



Capítulo 12



Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina

“The death of the organism is the beginning of a creative process of biological and physical transformation”.
A. Behrensmeyer (1984).

Enrique Martin Ortega Higareda¹, Sonia Citlalli Saucedo Aguilar²,
Tunuari Roberto Chávez González³ y Luis Manuel Martínez Rivera⁴
Contribución arbitrada

Diseño y graficación cartográfica: Andrea Ponce Chávez y Tania Guadalupe Rubio Pérez.
Palabras clave: ciencias forenses, suelos, inhumaciones clandestinas, química de suelos.

I. Introducción

En este documento se abordan distintos conceptos y preceptos básicos correspondientes a disciplinas y campos del conocimiento como la química forense, la medicina legal, la pedología, la fitoquímica o la geobotánica bajo una orientación que busca conjugar sus conocimientos bajo una aplicación de la ciencia forense tendiente a la localización, mediante el uso de tecnologías avanzadas, de fosas e inhumaciones clandestinas.

-
- 1 Científico Forense Analista de la COBUPEJ.
 - 2 Científica Forense Analista de la COBUPEJ.
 - 3 Director del área de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.
 - 4 Doctor en Ciencia de Cuencas Hidrográficas y Profesor investigador titular C de la Universidad de Guadalajara.

Se le conoce a la química como la ciencia de la transformación de los materiales (Brakel, 1977). Es una disciplina científica involucrada con elementos y compuestos, así como los átomos, moléculas e iones que los conforman; asimismo, estudia su composición, estructura, propiedades, comportamiento y cambios que resultan de su reacción con otras sustancias (Kim, 2020).

Por ciencias forenses se entiende a la aplicación de las ciencias en materia de ley o cuestiones de derecho. Siguiendo el hilo que plantean ambas definiciones, se podría establecer que la química forense consiste en la aplicación de los conocimientos que se tienen sobre la materia, su composición y transformación, al ámbito de la ley. Es decir, a la administración y procuración de justicia (Barros, 2021).

De acuerdo al principio de transferencia propuesto por Edmond Locard y recuperado por Morrish (1955): “Siempre que dos objetos entran en contacto, transfieren parte del material que incorporan al otro objeto”, o con otras palabras: “Todo contacto deja un rastro”. A dicho rastro o vestigio relacionado con un hecho presuntamente delictivo, se le denomina indicio (Secretaría de Gobernación, 2015).

En la investigación en materia forense interfieren una serie de factores que requieren de análisis por parte de distintas áreas, ciencias y disciplinas, ninguna independiente de otra, debido a que todas convergen en algún punto, y coadyuvan las unas con las otras para poder llevar a cabo una investigación fructífera.

Justificación

Personas desaparecidas y fosas clandestinas son dos fenómenos que se encuentran directamente relacionados. La presencia de fosas es recurrente en la mayor parte de México. La cifra de personas desaparecidas en México al 30 de junio del 2024 es de 15,021 (González, 2017; SISOVID, 2024).

La descomposición en cuerpos que han sido inhumados presenta un progreso distinto a aquellos cuerpos cuya descomposición ocurre en la superficie y están expuestos a las condiciones regulares del ambiente. Su descomposición se verá afectada por distintas variables, tales como el tratamiento de la inhumación y las condiciones del suelo en que fue inhumado. El ritmo de descomposición de cuerpos que han sido inhumados es ocho veces más lento que en superficie (Rodríguez, 1997).



En el contexto de inhumaciones clandestinas, suelen utilizarse elementos adicionales que pueden cumplir distintas funciones según sea el objetivo de los perpetradores, algunos de ellos por practicidad al momento del traslado del cuerpo al sitio, o bien, para evitar el escape de olores que puedan atraer atención al sitio de inhumación.

De ahí nace la necesidad de realizar investigaciones respecto a los efectos ocurridos en suelo debido a la descomposición en sitios de inhumación. El conocer los cambios que ocurren es fundamental para tener precisión y velocidad al identificar sitios de inhumación clandestina, además de tener una base científica que respalde la información obtenida y que sea de utilidad para investigaciones futuras respecto al tema. Siendo así parteaguas para que en el futuro se lleguen a desarrollar más herramientas y metodologías que permitan afrontar la problemática de los sitios de inhumación clandestina.

Objetivos

Analizar los cambios en las propiedades físicas del suelo que son afectadas por una inhumación.

Observar las alteraciones del comportamiento de los distintos métodos de inhumación en las características químicas del suelo.

