2024)

230.406 – Intensa



Discusión: se observó un aumento en la fluorescencia de todas las telas conservadas en espacios cerrados. Esto se debe a que condiciones estables y con baja humedad favorecen la preservación de las moléculas fluorescentes del semen. Al estar protegidas de factores como la radiación solar, el viento y la humedad relativa, estas muestras mantuvieron o incluso mejoraron su capacidad de emisión. En cambio, en ambientes abiertos, la exposición a la intemperie acelera la degradación molecular, lo que explica la disminución del rango de fluorescencia.

Temperatura

Las fluctuaciones de temperatura (10,8–31 °C) tuvieron un efecto menos pronunciado, pero las temperaturas más altas (por ejemplo, 31 de octubre, 31 °C) pueden haber contribuido a la degradación en condiciones abiertas, especialmente para diluciones bajas.

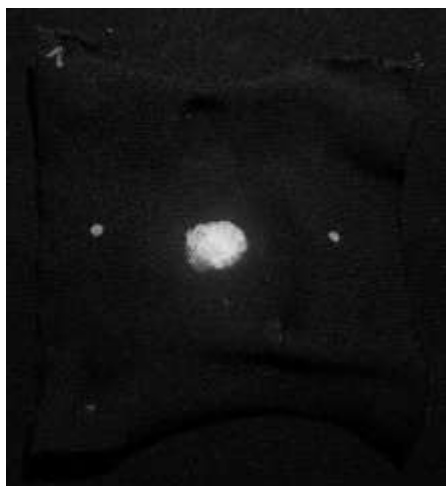
Figura 35

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución Natural, Condiciones abiertas, Día 23 (190.541, Intensa) y Día 78 (149.650, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

190.541 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

149.650 - *Visible*

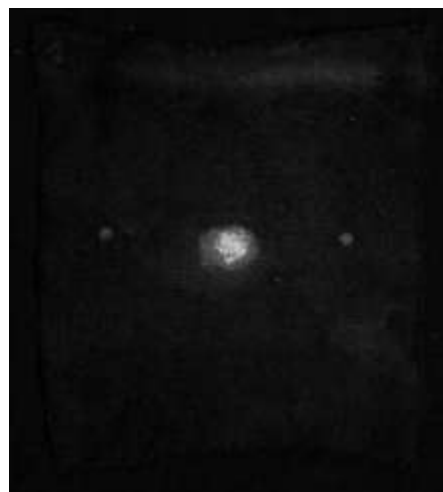


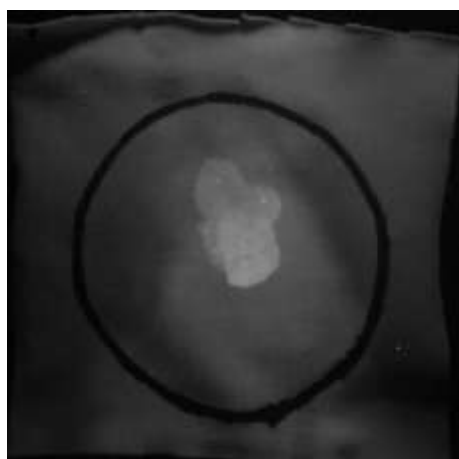
Figura 36

Fluorescencia en Licra Blanco, Dilución Natural, Condiciones abiertas, Día 23 (84.394, Visible) y Día 78 (62.817, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar abierto

DIA 23 (05/09/2024)

84.394 – *Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

62.817 – *Poco Visible*

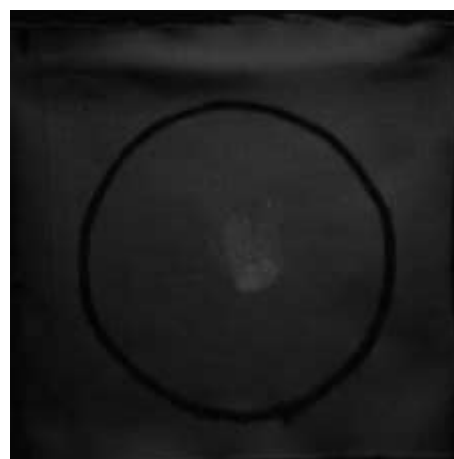


Figura 37

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/2, Condiciones abiertas, Día 1 (188.242, Intensa) y Día 78 (51.421, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 1 (15/08/2024)

188.242 – *Intensa*



DIA 78 (31/10/2024)

51.421 - *Poco Visible*

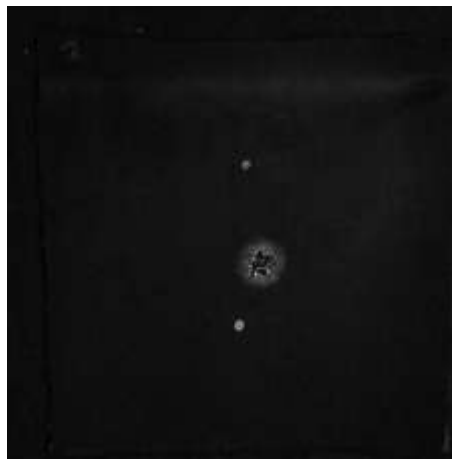


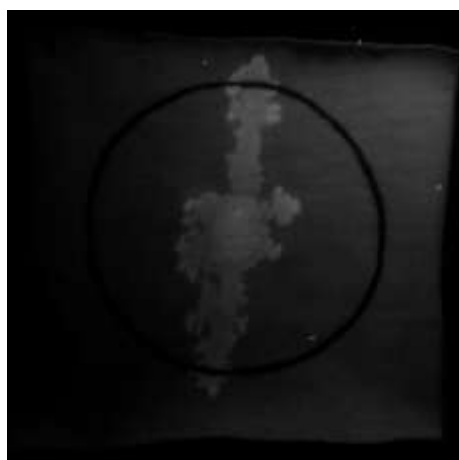
Figura 38

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones cerradas, Día 1 (41.142, Poco Visible) y Día 78 (178.528, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar cerradas

DIA 1 (15/08/2024)

41.142 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

178.258 – *Intensa*

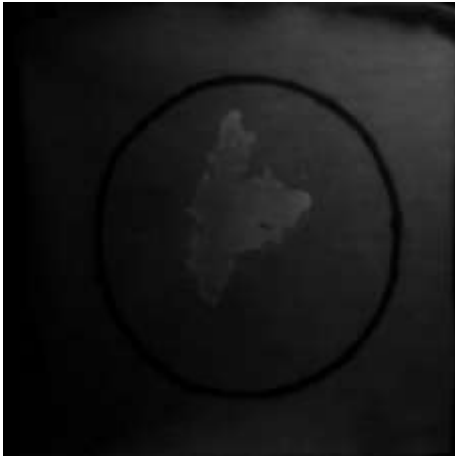


Figura 39

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución 1/2, Condiciones cerradas, Día 1 (27.938, Poco Visible) y Día 78 (186.618, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar Cerrado

DIA 1 (15/08/2024)
27.938 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)
186.618 - *Intensa*



Figura 40

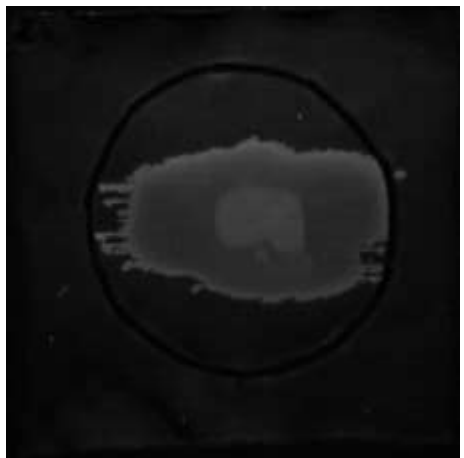
Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución 1/2, Condiciones cerradas, Día 1 (28.117, Poco Visible) y Día 78 (108.621, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar Cerrado

DIA 1 (15/08/2024)
28.117– *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)
108.621– *Visible*



Discusión: Las condiciones ambientales influyeron significativamente en la intensidad de fluorescencia observada. En espacios abiertos, se registró una disminución general, atribuida a la exposición solar y a las elevadas temperaturas. No obstante, en algunas muestras de algodón blanco se evidenció un aumento, posiblemente relacionado con la reflexión de la luz, la presencia de blanqueadores ópticos o una mayor retención del fluoróforo. En contraste, en espacios cerrados, la mayoría de las muestras presentaron un incremento en la fluorescencia, lo que sugiere una mejor preservación del fluoróforo bajo condiciones controladas y sin exposición directa a factores degradantes.

- *Precipitaciones*

El 5 de septiembre se registraron precipitaciones intensas (94 mm), lo que generó alta humedad y exposición directa al agua. En los días posteriores se observó una marcada disminución de la fluorescencia en muestras a la intemperie, especialmente en telas sensibles como la licra. En contraste, las muestras en condición cerrada mostraron un incremento en los valores de fluorescencia, evidenciando el impacto del ambiente abierto sobre la estabilidad del fenómeno.

Figura 41

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución 1/2, Condiciones abiertas, Día 1 (142.612, Visible) y Día 23 (75.163, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar Abierto

DIA 1 (15/08/2024)

142.612– *Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

75.163– *Poco Visible*

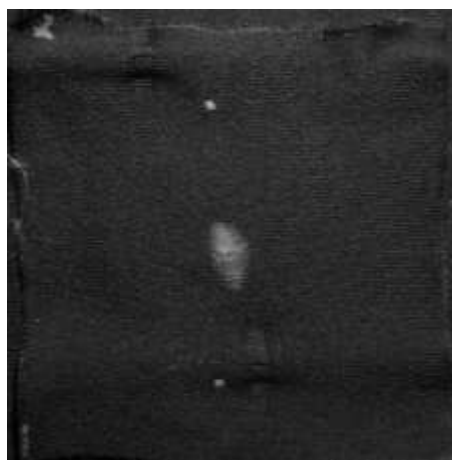


Figura 42

Fluorescencia en Licra Negra, Dilución 1/2, Condiciones abiertas, Día 1 (188.272, Intensa) y Día 78 (51.421, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución 1/2 _ Lugar Abierto

DIA 1 (15/08/2024)

188.272 – Intensa



DIA 78 (31/10/2024)

51.421 – Poco Visible

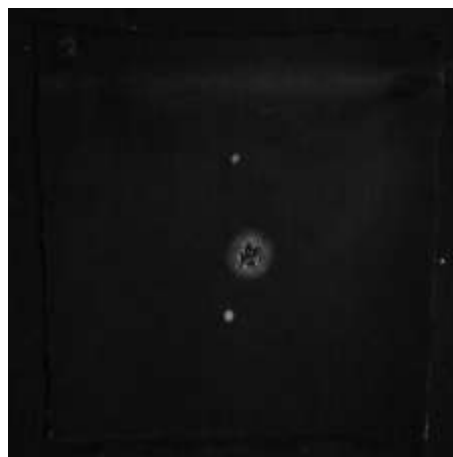


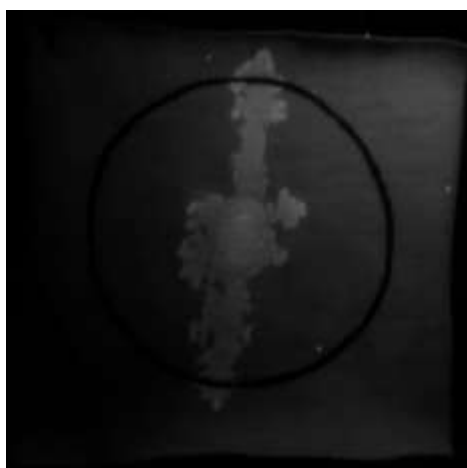
Figura 43

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones Cerradas, Día 1 (41.142, Poco Visible) y Día 78 (178.528, Intensa) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar cerrado

