



**Aplicación de métodos de búsqueda de evidencia forense en
escenas del crimen utilizando UAV para su preservación y
reconstrucción digital**

Application of forensic evidence search methods at crime scenes
using UAV for digital preservation and reconstruction

**Cesar Augusto Lafaurie Bejarano
Omar Alfredo Celis Muñoz**

Dirigido por
Jaime Enrique Orduy Rodriguez M.Sc

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de:
Especialista en Sistemas de Aeronaves No Tripuladas

**Fundación Universitaria Los Libertadores
Facultad de Ingeniería y Ciencias Básicas
Bogotá D.C., Colombia.
2022**

Tabla de contenido

Resumen.....	4
Abstract	5
Introducción	6
Metodología	9
Características operacionales para uso de Drones en Criminalística.....	11
<i>Elemento Material Probatorio y Evidencia Física (EMP Y EF)</i>	11
<i>Evidencia</i>	11
<i>Indicio</i>	11
<i>Rastros o Huellas</i>	11
Pasos para programar el plan de vuelo.....	13
Procedimiento	15
Conclusiones y Recomendaciones generales para investigación y esclarecimiento forense utilizando aeronaves no tripuladas.	28
Referencias.....	30

Agradecimientos

A Dios, nuestras familias y a la Fundación Universitaria Los Libertadores, por habernos brindado la oportunidad de construir conocimientos y contribuir a la seguridad y justicia de nuestro país Colombia.

Resumen

Este documento tiene como objetivo proponer el uso de los procedimientos de búsqueda de evidencia en la escena de un delito, para preservarla y reconstruirla, tomando como contexto el territorio colombiano, con el uso de vehículos aéreos no tripulados (Por sus siglas en inglés *Unmanned Aerial Vehicles* UAV's). El uso de esta tecnología genera acceso permanente a la información allí contenida por los investigadores para su análisis, además de poder determinar los elementos que no se tuvieron en cuenta el día de la inspección inicial; y a su vez, preservar por el tiempo que lleve la investigación la escena original en formato digital, ya que se considera un desafío para las técnicas vigentes de investigación forense. Para ello se tendrán en cuenta los métodos de búsqueda en el análisis de la escena de un delito, utilizados en criminalística: método por cuadrícula, franjas, y esférico, además del método de fijación fotográfica Forense. Se realizó la simulación de una escena del crimen, dividida en dos partes, se obtuvieron como resultado imágenes, que, al ser procesadas en el software PIX4D, entregan una nitidez y detalle que permiten recrear la escena del crimen en formato digital, identificando los elementos probatorios que la conforman. Finalmente, se logró observar y determinar los mejores métodos de búsqueda a usar, con el vehículo aéreo no tripulado (UAV'S).

Palabras clave: UAV, Vehículo Aéreo No Tripulado, escena del crimen, fijación fotográfica, métodos de búsqueda de evidencia.

Abstract

This document aims to propose the use of evidence search procedures at the scene of a crime, to preserve and reconstruct it, taking the Colombian territory as a context, with the help of unmanned aerial vehicles (for its acronym in English Unmanned Aerial Vehicles UAV). The use of this technology at the crime scene will contribute to its preservation, in addition to generating permanent access to the information contained therein by the investigators for analysis, determining the elements that were not taken into account on the day of the initial inspection; and in turn, preserve the original scene in digital format for as long as the investigation takes since it is considered a challenge for current forensic investigation techniques. For this, the search methods used in crime scene analysis will be regarded as the grid, strip, and spherical forms, in addition to the Forensic photographic fixation method. A crime scene was simulated and divided into two parts, and images were obtained as a result, which, when processed in the PIX4D software, provide sharpness and detail that allows the crime scene to be recreated in digital format, identifying the evidentiary elements that make it up, on the other hand, it was possible to observe and determine the best search methods to use, with the unmanned aerial vehicle (UAV'S).

Keywords: UAV, Unmanned Aerial Vehicle, crime scene, photographic fixation, evidence search methods.

1. Introducción

La fijación fotográfica en el lugar de los hechos, o escena del crimen, desarrollada en los procedimientos de criminalística en Colombia, reúne varios desafíos, uno de ellos es su ubicación geográfica, la cual debe ser tomada en cuenta con antelación por parte de la persona a cargo de la investigación, ya que el contexto rural o urbano determina el desplazamiento y planeamiento de la actividad a desarrollar. En el caso de las zonas rurales se deben tener en cuenta las condiciones de seguridad, i.e., si es zona de conflicto, reserva indígena o zona veredal transitoria de normalización (INDEPAZ, 2016) en el caso de ser zona urbana se deben analizar las condiciones de seguridad; ahora bien, en Colombia, en cada ciudad existen barrios en los cuales la presencia de fuerza pública o cualquier entidad estatal es restringida por la presencia de organizaciones al margen de la ley, que crean fronteras invisibles (Quiros et al., 2015) y establecen su dominio en el sector, por lo cual se requiere de una planeación milimétrica y coordinada con la fuerza pública, para garantizar, la seguridad de los funcionarios, que van a realizar la actividad judicial de inspección al lugar de los hechos. Teniendo en cuenta el contexto colombiano, se puede comprender que la actividad de Policía Judicial y Criminalística se ve afectada en los casos donde las condiciones de seguridad son adversas por presencia de organizaciones criminales. Por otro lado, la actividad de los peritos criminalistas debe ser muy rápida, sobre todo en la fijación fotográfica que juega un papel protagónico, y se convierte a posteriori, en la única forma de poder reconstruir un hecho (Barrios 2013), ésta deberá ser muy detallada, ya que se debe preservar el lugar de los hechos, examinando la totalidad de la escena, tomando hasta el más mínimo detalle para que se fije en el tiempo y perduren para la historia los elementos que componen esta, conservando su originalidad.

El uso de un vehículo aéreo no tripulado (UAV) juega un papel fundamental a la hora de la recolección de imágenes fotográficas que permitan la fijación de elementos materiales probatorios, de una manera segura y ágil, que garantice la integridad de los funcionarios, y así mismo la autenticidad de la escena, la reconstrucción a posteriori de la escena de los hechos con un nivel alto

de detalle, por medio del uso de un *software* para procesamiento de imágenes. La Tabla 1 presenta un comparativo entre los métodos convencionales para el análisis de escenas del crimen, y el uso de UAV, mostrando ventajas y desventajas de los dos métodos.

