



Capítulo 11



El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

Sergio Alberto Quezada Godínez¹, Andrea Ponce Chávez²,
José Luis Silván Cárdenas³ y Tunuari Roberto Chávez González⁴
Contribución arbitrada

Introducción

En México existen más de 5 mil 600⁵ fosas clandestinas⁶ (Tzuc, 2023) repartidas en 570 municipios del país. En estos sitios se encuentran las respuestas que miles de familias buscan (*Idem*). Uno de los ejes que conducen la labor de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), es la presunción de localización en vida de las personas desaparecidas; sin embargo, las condiciones de la realidad social en Jalisco nos han exigido asumir la posibilidad

1 Analista contextual de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

2 Analista territorial de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

3 Profesor Investigador Titular C, Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial.

4 Director del área de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco.

5 Cifra al 9 de octubre de 2023 (Tzuc, 2023).

6 El Registro de Fosas Clandestinas de la Comisión Nacional de Búsqueda (CNB) las define como el sitio en donde una o más personas fueron enterradas de forma anónima y/o ilegal; mientras que el Protocolo Homologado para Búsqueda de Personas Desaparecidas y No Localizadas (PHB) dice que la fosa clandestina es el sitio donde de manera ilegal se han depositado, degradado, ocultado o transportado restos humanos no arqueológicos, y otros indicios asociados a cuerpos o restos que son susceptibles de procesamiento forense.

-y nuestro actuar en consecuente- de localizar los restos de nuestras personas desaparecidas. A su vez, a pensar el fenómeno de las personas desaparecidas que aún no se localizan desde la probable existencia de fosas clandestinas no identificadas.

Partiendo de la certeza de que tanto la detección, como la búsqueda en campo de sitios potencialmente sospechosos de alojar fosas clandestinas implican una serie de riesgos y complicaciones para quienes se encuentran en estos menesteres, y el reciente acceso que tuvimos a un vehículo aéreo no tripulado, decidimos experimentar con la búsqueda remota. En ese sentido, y en sintonía con el resto de los artículos de la presente publicación, se planteó el objetivo de descubrir la posibilidad de identificar sitios que alojen fosas clandestinas mediante la exploración con un dron equipado con cámara termográfica.

Lo anterior a través de una serie de sobrevuelos que se realizaron en los dos sitios experimentales que hicieron posible el proyecto en conjunto. Dado que estas investigaciones están en una fase inicial, y que nuestra experiencia en campo apenas arranca, los objetivos planteados no son precisamente ambiciosos. Teniendo en cuenta que los drones con cámara térmica no se fabrican pensando en su aplicación a los escenarios de nuestro interés, resulta elemental descubrir su eficacia: ese es el objetivo central. Ahora bien, de manera paralela, se decidió registrar la mayoría de los datos que recabamos, tanto por su papel al de momento de nuestras elecciones metodológicas, como para investigaciones a futuro. Por último, nos extendemos en la recopilación y exposición de los conceptos que permiten entender los fundamentos de esta técnica, así como en la recuperación de un par de registros de investigaciones similares –un poco a manera de breve estado de la cuestión.

Antes de exponer los resultados, vamos con la revisión conceptual ya antes mencionada. Se procuró no prologar demasiado, aunque se resalta la importancia de acercarse a estas técnicas con un bagaje conceptual sólido que contribuya a entender lo que está detrás de la ejecución de la técnica y así eficientar los esfuerzos en la planeación metodológica y en su ejecución en campo. De ahí que esta sección también se enlaza a los objetivos del ejercicio.

Antecedentes

Resulta conveniente contar con algunos conceptos que nos permitan representar lo que observamos en la naturaleza. En este caso, de imaginar lo que sucede en ella aún cuando no se pueda observar.

Pensándolo así, la primera pregunta que podría surgir es: **¿en dónde sucede lo que queremos detectar?**

Desde la Física tenemos el concepto de campo, es fundamental ya que permite pensar diferentes manifestaciones. Tiene su anclaje en el concepto matemático de función⁷ y se usa para representar una cantidad medible y variable de magnitudes físicas⁸, misma que dependerá de dónde y cuándo se haya hecho la medición (Llancaqueo, 2003). Este concepto es el que describe y explica fenómenos como los electromagnéticos; puntualmente, es en el siglo XIX que surge a raíz de la búsqueda de la explicación de estos fenómenos.

Es Maxwell en 1855 quien, recuperando las nociones de Faraday, propone dar un cuerpo matemático basado en este nuevo supuesto: la acción electromagnética se transmite continuamente por el espacio y tiempo mediada por el campo (Berkson, 1981).

La noción de campo hace posible que “alguna cosa” pase de un estado potencial a un estado individual – en contraposición con la física aristotélica-: nos permite reconocer la potencia como algo real (García, 1963).

En la Geografía Aplicada, los Sistemas de Información Geográfica⁹ (SIG), abordaron la problemática de no contar con referentes conceptuales pertinentes para poder representar geoméricamente el mundo y, posteriormente, poder representarlo en sistemas informáticos que permitan su investigación: proponen el concepto de objeto. Couclelis (1992) aborda las

7 Una función matemática -o simplemente función- es la relación que hay entre una magnitud y otra, cuando el valor de la primera depende de la segunda. Recuperado de: <https://concepto.de/funcion-matematica/>.

8 Se le llama magnitud física a la cantidad medible de un sistema físico al cual se le pueden asignar distintos valores como resultado de una medición.

9 El término de Sistemas de Información Geográfica suele usarse para referirse a sistemas informáticos orientados a la gestión de datos que conforman herramientas informáticas adecuadas para la investigación y trabajos profesional en Ciencias de la Tierra y Ambientales (Alonso, 2006). Cita en bibliografía.



discusiones entre campos y objetos, concluyendo que ambas son necesarias para estudios que parten de la Física para adentrarse en la Geografía Aplicada.

Conforme lo anterior -y adelantandonos un poco en miras de aterrizar conceptos fundamentales-, tenemos que para los fines del ejercicio, se extraerá -identificará- un objeto, una fosa en este caso; a partir del registro – la detección- de un campo, que será la temperatura del objeto. Más adelante regresaremos a ello.

Ahora bien, **¿cómo podríamos llamar a lo que sucede en el campo?**

Esencialmente, el electromagnetismo se refiere a la interacción de los campos magnéticos y eléctricos. Ahora bien, es la rama de la Física que estudia y unifica los fenómenos eléctricos y magnéticos en una sola teoría; describe la interacción de partículas cargadas con campos eléctricos y magnéticos. Además, su interacción es una de las cuatro fuerzas fundamentales¹⁰ del universo conocido. Como se menciona en el apartado anterior, es gracias al concepto de campo que nos es posible acercarnos teóricamente al entendimiento de este fenómeno.

Dado que es una teoría de campos¹¹, la información que recopila tiene su base en magnitudes físicas que dependen de su posición en el espacio y tiempo.

Los principios de electromagnetismo tienen su aplicación en diferentes momentos de lo que hoy día nos parece cotidiano: tales como el uso de las antenas, la meteorología por radar y la observación remota –la que nos interesa en este estudio-, entre otras.

Entonces, **¿qué es lo que vamos a detectar?**

La radiación electromagnética es considerada una forma de energía, que consiste en la propagación de campos electromagnéticos mediante ondas, transportando cantidades de energía; ésta se pone de manifiesto -se evidencia- a través de su interacción con algún medio material, sin esa interacción su detección sería imposible. Por lo tanto, desde el punto de vista de la teledetección, radiación y materia son indivisibles (Gandia, 1991).

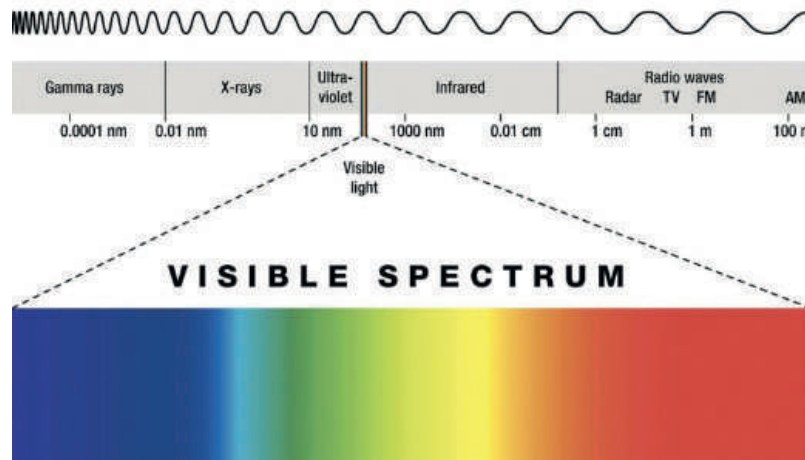
10 Se le denomina fuerza fundamental a cada una de las interacciones entre partículas subatómicas: nuclear fuerte, nuclear débil, interacción gravitatoria y electromagnética. Véase: The Law of Parity Conservation and Other Symmetry Laws of Physics. Chen Ning Yang on Nobel Lecture. Consultado en www.nobelprize.org.

11 Conjunto de principios que permiten estudiar la dinámica y distribución espacial de los campos físicos.

Estas radiaciones tienen diversas maneras de manifestarse: ondas de radio, microondas, luz visible, radiación ultravioleta, rayos X, rayos gamma y radiación infrarroja. Ahondaremos en esta última.

Ahora bien, **la radiación infrarroja (IR)** es un tipo de radiación electromagnética cuya longitud de onda es superior a las que el ojo humano puede captar; no obstante, la percibimos -sentimos- en forma de calor (ver Figura 1). El rango de longitudes de ondas de la IR abarca entre 0.75 y 1.000 μm .¹² Los mismos se subdividen en rayos de onda larga (3-1000 μm) y de onda corta (0.75 y 3 μm). Pensando en el espectro electromagnético, se sitúa entre la luz visible y las microondas (Clínica Universidad de Navarra, 2024).

Figura 1. Imagen del espectro electromagnético.



Fuente: Peter Hermes Furian

La radiación infrarroja es emitida o absorbida por cualquier cuerpo cuya temperatura sea mayor a 0 Kelvin, es decir, -273.15 grados Celsius (cero absoluto)¹³. Ahora bien, la luz solar y la Tierra son las principales fuentes de radiación infrarroja, misma que, como se mencionó,

¹² El micrómetro es una unidad de longitud equivalente a una milésima parte de un milímetro.