DIA 1 (15/08/2024)

41.142 – Poco Visible



DIA 78 (31/10/2024)

178.528 – Intensa



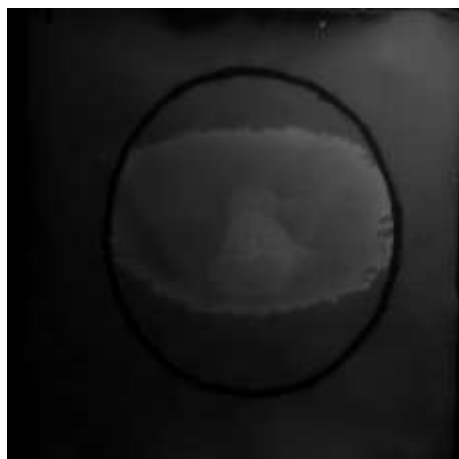
Figura 44

Fluorescencia en Licra Blanca, Dilución Natural, Condiciones cerradas, Día 1 (35.153, Poco Visible) y Día 78 (98.672, Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

Dilución Natural _ Lugar cerrado

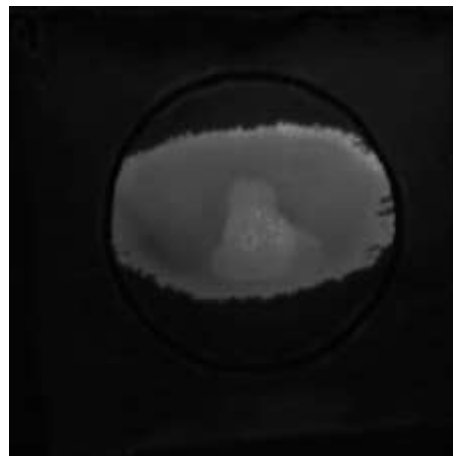
DIA 1 (15/08/2024)

35.153 – *Poco Visible*



DIA 78 (31/10/2024)

98.672 – *Visible*



Discusión: durante el período de análisis se registraron distintos niveles de precipitación, desde días sin lluvia hasta leves rocíos (0,5 mm). La exposición directa a la intemperie pudo haber inducido procesos de degradación en las fibras textiles, afectando su fluorescencia. El 5 de septiembre, con 94 mm de lluvia, se evidenció una caída significativa en los valores de fluorescencia en muestras a la intemperie. Este efecto no se replicó en condiciones cerradas, lo que resalta el impacto directo de las precipitaciones sobre la estabilidad del fenómeno fluorescente.

A modo de representación, se compararon las muestras correspondientes al día **24 de agosto de 2024**, fecha hasta la cual las precipitaciones se manifestaban de manera leve, con las del **5 de septiembre**, donde se registra el primer evento de lluvia intensa, con un índice pluviométrico de 94 mm. Posteriormente a este último, **se evidenció en las telas expuestas en condiciones abiertas una disminución en el rango de fluorescencia**, en comparación con aquellas que no se vieron afectadas directamente por agentes meteorológicos, reflejando así el impacto degradativo de la precipitación sobre los componentes fluorescentes. Esta disminución, observada en la comparación semanal entre registros fotográficos, fue especialmente marcada en las muestras de algodón,

mientras que, a lo largo de la investigación, se demostró que las de licra fueron en general más sensibles a los factores exógenos.

Figura 45

Fluorescencia en Algodón Blanco, Dilución Natural, Condiciones Abiertas, Día 24/08 (105.739, Visible) y Día 05/09 (79.097, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde:

Dilución Natural _ Lugar abierto

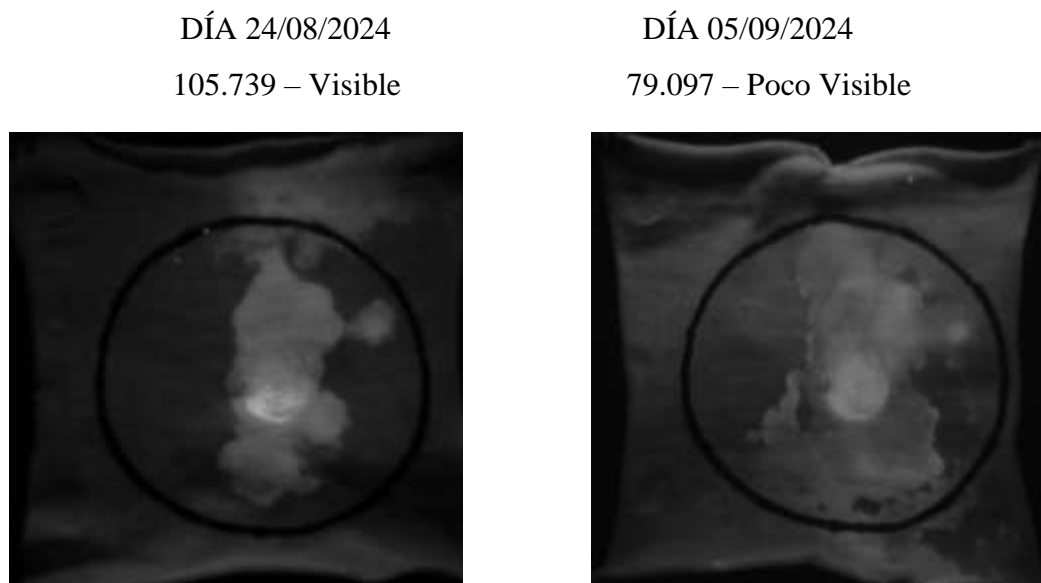


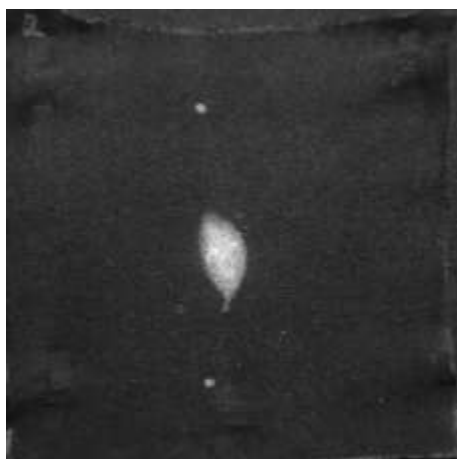
Figura 46

Fluorescencia en Algodón Negro, Dilución 1/2, Condiciones Abiertas, Día 24/08 (212.865, Intensa) y Día 05/09 (75.165, Poco Visible) bajo Luz de 465 nm, Canal Verde

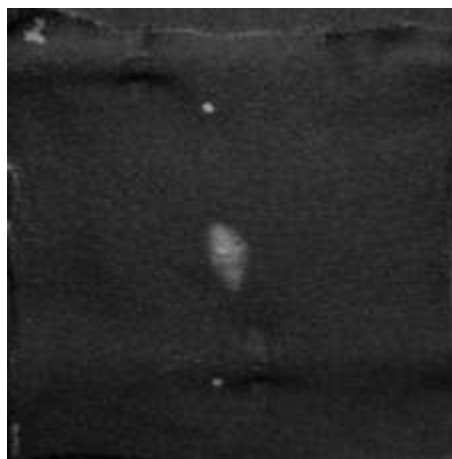
Dilución 1/2 _ Lugar abierto

DIA 24/08/2024	DIA 05/09/2024
----------------	----------------

212.865 – *Intensa*



75.165 – *Poco Visible*



Condiciones de almacenamiento

Para el análisis de las influencias de las condiciones de almacenamiento (abiertas frente a cerradas) en conjunto con los factores ambientales como temperatura, humedad, precipitaciones y radiación solar en la persistencia de la fluorescencia del semen durante 78 días, se seleccionaron únicamente las diluciones "Natural" y "1/2" por representar concentraciones más realistas. La **Hipótesis 1** del estudio postulaba que la fluorescencia sería más persistente en condiciones de almacenamiento cerradas con baja temperatura y humedad en comparación con condiciones abiertas expuestas a la radiación solar.

- **Estado Inicial (Día 1)** Al inicio del estudio, el 15 de agosto de 2024, **no se observaron diferencias significativas en la distribución de la fluorescencia** entre las muestras almacenadas en condiciones abiertas y cerradas, siendo estos resultados una referencia. En ambos casos, el 37,5% de las muestras mostraron fluorescencia "Intensa", el 12,5% "Visible", y el 50% "Poco Visible" [Ver Tabla 5.2]. Esto sugiere que el impacto ambiental inmediato era mínimo, y las condiciones de almacenamiento aún no habían ejercido una influencia diferenciada sobre la fluorescencia del semen.
- Para el **día 23** (5 de septiembre de 2024), se observó una clara divergencia en los niveles de fluorescencia. Mientras que las muestras en **almacenamiento abierto** mantuvieron la distribución inicial (37,5% Intensas, 12,5% Visibles, 50% Poco Visibles), las muestras en **almacenamiento cerrado** mostraron una notable mejora en la preservación de la fluorescencia. En condiciones cerradas,

el porcentaje de muestras "Intensas" aumentó a 50%, las "Visibles" a 37,5%, y las "Poco Visibles" disminuyeron a 12,5% [Ver Tabla 5.2]. Este cambio temprano sugiere que la protección ofrecida por las condiciones cerradas comenzó a mitigar los efectos de factores ambientales como la alta precipitación (94 mm) y humedad (66%) registradas alrededor de esta fecha.