Tabla 1. Comparación según IEEE

COMPARATIVO, ANALISIS CONVENCIONAL VS CSI UAV METODO			
Técnica CSI	Método Convencional	Desventajas del Método Convencional	Ventajas con UAV e Inteligencia Artificial
Observación de la Escena del Crimen	Manualmente por oficiales e Investigadores	Probabilidad de alterar la escena del crimen	Mapeo general del área de la escena del crimen sin manipulación de las evidencias
Protección de la Escena del Crimen	Acordonamiento de la escena del crimen con cintas	Consumo de tiempo, método complicado y puede causar pérdida de evidencias	Observación continua, vigilancia y monitoreo de la escena del crimen con mínima interacción humana
Identificación y Grabación de Evidencia Física	Por oficiales de CSI o Expertos Forenses	Difícil y complejo en micro escenas del crimen, requiere de grandes recursos, algunas veces requiere equipo voluminoso	Reconocimiento automático y grabación de evidencias con varias técnicas de Inteligencia Artificial
Recopilación de evidencia	Por Investigadores o forenses profesionales	Daño y contaminación de las evidencias	Recolección automática de evidencia usando DRONES en áreas remotas con entrega intacta y eficiente

Fuente: Adaptado de Bhoopesh et al. (2019)

El uso de UAV's para el análisis del lugar de los hechos, disminuye el tiempo de fijación de la escena, lo que favorece a la comisión judicial, pues el tiempo restante se utilizará en otras actividades investigativas como: entrevistas, recolección de las evidencias, levantamiento del

cuerpo para los casos de homicidios, revisión de cámara de vigilancia, entre otras. Con el uso de esta tecnología es posible recrear una escena del crimen para mostrar el mapeo que se hace con un dron durante la investigación (Cielito Drone, 2019). También el hecho de poder realizar la transmisión de las imágenes a un puesto de control, el cual analiza la escena con más detalle, puede guiar a los investigadores en la recolección de evidencias que hayan pasado desapercibidas en el lugar, ahora bien el hecho de realizar una primera inspección al lugar, sin el ingreso de personas, garantiza la no contaminación o alteración de la escena, pues el UAV sobrevolará el lugar y tomará las imágenes de manera que no tendrá contacto físico con los elementos que se encuentren en el área.

La investigación criminal consiste en recrear un evento delictivo para poder determinar sus autores materiales e intelectuales, así como motivos o modos de operar y posibles relaciones con otros hechos. La fotografía del lugar de los hechos aporta elementos de gran valor para el desarrollo de esta actividad, las perspectivas de la toma de imágenes generan una visión más amplia a los investigadores ya que pueden haber detalles (fluidos, armas, drogas, documentos, entre otros), que se observan en las imágenes, que, en la inspección física no se tuvieron en cuenta, o que durante el transcurso de la investigación se logra determinar que habían objetos de interés que al principio no parecían importantes. En este tipo de procedimientos, una sola imagen puede ayudar al esclarecimiento de un crimen. Teniendo en cuenta lo anterior, es indispensable proporcionar las características técnicas del UAV a utilizar para lograr desarrollar la fijación de la escena, en este caso, se estudió la utilización de un UAV cuyas dimensiones facilitaron su uso tanto en interiores como en exteriores, el UAV marca DJI referencia: Mini SE (DJI Official, 2022).

2. Metodología

El análisis de las imágenes tomadas por los UAV de la escena del crimen se desarrolló bajo el método cuantitativo (Sampieri et al., 2013) donde se revisaron los datos pertenecientes a la escena del crimen, teniendo en cuenta experiencias de situaciones anteriores, con lo cual se perfecciona el método de fijación fotográfica a la medida que se aplique el mismo. Una vez cumplidos estos preceptos, se conduce a la entrega de un producto para los investigadores, con el fin de coadyuvar al esclarecimiento del hecho investigado. Para realizar la toma de datos se usó el UAV DJI mini SE, como se muestra en la Figura 1, su diseño permite su uso para espacios interiores y exteriores. En el mercado existen diferentes fabricantes de los cuales sus UAV tiene las dimensiones adecuadas para esta actividad, existe uno en específico utilizado para interiores, el UAV ELIOS de Flyability, que utiliza sistema SLAM (*Simultaneous Localization And Mapping*) para su posicionamiento, no se guía por GPS (sistema global de posicionamiento), el sistema SLAM es una técnica que utilizan en los vehículos autónomos que operan en un lugares sin acceso a satélites, consiste en construir un mapa de su entorno y se ubica así mismo mediante la construcción de éste, en interiores no se localizan los satélites y es esta la razón de usar el sistema SLAM, para el uso de este equipo en exteriores, se debe geo posicionar un punto de referencia y en referencia a este se relacionan el lugar a fijar fotográficamente. (Flyability, 2022)