II. Marco teórico

Al suelo se le define como un cuerpo natural compuesto de materiales sólidos, líquidos y gaseosos, los cuales se encuentran en la superficie terrestre, ocupan un espacio y presentan horizontes o capas que son distinguibles del material inicial, debido a los resultados de las adiciones, pérdidas, transferencias y transformaciones en la energía y materia de dicho cuerpo (Soil Survey Staff, 2022). El suelo es un ser natural en cambio y evolución constante, debido a factores bióticos y abióticos tales como: el clima, organismos, relieve y tiempo (Maycotte, 2011).

El suelo está conformado por distintos estratos, también llamados horizontes. Cada una presenta distintas características de acuerdo a su composición mineral, cantidad de materia orgánica, grado de descomposición de la roca, textura de los gránulos, entre otras variables. Dichos horizontes, se catalogan de la siguiente manera (FAO, 2006):

- Horizonte O: se encuentra en la superficie de un suelo mineral u orgánico, y a cualquier profundidad. Predomina el material orgánico como desechos intactos o parcialmente descompuestos acumulados sobre la superficie.
- Horizonte A: a partir de este se denomina horizonte mineral. Se forma en la superficie del suelo o por debajo de un horizonte O. Presenta una acumulación de materia orgánica humificada mezclada con una fracción mineral que viene de la roca original. Puede diferenciarse de un horizonte E si lo que predomina es la materia orgánica humificada sobre la fracción mineral.
- Horizonte E: es un horizonte mineral que usualmente presenta una coloración más clara que su capa subyacente. Su principal característica es la pérdida de silicatos de arcilla, hierro, aluminio; siendo sustituido por una concentración de arena y limo. En este horizonte la mayor parte de la roca madre ha sido desintegrada. Suele encontrarse debajo de un horizonte A u O y sobre un horizonte B.
- Horizonte B: llamado igualmente zona de precipitado o acumulación. Su principal característica es la desintegración de toda o de una gran porción de la roca original. Presenta una concentración de agua, en ocasiones combinada con silicatos de arcilla, hierro, aluminio, humus, yeso o carbonatos.
- Horizonte C: este horizonte está conformado de capas minerales y material rocoso fragmentado. Se les puede llamar horizonte C a sedimentos, saprolita y la roca madre en estado no consolidado. Las raíces de las plantas aún podrían alcanzar este horizonte.
- Horizonte R: en este se encuentra material rocoso que conforma un suelo sin alteraciones. Aquí es donde se encuentra la roca madre. Algunos ejemplos de roca madre pueden ser el granito, caliza y cuarcita.

Propiedades Físicas

Textura

Se pueden clasificar los tipos de suelo de la siguiente manera según su textura: arenosos, arcillosos y limos. Sin embargo, se le puede agregar una clasificación más cuando la superficie es mixta, es decir, cuando hay una combinación entre los diferentes tipos de suelo o existen



partículas de distinto tamaño en el mismo, y a esa clasificación se le denomina franco. A esta última se le agrega el tipo de suelo que más predomina, por ejemplo: franco arenoso, si las partículas de arena son más abundantes que de algún otro tipo (FAO, 2006).

En ese sentido, las siguientes son algunas características de cada uno de los suelos (Andrades, 2022):

- Un suelo de tipo arenoso suele ser más suelto y fácil de trabajar al tener partículas más grandes, sin embargo, no presenta una gran cantidad de nutrientes debido a su baja fertilidad. Retiene poca humedad y tiende a secarse, aunque presenta buena aireación.
- Los suelos limosos, al tener gránulos de tamaño intermedio, suelen ser fértiles y sencillos de trabajar y permiten que las raíces penetren en la tierra con facilidad, tanto secos como húmedos. Similar al suelo arenoso, presenta buena aireación.
- El suelo arcilloso, al presentar partículas muy finas, cuando se encuentra seco tiende a compactarse haciéndolo difícil de trabajar. Sin embargo, en caso de encontrarse húmedo forma barro el cuál es más sencillo de manipular. Suelen ser pesados y con una reserva decente de nutrientes que retienen junto con el agua. Presentan mala aireación y difícil drenaje y labranza.

Estructura

La estructura del suelo es reflejada por la presencia de grupos de partículas (arena, arcilla y limo) a los que se denominan: agregados, son consecuencia de procesos de formación del suelo. Toma en cuenta tanto el grado de desarrollo como el tamaño. Tiene una clasificación principal que se divide en tres: débil, en el que los grupos de partículas o agregados apenas son visibles, por lo que se observa bastante uniforme; moderado, en el cual es un poco más notoria la presencia de agregados y al quebrarse se separa en agregados de distintos tamaños pero con poco material suelto; y fuerte, donde hay agregados visibles, los cuales al romperlos se dividen en más agregados (Vargas, 2020; FAO, 2009).