- Al **día 78** (31 de octubre de 2024), la diferencia entre las condiciones de almacenamiento fue drásticamente evidente, confirmando la **Hipótesis 1**.
 - En **almacenamiento abierto**, la fluorescencia experimentó una degradación acelerada. Ninguna de las muestras (0%) permaneció en el rango "Intensa", y la fluorescencia se distribuyó entre 50% "Visible" y 50% "Poco Visible" [Ver Tabla 5.2]. Esta degradación se atribuye a la exposición continua a factores ambientales adversos. La **radiación solar**, especialmente la UV, puede romper las moléculas que producen la señal fluorescente o alterar el contenido de la muestra, reduciendo su intensidad. La **alta humedad** acelera la degradación bioquímica del semen, las **fluctuaciones de temperatura**, especialmente las elevadas (hasta 31 °C el 31 de octubre), también contribuyen a la degradación de los compuestos fluorescentes. Las **precipitaciones** también influyeron en esta degradación: eventos como el del 5 de septiembre (94 mm) intensificaron la pérdida de fluorescencia en muestras expuestas, especialmente en telas sensibles como la licra.
 - Además, es importante destacar que las **muestras abiertas mostraron contaminación (polvo, humedad) desde el día 9**, especialmente en la Licra blanca, lo que **redujo la claridad de la fluorescencia**. Las imágenes ilustrativas de muestras en condiciones abiertas muestran una disminución en la nitidez y la intensidad de la fluorescencia a lo largo del tiempo.
 - En contraste, las muestras en **almacenamiento cerrado** demostraron una **excelente conservación**, con un **75% de las muestras manteniendo niveles de fluorescencia "Intensa" y un 25% "Visible"** [Ver Tabla 5.2], sin muestras "Poco Visibles" (0%). Esto se debe a que las **condiciones estables y de baja humedad en espacios cerrados**

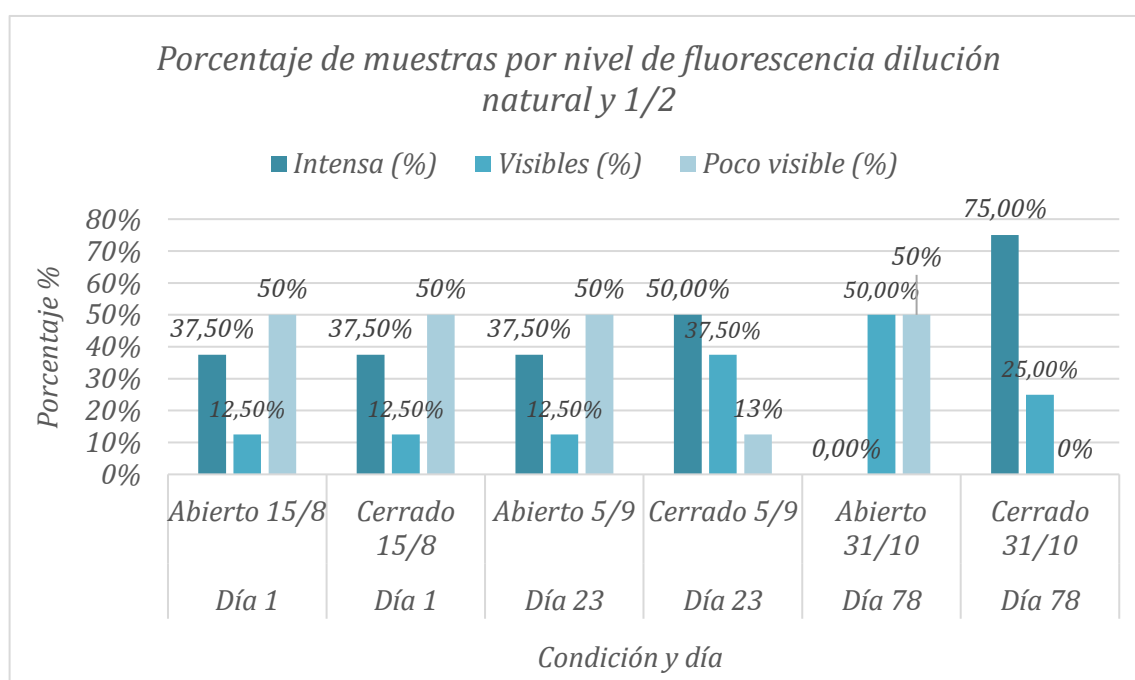
favorecen la preservación de las moléculas fluorescentes del semen, protegiéndose de la degradación directa por factores externos. Las muestras cerradas mantuvieron **contornos de tinción más nítidos**, lo que optimiza la detectabilidad de la evidencia biológica a lo largo del tiempo. Las imágenes de las muestras en condiciones cerradas confirman la persistencia e incluso el aumento de la intensidad fluorescente.

Aunque no se realizaron registros directos de temperatura y humedad relativa en el ambiente cerrado, los valores se estimaron en base a la ausencia de exposición solar directa y climatización artificial, sugiriendo un rango de temperatura entre 16 °C y 26 °C, y una reducción de aproximadamente 10 puntos porcentuales en la humedad relativa con respecto al exterior.

En conclusión, los resultados confirman que el **almacenamiento cerrado es crucial para preservar la fluorescencia del semen**, minimizando la **degradación molecular** causada por la radiación solar, las fluctuaciones de humedad y temperatura, y la **contaminación ambiental** que se observa en las muestras expuestas. Esta preservación a largo plazo es fundamental para la optimización de los protocolos forenses y la recuperación de evidencia biológica en escenarios complejos.

Figura 47

Porcentaje de muestras de semen por nivel de fluorescencia en diluciones natural y 1/2, según condición de almacenamiento y día de observación



Interrelación de variables (Objetivo Específico 3)

Como se estableció previamente, el **tercer objetivo específico** de la investigación está centrado en la *interrelación de variables* y la degradación de la mancha seminal en la dilución natural, por ser de mayor valor representativo para analizar la interrelación entre las variables estudiadas en condiciones experimentales realistas. buscando “**evaluar la interrelación y el efecto combinado del tipo de tela (algodón y licra), el color de la tela (claro/oscuro), y las condiciones de almacenamiento (abierto versus cerrado) en la persistencia y la velocidad de degradación de la fluorescencia del semen en su dilución natural a lo largo del tiempo (78 días), bajo la influencia de factores ambientales como la radiación solar y la humedad, con el fin de corroborar las hipótesis planteadas y optimizar los protocolos forenses para la recuperación de evidencia biológica en escenarios complejos.**”

La persistencia de la fluorescencia del semen está intrínsecamente ligada a la integridad de sus **moléculas fluorescentes**, como la semenogelina, tirosina, triptófano, flavina y colina. Los factores exógenos estudiados, como la **radiación solar, la humedad, las precipitaciones y las fluctuaciones de temperatura**, afectan directamente la **velocidad de degradación de estas moléculas**, comprometiendo la visibilidad de la evidencia.

Tipo de Tela y Color.

- **Algodón vs. Licra:**
 - **Algodón negro** mostró la **fluorescencia inicial más alta** (siendo para ambas condiciones "Intensa"). Al Día 78, en almacenamiento cerrado, el algodón negro mantuvo un nivel "Intensa", mientras que en abierto disminuyó a "Visible". Esto se debe a que el **algodón, por su alta porosidad y absorbancia**, facilita la impregnación y **retención de los fluidos biológicos dentro de sus fibras**, protegiendo mejor las moléculas fluorescentes de la degradación directa por factores externos.

Tabla 4

Nivel de fluorescencia de la tela de Algodón Negro para dilución natural durante los 78 días de investigación para ambas condiciones de almacenamiento

Algodón Negro - Natural		
Fecha	Abierto	Cerrado
15/08/24	Intensa	Intensa
19/08/24	Intensa	Intensa
24/08/24	Intensa	Intensa
05/09/24	Intensa	Intensa
10/10/24	Intensa	Intensa
31/10/24	Visible	Intensa

- **Algodón blanco** por su color claro y la estructura porosa característica de esta fibra natural, presentó los resultados más estables a lo largo del tiempo. La fluorescencia aumentó a "Visible" en condiciones abiertas y a "Intensa" en almacenamiento cerrado. La ausencia de pigmentación oscura en la tela blanca podría favorecer una menor interferencia óptica, permitiendo una mayor visibilidad de la fluorescencia. Además, la capacidad del algodón para absorber y retener fluidos en sus fibras contribuye significativamente a preservar la integridad de las moléculas fluorescentes, incluso en ambientes expuestos.

Tabla 5

Nivel de fluorescencia de la tela de Algodón Blanco para dilución natural durante los 78 días de investigación en ambas condiciones de almacenamiento

Algodón Blanco - Natural		
Fecha	Abierto	Cerrado
15/08/24	Poco Visible	Poco Visible
19/08/24	Visible	Visible
24/08/24	Visible	Visible
05/09/24	Poco Visible	Visible
10/10/24	Visible	Poco Visible
31/10/24	Visible	Intensa

- La **licra negra** con dilución natural también mostró una alta fluorescencia inicial "Intensa". Sin embargo, su **baja porosidad y capacidad de absorción** hacen que el semen se deposite más superficialmente, volviéndolo más susceptible a la degradación. En condiciones abiertas, la licra negra en dilución natural disminuyó de "Intensa" a "Visible" al Día 78, manteniéndose “Intensa” para condiciones cerradas. Esto indica una **velocidad de degradación más rápida en la licra expuesta**, ya que las moléculas fluorescentes están menos protegidas.

Tabla 6

Nivel de fluorescencia de la tela de Licra Negra para dilución natural durante los 78 días de investigación en ambas condiciones de almacenamiento

Licra Negra Natural			
Fecha	Abierto	Cerrado	
15/08/24	Intensa	Intensa	
19/08/24	Intensa	Visible	
24/08/24	Intensa	Intensa	
05/09/24	Intensa	Intensa	
10/10/24	Intensa	Visible	
31/10/24	Visible	Intensa	

La **licra blanca** en condiciones abiertas presentó los valores de fluorescencia más bajos y una rápida disminución de la intensidad, siendo predominante el rango de “Poco Visible” aumentando a “Visible” en las fechas centrales de la investigación, mientras que para condiciones cerradas hubo un incremento hacia el “Visible”. Esta **rápida pérdida de fluorescencia** en licra blanca en abierto es un claro indicativo de una alta velocidad de degradación, confirmando que la baja absorbancia de la licra reduce su capacidad para retener la fluorescencia en ambientes adversos.

Tabla 7

Nivel de fluorescencia de la tela de Licra Blanca para dilución natural durante los 78 días de investigación en ambas condiciones de almacenamiento

Licra Blanca Natural		
Fecha	Abierto	Cerrado
15/08/24	Poco Visible	Poco Visible
19/08/24	Poco Visible	Visible
24/08/24	Visible	Visible
05/09/24	Visible	Visible
10/10/24	Poco Visible	Visible
31/10/24	Poco Visible	Visible

Impacto del Color

Las telas negras (tanto de algodón como de licra) ofrecieron un **mejor contraste visual** bajo luz de 465 nm. Este contraste fue crucial para la detectabilidad práctica en escenarios forenses, ya que el fondo oscuro permite resaltar la emisión de luz de las moléculas fluorescentes.