¹³ Según la mecánica clásica, a esta temperatura el nivel de energía interna es el más bajo posible, llegado a ese punto, las moléculas carecen de movimiento. Véase: Prontuario del frío. Cita en bibliografía.

se percibe como transferencia de calor. En ese sentido, usualmente, cuanto mayor sea la temperatura de un objeto, más radiación de infrarrojos emitirá y más perceptible -más no visible- será. Hay objetos que están tan calientes que emiten luz visible -pensemos en un trozo de madera quemándose-; y otros que no están tan calientes y solo emiten radiación infrarroja -como los humanos que absorben y después emiten la IR del sol.

Fue William Herschel quien en 1800 descubrió que los colores en sí mismos podrían contener diferentes niveles de calor. Conclusión que derivó del siguiente experimento: dirigió un rayo de luz hacia un prisma de vidrio, lo que provocó la creación de un espectro (arcoiris) que separó la luz en colores. Herschel, con ayuda de termómetros, midió la temperatura de cada uno de los colores y también más allá de donde terminaba el espectro; mientras medía las temperaturas de los colores, se dio cuenta de que todos ellos registraron temperaturas por encima a la media obtenida en sus controles -violeta, azul, verde, amarillo, naranja y roja-; la temperatura aumentaba progresivamente desde el violeta hasta la sección roja del espectro. Al momento de medir la temperatura más allá del haz de luz roja, región que no estaba siendo tocada por la luz, notó que la temperatura era aún más alta, a esa luz “más allá de la luz roja” se le llamó radiación infrarroja. Este fue el primer experimento que demostró que el calor puede transmitirse por una forma no humanamente visible de luz (Sarola, 2020).

Teniendo claro que lo que nos interesa detectar es la radiación infrarroja, vamos ahora con **cómo hacerlo**.

La termografía es la técnica que permite la medición a distancia de temperaturas y sin necesidad de contacto físico con el objeto medido; lo anterior gracias a la captación de la radiación infrarroja que los objetos emiten.

La termografía -con el uso de detectores- capta la radiación infrarroja del espectro electromagnético utilizando cámaras térmicas o de termovisión (Apliter, 2020).

En ese sentido, la teledetección o detección remota remite a la adquisición de información a través de diferentes dispositivos (aviones, satélites, aeronaves, boyas, barcos, entre otros) de un objeto concreto o un área. La interacción electromagnética entre el objeto/área y el sensor, genera una serie de datos que después se procesan para obtener información interpretable (Instituto Geográfico Nacional, s.f.).



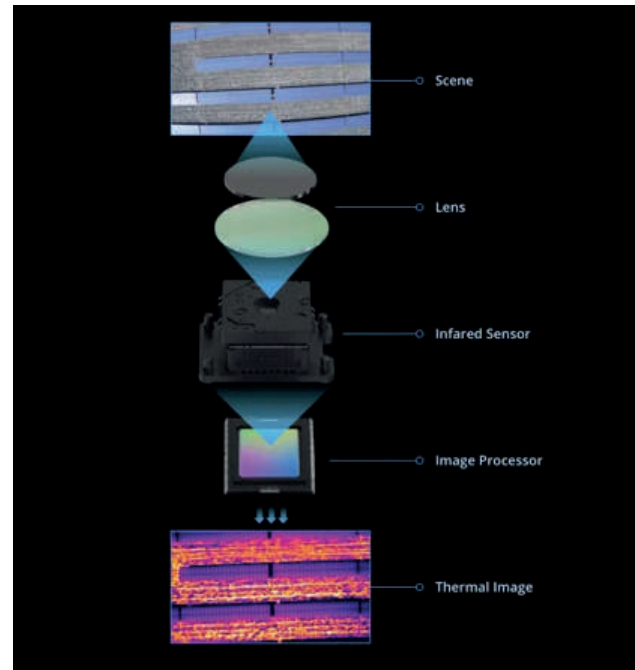
Existen dos tipos de teledetección: pasiva y activa. Los primeros detectan radiación emitida o reflejada por el objeto o área circundante que está siendo observada; la luz solar reflejada es una de las radiaciones que más se miden, misma que se identifica gracias a la cantidad de radiación infrarroja que los objetos -que reciben la luz solar- emiten, determinando así su temperatura. Por otro lado, los activos emiten energía para poder escanear objetos o áreas con lo que el teledetector mide la radiación reflejada del objetivo (Campbell, 2002).

Finalmente, si sabemos que la radiación infrarroja no es visible para nuestros ojos y que la termografía nos ayuda a identificarla **¿con ayuda de qué vamos a detectarla?** Tenemos que hablar de dos dispositivos: el que se encarga de su detección, y el que lo traslada al lugar de detección -recordando que estamos hablando de detecciones remotas.

Las cámaras termográficas o de imagen térmica, están diseñadas para convertir las firmas infrarrojas de los objetos en algo visible para los humanos; a partir de las emisiones del espectro electromagnético de los cuerpos observados, las cámaras detectan su radiación y forman imágenes luminosas visibles para el ojo humano. Generalmente, existe una correlación proporcional entre los niveles de temperatura del objeto y la cantidad de radiación que se emite: a mayor temperatura, mayor número de emisiones.

Las cámaras térmicas utilizan lentes especializados que captan frecuencias IR, junto con sensores de temperatura y procesadores de imagen, con lo cual se logra representar lo captado en una pantalla visual (ver Figura 2). Una vez que las cámaras capturan la información térmica

Figura 2. Diagrama del funcionamiento de una cámara térmica.



Fuente: Godron. Mx

se muestra en una pantalla como una imagen convencional en donde el observador puede seleccionar la paleta de colores para representar el calor en la escena (Godron, 2022).

El uso efectivo de una cámara térmica debería de tener en consideración distintos factores: condiciones atmosféricas, presencia de humo, polvo y escombros, emisividad, transparencia, reflectividad, hora del día en que se hace la observación, ángulo, distancia del objetivo, cantidad de energía térmica y relieve de la superficie (Godron, 2022).

Lo anterior en lo referente al detector, ahora vamos con el segundo dispositivo que se encarga de llevarlo al sitio de nuestro interés.

Comúnmente, se le conoce como dron a todo vehículo aéreo que se controla de manera remota, es decir, un vehículo aéreo no tripulado (VANT).¹⁴

El uso del término dron, tiene un origen anglosajón. En inglés, drone quiere decir zumbido, otro significado de la palabra es zángano, el cual se utiliza para referirse a la abeja macho, cuya función es fecundar a la abeja reina. Desde que se definió la palabra zángano ha sido comúnmente utilizada desde el siglo XVI y hasta la actualidad para referirse a personas que no gustan de trabajar y evitan hacerlo cada tanto que pueden (Martínez, 2020). En 1835 se crean aeronaves con control remoto y el oficial Delmer Fahney relaciona la palabra drone con el nombre de la nueva nave no tripulada: DH 82B *Queen Bee*. Finalmente, el término se popularizó gracias a la publicación de la revista estadounidense *Popular Science* a finales de 1946, en donde se hizo uso del término para referirse a las naves manejadas por radiocontrol (Martínez, 2020).

Su uso ha sido históricamente militar, siguiendo el estudio de Martínez (2020), los protodrones fueron los globos no tripulados que cargaban con bombas que se encendían de manera electromagnética, gracias a un cable conductor que estaba conectado a una batería en la tierra, mismos que se usaron en el ataque de Austria en 1849¹⁵ y en ciertos ataques de las tropas unionistas hacia el ejército confederado en la guerra de Secesión estadounidense (1861- 1865). Para no extendernos demasiado en la materia, nos limitaremos a mencionar que se utilizaron durante la Primera Guerra Mundial, las batallas entre guerras, la Segunda Guerra Mundial y la Guerra Fría. Al tener un uso prolongado en instancias militares, sus características

14 También conocidos como UAV (Unmanned Aerial Vehicle) y RPAS (Remotely Piloted Aircraft System), por sus siglas en inglés.

15 Considerado el primer bombardeo de la historia.



se fueron sofisticando y miniaturizando. Sus principales desarrolladores y usuarios son los estadounidenses.

En la actualidad, sus aplicaciones se han diversificado - aunque siguen teniendo lugar en el campo militar, tanto en misiones de reconocimiento como de ataque¹⁶ -, por lo que ahora existen drones de uso civil y comercial. Existen múltiples campos de aplicación para los mismos, desde sectores agrónomos, uso policial¹⁷ y de vigilancia, control de incendios forestales, investigaciones arqueológicas, cobertura de eventos, búsqueda de personas, fines recreacionales, de investigación geológica, entre otros.

Ahora que tenemos nociones para pensar en nuestra técnica de detección, vamos con su aplicación al contexto que nos interesa. En primer lugar tenemos que pensar su aplicación en contextos de **búsqueda en superficie**.

Generalmente, cuando se reporta a una persona como desaparecida se despliegan extensas labores de búsqueda en el área en donde la persona fue vista por última vez. En tal situación las labores de rescate deben de ejecutarse lo más rápido que sea posible, pensando que cualquier retraso puede significar el daño o incluso la pérdida de vida de la persona desaparecida. Como se puede inferir los ambientes en donde suelen desaparecer las personas tienden a ser hostiles¹⁸ para con las labores de búsqueda (Cooper, 2005).

El uso de los drones (VANT) como herramienta de apoyo tecnológico en contextos de rescate de emergencia ha ido incrementando (Caputo et al., 2022). Hay varias razones que lo explican: los drones pueden sobrevolar rápidamente regiones difíciles de explorar; pueden entregar equipo de rescate -como medicamentos o insumos de curación- mucho más rápido que los equipos humanos; su vuelo es por debajo de la altitud del tráfico aéreo- lo que hace que no se vea comprometido por el de otras aeronaves-; tienen menores costos de operación¹⁹ y respuestas más rápidas; y pueden acercarse más al área de interés (Caputo et al., 2022).

16 Véase: *Pakistán Says U.S. Drone Kills 13*, para dar cuenta de un caso en donde se exhiben las consecuencias de que la inteligencia artificial (IA) de un dron pudiera determinar por sí misma los objetivos a atacar. Cita en bibliografía.

17 Existen diversas reflexiones críticas en torno a las implicaciones de la videovigilancia con drones. Véase: “El dispositivo del dron: entre la vigilancia securitaria y la necropolítica”. Cita en bibliografía.

18 Escenarios post-desastres naturales, con poca o nula visibilidad, áreas inaccesibles, riesgos contextuales entre otras.

19 Respecto a los helicópteros y otras aeronaves tripuladas.

Lo anterior hace posible afirmar que su uso efectivo²⁰ como herramienta de apoyo tecnológico tiene el potencial de agilizar y profundizar significativamente los esfuerzos de búsqueda de personas desaparecidas.