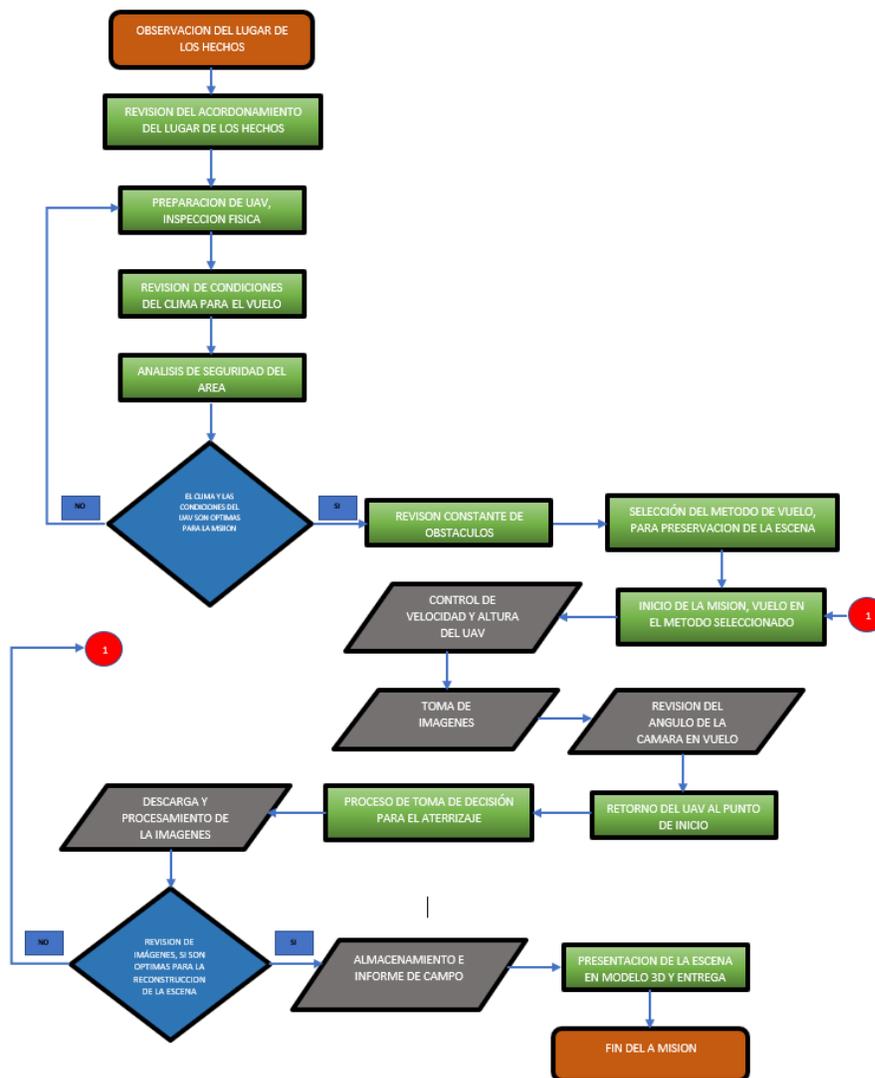
Figura 1. UAV DJI Mini SE



Fuente: DJI Official (2022).

Para los métodos de búsqueda de Elementos Materiales Probatorios (EMP) y Evidencia Física (EF), así como de los métodos de fijación fotográfica se desarrollaron misiones cortas, cubriendo el área de interés, de manera manual para espacios exteriores e interiores, en la pruebas realizadas, la opción automática de vuelo no aporta datos útiles, toda vez que las escenas de los hechos generalmente se dan en espacios pequeños, finalmente, se desarrolla un diagrama de flujo, para especificar la metodología en el campo como se observa en la Figura 2, para el planeamiento de la misión y presentación de la información.

Figura 2. Diagrama de misión en campo



Fuente: Autores

3. Características operacionales para uso de Drones en Criminalística

Al momento de implementar la utilización del equipo antes mencionado, de acuerdo con Patiño Corredor et al. (2014) se deben tener en cuenta los siguientes conceptos: Elemento Material Probatorio y Evidencia Física (EMP Y EF), Evidencia, Indicio y Rastros o Huellas.

Elemento Material Probatorio y Evidencia Física (EMP Y EF): es todo objeto, huella o rastro de origen físico, químico, biológico o electrónico perceptible a través de los sentidos, que permite llegar a la certeza sobre la verdad de una conducta que se presume violatoria de la normatividad penal, de sus partícipes o de la responsabilidad de cada uno de ellos en la realización de esta.

Evidencia: Se entiende como un Elemento Material Probatorio - E.M.P - que demuestra por sí mismo y en forma inmediata y necesaria la relación existente entre varios elementos que conducen a la certeza de un hecho, excluyendo la posibilidad de lo contrario.

Indicio: Se le denomina al elemento que permite inferir la existencia de otro que requiere ser probado; también se aplica a una situación o comportamiento que indica la ocurrencia de otra conducta por probar.

Rastros o Huellas: Son elementos que por su naturaleza y disposición en la Escena del Delito no son de percepción (forma, presión, sudor, saliva, semen, etcétera), o que por su tamaño requieren análisis microscópico. Su importancia radica en que su presencia puede ser orientadora del curso de la investigación, pues da a conocer su naturaleza y permite realizar cotejos que conducen a reconocerle "capacidad demostrativa". (CRIMINALISTICA DE CAMPO - MEDICINA LEGAL Y CRIMINALISTICA 1409, 2022).

El análisis al lugar de los hechos debe realizarse de manera minuciosa, para esto, se deben utilizar las técnicas de búsqueda de evidencia ya sea traza (son aquellos EMP o EF que por su cantidad, tamaño o naturaleza no son perceptibles a simple vista y requieren de medios técnicos o tecnológicos para su observación, recolección e identificación.) o evidencia perceptible a simple vista.

Una vez se obtengan imágenes, estas se procesan mediante *software* especializado, para la presente investigación de utilizo la aplicación PIX4D (Pix4D, 2022).

El fijación de la escena del crimen con UAV requiere unas imágenes de alta calidad para lograr esto, se debe revisar muy bien la hoja de especificaciones del equipo UAV a utilizar, entre mayor resolución, mayor imagen y mejor calidad, con una buena resolución se puede usar aplicaciones de inteligencia artificial, las cuales pueden automatizar la detección de objetos y a su vez su clasificación, en este tipo de técnicas el uso de inteligencia artificial (IA) cumple un papel determinante para detallar el origen, nombre, uso, e información ya conocida en una imagen, el sistema podría reconocer, armas de fuego, armas cortantes, armas contundentes, cuerpos humanos, cuerpos animales, miembros de cuerpos humanos, documentos, estupefacientes, objetos de cualquier tipo, fauna cadavérica, entre otros.

Todos los elementos que se encuentren en el lugar de la escena del crimen deben ser fijados fotográficamente con el UAV, para su preservación y futuras reconstrucciones de escenas del crimen, este tipo de investigación forense se determina como *ex post fact* (después de hecho). Para la aplicación de métodos de búsqueda de evidencia forense en escenas del crimen utilizando UAV se tiene la combinación de métodos entre el tipo histórica-correlacional y ex post facto, en donde se busca la reconstrucción del pasado de la manera más objetiva y exacta posible, a partir de la recolección, evaluación, y análisis de los elementos que se observan en la escena. Esta aproximación busca también el grado en el cual se pueden determinar variaciones en uno o más factores, que se logren correlacionar de estos objetos, tomados por los UAV, así mismo, relaciones de causa y efecto, para establecer si ciertos hechos ocurridos en el pasado indican que lo pudo ocasionar.

Los métodos para la búsqueda en la escena del delito se basan en un análisis preliminar que realiza el investigador, quien deberá recorrer con su vista el lugar para precisar los elementos que se pueden reconocer fácilmente (cuerpo, documentos, armas, entre otros) y los que no están a simple vista (cabellos, fibras, entre otros), el uso del UAV será de gran utilidad en esta fase, dado que una vez examinado el lugar o lugares de los hechos, se procederá a lanzar el UAV, y de acuerdo a métodos de búsqueda, se realizará la fijación fotográfica del lugar con la mayor cantidad de

detalles, teniendo en cuenta los métodos de búsqueda que se relacionaran a continuación, para la creación de la misión se debe ubicar geográficamente el lugar, una vez cumplido este precepto se procederá a desarrollar la misión, para este ejercicio se hizo uso de la aplicación LITCHI¹.