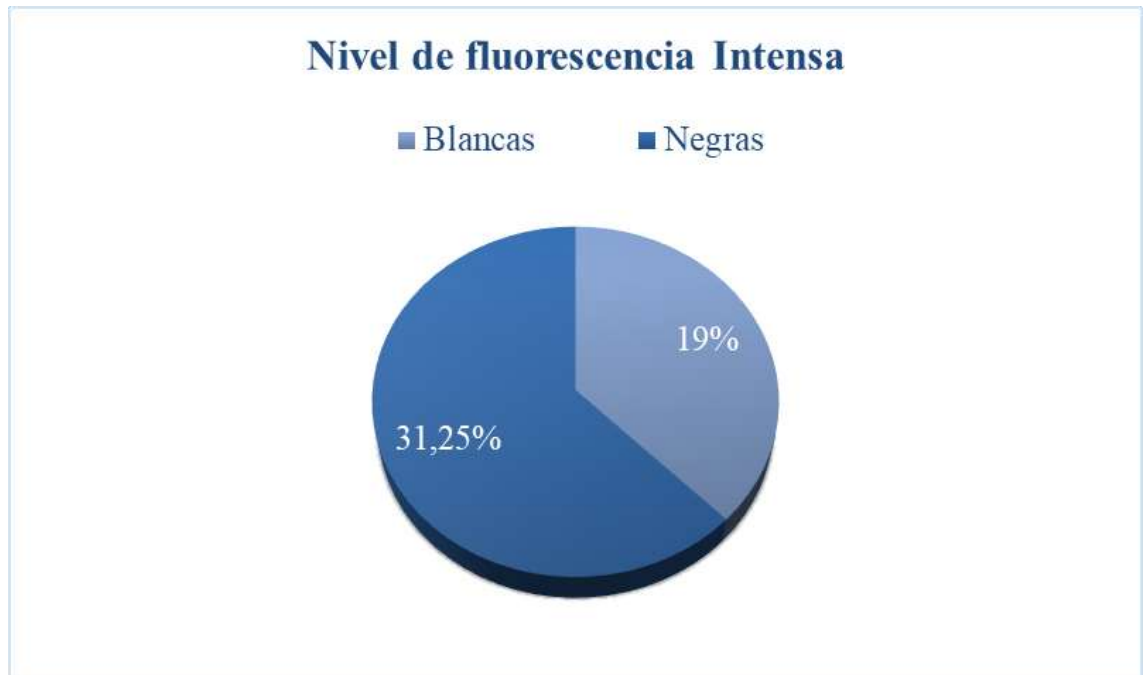
Cuantitativamente, las **telas negras mostraron un porcentaje significativamente mayor de muestras con fluorescencia "Intensa" (31,25%)** en comparación con las telas blancas (19%). En detalle:

- Las telas negras tuvieron el siguiente desglose de niveles de fluorescencia: **43,75% "Poco Visible", 25% "Visible", y 31,25% "Intensa"**.
- Por otro lado, las telas blancas presentaron: **56,25% "Poco Visible", 25% "Visible", y 19% "Intensa"**.

Aunque las telas negras facilitaron la detección visual, la fluorescencia cuantitativa no siempre fue significativamente mayor que la de las telas blancas en todas las condiciones. Esto sugiere que, si bien el color oscuro proporciona un fondo ideal para el contraste, la absorbancia del material (como la del algodón) fue un factor más determinante para la persistencia cuantitativa de la fluorescencia que el color por sí solo, respaldando parcialmente la Hipótesis 2.

Figura 48

Gráfico Nivel de Fluorescencia "Intensa" para telas blancas y negras



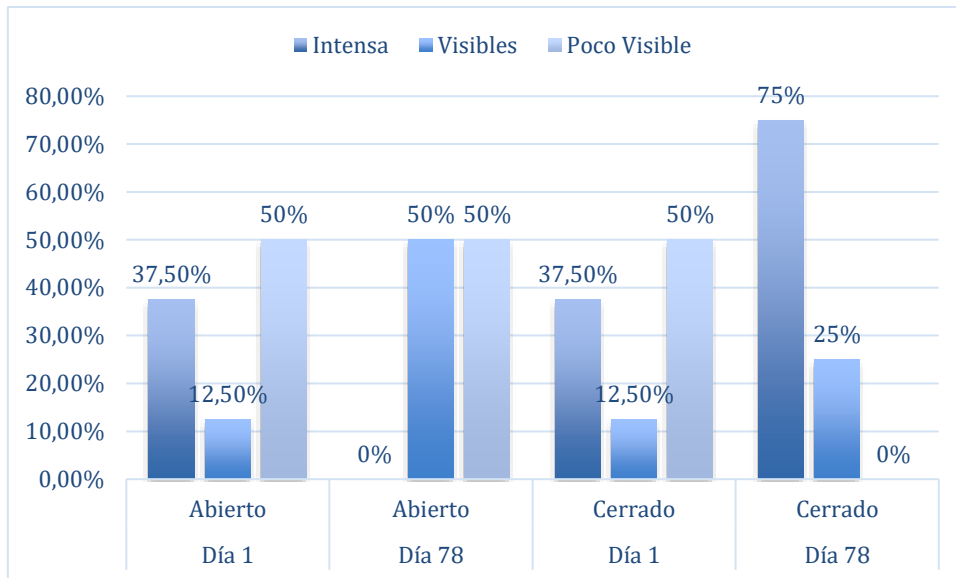
Condiciones de Almacenamiento

Los resultados demuestran consistentemente que el **almacenamiento cerrado preservó la fluorescencia significativamente mejor** para todas las diluciones, y de manera más notable para la dilución natural.

Para las diluciones naturales y 1/2, en el Día 78, el **75% de las muestras en almacenamiento cerrado mantenían niveles de fluorescencia "Intensa"**, en contraste con el 0% en almacenamiento abierto. [Ver Tabla 3.2]

Figura 49

Nivel de fluorescencia según condiciones de almacenamiento para el Día 1 y Día 78



Factores Exógenos

Los factores exógenos estudiados —radiación solar, humedad, precipitaciones y fluctuaciones de temperatura— **interactúan de manera sinérgica para impactar significativamente la detectabilidad y persistencia de la fluorescencia del semen.**

Estos factores influyen directamente en la integridad de las moléculas fluorescentes presentes en el semen, como la semenogelina, tirosina, triptófano, flavina y colina, comprometiendo así la visibilidad de la evidencia forense.

- **En condiciones abiertas**, la exposición combinada a estos elementos conduce a una **degradación molecular acelerada**.
 - La **radiación solar**, especialmente la ultravioleta (UV), **daña directamente los fluoróforos**, rompiendo o alterando las moléculas que producen la señal fluorescente, lo que reduce su capacidad de emisión y puede favorecer mecanismos como el *quenching*.
 - La **alta humedad** y las **precipitaciones** aceleran la degradación bioquímica del semen. Se observó que días con intensa lluvia (ej., 94 mm el 5 de septiembre) provocaron una **marcada disminución de la fluorescencia** en muestras a la intemperie, especialmente en telas sensibles como la licra.

- Las **fluctuaciones y temperaturas elevadas** (hasta 31 °C) también contribuyen a la degradación de los compuestos fluorescentes en condiciones abiertas.

El **efecto acumulativo** de estos factores ambientales adversos resulta en una descomposición progresiva de los componentes seminales, lo que se traduce en una **reducción drástica de la intensidad de la señal** y una pérdida de la fluorescencia "Intensa" en las muestras abiertas para el Día 78.

- **En contraste, el almacenamiento en condiciones cerradas ofrece una protección crucial**, desacelerando significativamente la degradación molecular y favoreciendo la preservación de la fluorescencia.
 - Al **minimizar la exposición directa a la radiación solar, mantener condiciones estables de baja humedad y evitar el contacto directo con precipitaciones**, se preserva mejor la integridad de las moléculas fluorescentes.
 - Este **ambiente controlado** permite que las muestras mantengan o incluso **aumenten su intensidad fluorescente** con el tiempo, posiblemente debido a la estabilización del fluoróforo tras el secado inicial en un entorno protegido. Esto se confirma por el hecho de que el 75% de las muestras en almacenamiento cerrado mantuvieron niveles de fluorescencia "Intensa" al Día 78, a diferencia del 0% en condiciones abiertas.

En síntesis, la protección contra la radiación solar, las fluctuaciones de humedad, las precipitaciones y la temperatura en ambientes cerrados **ralentiza drásticamente la velocidad de degradación molecular**, mientras que la exposición a la intemperie acelera la ruptura de estas moléculas y la consiguiente pérdida de fluorescencia.

Corroboración de las Hipótesis

- **Hipótesis 1 ("La fluorescencia será más persistente en condiciones de almacenamiento cerrado..."): Confirmada.** Los datos de todas las diluciones demuestran que *el almacenamiento cerrado preservó la fluorescencia significativamente mejor que el abierto*. Al Día 78, las diluciones naturales y 1/2 en condiciones cerradas mostraron una alta persistencia ("Intensa"), mientras que en condiciones abiertas la fluorescencia disminuyó a niveles "Visible" o "Poco

Visible". La protección contra la radiación solar y la humedad minimizó la degradación molecular.

- **Hipótesis 2 ("Las telas de algodón exhibirán una mayor intensidad de fluorescencia que las telas de licra..."): Confirmada (con matices por el color).** Las telas de algodón (particularmente las negras) mostraron consistentemente mayor intensidad y persistencia de fluorescencia que la licra en la mayoría de las diluciones y condiciones, especialmente la dilución natural. Esto se atribuye a la mayor capacidad de absorción del algodón, que permite una mejor retención de las moléculas fluorescentes. Si bien las telas negras (ambas) ofrecieron un mejor contraste visual, *la absorción del algodón fue más crucial que el color por sí solo para la persistencia cuantitativa.*
- **Hipótesis 3 ("Las muestras de semen con diluciones más bajas... presentarán una fluorescencia menos detectable..."): Parcialmente Confirmada y Refutada.**
 - **Confirmada:** Las diluciones más bajas (1/4 y 1/8) mostraron una fluorescencia predominantemente "Poco Visible" en todas las telas y en condiciones abiertas, lo que indica que a baja concentración las moléculas fluorescentes son menos abundantes y más difíciles de detectar o se degradan rápidamente a niveles indetectables.
 - **Refutada Parcialmente:** Inesperadamente, en **licra blanca bajo condiciones cerradas**, las diluciones naturales y 1/2 mostraron un aumento hacia niveles "Visible" al Día 78. Esto sugiere que, en condiciones protegidas, incluso en telas con menor absorbancia (licra) y concentraciones moderadas, la preservación de las moléculas fluorescentes puede ser mayor de lo anticipado, permitiendo una detectabilidad que mejora con el tiempo en ausencia de factores degradantes. Este hallazgo es crucial para reconsiderar la persistencia en escenarios de almacenamiento óptimos.

Capítulo 6 - Conclusiones

Conclusión del Objetivo General

Objetivo general: *Determinar cómo influyen el tipo de tela (algodón y licra), el grado de dilución del semen, los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) y las condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) en la detectabilidad de la fluorescencia del semen mediante luces forenses durante el período agosto-octubre de 2024.*

Los resultados obtenidos permiten concluir que la detectabilidad de la fluorescencia del semen mediante luces forenses está significativamente condicionada por múltiples variables interrelacionadas. En primer lugar, el tipo de tela influye de forma decisiva: **el algodón, especialmente las negras**, por su estructura porosa y mayor capacidad de absorción, **presenta una fluorescencia más persistente que la licra**, especialmente en condiciones ambientales adversas. En segundo lugar, **las diluciones naturales y 1/2 mostraron mejores niveles de fluorescencia a lo largo del tiempo, mientras que las diluciones más bajas (1/4 y 1/8) resultaron en lecturas menos confiables por su rápida degradación**, salvo en ciertos casos protegidos. Asimismo, **los factores ambientales** como la radiación solar, la humedad, precipitaciones y las temperaturas elevadas **aceleran la pérdida de fluorescencia en ambientes abiertos**, mientras que las condiciones de **almacenamiento cerrado favorecieron su preservación**, mostrando aumentos notables de intensidad en varias muestras. En conjunto, estos hallazgos subrayan la importancia de controlar las variables ambientales y de almacenamiento en el análisis forense, y demuestran que la combinación de algodón oscuro, diluciones altas y ambientes cerrados optimiza la detectabilidad de la fluorescencia seminal con fines probatorios.