En lo referente al uso de los drones equipados con cámara térmica, su pertinencia reside en que ésta captura el calor que la persona en localización emite y crea imágenes usando la radiación infrarroja, a esa imagen se le conoce como termograma²¹. Lo anterior incluso en terrenos con condiciones complicadas, dado que la radiación infrarroja, por su longitud de onda, atraviesa el humo, y como la oscuridad tan solo es la ausencia de luz visible, los detectores siguen haciendo su trabajo. Por lo que resulta provechosa su incidencia en situaciones donde existen estructuras colapsadas, ambientes ardientes o áreas peligrosas (Rizk y Bayad, 2023).

Con el uso de los detectores de imagen térmica se hace posible el discernimiento de alguna firma infrarroja que resalte del resto del ambiente en que se encuentra; situación que permite aseverar la probable presencia de la persona desaparecida, todo esto a distancia, facilitando considerablemente su ubicación (Rizk y Bayad, 2023).

Teniendo en mente los elementos de la búsqueda en superficie, vamos ahora con la **búsqueda bajo tierra**. Estamos en el contexto específico que nos interesa y en el cual se desarrolla nuestro proyecto experimental.

El apoyo técnico de los drones con cámara térmica tiene su aplicación en la búsqueda de cadáveres o restos humanos de personas desaparecidas; mismos que, usualmente, se encuentran en fosas clandestinas.

La descomposición de un cuerpo está influenciada por las condiciones de su entierro, por lo que es crucial comprender el impacto de las diferentes condiciones ambientales para una detección precisa de las fosas clandestinas. De ahí que las técnicas geofísicas que se apoyan en el uso de drones han ganado popularidad en la localización de fosas clandestinas, recordando que ofrece acercamientos no invasivos para detectar irregularidades en la superficie y el subsuelo (Persico et al., 2023).

Los principios que rigen su detección son los mismos que en el contexto de búsqueda en vida. Sin embargo, por la naturaleza de la empresa a la que nos enfrentamos -no vemos a la persona que buscamos- existen muchas más variables a considerar en las labores de

20 Posibilitado por el trabajo humano.

21 Registro gráfico de las variaciones de temperatura. Consultado en: <https://www.rae.es/dhle/termograma>.

localización. La muerte de un ser vivo conlleva distintas transformaciones físico-químicas que hacen del cadáver un ecosistema dinámico al que se asocian una serie de organismos²² necrófagos, necrófilos, omnívoros y oportunistas que van presentándose dependiendo del estado de descomposición del cuerpo sin vida (Magaña, 2000).

Esas transformaciones y la temperatura de su entorno, hacen posible que el cadáver emita radiación – percibida en forma de calor-, misma que es captada por el detector del dron y representado en una imagen térmica. Uno de los grandes retos de esta labor reside en que los cadáveres tienden a calentarse y enfriarse en momentos distintos a los del ambiente en el que se encuentran, lo que complica tanto su detección como la interpretación de las firmas de calor (Johal, 2020).

Existen pocos registros de ejercicios experimentales y en campo que concluyan su efectividad. No obstante, existen varias investigaciones arqueológicas que muestran la relevancia en búsquedas forenses²³. Respecto a los **registros en el contexto que nos interesa**, si bien, no hay muchos, los que existen concluyen la pertinencia de esta técnica. A continuación recuperamos un par de ellos.

- Proyecto de investigación de Nuffield Research Placements y Keele University (Johal, 2020).

En esta investigación realizada en 2020, se plantearon los siguientes objetivos: dar cuenta de la efectividad del apoyo tecnológico de los drones con cámara térmica en la detección de cadáveres y descubrir el mejor momento del día para hacer un reconocimiento de imagen térmica.

En ambos experimentos -tierra y agua-, un cadáver de cerdo fue colocado en los ambientes y todos los días se hicieron reconocimientos de imagen térmica, tanto de la fosa como de su alrededor.

22 Para ahondar en la fauna cadavérica en el contexto de búsqueda de personas, véase: “Quiénes son los primeros en detectar una inhumación clandestina? Entomología forense: los insectos y su relación con las fosas clandestinas”. Artículo recopilado en este libro.

23 Véase: Heitger, R. (1991). *Thermal Infrared Imaging for the Charity Hospital Cemetery Archaeological Survey: Implications for Further Geological Applications*. University of New Orleans; o bien: Sedina, J., et al. (2016). *Documentation of Urn Graves of Knoví Culture by RPAS*. Czech Technical University of Prague. Por mencionar algunos.

Concluyen que, efectivamente, es posible hacer reconocimientos de cámara térmica para localizar cadáveres, lo anterior debido a las diferencias de temperatura entre el cadáver y su ambiente. Así mismo, exponen que el día óptimo para hacer los reconocimientos en agua fue entre 11 y 15 IPM²⁴; mientras que en tierra hablan de entre 11 y 13 IPM. Por otro lado, detectaron que en tierra el momento del día con mayor diferencia de temperatura es a la 1pm, concluyendo que esa temporalidad es la óptima para hacer un reconocimiento de cámara térmica.

- Detección de fosas clandestinas en Kuwait (Alawadhi et al., 2023).

Este estudio realizó labores de búsqueda con drones equipados con cámara térmica en regiones áridas de Kuwait. Enterraron cadáveres de ovejas en fosas experimentales y de control, en donde se tomaron imágenes del área de investigación durante 18 meses.

Concluyen que: la variación de temperatura entre la fosa y sus alrededores es detectable durante, por lo menos, 7 meses; la humedad del suelo puede ayudar en la detección de fosas durante 10 meses en un clima árido; la altura a la que se vuela el dron tiene un efecto insignificante en la detección de la temperatura de la fosa; su investigación es la primera en su tipo en ambientes desérticos; y afirman que los resultados son prometedores ya que permitirán guiar investigaciones a futuro.

Método y materiales

Después de tener claro qué es lo que nos interesa descubrir y con el apoyo de qué técnica podemos detectarlo, surge ahora la interrogante de **¿cómo comprobar su eficacia?**

La naturaleza experimental de la presente investigación no involucra la preocupación fundamental de una búsqueda en campo, de hecho es precisamente lo contrario: se conoce el lugar exacto de las fosas. En ese sentido, los esfuerzos no están dirigidos a mera su identificación, sino en encontrar la manera más explícita de detectarlas.

Se conocen, al menos, dos motivos por los que el suelo se calienta o enfría con menor rapidez cuando hay cuerpos enterrados: el primero obedece a que la existencia de agua de un cuerpo

24

El Intervalo Post Mortem (IPM) es el tiempo transcurrido desde la muerte de un ser vivo.

en proceso de descomposición permite que este conserve su temperatura -inercia térmica- respecto a su área circundante; el segundo ocurre cuando el cuerpo, una vez descompuesto, va dejando espacios vacíos o huecos que fungen como aislante térmico, permitiendo que su “fosa” se caliente con menor rapidez respecto a su superficie circundante (Silván et al., 2021).

En ese sentido, se optó por utilizar la **termografía diferencial**, la cual consiste en la captura de dos o más fotografías térmicas a lo largo de un día para con ellas estudiar la tasa de calentamiento/enfriamiento de las superficies e identificar anomalías térmicas (Silván et al., 2021). El cálculo se realiza quitando de una segunda imagen térmica una primera y dividiendo su resultado entre la suma de ambas tomas.

En concreto, nos serviremos del índice de diferencia normalizada -el cual lleva su nombre por su forma algebraica- para detectar los cambios sutiles en los registros de temperatura.

$$ND = \frac{T_D - T_N}{T_D + T_N}$$

Donde la T hace referencia al campo de temperatura y los subíndices al momento de registro de éste, D para día (entre 7 a.m. y 7 p.m.) y N para la noche (entre 7 p.m. y 7 a.m.).

La información detallada de las condiciones del surgimiento y las características generales de las inhumaciones están expuestas en uno de los apartados iniciales²⁵, por lo que nos limitaremos a citar los datos que le atañen a este artículo, así como a mencionar los datos complementarios del estudio.

Los dos polígonos²⁶ en donde se encuentran nuestras fosas experimentales se ubican, uno, en el Centro Universitario de Tonalá (CUT) de la Universidad de Guadalajara (UDG) -ubicado al oriente del área metropolitana de Guadalajara- y, el otro, en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) sede Cajititlán -ubicado al sur del AMG.

25 Véase: “Experimentación forense: la historia de un proyecto”; recopilado en este libro. Ahí mismo se encuentran las referencias de los datos que aquí recuperamos.

26 De ahora en adelante: “Polígono 1” y “Polígono 2”.

En la ubicación del Polígono 1 (de 14.58 m x 40.31m x 14.83 x 39.96m) predomina el clima templado subhúmedo y, durante el tiempo de la investigación, registró una temperatura media de entre los 18 a los 25 grados centígrados y se encuentra a mil 530 metros sobre el nivel del mar. Presenta un suelo de tipo Vertisol²⁷; la fase física en la que se encuentra se le conoce como lítica profunda -capa de roca dura y continua-, así mismo, presenta roca toba, por lo que puede absorber líquidos en su superficie.

Por otro lado, en la ubicación del Polígono 2 (de 38.80m x 24.42m x 6.20m x 25.86m x 12.69 m) también encontramos el clima templado subhúmedo; durante el período de la investigación, registró una media de temperatura de entre los 17 y los 23 grados centígrados y tiene una altura de mil 540 metros sobre el nivel del mar. Su suelo es igualmente de tipo Vertisol; mientras que en el componente geológico no se distingue una roca predominante, más sí formaciones aluviales: con presencia de materiales de reciente deposición.

En cada polígono se realizaron 16 fosas en donde se depositaron los cadáveres de 27 cerdos de granja, con un rango de peso individual de entre 40 y 65 kilogramos. Primero se inhumaron 14 porcinos en el Polígono 1, en un mismo número de fosas²⁸; la orientación de los cerdos fue en la posición S a NE. Posteriormente, en el Polígono 2 se realizaron 16 fosas²⁹ en donde se colocaron 13 cadáveres de porcinos. En ambos polígonos, se dejaron dos fosas vacías a manera de control³⁰. Con la intención de replicar condiciones reales, a cada fosa se le dio un tratamiento distinto (*ver Figura 3*).

Respecto al Vehículo Aéreo No Tripulado (VANT) o dron que utilizamos, fue un DJI 3 térmico. Mismo que, entre otras funciones, alcanza vuelos de 2 kilómetros cuadrados con duración de hasta 45 minutos; cuenta con zoom de 12-56 megapíxeles y cuenta con la función de vuelos programados (DJI Enterprise, s.f.). El DJI 3 térmico permite la medición de temperatura en punto y área, para así obtener alertas cuando se encuentre con alguna variación significativa, a través de su lente que mide la radiancia³¹ infrarroja que es emitida, absorbida y reflejada por los objetos, el espacio o las personas en mira (DJI Enterprise, s.f.).