3.1. Pasos para programar el plan de vuelo

Haciendo uso de la APP LITCHI, la cual cuenta con un planificador de misiones de *waypoint* si se desea un vuelo automático y tiene también la opción de desarrollar el vuelo de manera manual, para el inicio de la misión se realizan los siguientes pasos:

- Ingresar al Sitio web: <https://flylitchi.com/hub> creando un usuario;
- Iniciar programación de los planes de vuelo, determinando el sector a cubrir;
- Guardar el proyecto en la nube de la aplicación quedando asociado al usuario;
- Verificar conexión de la APP con el UAV, así como usuario usado en la nube;
- Cargar las misiones asociadas al usuario y ejecutar el vuelo;
- Procesamiento de las imágenes con PIX4D.

Para desarrollar el plan de vuelo se deben tener en cuenta los siguientes lineamientos, entre ellos, el clima, el cual se revisa en la aplicación UAV forecast², esta aplicación brinda parámetros de clima, temperatura, velocidad del viento, ráfagas de viento, dirección del viento, probabilidades de precipitación, satélites visibles, KP (índice geomagnético) y satélites bloqueados, si las condiciones de estas medidas son adecuadas, el vuelo se puede desarrollar; de lo contrario no se recomienda realizarlo, ahora bien si se trata de interiores, esta aplicación no se requiere consultar, como se desarrollaron vuelos en los dos escenarios, primero se tratará el escenario en campo abierto.

En campo abierto, se revisa la aplicación UAV FORECAST, una vez revisadas las condiciones, y si es viable el despegue se inicia la misión, previamente se ha cargado la misión en la aplicación Litchi⁴ en internet ya ingresando con los datos de usuario, se procede a revisar los parámetros de configuración así:

- ❖ Unidades; siempre en metros, que es el sistema métrico usado en Colombia.

¹ Disponible en: <https://flylitchi.com/hub>

² Disponible en: <https://www.uavforecast.com/>

- ❖ Modo de rumbo; en automático.
- ❖ Acción final: Regreso a casa (lugar de despague).
- ❖ Modo de ruta; Vueltas curvas.
- ❖ Velocidad de crucero; 5 km/h.
- ❖ Velocidad máxima de vuelo; 15 km/h.
- ❖ Intervalo de captura de fotos; 0.5 segundos.
- ❖ Tamaño de la curva predeterminado; 75%.
- ❖ Modo por defecto del GIMBAL; desactivado.
- ❖ Mostrar misiones; activado.
- ❖ Uso de elevación en línea; activado.

Seleccionado el área de interés, se procederá al lanzamiento del UAV, con la cámara utilizada se tienen las características de la Tabla 2:

Tabla 2. Datos obtenidos en espacios exteriores.

Sensor	1/2.3" CMOS
	Effective Pixels: 12 MP
Lens	FOV: 83°
	35 mm Format Equivalent: 24 mm
	Aperture: f/2.8
	Shooting Range: 1 m to ∞
ISO Range	Video: 100-3200 (Auto) 100-3200 (Manual)
	Photo:
	100-3200 (Auto)
	100-3200 (Manual)
Shutter Speed	Electronic Shutter: 4-1/8000s
Still Image Size	4:3: 4000×3000 16:9: 4000×2250
Still Photography Modes	Single shot
	Interval: 2/3/5/7/10/15/20/30/60 s
Video Resolution	2.7K : 2720×1530 24/25/30 p FHD : 1920×1080 24/25/30/48/50/60 p
Max Video Bitrate	40 Mbps
Supported File System	FAT32 (≤32 GB) exFAT (>32 GB)
Photo Format	JPEG
Video Format	MP4 (H.264/MPEG-4 AVC)

Fuente: DJI Official (2022).

3.2. Procedimiento de vuelo

Con el fin de analizar el mejor método, inicialmente se procedió a realizar un vuelo automático, para la configuración de los puntos de paso, se tomaron los siguientes parámetros:

- ❖ Altura: 31 metros.
- ❖ Velocidad de crucero: 4.5 m/s.
- ❖ Tamaño de la curva: 3 metros.

Se programaron tres misiones para desarrollar los métodos de búsqueda de evidencias, mediante franjas, cuadrantes y espiral. Los parámetros de configuración fueron similares para cada método, las variaciones están en los puntos de paso. El método con más puntos de paso es el de cuadrantes y el de menor puntos de paso es el de franjas.

Ya diseñados los planes de vuelo en la aplicación de internet, se procede a abrir la app Litchi en el teléfono, iniciando sesión con los mismos datos que se crearon la misiones en la página web, en la app, se selecciona el modo de vuelo *waypoint*, en el costado izquierdo de la pantalla seleccionamos el icono de la carpeta y cargamos el plan de vuelo deseado, para el ejercicio se tiene, franjas, cuadrantes y espiral, se conecta el UAV al equipo celular, se verifican los parámetros de vuelo, numero de satélites, carga del UAV, carga del control de mando, entre otros, después de verificados se procede a iniciar el vuelo.

Para la escena del crimen ubicada en un espacio abierto, arrojó como resultados los datos de la Tabla 3:

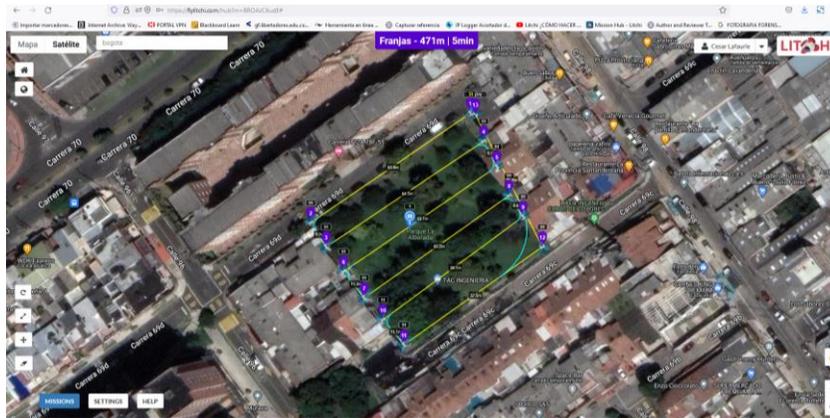
Tabla 3. Datos obtenidos en espacios exteriores.