Conclusión del Objetivo Específico 1

Objetivo 1: *Comparar la fluorescencia del semen en telas de algodón y licra según diferentes grados de dilución (natural, 1/2, 1/4, 1/8), considerando la variabilidad en el color.*

Conclusión:

La comparación entre telas de algodón y licra permitió establecer diferencias claras en cuanto a la intensidad y persistencia de la fluorescencia. **El algodón, especialmente el de color negro, mostró consistentemente los niveles más altos de fluorescencia** desde el inicio del estudio y una mayor capacidad de conservación a lo largo del tiempo. **La licra, por su baja absorbancia, mostró una fluorescencia menos intensa, especialmente en color blanco y bajo condiciones abiertas.** En cuanto a la dilución, **las muestras naturales y 1/2 ofrecieron resultados significativamente más altos y estables en comparación con las diluciones 1/4 y 1/8**, que en la mayoría de los casos fueron clasificadas como Poco Visibles o incluso indetectables. Además, el color de la tela influyó en el contraste visual bajo luz forense, con una ventaja práctica para las telas negras en la observación cualitativa. En resumen, el tipo de tela, la dilución y el color son variables determinantes para la eficacia de la detección forense del semen mediante fluorescencia.

Conclusión del Objetivo Específico 2

***Objetivo 2:** Analizar el impacto de los factores ambientales (temperatura, humedad, radiación solar) y las condiciones de almacenamiento (abierto y cerrado) sobre la persistencia y detectabilidad de la fluorescencia del semen en diferentes tipos de tejidos.*

Conclusión:

El análisis ambiental evidenció que las condiciones climáticas influyen notablemente en la persistencia de la fluorescencia. En **espacios abiertos**, la exposición a la radiación solar, especialmente la ultravioleta, combinada con la humedad ambiental y las variaciones de temperatura, **aceleró la degradación de los compuestos fluorescentes del semen**. Por el contrario, **en condiciones de almacenamiento cerrado**, donde la radiación y la humedad se mantuvieron bajo control, **se observó una mayor preservación e incluso intensificación de la fluorescencia con el paso del tiempo**. Este patrón fue consistente tanto en algodón como en licra, aunque con una mejor respuesta general en el primero. En particular, los datos del Día 78 mostraron que el 75 % de las muestras en ambientes cerrados conservaron fluorescencia Intensa, frente al 0 % en condiciones abiertas. Por lo tanto, se confirma que **las condiciones de almacenamiento juegan un rol crítico en la eficacia de la detección forense, siendo el almacenamiento cerrado una estrategia indispensable para preservar la evidencia biológica.**

Conclusión del Objetivo Específico 3

Objetivo 3: *Evaluar la interrelación de todas las variables.*

Conclusión:

La interrelación entre tipo de tela, color, dilución, factores ambientales y condiciones de almacenamiento mostró un efecto combinado sobre la intensidad y la persistencia de la fluorescencia del semen. El análisis integral reveló que el *algodón negro con dilución natural y almacenado en condiciones cerradas ofreció el mejor rendimiento en términos de intensidad y conservación de la fluorescencia*, mientras que *la licra blanca en dilución baja y expuesta a condiciones abiertas mostró los peores resultados*. Se demostró que las condiciones ambientales adversas, aceleran la degradación de los fluoróforos del semen en ambientes abiertos. Por otro lado, las **condiciones de almacenamiento cerrado resultaron ser cruciales**, preservando significativamente la fluorescencia y, en algunos casos, incluso **intensificándola con el tiempo**, al proporcionar un ambiente estable con baja humedad y protección contra factores degradantes.

Este estudio no solo **validó las hipótesis planteadas** —confirmando que la fluorescencia es más persistente en condiciones cerradas y que las telas de algodón exhiben mayor intensidad que la licra (con matices por el color)— sino que también ofreció una refutación parcial a la hipótesis sobre la baja detectabilidad de diluciones más bajas en condiciones protegidas. Los resultados obtenidos proporcionan **información práctica fundamental para la mejora de los protocolos forenses** de búsqueda y preservación de evidencia seminal en diversos escenarios.

Capítulo 7 – Recomendaciones

Con base en los hallazgos obtenidos, las limitaciones identificadas y las proyecciones del estudio, se proponen las siguientes recomendaciones orientadas a futuras investigaciones y aplicaciones forenses:

1. **Integración con métodos bioquímicos:** se sugiere complementar el uso de luces forenses con pruebas bioquímicas o inmunológicas, como la detección del antígeno prostático específico (PSA), para aumentar la sensibilidad y precisión en la identificación de restos biológicos, especialmente en casos con muestras degradadas o altamente diluidas.
2. **Diversificación del diseño experimental:** se recomienda ampliar el estudio a otros tipos de telas (como poliéster o seda), condiciones ambientales extremas (temperaturas elevadas, congelación), y contextos reales (por ejemplo, prendas obtenidas de investigaciones forenses), a fin de validar y generalizar los resultados obtenidos.
3. **Evaluación del dispositivo lumínico artesanal:** se propone someter el prototipo desarrollado a pruebas comparativas con dispositivos comerciales en laboratorios certificados. Esta evaluación permitiría estandarizar su diseño y fomentar su uso en ámbitos con recursos limitados.
4. **Incorporación de nuevos factores de degradación:** se aconseja incluir en futuras investigaciones variables como la inmersión en agua, el lavado de las prendas con distintos agentes químicos (detergentes, soluciones oxidantes, etc.), y la exposición prolongada a luz artificial o ambiental, para obtener una visión más completa del comportamiento de la fluorescencia bajo condiciones diversas.

Referencias Bibliográficas

- Argentina. (1991). *Código Procesal Penal de la Nación* (Ley 23.984). Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de: <https://www.argentina.gob.ar/normativa>
- Argentina. (1999). Ley N.º 25.087: Modificación del Código Penal en lo relativo a los delitos contra la integridad sexual. Boletín Oficial de la República Argentina. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/ley-25087-57556/texto>
- Asociación Médica Mundial. (2013). Declaración de Helsinki: Principios éticos para la investigación médica en seres humanos. <https://www.wma.net>
- Bouvet, B. R., Paparella, C. V., Ombrella, A. M., y Pavesi, A. B. (2017). Marcadores bioquímicos de plasma seminal y su aplicación en el laboratorio forense. Universidad Nacional de Rosario.
- Ccaza Zapana, J. (2012). *Criminalística: Ciencia empírica e interdisciplinaria*. Editorial Jurídica.
- Código Penal de la Nación Argentina. (última actualiz.). Artículos 119 y 120. Recuperado de <https://www.argentina.gob.ar/normativa/nacional/codigo-penal-3399/texto>
- Código Procesal Penal de la Nación Argentina, Ley N.º 23.984. (1991). Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar>
- Código Procesal Penal de la Provincia de Entre Ríos, Ley N.º 9754 (texto ordenado por Ley N.º 10.049). (2011). Boletín Oficial de la Provincia de Entre Ríos. <https://www.entrerios.gov.ar>
- Cortés, M. E., y Iglesias, M. (2005). Generalidades sobre metodología de la investigación. Recuperado de: https://d1wqtxts1xzle7.cloudfront.net/59872336/metodologia_investigacion20190626-97388-1y3j3dd-libre.pdf?1561564868=&response-content-disposition=inline%3B+filename%3DUNIVERSIDAD_AUTONOMA_DEL_CARME_N_Coleccio.pdf&Expires=1745617329&Signature=NoX62r~KQdAj37MAxApxxLvVeQqkEgbf-55VACS0eGLF6VamxfWXBXoxwbWNFVGMwoIbZmewANxjdR6IKpYdtTHHdgMD1ibF5LrdBptoL50J5kY0OTBuuSDJkeU9qMoKWaih02Kf7zBN2ZiFfCRJu-ExoPftzP5SmRPJUQQWX5~7RimdqQq4K64SQrcU8vXrk7sytxFP8CiPJLexpn~aRQeiOUVJAhdET7sN3SYp~H32~Y-f~W47AVUwpZxqVfwR7oQf-

[nAIN9YZe2Vv9NKXJd9HEBKG2nIhHrvX9JhR8TDlMIOyE0gnBop98AVVjBhXCBfH7CkieD7LTgQ7PWfbg &Key-Pair-Id=APKAJLOHF5GGSLRBV4ZA](https://hdl.handle.net/20.500.13053/6230)

Delgado Arriola, D. (2022). “El tiempo como factor determinante para establecer la presencia de restos de espermatozoides humanos en muestras biológicas en la dirección de criminalística PNP Lima 2017-2020”. Universidad Privada Norbert Wiener. Recuperado en: <https://hdl.handle.net/20.500.13053/6230>

Gallegos, M. (2009). Desarrollo de un sistema de planificación para telas licra, algodón y poliéster. Universidad Técnica de Ambato.

Gómez Hernández, I. J., Quiñonez Recinos, P. y Ovalle Morales, A. L. (2018). Comparación de Técnicas de Luz Azul y Luz Ultravioleta en Textiles. Guatemala: Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala. Recuperado de: <https://www.inacif.gob.gt/index.php/publicaciones/k2-blog/item/17-comparacion-de-tecnicas-de-luz-azul-y-luz-ultra-violeta-en-textiles>

Gómez Hernández, M. A., Quiñonez Recinos, S. P., yOvalle Morales, A. L. (2018). *Comparación de técnicas de luz azul y luz ultravioleta en textiles*. Instituto Nacional de Ciencias Forenses de Guatemala (INACIF). Recuperado de <https://www.inacif.gob.gt/index.php/publicaciones/k2-blog/item/17-comparacion-de-tecnicas-de-luz-azul-y-luz-ultra-violeta-en-textiles>

Gómez Silva, J. (2016). Biología forense: Principios y aplicaciones. Editorial Científica.

Gonzalez, R. C., yWoods, R. E. (2018). Digital Image Processing (4th ed.). Pearson. Recuperado de: <https://www.cl72.org/090imagePLib/books/Gonzales,Woods-Digital.Image.Processing.4th.Edition.pdf>

Haro, J., yVaca, R. (2011). Propiedades químicas y físicas del algodón. *Journal of Textile Science*, 15(3), 45-50.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., yBaptista Lucio, P. (2014). Metodología de la investigación (6^a ed.). McGraw-Hill.