27 Caracterizado por su alto contenido de arcilla.

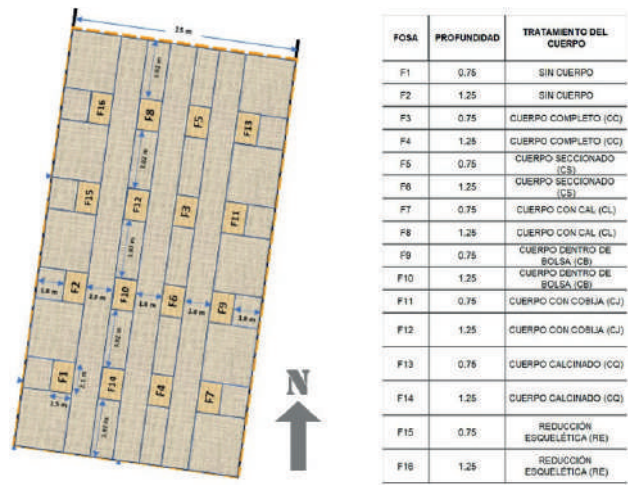
28 Véase Tabla 1 y las Figuras 1, 2 y 3 del apartado de “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.

29 Véase Tabla 2 y las Figuras 4, 5 y 6 del apartado antes mencionado.

30 Los controles, en la investigación, son procedimientos que ayudan a probar o limitar las fuentes de error, a la par de contribuir en la dirección del trabajo (Boring, 1954).

31 Entiéndase por la cantidad de radiación electromagnética que es emitida por un área en específico (Lira & Guevara, 2017).

Figura 3. Representación de ubicación de fosas y tratamientos en polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Figura 4. Vuelo de dron DJI 3 térmico



Fuente: elaboración propia.

Para procesar las imágenes de los vuelos, usamos el software Agisoft PhotoScan Professional, versión 1.4.5 build 7354 (64 bit) Multi-view 3D Reconstruction, para con ellos obtener los modelos de terreno en 3D, ortomosaicos iniciales³² y modelos de elevación. En lo que respecta a las temperaturas de las imágenes térmicas, fueron extraídas con el software DJI Thermal Analysis Tools 3.

Se realizaron vuelos de barrido simple³³ (ver Figura 6), mismos que se efectuaron en distintos horarios de diferentes días. En su forma más sencilla, la tasa de calentamiento se

32 EL ortomosaico es una imagen corregida de los efectos creados por las irregularidades y pendientes de la superficie terrestre (Silván et al, 2021).

33 Plan de vuelo con líneas paralelas con traslape frontal (entre fotos consecutivas) del 75% y lateral (entre líneas consecutivas) de no menos de 60%. Se utiliza este plan de vuelo para crear ortomosaicos con la cámara orientada verticalmente (Silván et al, 2021).

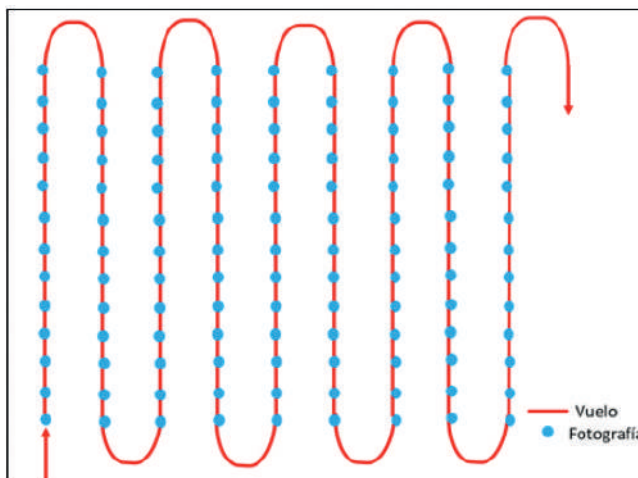
puede calcular sustrayendo a una imagen diurna, una nocturna (Silván et al., 2021). Con base en lo anterior, realizamos vuelos en dos temporalidades: diurnos (3:00- 5:00 pm) y nocturnos (4:00-6:00 am).

Figura 5. Dron DJI 3 térmico



Fuente: elaboración propia.

Figura 6. Esquema de un plan de vuelo de un solo barrido

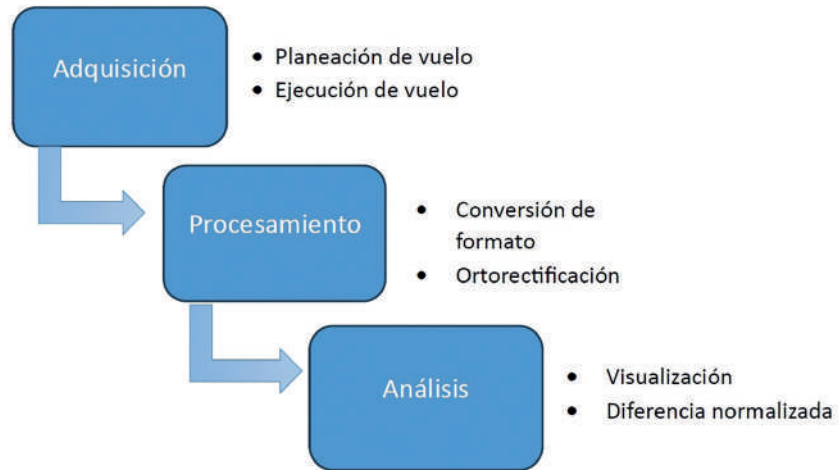


Fuente: Guía BUSCA.

Una vez procesada la información de los vuelos, se cargaron en la plataforma Global Spectral Index Mapper (GSIM) y con ayuda de sus funciones obtuvimos las imágenes termográficas con la diferencia normalizada de cada polígono, finalmente se descargaron los termogramas para mapearlos.

Dado que el dron llegó meses después de las inhumaciones, los ejercicios se realizaron cuando los cadáveres de los porcinos ya se encontraban en descomposición -recordemos la segunda razón del ralentizamiento térmico del suelo en contexto de entierros.

Figura 7. Este diagrama muestra el flujo de trabajo que se siguió para obtener la información térmica de los sitios de inhumación



Fuente: elaboración propia.

5. Resultados

En las Tablas 1 y 2 y las Figuras 8 y 9, aparecen dos matrices y sus representaciones gráficas en donde vertimos el registro de las temperaturas mínimas, máximas y promedio de cada una de las fosas en los distintos vuelos.

En la matriz del Polígono 1 (véase *Tabla 1*), aparecen los datos de los vuelos que permitieron la obtención de la diferencia normalizada -diurnos y nocturnos-, además, se registraron los datos que se obtuvieron de dos vuelos previos -23 de febrero y 19 de abril- que fueron realizados durante la mañana en dos días distintos. Mismos que fungieron como vuelos de evaluación y reconocimiento del área; en ellos se conoció de primera mano el escenario de experimentación y al momento de práctica en lo que a la ejecución de vuelos se refiere.

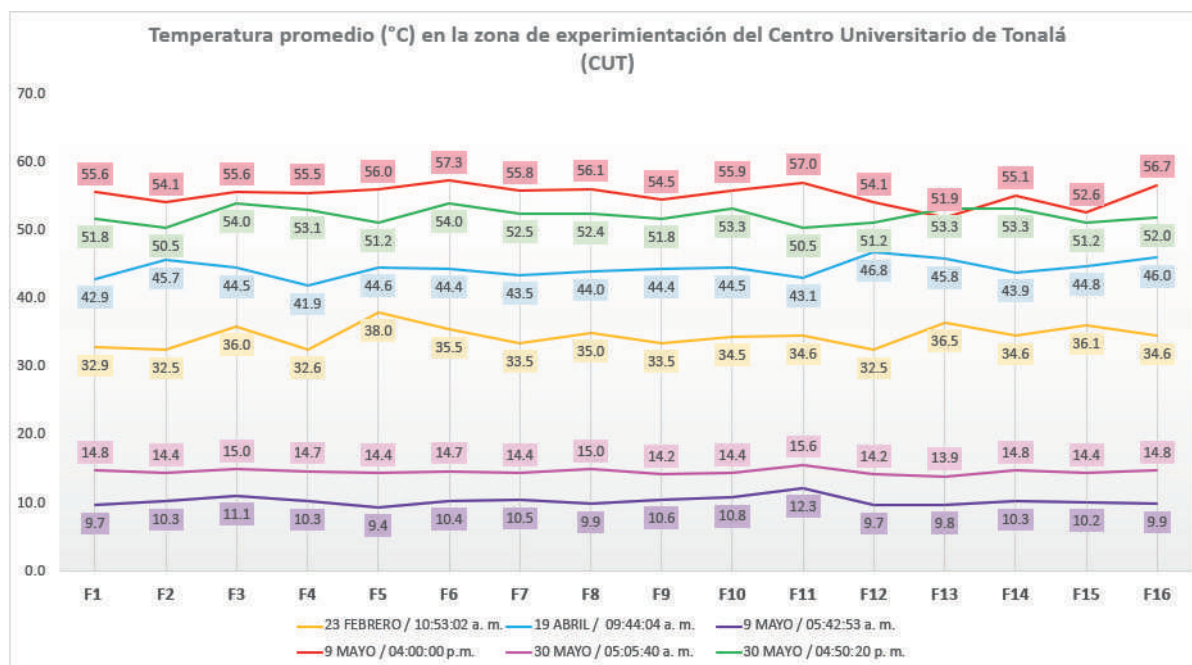
Ya que los vuelos realizados en el Polígono 2 se limitaron a los que posibilitaron la diferencia normalizada, en la matriz del Polígono 2 (*Tabla 2*) solamente aparecen los datos de los vuelos diurnos y nocturnos.