Método	Altura (m)	Velocidad (m/s)	Área (m ²)	# de Way Points	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (min)	Numero de imágenes
Franjas	31	4.5	3.000	13	471	5	145
Cuadrante			3.000	26	866	9	285
Espiral			3.000	33	383	4	132

Fuente: Autores

La Figura 3 presenta el Método por franjas o líneas, el cual particularmente no fue eficaz en la adquisición del lugar de los hechos.

Figura 3. Ubicación Lugar de los Hechos con el método de franjas



Fuente: Litchi (2020)

De manera manual se requiere de un número disponible de investigadores para cubrir el área de la mejor manera posible ya que el método requiere el uso de un solo equipo, llegando a cubrir la totalidad el perímetro en tiempos mucho más cortos. La misión generada debe tener recorridos horizontales a la escena, con giros en “U” a distancias de un metro cada giro. La Figura 4 presenta el método de cuadrante o sector, el cual se utiliza para áreas extensas o sectores a campo abierto. Este método consiste en dividir el lugar de los hechos en cuadrantes o zonas. A cada una de estas zonas se le realizan polígonos, y este a su vez la subdivide. Este método igualmente arrojó resultados no útiles para la reconstrucción de una escena del crimen.

Figura 4. Ubicación Lugar de los Hechos tomada de litchi.com, usando método de Cuadrantes



Fuente: Litchi (2020)

La Figura 5 presenta el método del espiral o círculos concéntricos, este siendo el más utilizado para labores post explosión, pero también es útil para escenas que requieran máxima recolección de EMP. El UAV se ubica en un punto cercano e inicia la misión siguiendo la pauta de un espiral en torno al centro del incidente, avanzando de adentro hacia fuera, hasta cubrir la totalidad del área de interés, al igual que los anteriores métodos su resultado no fue el esperado.

Figura 5. Ubicación Lugar de los Hechos usando método de Espiral



Fuente: Litchi (2020) Elaboración propia (2022)

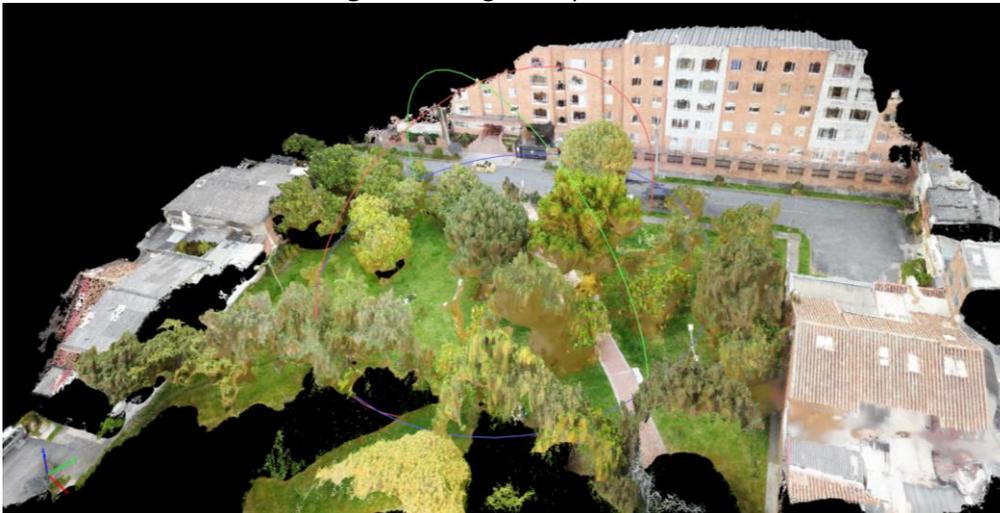
Para la aplicación de métodos de búsqueda de evidencia forense en escenas del crimen utilizando UAV se usó del *software* de programación de misiones LITCHI con vuelo en forma de espiral. El resultado final se obtuvo por medio del *software* de procesamiento PIX4D, como se observa en las Figuras 6 y 7:

Figura 6. Imagen 3D plano superior



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 7. Imagen 3D plano frontal



Fuente: Autores-Software PIX4D

Posteriormente se procedió a realizar la misión en escenas que se presentan en interiores, el método de búsqueda a usar cambia radicalmente, para este caso el método espiral definitivamente no es el ideal, así que se usa el método de franjas y el de cuadrantes, pero el vuelo se desarrolla de manera manual, para los dos métodos franjas y cuadrantes se desarrollaron las misiones y se obtuvieron los resultados presentados en la Tabla 4.

Tabla 4. Datos obtenidos en espacios interiores

Método	Altura (m)	Velocidad (m/S)	área (m^2)	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (min)	Angulo de la cámara ($^{\circ}$ grados)	Numero de imágenes
Franjas	2 – 3.7	-	20	10	5	17-20	36
Cuadrante	2 – 3.7	-	20	21	7	17-20	59

Fuente: Autores

Para el ejercicio de preservación de una escena en interiores se recrearon dos escenas, con posible correlación, simulando un homicidio, colocando un cuerpo en posición cubito abdominal en la primera escena en un área de $20 m^2$, y la otra con elementos como gorras, armas de fuego, armas cortopunzantes, prendas de vestir y algunos otros elementos, en un área de $50 m^2$, como se presenta en las Figuras 8 y 12, el lugar es un parque público en la ciudad de Bogotá D.C.-Colombia, en el lugar se presentaron vientos con ráfagas de 11 km/h, lo que no afecta el desempeño del vuelo.

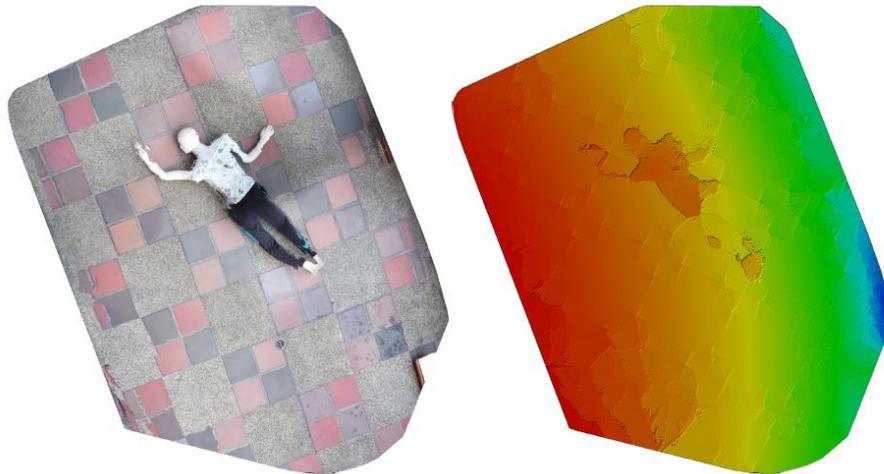
Figura 8. Fijación de escena del crimen, interior, cuerpo en posición cubito abdominal.