Karadayı, Ş., Karadayı, B., Öner, D., yÇetin, G. (2020). Evaluación de la relación entre la detectabilidad de manchas seminales en telas lavadas y la edad de la mancha. *Medicina, Ciencia y Derecho*, 0(0), 1-10. <https://doi.org/10.1177/0025802421992916>

- Laverde-Angarita, J., yClavijo-Bolivar, I. (2015). Influencia de soportes y tiempo en fluidos biológicos con luces forenses. *Revista Colombiana de Criminalística*, 10(2), 23-30.
- Ley N.º 10.199, Ejercicio Profesional en Criminalística, Caligrafía Pública y Accidentología Vial. (2009). Boletín Oficial de la Provincia de Entre Ríos. <https://www.entrierios.gov.ar>
- Ley N.º 25.087, Modificación del Código Penal sobre Delitos contra la Integridad Sexual. (1999). Boletín Oficial de la República Argentina. <https://www.boletinoficial.gob.ar>
- Mangisch, A., ySaciuk, P. (2022). Aplicación de luces forenses para la detección de fluidos biológicos en prendas textiles. Universidad Autónoma de Entre Ríos.
- Marin, N., Buszka, J., yWilson, R. (2013). Luminiscence in forensic analysis. *Journal of Forensic Sciences*, 58(2), 7-12. <https://doi.org/10.1111/1556-4029.xxxx>
- Miessler, G. L., Fischer, P. J., yTarr, D. A. (2017). *Principles of inorganic chemistry* (5th ed.). Pearson.
- Ministerio de Justicia y Derechos Humanos de Argentina. (2023). Encuesta de Prevalencia de Violencia. (Hipotética, ajustar según fuente real). <https://www.argentina.gob.ar/justicia>
- Ministerio de las Mujeres, Géneros y Diversidad de la Nación, yCentro de Estudios de Población (CENEP). (2021). *Encuesta de prevalencia de violencia contra las mujeres en Argentina*. [Informe Final]. Disponible en: <https://www.argentina.gob.ar/generos/encuesta-de-prevalencia-de-violencia-contra-las-mujeres>
- Montiel, J., ySosa, C. (1996). Introducción a la criminalística. Editorial Jurídica Argentina.
- Montoya, F., Treviño, C. L., Darszon, A., yCorkidi, G. (2017). Determinación del error en la medición de fluorescencia 2D del flagelo de espermatozoide humano durante su batido 3D. *Memorias Del Congreso Nacional De Ingeniería Biomédica*, 2(1), 100–103. Recuperado a partir de: <http://memoriascnib.mx/index.php/memorias/article/view/70>
- Muñiz Mcaleer, J., Pérez, L., yGarcía, M. (2023). Metodologías para la identificación de fluido seminal. *Boletín Galego de Medicina Legal y Forense*, 29(1), 15-22.
- Naciones Unidas. (1979). Convención sobre la Eliminación de Todas las Formas de Discriminación contra la Mujer (CEDAW). <https://www.un.org/womenwatch/daw/cedaw>

- Naciones Unidas. (1999). Manual sobre la Investigación y Documentación Efectiva de la Tortura y Otros Tratos o Penas Crueles, Inhumanos o Degradantes (Protocolo de Estambul). Oficina del Alto Comisionado para los Derechos Humanos. <https://www.ohchr.org>
- Naciones Unidas. (2017). Directrices para la Investigación de Delitos Sexuales. (Hipotética, ajustar según fuente real). <https://www.un.org>
- ONU Mujeres. (2020). *Basta de violencia contra la mujer, dice la ONU en la jornada internacional contra ese flagelo*. Noticias ONU. Recuperado de <https://news.un.org/es/story/2020/11/1484692>
- Provincia de Entre Ríos. (2009). *Ley N.º 10.199: Ejercicio profesional de la criminalística, calígrafo público y accidentología vial*. Boletín Oficial de la Provincia de Entre Ríos. Recuperado de <https://www.senadoer.gob.ar/ley/ley-n-10199/>
- Saferstein, R. (2015). *Criminalistics: An Introduction to Forensic Science* (11th ed.). Pearson Education. (Incluye capítulos sobre detección de semen y técnicas de iluminación forense)
- Sosa, C. (2020). *Ciencia forense: Principios y aplicaciones*. Editorial Forense.
- White, P. C. (Ed.). (2010). *Crime Scene to Court: The Essentials of Forensic Science* (2nd ed.). Royal Society of Chemistry. (Referente internacional sobre técnicas de fluorescencia en evidencia biológica)

Anexo

Anexo 1: Registro Fotográfico de Muestras

El presente anexo reúne una serie de imágenes representativas correspondientes a las distintas etapas de análisis visual de las manchas seminales sobre las cuatro telas estudiadas (algodón blanco, algodón negro, licra blanca y licra negra). El material fotográfico se organiza en las siguientes categorías:

- Fotografías generales de cada una de las telas, registradas al inicio del experimento.
- Fotografías de detalle tomadas en distintos días de observación, con el fin de ilustrar los cambios visuales a lo largo del tiempo.
- Imágenes capturadas bajo iluminación con luz azul (465 nm) en combinación con filtro anaranjado, para la detección de fluorescencia natural.
- Imágenes procesadas con el canal verde, obtenidas mediante el software “Imagen J.JS” utilizado para el análisis digital del rango de fluorescencia.

Fernández, Y. y Sacconi, C. (2024, 15 de agosto). Anexo I-Registro Fotográfico de Muestras. [Google Drive].

<https://drive.google.com/drive/folders/1ejMNOcFyeGOHn5lIVocurTPB8ThRh3TY?usp=sharing>

Anexo 2: Esquema Técnico del Dispositivo Lumínico

Se presenta un diagrama detallado del dispositivo artesanal de luz azul (465 nm), incluyendo:

- **Componentes:** 3 LEDs de 5V, disipador de aluminio, ventilador para control térmico, fuente de alimentación.
- **Especificaciones:** Rango de emisión (460-470 nm).

Componentes adicionales:

- **Cámara fotográfica:** Motorola G30 (64 MP), fijada en trípode, con filtros anaranjados para resaltar la fluorescencia.
- **Caja de observación:** Estructura negra opaca (50 x 50 x 50 cm) para minimizar interferencias lumínicas externas.

Figura A2-1: Dispositivo lumínico y unidades:



Figura A2- 2: aparato lumínico artesanal

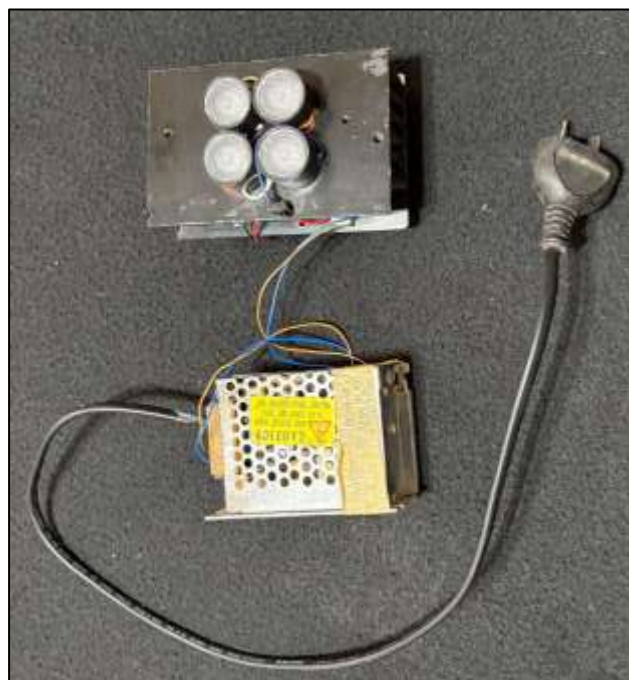


Figura A2- 3:- Soporte de madera



Figura A2- 4: Anverso aparato lumínico



Figura A2- 5: Reverso aparato lumínico



Figura A2- 6: Estructura negra opaca



Figura A2- 7: Filtro barreras anaranjados



Figura A2- 8: Trípode



Figura A2- 9: Trípode



Anexo 3: Tabla de Datos Meteorológicos

Se presenta una tabla con las condiciones climáticas registradas en Oro Verde, Entre Ríos, durante agosto-octubre de 2024, obtenidas de Meteored:

Tabla A3- 1: Datos meteorológicos

DÍAS/FECHAS	RADIACIÓN SOLAR	HUMEDAD	TEMPERATURA	VIENTO	PRECIPITACIONES
DÍA 1: 15/08/24	52% NUBOSIDAD (PARC. NUBL)	47%	22,5° 10,8°	13 KM/H	0,1 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 2: 16/08/24	10% NUBOSIDAD (DESPEJADO)	53,80%	24,3° 12,5°	21 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 3: 17/08/24	4% NUBOSIDAD (DESPEJADO)	66%	22° 15°	22,5 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 4: 18/08/24	53% NUBOSIDAD (PARC NUBL)	70%	18° 13°	31 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 5: 19/08/24	19% NUBOSIDAD (PARC NUBL)	78%	17° 12°	41 KM/H	0,5 MM (LEVE ROCÍO)
DÍA 6: 20/08/24	100% NUBOSIDAD	90%	13° 8°	36 KM/H	20,0 MM (LEVE LLUVIA)
DÍA 7: 21/08/24	100% NUBOSIDAD	85%	13° 11°	37 KM/H	20,0 MM (LEVE LLUVIA)
DÍA 8: 22/08/24	21% NUBOSIDAD	91%	14° 5°	13 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 9: 23/08/24	99% NUBOSIDAD	47%	12° 5°	18 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 10: 24/08/24	25% NUBOSIDAD	46%	14° 6°	30 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 11: 25/08/24	0% NUBOSIDAD	40%	15° 7°	18 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 12: 26/08/24	0% NUBOSIDAD	47%	16° 8°	28 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 13: 27/08/24	0% NUBOSIDAD	55%	18° 10°	20 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 14: 28/08/24	0% NUBOSIDAD	59%	21° 7°	19 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 15: 05/09/24	100 % NUBOSIDAD	66%	22° 13°	30 KM/H	94,00 MM LLUVIA)
DÍA 16: 12/09/24	9% NUBOSIDAD	54%	21° 9°	32 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 17: 19/09/24	23% NUBOSIDAD (PARC NUBL)	36%	27° 14°	29 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 18: 26/09/24	0% NUBOSIDAD	46%	22° 8°	19 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 19: 03/09/24	0% NUBOSIDAD	23%	25° 10°	26 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 20: 10/10/ 24	93% NUBOSIDAD	44%	25,3° 18°	14 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 21: 17/10/24	88% NUBOSIDAD	69%	22° 15°	29 KM/H	34,00 MM
DÍA 22: 24/10/24	58% NUBOSIDAD	65%	26° 15°	31 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)
DÍA 23: 31/10/24	50 % NUBOSIDAD	50%	31° 19°	21 KM/H	0,0 MM (SIN LLUVIA)

- **Columnas:** Días y fechas, Radiación solar (W/m²), (°C), Humedad Relativa (%), Temperatura (°C), Viento (Km/h) y Precipitaciones (mm).
- **Período:** 15 de agosto al 31 de octubre de 2024 (14 días diarios – 9 semanales = 23 días de registro, 78 días en su totalidad).
- **Fuente:** Meteored.