Tabla 1. Matriz de temperaturas superficiales en polígono 1

# FOSA	SIGLAS	TRATAMIENTO	23 FEBRERO / 10:53:02 a. m.			19 ABRIL / 09:44:04 a. m.			9 MAYO / 05:42:53 a. m.			9 MAYO / 04:00:00 p.m.			30 MAYO / 05:05:40 a. m.			30 MAYO / 04:50:20 p. m.		
			MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C
F1	SC	SIN CUERPO	29.7	32.9	36.1	39.9	42.9	45.9	7.9	9.7	11.5	54.0	55.6	57.3	13.7	14.8	15.8	50.2	51.8	53.4
F2	SC	SIN CUERPO	29.5	32.5	35.6	42.1	45.7	49.3	8.7	10.3	12.0	47.5	54.1	60.8	13.7	14.4	15.2	46.7	50.5	54.2
F3	CC	CUERPO COMPLETO	30.9	36.0	41.1	40.4	44.5	48.6	8.7	11.1	13.4	52.6	55.6	58.7	13.7	15.0	16.3	52.4	54.0	55.6
F4	CC	CUERPO COMPLETO	29.7	32.6	35.5	38.7	41.9	45.1	8.3	10.3	12.4	53.3	55.5	57.7	13.1	14.7	16.3	51.3	53.1	54.9
F5	CS	CUERPO SECCIONADO	34.7	38.0	41.2	42.8	44.6	46.4	7.6	9.4	11.2	54.1	56.0	57.9	13.1	14.4	15.8	49.0	51.2	53.4
F6	CS	CUERPO SECCIONADO	32.2	35.5	38.8	42.6	44.4	46.2	7.9	10.4	12.9	54.8	57.3	59.7	13.1	14.7	16.3	52.7	54.0	55.2
F7	CL	CUERPO CON CAL	31.1	33.5	35.9	39.2	43.5	47.9	9.2	10.5	11.8	54.4	55.8	57.2	13.1	14.4	15.8	51.3	52.5	53.8
F8	CL	CUERPO CON CAL	31.5	35.0	38.5	41.3	44.0	46.6	7.6	9.9	12.2	53.1	56.1	59.1	13.7	15.0	16.3	50.9	52.4	53.8
F9	CSB	CUERPO SECCIONADO EN BOLSA	30.9	33.5	36.1	42.6	44.4	46.2	8.7	10.6	12.4	50.6	54.5	58.3	13.1	14.2	15.2	49.0	51.8	54.6
F10	CB	CUERPO EN BOLSA	32.2	34.5	36.8	41.2	44.5	47.8	8.2	10.8	13.3	52.8	55.9	59.0	13.1	14.4	15.8	51.6	53.3	54.9
F11	CCO	CUERPO CON COBIJA	31.1	34.6	38.2	39.3	43.1	47.0	10.2	12.3	14.3	55.1	57.0	58.9	14.2	15.6	16.9	47.1	50.5	53.8
F12	CCO	CUERPO CON COBIJA	27.1	32.5	37.9	43.7	46.8	49.8	6.9	9.7	12.5	51.6	54.1	56.6	12.5	14.2	15.8	49.0	51.2	53.4
F13	CCA	CUERPO CALCINADO	34.1	36.5	39.0	44.7	45.8	46.9	8.3	9.8	11.3	45.8	51.9	58.0	13.1	13.9	14.7	52.0	53.3	54.6
F14	CCA	CUERPO CALCINADO	32.0	34.6	37.2	40.7	43.9	47.1	8.8	10.3	12.4	53.5	55.1	56.8	13.7	14.8	15.8	52.0	53.3	54.6
F15	RE	CUERPO EN REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	29.2	36.1	43.0	40.7	44.8	48.9	8.3	10.2	12.0	45.8	52.6	59.4	13.1	14.4	15.8	49.0	51.2	53.4
F16	RE	CUERPO EN REDUCCIÓN ESQUELÉTICA	31.9	34.6	37.3	43.0	46.0	48.9	8.5	9.9	11.3	53.7	56.7	59.7	13.7	14.8	15.8	50.2	52.0	53.8

Fuente: elaboración propia.

Figura 8. Gráfico de registro de temperaturas superficiales por temporalidades en polígono 1



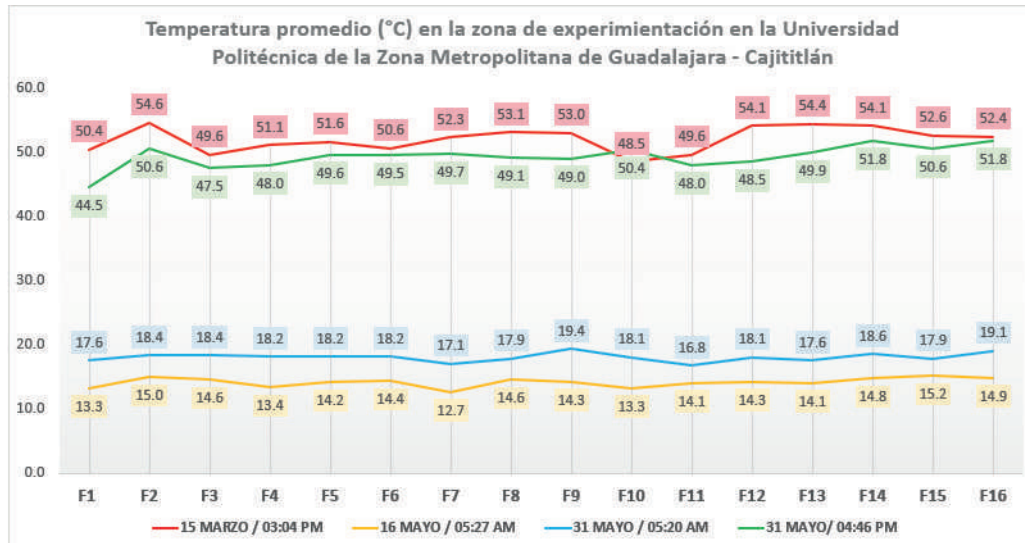
Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Matriz de temperaturas superficiales en polígono 2

# FOSA	SIGLAS	TRATAMIENTO	15 MARZO / 03:04 PM			16 MAYO / 05:27 AM			31 MAYO / 05:20 AM			31 MAYO/ 04:46 PM		
			MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C	MIN °C	PROM °C	MAX °C
F1	SC	SIN CUERPO	42.6	50.4	58.1	12.0	13.3	14.5	16.3	17.6	18.9	40.4	44.5	48.6
F2	SC	SIN CUERPO	50.4	54.6	58.9	13.1	15.0	16.9	17.3	18.4	19.5	47.5	50.6	53.8
F3	CC	CUERPO COMPLETO	43.4	49.6	55.8	13.5	14.6	15.7	17.3	18.4	19.5	42.0	47.5	53.1
F4	CC	CUERPO COMPLETO	45.0	51.1	57.3	12.3	13.4	14.6	16.9	18.2	19.5	42.8	48.0	53.1
F5	CL	CUERPO CON CAL	46.3	51.6	56.9	13.0	14.2	15.3	16.9	18.2	19.5	45.5	49.6	53.8
F6	CL	CUERPO CON CAL	44.9	50.6	56.4	12.7	14.4	16.1	16.9	18.2	19.5	44.4	49.5	54.6
F7	CB	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA	45.1	52.3	59.4	11.1	12.7	14.2	15.2	17.1	18.9	46.3	49.7	53.1
F8	CB	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA	48.3	53.1	58.0	13.3	14.6	15.9	16.3	17.9	19.5	44.4	49.1	53.8
F9	CP	CUERPO CON PIEDRAS	46.4	53.0	59.6	12.6	14.3	16.1	17.9	19.4	20.9	43.2	49.0	54.9
F10	CP	CUERPO CON PIEDRAS	41.6	48.5	55.5	12.0	13.3	14.6	16.3	18.1	19.9	45.5	50.4	55.2
F11	CM	CUERPO CON CEMENTO	41.2	49.6	58.0	12.1	14.1	16.1	13.7	16.8	19.9	41.5	48.0	54.6
F12	CM	CUERPO CON CEMENTO	50.1	54.1	58.2	12.9	14.3	15.8	17.3	18.1	18.9	43.6	48.5	53.4
F13	CCT	CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	50.0	54.4	58.7	13.1	14.1	15.1	16.3	17.6	18.9	47.1	49.9	52.7
F14	CBT	CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	50.0	54.1	58.3	13.5	14.8	16.1	17.3	18.6	19.9	50.2	51.8	53.4
F15	CST	CUERPO SEGMENTADO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	47.6	52.6	57.6	13.5	15.2	16.9	16.3	17.9	19.5	48.2	50.6	53.1
F16	CMT	CUERPO CON CEMENTO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO	45.0	52.4	59.8	13.1	14.9	16.8	17.3	19.1	20.9	49.8	51.8	53.8

Fuente: elaboración propia.

Figura 9. Gráfico de registro de temperaturas superficiales por temporalidades en polígono 2



Fuente: elaboración propia.

A partir del registro de las temperaturas de cada fosa, es posible comenzar con interpretaciones individualizadas que permitan entender el comportamiento térmico específico de cada tratamiento. Por ejemplo, el caso de las fosas que alojan cadáveres con cemento (F11 y F12), que en el caso de los vuelos en el Polígono 1, reportaron temperaturas especialmente altas. Pensamos pertinente seguir estudiando sus comportamientos individualizados, de ahí la decisión de integrar los registros de todos los vuelos.

La Figura 11 muestra dos ortomosaicos termográficos con delimitación individual de las fosas que corresponden a las imágenes termográficas diurnas de ambos polígonos; la Figura 12, muestra los de los vuelos nocturnos de ambos polígonos; y, finalmente, la Figura 13, los que expresan la diferencia normalizada, también, de ambos polígonos.

Tanto en los ortomosaicos termográficos diurnos como en los nocturnos (Figuras 11 y 12), la paleta de colores representa al calor con el color rosado y a la ausencia del mismo con el azul. En los que corresponden a la diferencia normalizada (Figura 13), el calor se representa

con el color amarillo y a la ausencia del mismo con el azul. Como se mencionó anteriormente, las imágenes térmicas con diferencia normalizada fueron construidas a partir de imágenes térmicas diurnas y nocturnas del mismo día de vuelo que cargamos y procesamos en Earth Engine.