Quality Check



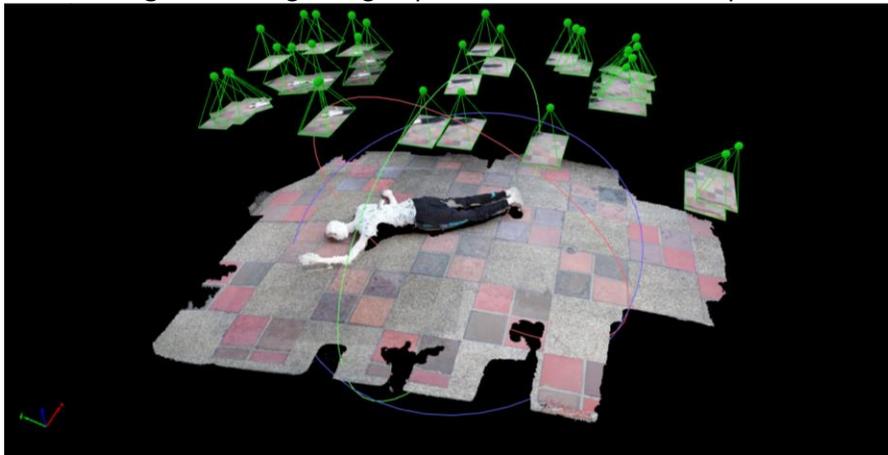
Images	median of 35720 keypoints per image	✓
Dataset	31 out of 36 images calibrated (86%), all images enabled	⚠
Camera Optimization	6.17% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	⚠
Matching	median of 11067.3 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	no, no 3D GCP	⚠

Preview



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 9. Imágenes geo-posicionadas con nube de puntos.



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 10, Interior posición lateral mostrando más detalle.



Fuente: Autores-Software PIX4D)

Figura 11. Vista superior del lugar de los hechos, posición del cuerpo en detalle.



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 12. Vista superior del lugar de los hechos, detalle con elementos en la escena.



Fuente: Autores-Software PIX4D

La segunda escena se desarrolla el vuelo manual, al igual que para la escena anterior se usan los dos métodos, franjas y cuadrantes, resultando más óptimo el método por franjas, se obtienen los datos de la Tabla 5.

Tabla 5. Datos obtenidos en espacios exteriores, método de franja

Método	Altura (m)	Velocidad (m/S)	área (m^2)	Distancia recorrida (m)	Tiempo de vuelo (min)	Angulo de la cámara (° grados)	Numero de imágenes
Franjas	1.60	3	20	10	5	32	36

El método de franjas resulto ser el más adecuado para la obtención de resultados, las fotos igualmente se tomaron manualmente, la inclinación de la cámara estuvo alrededor de los 37°, obteniendo los resultados presentados en las Figuras 13 a 16.

Figura 13. Vista superior del lugar de los hechos, segunda escena



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 14. Vista lateral del lugar de los hechos, acercamiento, segunda escena



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 15. Vista general del lugar de los hechos, reconstrucción de la segunda escena



Fuente: Autores-Software PIX4D

Figura 16. Vista general del lugar de los hechos, posición lateral, segunda escena



Fuente: Autores-Software PIX4D

El ejercicio presentado en la propuesta de Aplicación de métodos de búsqueda de evidencia forense en escenas del crimen utilizando UAV para su preservación y reconstrucción digital reduce los tiempos de fijación de la escena, y aumenta el detalle de las imágenes, con lo que se puede confirmar que el uso del UAV aporta grandes ventajas en las diligencias judiciales, como dato adicional es preciso mencionar que se utilizaron dos baterías con carga completa, los vuelos se desarrollaron de manera manual. En este sentido, los vuelos automáticos no se recomiendan, ya que al desarrollar los vuelos manuales se observa que la experiencia del piloto debe ser en un nivel avanzado, como se mencionó anteriormente la investigación se desarrolló en un parque público en la ciudad de Bogotá, donde se presentaron ráfagas de viento de aproximadamente 11 m/s, las cuales en algunos momentos desestabilizaban el UAV, pero, no afectó de manera sustancial las imágenes ni la misión, como se observa en las Figuras 8 a 16, la presencia de árboles y arbustos obliga a hacer los vuelos manuales, no es posible fijar una escena del crimen utilizando métodos automáticos.

Con el fin de realizar una comparación, se desarrolló una fijación fotográfica de manera manual, utilizando una cámara Canon EOS DS126311, se tomaron un total de 30 imágenes en la escena interior en un área de 20m² y 58 imágenes para la escena exterior en un área de 50 m², en un tiempo de 30 minutos y 45 minutos respectivamente, entre la toma de cada imagen se debe hacer una

pausa para determinar que elemento se va a ir fijando, con este método de fijación no se cubre el 100% de la escena, solo se toman detalles de los elementos más visibles y a criterio del fotógrafo, adicional para estas tomas fue necesario obviamente el ingreso a la escena, las imágenes tomadas, solo se lograron en un plano horizontal, para obtener plano superior de los elementos, se requirió el acercamiento a estos, causando seguramente contaminación de la escena por la presencia del fotógrafo, las Figuras 17 a 22 presentan los resultados de las imágenes con :la cámara Canon EOS DS126311.

Figura 17. Vista general del lugar de los hechos.



Fuente: Autores.

Figura 18. Vista general del lugar de los hechos - plano general.