Anexo 4: Tablas de Datos de Fluorescencia

Se incluyen las tablas completas exportadas de Excel con los valores de intensidad de fluorescencia procesados en ImageJ:

Tabla A4- 1: Rangos de fluorescencia:

LUGAR ABIERTO						LUGAR CERRADO					
FECHA	TELA/COLOR	DILUCIONES				FECHA	TELA/COLOR	DILUCIONES			
		1	1/2	1/4	1/8			1	1/2	1/4	1/8
15-ago	algodón blanco	57.608	30.516	24.525	6.023	15-ago	algodón blanco	41.142	27.938	14.953	10.874
	algodón negro	220.843	142.612	76.477	13.403		algodón negro	189.578	110.445	93.276	16.478
	licra blanco	21.562	16.630	9.878	3.125		licra blanco	35.153	28.117	15.641	11.407
	licra negro	203.008	188.272	124.358	43.126		licra negro	176.893	173.175	138.009	13.302
19-ago	algodón blanco	94.249	47.008	44.139	24.835	19-ago	algodón blanco	104.967	73.063	45.561	26.722
	algodón negro	213.825	153.582	107.967	15.112		algodón negro	185.065	173.071	121.615	30.515
	licra blanco	69.867	32.327	13.428	12.401		licra blanco	95.103	43.958	43.326	28.853
	licra negro	216.473	148.991	85.930	80.278		licra negro	149.579	181.908	162.508	17.664
24-ago	algodón blanco	105.739	52.940	37.868	32.904	24-ago	algodón blanco	112.089	115.489	63.195	41.948
	algodón negro	238.400	165.255	110.342	13.678		algodón negro	189.018	169.620	130.479	19.931
	licra blanco	96.486	20.789	25.478	16.371		licra blanco	106.236	52.709	42.125	32.096
	licra negro	226.333	187.512	106.130	29.082		licra negro	170.230	192.426	163.918	18.178
5-sept	algodón blanco	79.097	47.868	48.968	30.671	5-sept	algodón blanco	118.864	133.929	102.648	57.283
	algodón negro	190.541	75.163	115.711	5.647		algodón negro	194.693	169.485	146.740	18.273
	licra blanco	84.394	26.552	57.348	16.544		licra blanco	83.625	61.119	58.300	38.330
	licra negro	228.853	212.865	101.145	35.789		licra negro	191.185	204.635	177.709	21.722
10-oct	algodón blanco	127.326	27.326	34.923	13.704	10-oct	algodón blanco	78.825	112.347	96.112	54.995
	algodón negro	211.220	69.438	30.931	6.118		algodón negro	215.024	125.430	117.004	11.598
	licra blanco	34.954	32.366	22.405	7.723		licra blanco	117.696	43.446	39.237	31.688
	licra negro	221.444	83.177	54.096	34.677		licra negro	141.042	237.044	202.104	8.757
31-oct	algodón blanco	103.343	24.689	33.645	9.975	31-oct	algodón blanco	178.528	186.618	162.425	131.763
	algodón negro	149.650	86.812	48.732	22.913		algodón negro	238.546	192.119	154.954	15.044
	licra blanco	62.817	7.077	19.258	6.669		licra blanco	98.672	108.621	53.900	35.175
	licra negro	153.848	51.421	50.935	23.608		licra negro	230.406	239.292	226.652	33.369

https://docs.google.com/spreadsheets/d/1oPcxalq2B4DKU-FcKPc5TY_JNf1-6M3v/edit?usp=sharing&ouid=104174549405756118629&rtpof=true&sd=true

- **Estructura:** Muestras (1-32).
- Dilución (natural, 1/2, 1/4, 1/8), Día (15/08/24, 19/08/24, 24/08/24, 05/09/24, 10/10/24, 31/10/24).
- Intensidad Promedio: “Poco Visible”: 3.125 a 81.847 – “Visible”: 81.848 a 160.568 - “Intensa”: 160.569 a +
- **Total:** 192 resultados registrados.

Anexo 5: Ejemplos del uso del Software ImageJ:

A continuación, se presentan ejemplos representativos de la utilización del software *ImageJ* para delimitar el rango fluorescente correspondiente a cada una de las telas analizadas. Todas las imágenes se encuentran bajo el mismo criterio metodológico, sin diferencias en el tratamiento, y tienen como fin ilustrar gráficamente la técnica aplicada para definir el rango fluorescente en cada muestra.