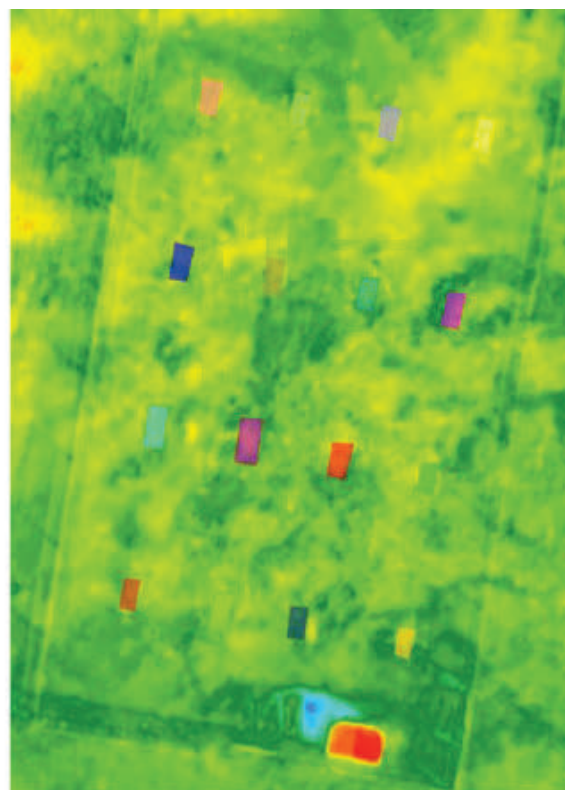
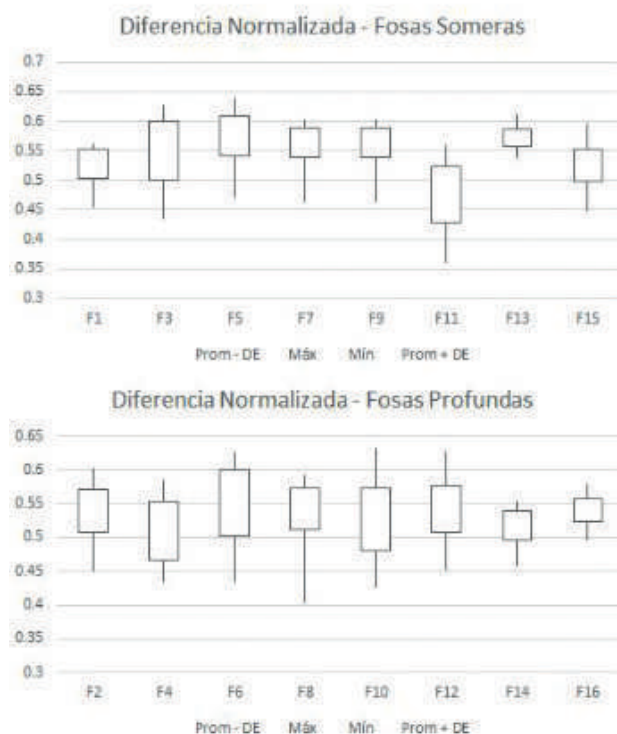
Con base en lo que exponen, resulta posible notar que algunas de las fosas se calientan más durante la tarde (ver Figura 11), identificando que las fosas que registran temperaturas más altas son las que no tienen vegetación a su alrededor (fosas³⁴ 1, 14, 4, 7, 16, 8, 5 y 13); por otro lado, resulta evidente que casi la totalidad de las fosas pierden más calor -se enfrían más- que la superficie (ver Figura 12). Lo anterior hace posible que en el ortomosaico de la diferencia normalizada sea posible identificar las 16 fosas (ver Figura 12). Un análisis más detallado de la variación de temperaturas de las fosas del Polígono 1 revela en el caso de las fosas someras (75 cm) la diferencia normalizada es mayor respecto a la fosa de control (F1), excepto la fosa F11 donde, por la vegetación, la diferencia normalizada permanece por debajo de la de control. Para el caso de las fosas profundas (1.25m) la diferencia respecto a la fosa de control no fue tan clara ya que solo 3 fosas (F6, F10 y F12) presentaron valores máximos por encima del control, indicando que las variaciones de temperatura en el resto de las fosas podrían ser atribuibles a factores ambientales y características del suelo más que al contenido (ver Figura 10).

En contraste con los resultados anteriores, en el Polígono 2 no se observan las divergencias térmicas de las fosas. Lo anterior sucedió tanto en caso nocturno como diurno; de ahí que en la imagen térmica con la diferencia normalizada el polígono aparezca con un tono casi homogéneo (ver Figuras³⁵ 11, 12 y 13). Se infiere que este comportamiento tiene que ver con la presencia significativa de vegetación y humedad, la cual se encuentra dentro y en las inmediaciones del polígono, misma que parece estar ocultando los cambios de temperatura del suelo y las fosas.

34 Tratamientos: Sin cuerpo, cuerpo calcinado, cuerpo completo, cuerpo con cal, reducción esquelética y cuerpo seccionado.

35 Todos los polígonos, vértices y mapas de fondo fueron elaborados por la Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ, a excepción de los mapas de fondo de la Figura 13, los cuales fueron descargados de la plataforma Global Spectral Index Mapper. Centro Geo.

Figura 10. Esta figura muestra los rangos del índice de la diferencia normalizada a la izquierda en los polígonos de fosas mostrados a la derecha

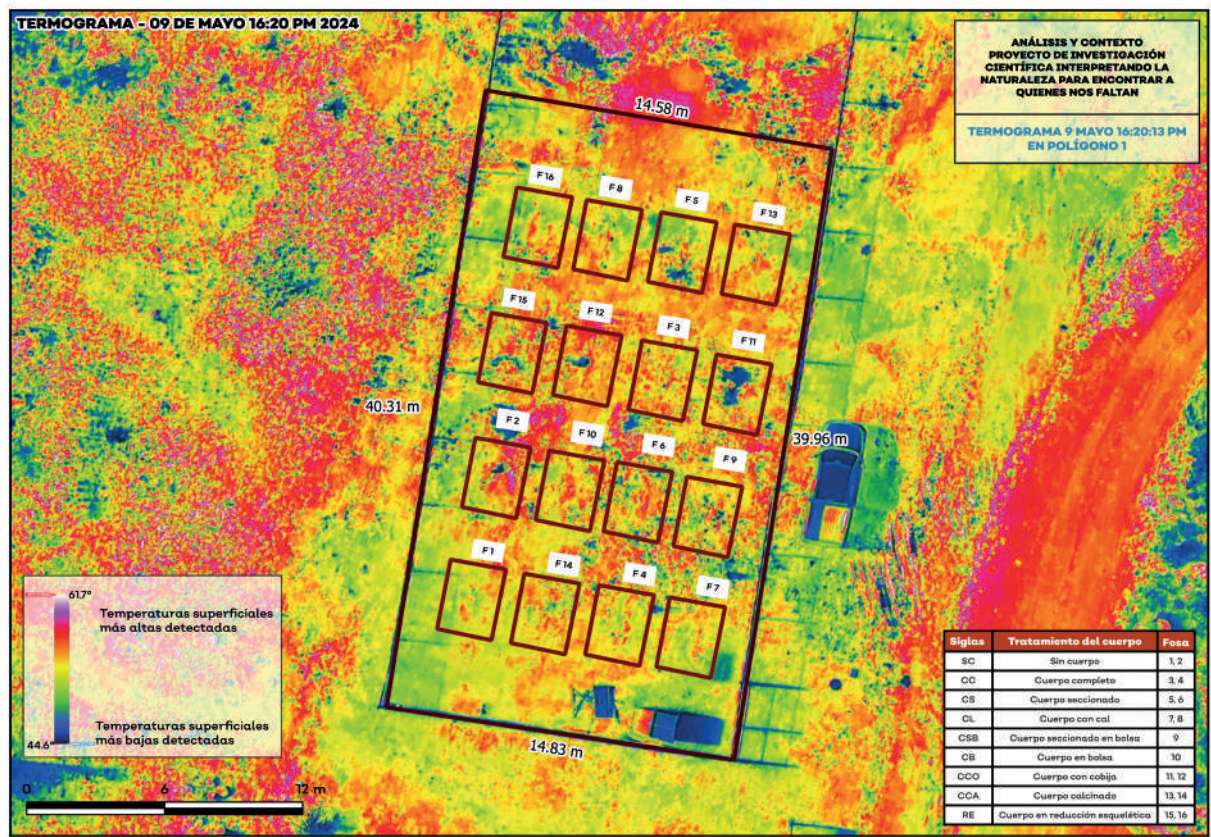


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

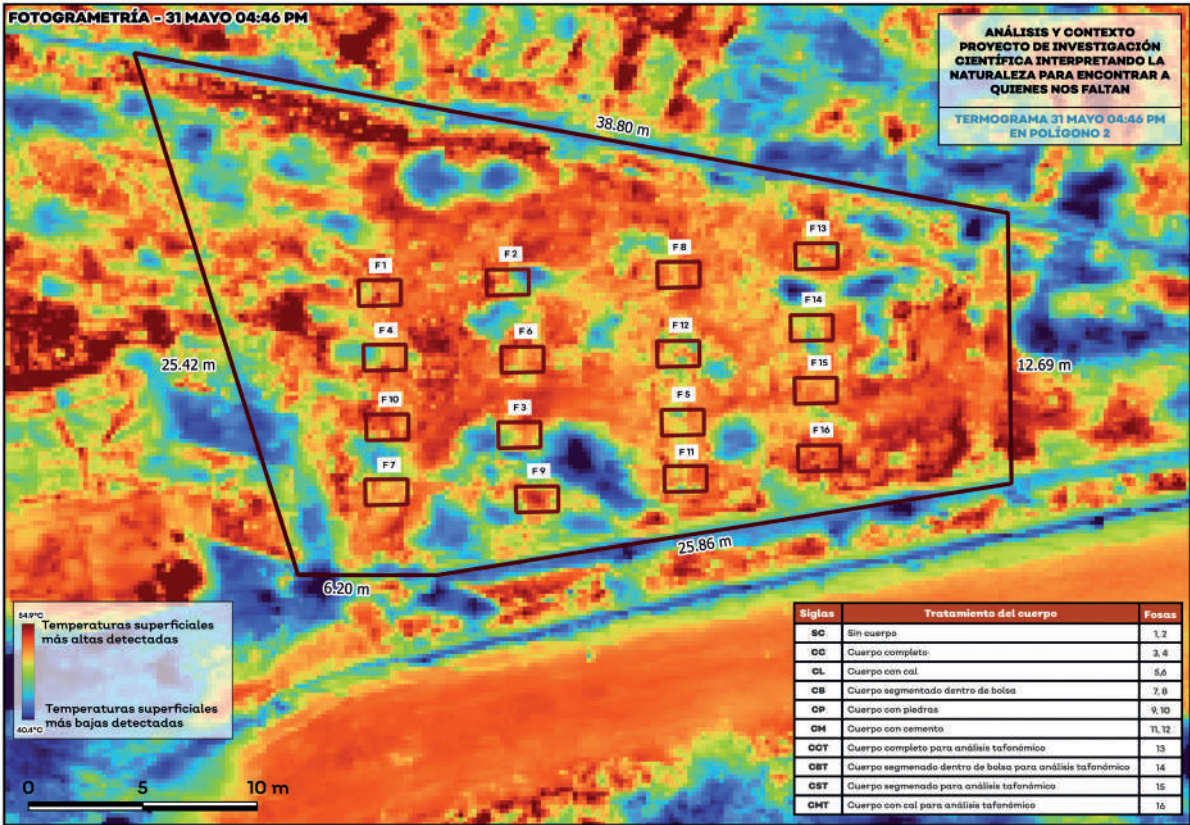
Figura 11. Ortomosaicos termográficos diurnos en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2