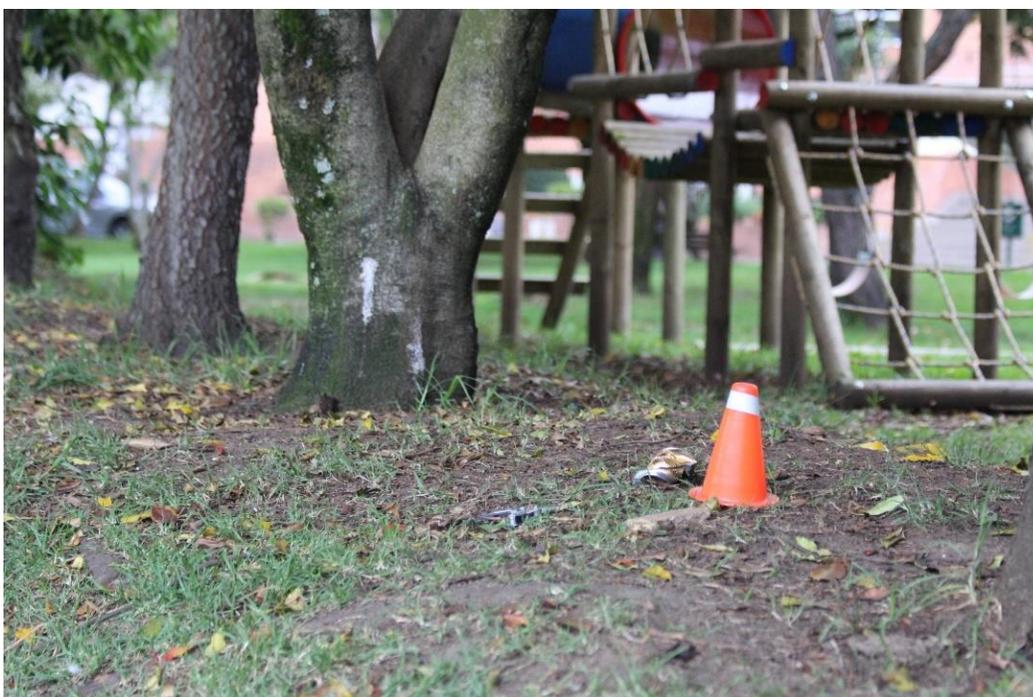
Fuente: Autores.

Figura 19. Vista general del lugar de los hechos - acercamiento arma de fuego.



Fuente: elaboración propia (2022)

Figura 20. Vista general del lugar de los hechos - fijación de elementos.



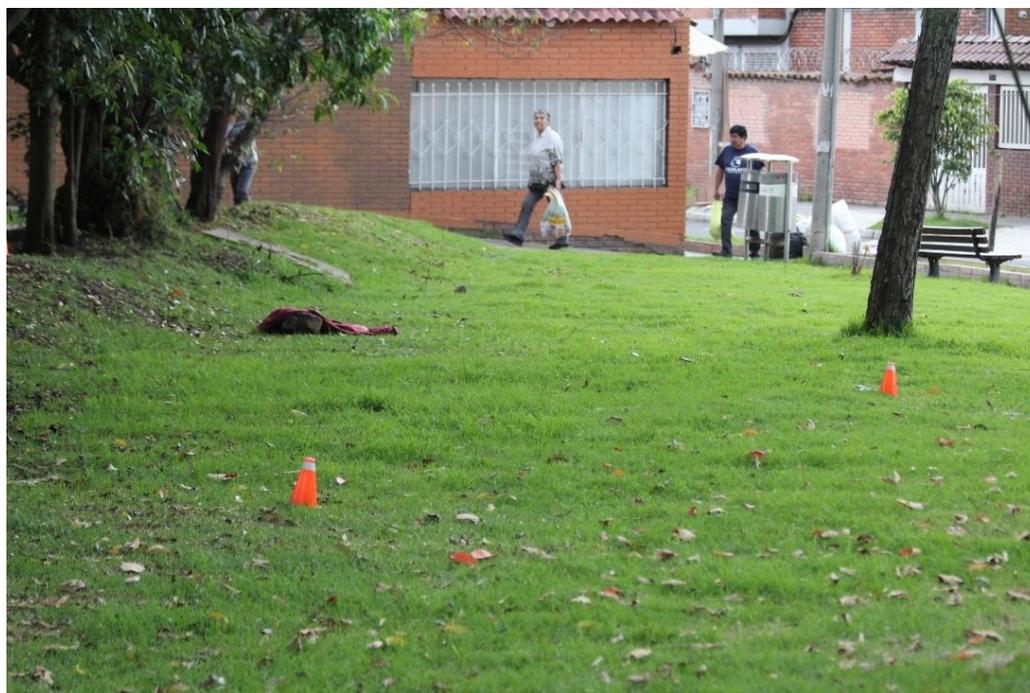
Fuente: elaboración propia (2022)

Figura 21. Vista general del lugar de los hechos



Fuente: elaboración propia (2022)

Figura 22. Vista general del lugar de los hechos, fotos manuales, posición lateral

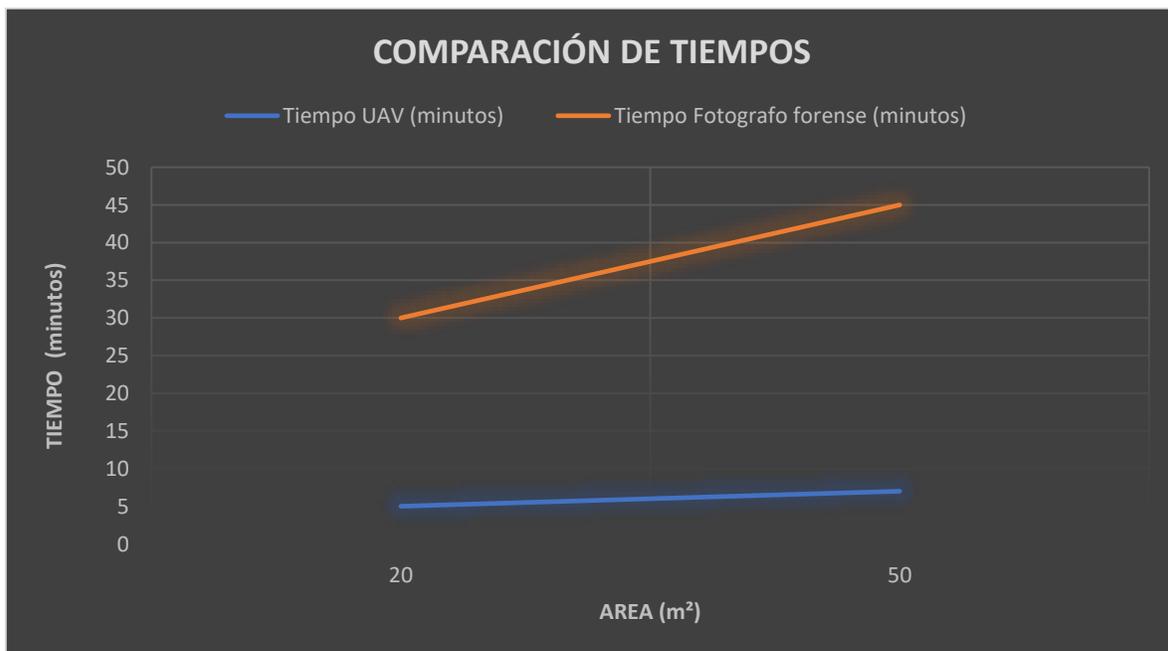


Fuente: elaboración propia (2022)

Como se observan las imágenes están en una sola perspectiva, adicionalmente como se mencionó, al querer detalle de los elementos el acercamiento a estos es totalmente necesario, la reconstrucción no se logra hacer pues el solapamiento de imágenes no es posible medirlo o crearlo.