Figura A5 - 1

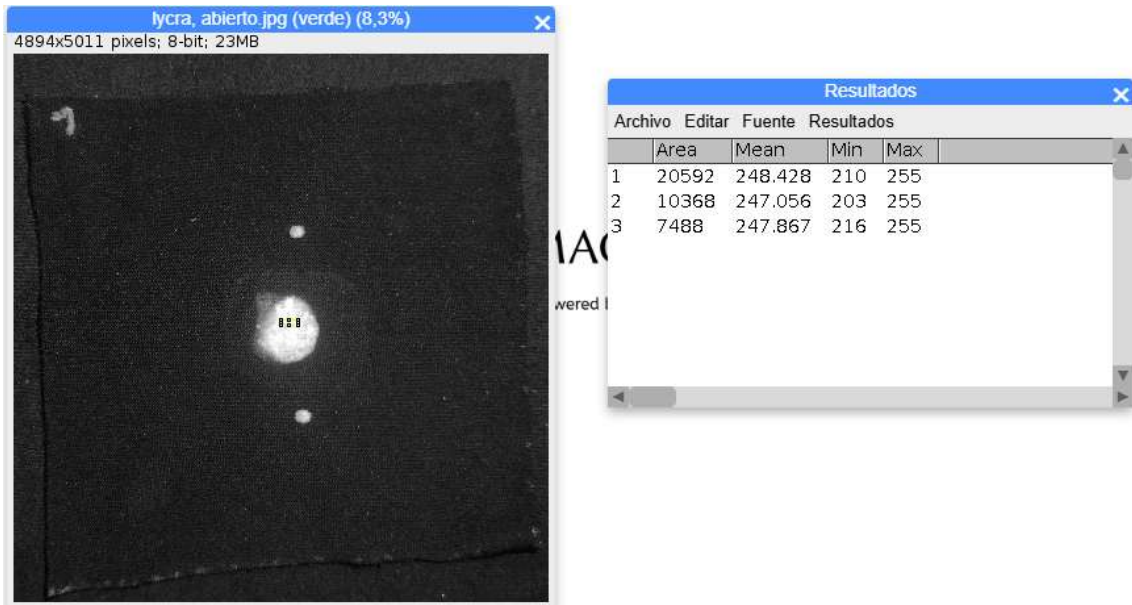


Figura A5- 2

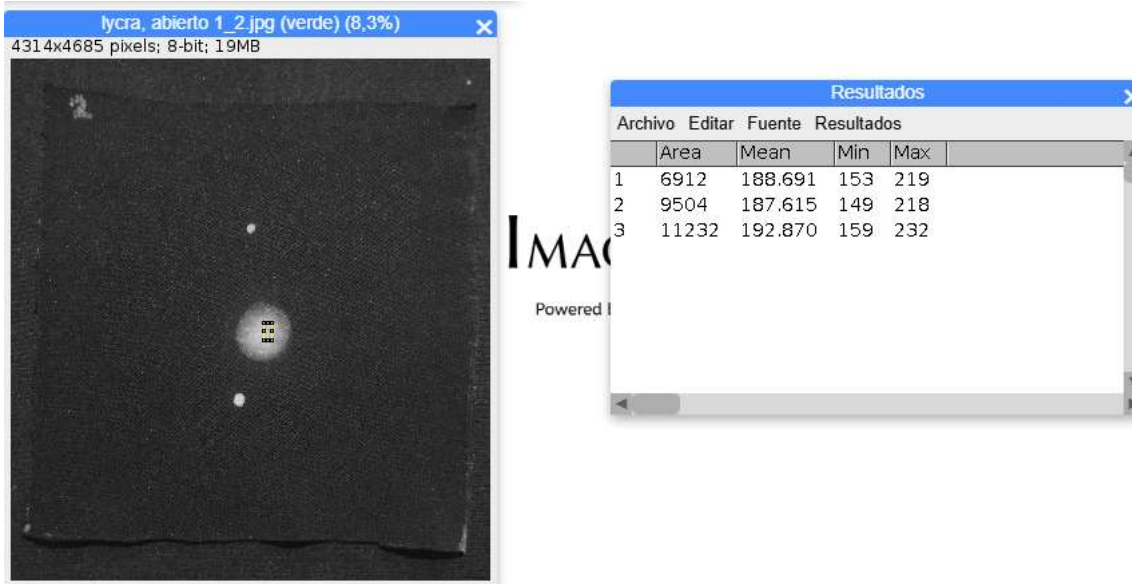


Figura A5 - 3

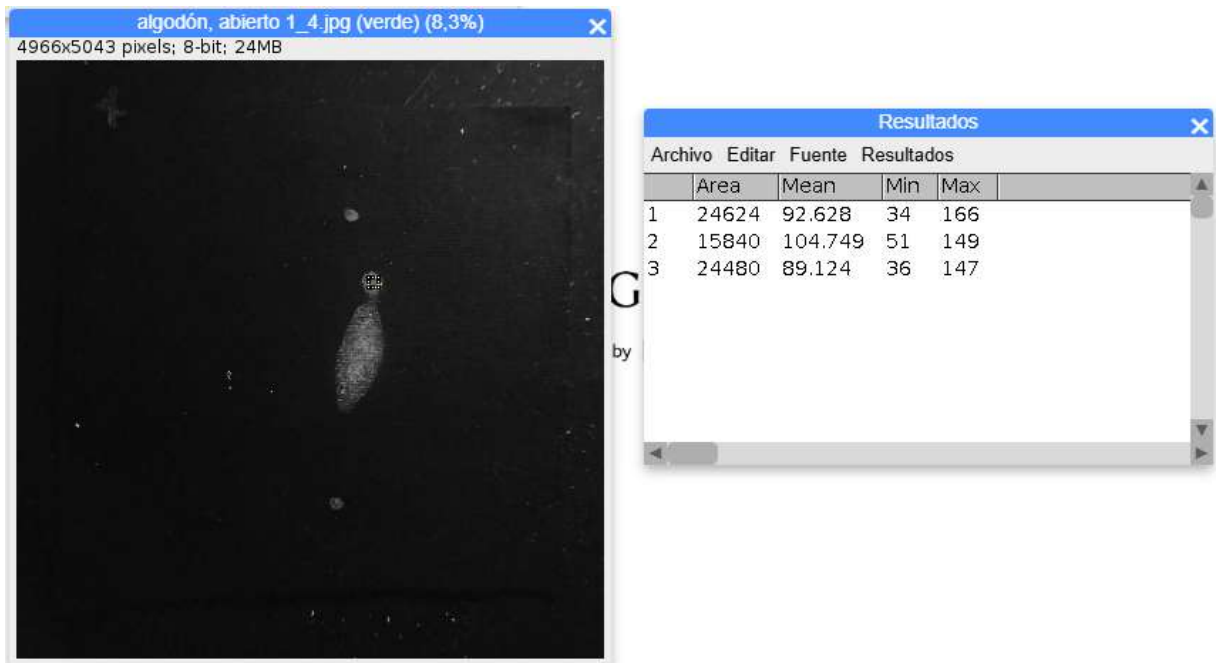


Figura A5 - 4

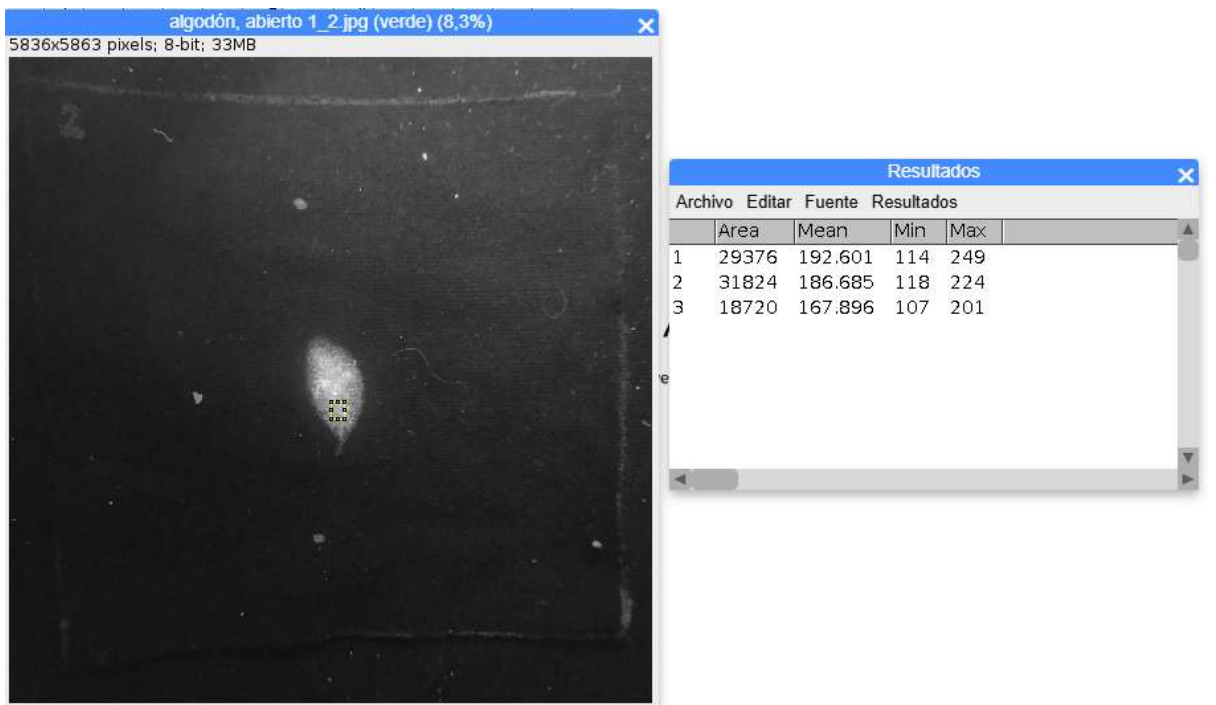


Figura A5 - 5

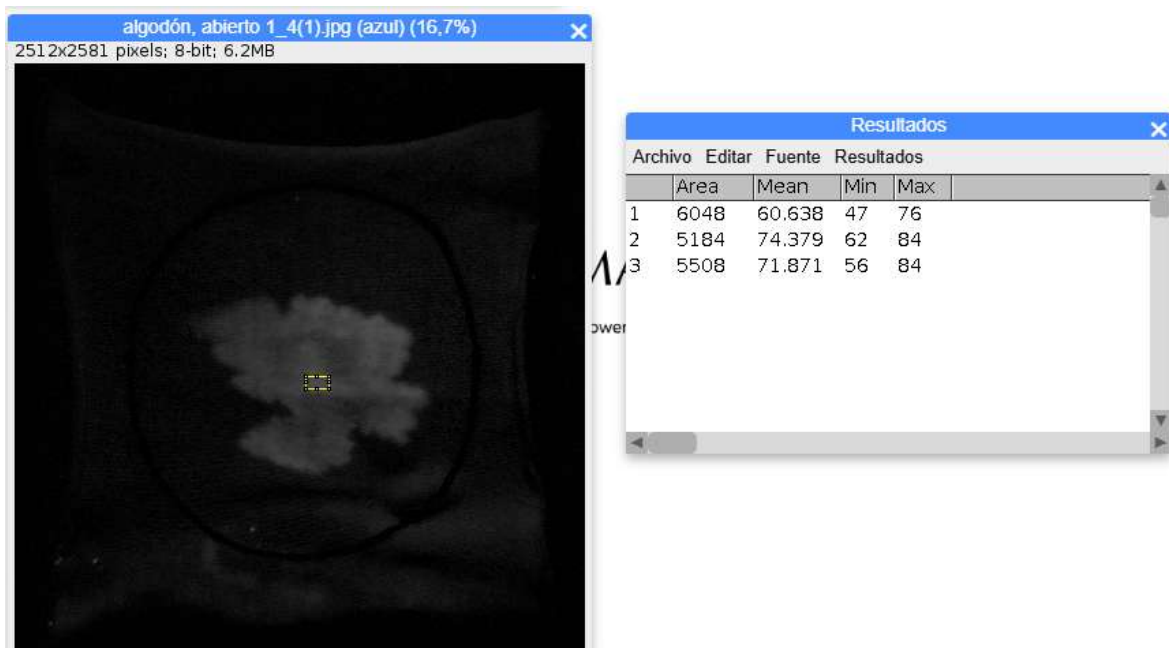


Figura A5 - 6

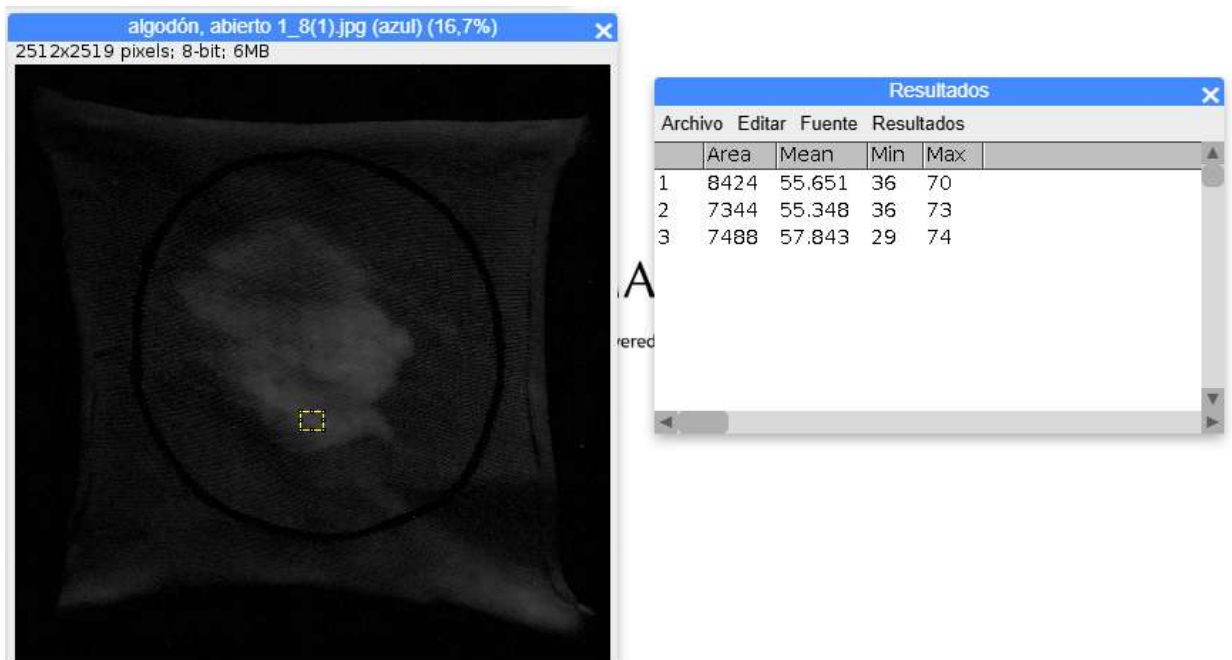


Figura A5 - 7

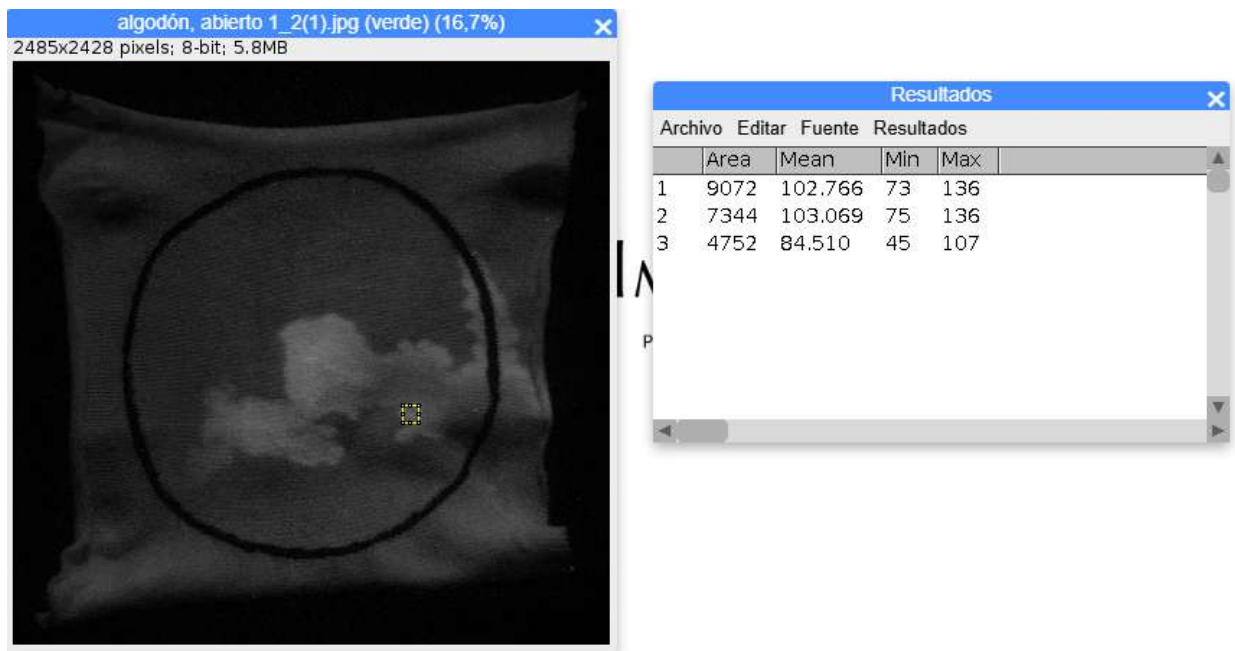


Figura A5 - 8