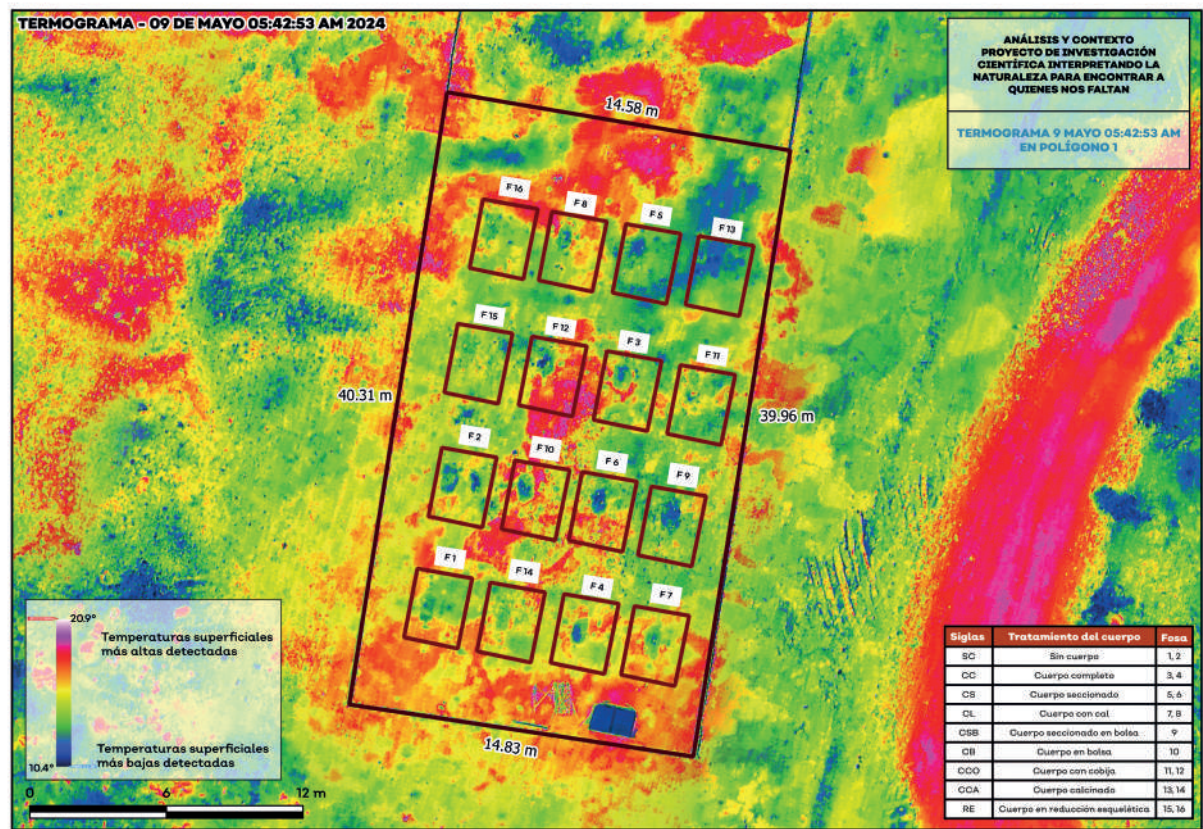


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

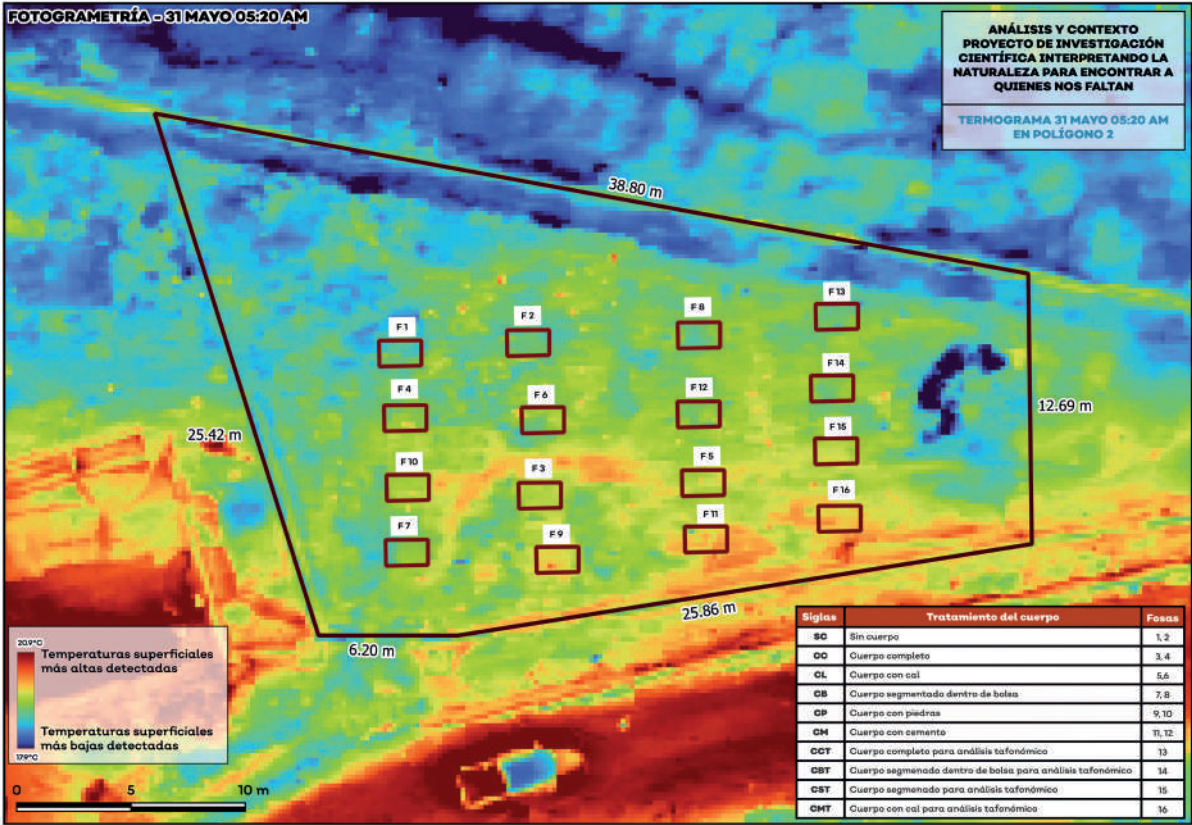
Figura 12. Ortomosaicos termográficos nocturnos en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2

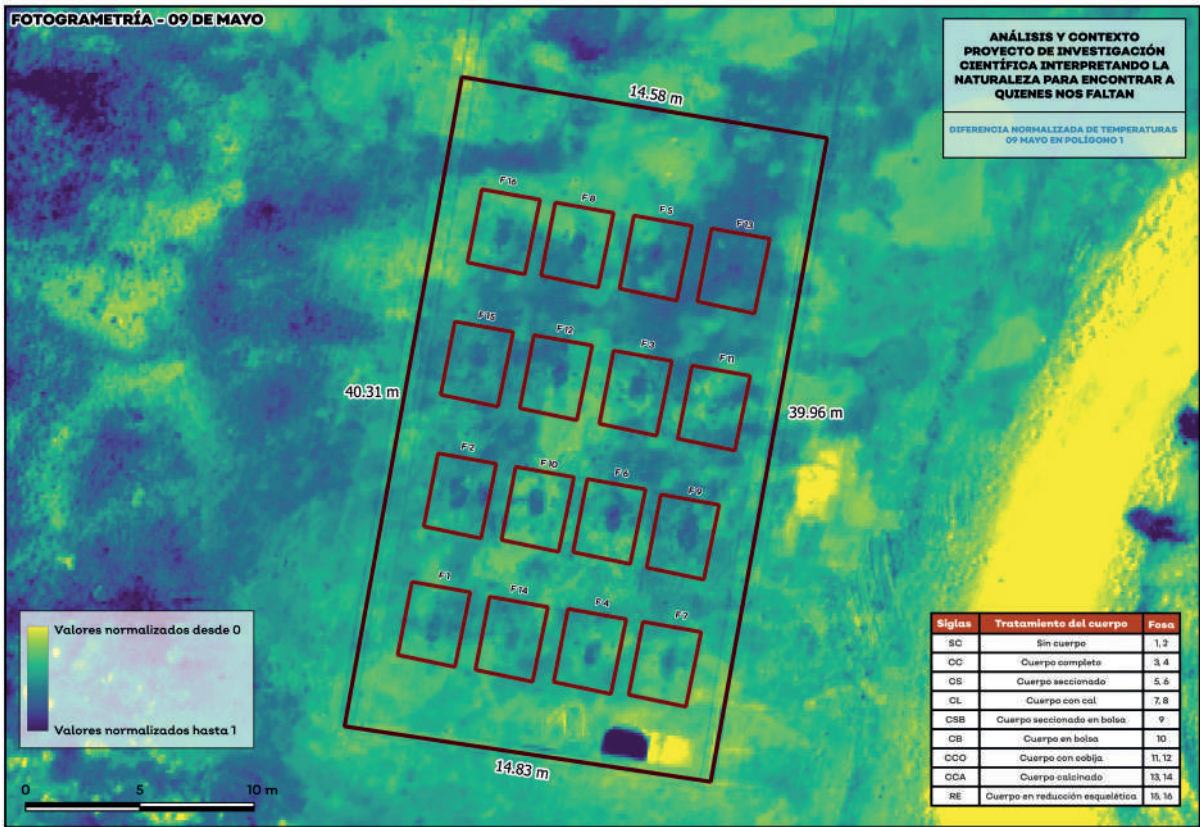


Fuente: elaboración propia.