En ambos ejercicios tanto la toma de imágenes con la cámara canon y la toma de imágenes con el UAV, la resolución es muy similar, resaltando que la cámara canon es de mayor resolución que la cámara del DJI MINI SE. Los tiempos que se emplean en el análisis de la escena y su fijación son más cortos con el uso del UAV, como se muestra en la Figura 23, y debido a la celeridad y eficacia que brinda este componente tecnológico en el campo investigativo, se puede deducir que es realmente importante su aporte en esta área.

Figura 23. Comparación de tiempos UAV vs Fotógrafo forense.



Fuente: Autores

4. Conclusiones y recomendaciones generales para investigación y esclarecimiento forense utilizando aeronaves no tripuladas

Teniendo en cuenta el auge de los vehículos aéreos no tripulados, se hace necesario su implementación a los procedimientos que se encuentran ya establecidos en cuanto a la inspección al lugar de los hechos y su reconstrucción y preservación. Se hace necesario tener las diferentes vistas de la escena proporcionando buena calidad y gran detalle. Estas imágenes adicionalmente deben ser procesadas digitalmente, para ello se realiza su cargue en diferentes *softwares* disponibles en mercado que brindarán una preservación de la escena de mucha calidad para su posterior reconstrucción o análisis, aportando al esclarecimiento de un delito.

Adicionalmente, este tipo de componente tecnológico es potencialmente un paso gigantesco hacia el mejoramiento de las condiciones de seguridad del equipo investigativo, teniendo en cuenta el modo de operación basada en los métodos de búsqueda establecidos, ya que reducirá la exposición del personal en zonas de conflicto. Es preciso señalar que el uso de este tipo de herramienta novedosa en el campo de la investigación criminal y forense facilitará el desarrollo de las diligencias en zonas geográficas y de difícil acceso. Así mismo se logrará preservar la escena de los hechos de una manera aséptica e inalterada. Las evidencias que se encuentren no se expondrán a posibles modificaciones o perdidas toda vez que el ingreso al lugar por parte de investigadores será limitado y controlado.

El uso de UAV y las tecnologías IA así como el *software* de procesamiento de imágenes PIX4D y el desarrollo de misiones con aplicaciones como LITCHI, lograrán la total preservación del lugar y una perspectiva que jamás se lograría con el uso de métodos manuales y tradicionales, adicionalmente el uso de UAV en las diligencias judiciales lograra reducir costos y también el número de investigadores en la escena.

De la información recolectada en los métodos automáticos y manuales, se logró observar que el método automático para reconstrucción de escenas del crimen no es el ideal, la programación de este exige la creación de polígonos para desarrollar la misión, estos polígonos se programan de acuerdo con la zona a inspeccionar. Para la presente investigación al tratarse de un parque en zona urbana, se tenía la presencia de edificaciones y árboles, lo que obligo a desarrollar una misión a una altura de 31 m, y en la ejecución de los vuelos las imágenes obtenidas no permitían detallar la escena como se observa en las Figuras 6 y 7 es posible que se pueda desarrollar con un UAV de características más altas, sobre todo en la resolución de la cámara, aun así el vuelo en modo automático no es útil para la reconstrucción del lugar de los hechos.

En contraprestación, el vuelo manual arrojó datos e imágenes muy interesantes y se logró la reconstrucción del lugar, como se evidencia en las Figuras del 8 a 16, se puede obtener gran detalle de la escena; es así que el uso de UAV en la reconstrucción de escenas del delito será un gran avance en la investigación judicial y traerá consigo el desarrollo de tecnologías de análisis de escenas que propenderán al esclarecimiento de un hecho delictivo.

Referencias

- INDEPAZ. (2016, 24 junio). Estas son las 23 zonas veredales transitorias de normalización (ZVTN). Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://indepaz.org.co/estas-son-las-23-zonas-veredales-transitorias-de-normalizacion-zvtn/>
- Cielito Drone. (2019, 27 febrero). Video - Mapean con drone una escena del crimen. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://cielito-drone.myshopify.com/blogs/dji/video-mapean-con-drone-una-escena-del-crimen>
- González Serrano, M. (2017). Drones como diligencias de investigación policial.
- Patiño Corredor, J. M., Granados Arenas, O., & Echeverri Alarcón, J. E. (2014). La evidencia física y los elementos materiales probatorios en la decisión del juez.
- Quiros, D. G., Rendón, J. L., & Castañeda, N. R. (2015). Fronteras invisibles en “Belén, Medellín, Colombia”. *División imaginaria, marcas reales: lógicas de poder, territorio y resistencia. Prospectiva: Revista de Trabajo Social e Intervención Social*(20), 193-211.
- Sampieri, H., Roberto, C. F.-C., & Lucio, P. B. (2013). Metodología de la investigación.(2006). *México. MacGraw-Hill*.
- DJI Official. (2022). DJI Mini SE - Fly As You Are - Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://www.dji.com/mini-se>.
- Flyability (2022). Elios 3 - Digitizing the inaccessible. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de https://www.flyability.com/es/elios-3?utm_campaign=ES+%7C+Branded&utm_source=adwords&utm_medium=ppc&utm_term=flyability%20elios&hsa_kw=flyability%20elios&hsa_acc=3527943911&hsa_grp=139574758220&hsa_ad=609954661329&hsa_mt=p&hsa_ver=3&hsa_net=adwords&hsa_tgt=kwd-565537162066&hsa_cam=16147605554&hsa_src=g&gclid=EAlaIqobChMI5NXQwdaU-gIVjJ2GCh2GLQY0EAAYASAAEgLspvD_BwE
- CRIMINALISTICA DE CAMPO - MEDICINA LEGAL Y CRIMINALISTICA 1409. (2022.). Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://sites.google.com/site/medicinalegalycriminalistica09/ter/cr>
- Pix4D. (2022). Un paquete de software de fotogrametría único para mapeo con drones. Recuperado 14 de septiembre de 2022, de <https://www.pix4d.com/es>
- Bhoopesh Kumar Sharma; Geetanjali Chandra; Ved P. Mishra. (2019). Comparative Analysis and Implication of UAV and AI in Forensic Investigations. *IEEE*, 10.1109/AICAI.2019.8701407, 824-827.
-