El calor de las personas que nos faltan: búsqueda de fosas clandestinas con apoyo de drones equipados con cámara termográfica

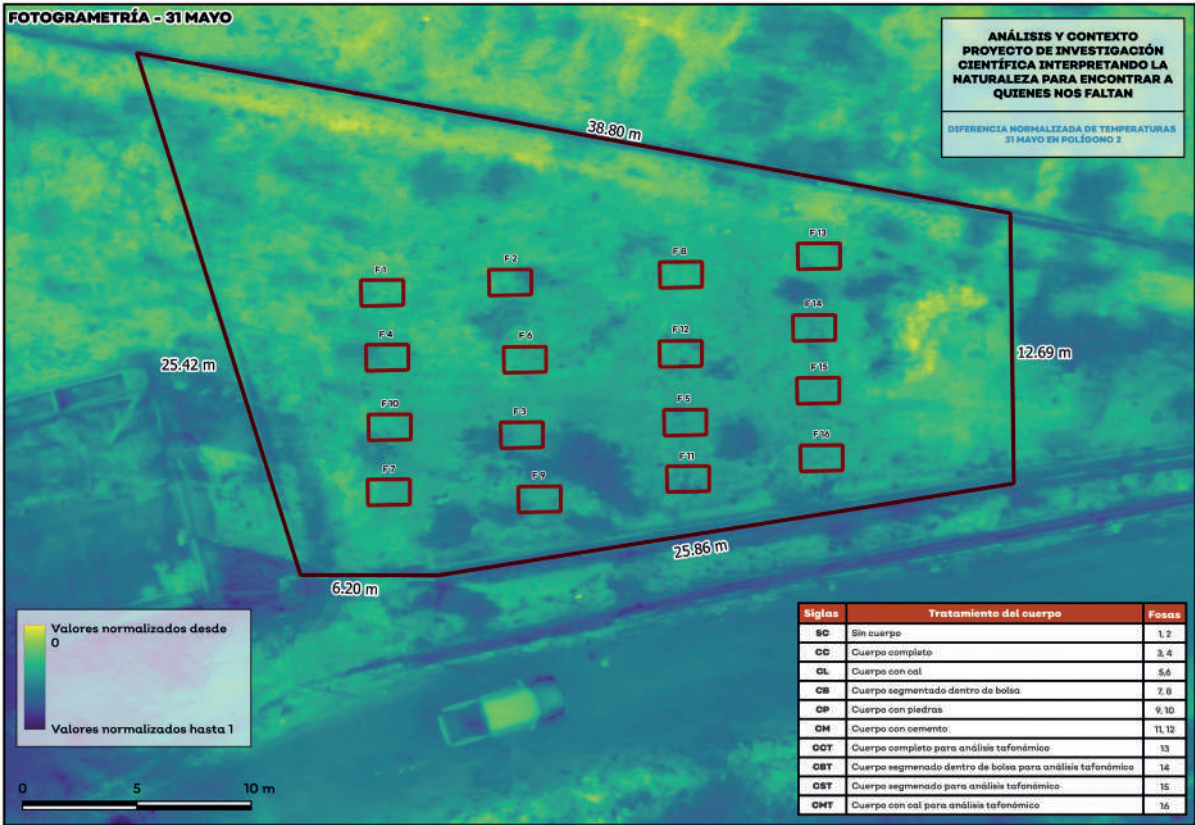
Figura 13. Ortomosaicos termográficos de diferencia normalizada en Polígonos 1 y 2

Polígono 1



Fuente: elaboración propia.

Polígono 2



Fuente: elaboración propia.

6. Comentarios finales

El presente ejercicio experimental se ofrece como un método para la detección de fosas mediante el análisis de imágenes térmicas. Con base en los resultados, existen elementos para hablar de una importante efectividad en escenarios de poca o nula vegetación -entre otros elementos relacionados a la textura y estructura del suelo del Polígono 1 que seguiremos estudiando- esto facilita la detección mediante la diferencia normalizada. Fueron identificados cadáveres completos, seccionados, con cal, embolsados, con cobija, calcinados y en reducción esquelética; lo que resulta alentador para su aplicación en búsqueda. Sin embargo, se sugiere prolongar los estudios para fortalecer las conclusiones.

Por otro lado, los resultados en el Polígono 2 mostraron lo problemático que resulta la detección de fosas en contextos con mucha vegetación, así como elementos relacionados con el tipo de suelo; si bien afirmamos que la diferencia normalizada no arroja resultados favorables, podemos señalar a los registros nocturnos como los más efectivos para registrar diferencias térmicas. Faltaría seguir explorando para identificar posibles patrones de diferenciación.

Ahora bien, pensando por fuera de las condiciones específicas de nuestro proyecto y las recomendaciones que de él derivaron, la pertinencia, desarrollo y alcance de esta técnica dependerá de las condiciones en campo. Variables como el tipo de suelo, la cantidad de vegetación, clima, niveles de riesgo en la zona de prospección, entre otras, se tendrán que tomar en cuenta al momento de hacer una búsqueda en campo.

Hasta el momento en que se escriben estas líneas, los reconocimientos que hemos realizado han sido tanto en contextos experimentales como de búsqueda real. La labor teórica y empírica que el presente artículo implicó se tradujo, para nosotros, en un primer paso para el largo camino de la búsqueda de personas vía remota.

Referencias

- ALAWADHI, A., ELIOPOULOS, C., & BEZOMBES, F. (2023). *The detection of clandestine graves in an arid environment using thermal imaging deployed from an unmanned aerial vehicle*. Journal of Forensic Sciences, 68(4), 1286-1291.
- ALONSO, F. (2006). *Sistemas de Información Geográfica*. Universidad de Murcia.
- APLITER TERMOGRAFÍA. (2020). *¿Qué es la termografía?*
<https://www.apliter.com/blog/que-es-la-termografia-infrarroja/>
- ARAUJO, M. (2017). *Fundamentos de Geoprocessamento aplicados a Mineração*. Universidad Aberta Do Brasil. https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/175224/1/fund_geo.pdf
- ARISTÓTELES (1995). *Física*. Gredos.
- BORING, E. (1954). *The nature and history of experimental control*. American Journal of Psychology #67, pp. 573-589.
- CAMPBELL, J. (2002). *Introduction to remote sensing*. Guilford Press.
- CLÍNICA UNIVERSIDAD DE NAVARRA. (2024). *Diccionario médico. Radiación infrarroja*. <https://www.cun.es/diccionario-medico/terminos/radiacion-infrarroja>
- CAPUTO, S., CASTELLANO, G., GRECO, F., MENCAR, C., PETTI, N. & VESSIO G. (2022). *Human Detection in Drone Images Using YOLO for Search-and-Rescue Operations*. University of Bari Aldo Moro.
- COOPER, D. (2005). *Fundamentals of search and rescue*. Jones & Bartlett Learning.
- COUCLELIS, H. (1992). *People Manipulate Objects (but Cultivate Fields): Beyond the Raster-Vector Debate in GIS*. University of California.
- GANDIA, S. & MELIÁ, J. (1991). *Fundamentos físicos de la teledetección: leyes y principios básicos*. En, *La Teledetección en el seguimiento de los fenómenos naturales. Recursos renovables: Agricultura*. Universitat de València. Pp. 51-83.
- GODRON. (2022). *Los fundamentos de los drones térmicos*.
<https://tienda.godron.mx/los-fundamentos-de-los-drones-termicos/>
- DJI ENTERPRISE (s.f.). *DJI Enterprise*. <https://enterprise.dji.com/es/mavic-3-enterprise>

INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL (s.f.). *Teledetección*.

<https://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf#:~:text=La%20teledetecci%C3%B3n%20es%20la%20t%C3%A9cnica,informaci%C3%B3n%20interpretable%20de%20la%20Tierra>.

GRIFFITHS, D. (1999). *Introduction to electrodynamics*. Prentice Hall.

JOHAL, A. (2020). *The use of thermal imaging in locating missing/deceased people*. Medium. <https://medium.com/@amritaj03/the-use-of-thermal-imaging-in-locating-missing-deceased-people-1c7d121356d4>.

LANDAU, L. & LIFSHITZ, E. (1992). *Teoría clásica de los campos, Volumen 2*. Reverté.

LIJCKLAMA, L., YARA-KRONSHORST, T., VAN MANEN, B., EMAUS, R., KNOTTER, J. & MERSHA, A. (2023). *Utilizing Drone-Based Ground-Penetrating Radar for Crime Investigations in Localizing and Identifying Clandestine Graves*. Sensors. Aug; 23 (16): 7119. Sensors | Free Full-Text | Utilizing Drone-Based Ground-Penetrating Radar for Crime Investigations in Localizing and Identifying Clandestine Graves (mdpi.com)

LIRA, A. & GUEVARA, A. (2017). *Irradiancia y Radiancia*. Universidad Autónoma Nacional de México.

LLANCAQUEO, A., CABALLERO, M. & MOREIRA, M. (2003). *El concepto de campo en el aprendizaje de la Física y en la investigación en educación en ciencias*. Revista Electrónica de Enseñanza de las Ciencias, Vol. 2, N. 3, págs. 227-253.

LUHMAN, T., ROBSON, S., KYLE, S. & HARLEY, I. (2006). *Close Range Photogrammetry: Principles, Methods and Applications*. Whittles.

MAGAÑA, C. (2000). *La Entomología Forense y su aplicación a la medicina legal. Data de la muerte*. Conferencia presentada en el IX Congreso Ibérico de Entomología en Zaragoza, 4-8 de julio, 2000.

MARTÍNEZ, J. (2020). *Estudio y caracterización de materiales estructurados para drones*. Universidad Politécnica de Cartagena.

MENDIOLA-GONZALO, I. (2019). *El dispositivo del dron: entre la vigilancia securitaria y la necropolítica*. Convergencia Revista de Ciencias Sociales, núm 79, enero-abril 2019, pp. 1-24.

PROTOCOLO HOMOLOGADO PARA LA BÚSQUEDA DE PERSONAS DESAPARECIDAS Y NO LOCALIZADAS. (2020). Consultado en mayo de 2024: https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/551671/PPHB_Versi_n_para_fortalecimiento_5may2020_2_.pdf

- RAPIN, P. (2002). *Prontuario del frío*. Editores Técnicos Asociados.
- RIZK, M & BAYAD, I. (2023). *Human Detection in Thermal Images Using YOLOv8 for Search and Rescue Missions*. Lebanese International University.
- RUIZ, J. (2019). *Fosas clandestinas y su relación con crímenes de lesa humanidad. Propuesta metodológica para la documentación de casos que determinen responsabilidad penal internacional en México*. Hist. Graf. No. 52, enero/junio.
- SAROLA, J. (2020). *Sir Frederick William Herschel, descubridor de la luz infrarroja*. <https://nirs-research.com/es/sir-frederick-william-herschel-discoverer-of-the-light-infraroja/>
- SILVÁN, J., ALEGRE, A. & MADRIGAL, J. (2021). *Detección y Prospección por medio de vehículos aéreos no tripulados y tecnologías geoespaciales*. Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C.
- TZUC, E. (2023, 9 de octubre). *México rebasa las 5 mil 600 fosas clandestinas*. Quinto Elemento. de 2023. <https://quintoelab.org/project/mexico-rebasa-cinco-mil-fosas-clandestinas>
- ZUBAIR, P. (2009, june 18). *Pakistan Says U.S. Drone Kills 13*. The New York Times. <https://www.nytimes.com/2009/06/19/world/asia/19pstan.html?ref=world>

Química **y biología**