De igual manera, existe una clasificación referente a los tipos de estructura de suelo (Moorberg & Crouse, 2023):

- Granular: son pequeños y no porosos. No permiten la incorporación de agregados.
- Laminar: presenta agregados en forma de capas o láminas superpuestas entre sí.



- Bloques angulares: agregados en bloque con delimitados por otros agregados que le otorgan una superficie puntiaguda.
- Bloques subangulares: agregados en bloque con delimitados por otros agregados que le otorgan una superficie redondeada.
- Prismática: son agregados que se extienden de forma vertical y presentan caras bien definidas, así como superficies planas.
- Columnar: similar a agregados prismáticos pero con una superficie redondeada.

Densidad Aparente (Compactación)

En suelos el valor de densidad aparente se refiere a la relación que existe entre partículas sólidas y el espacio poroso; permite conocer el grado de compactación de un suelo siendo una de las propiedades más significativas de este. Este valor puede verse modificado constantemente por factores como la remoción del suelo, cambios en la porosidad producto de fuerzas externas o bien el porcentaje de humedad. (Cid et al., 2021).

Permeabilidad

Dependiendo de la textura del suelo, existe un mayor o menor espacio poroso a través del cual el agua puede filtrarse en el suelo. Se le llama permeabilidad a la facilidad con que el agua puede pasar a través del espacio poroso del suelo. Existen dos flujos diferentes en que el agua se desplaza a través del suelo según su espacio poroso: flujo laminar y flujo turbulento. El laminar consiste en que cada partícula sigue una senda definida, de modo que se sigue un camino de forma ordenada. Por el contrario, un flujo turbulento consiste en sendas indefinidas que cruzan unas con otras y que se desplazan de forma desordenada. En los suelos poco porosos se presenta un flujo laminar, mientras que en suelos más porosos el flujo es turbulento (Taylor, 1962).

Color

El suelo puede presentar distinta coloración variando desde negro, rojo, amarillo, pardo, anaranjado, entre otros. El color refleja la composición, condiciones pasadas y presentes relacionadas al proceso de óxido-reducción del suelo. Las tonalidades oscuras pueden deberse a la presencia de materia orgánica humificada; los tonos amarillos, pardos, rojos y anaranjados

a óxidos de hierro; el color negro a óxidos de manganeso; o también alguna otra coloración podría ser consecuencia del color de la roca madre. La coloración afecta indirectamente la temperatura y la humedad presentes en el suelo (FAO, 2009).

Propiedades Químicas

pH

Tiene una influencia significativa en las reacciones de los suelos. Un pH ácido provoca una intensa alteración de los minerales del suelo, por consiguiente, su estructura se hace inestable. En un pH alcalino, destruye la estructura debido a que la arcilla se dispersa, y esto da como consecuencia malas condiciones físicas. De igual forma, puede afectar la absorción de nutrientes, bloqueando ciertos tipos de ellos en función de su pH.

Existen factores naturales que afectan o tienen un efecto sobre el pH, y una de ellas es la precipitación. Las altas precipitaciones provocan que el pH se vuelva más ácido por la acumulación del ion de H_2 contenido en el agua. En cambio, las precipitaciones bajas hacen que el pH aumente y sea más básico o alcalino (Maycotte, 2011).

Fertilidad de los suelos

Existen ciertos elementos que las plantas aprovechan como nutrientes para su desarrollo, se encuentran en cierta cantidad en el suelo y deben presentar algunas condiciones para que sean absorbidos por las plantas. Se dividen en dos grupos: macroelementos y oligoelementos. Los primeros son aquellos requeridos en mayor cantidad, entre los cuales se encuentran los siguientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y azufre (S). Mientras que los oligoelementos, o elementos que se encuentran en cantidades más pequeñas, son los siguientes: boro (B), zinc (Zn), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu), molibdeno (Mo) y cloro (Cl) (Maycotte, 2011).

Potasio

Es un elemento del grupo de los metales alcalinos, con número atómico 19 y símbolo K. Activa más de 60 enzimas involucradas en distintos procesos metabólicos y puede encontrarse en 4 distintas formas en el suelo: en solución, intercambiable, no intercambiable y mineral (Mengel y Kirby, 2000). La concentración del potasio suele incrementarse en suelos arcillosos.

La cantidad de potasio en solución del suelo es mínima, ya que es absorbido rápidamente. Al ser asimilado por las plantas, el potasio es reemplazado por otras formas menos accesibles. El potasio se fija entre láminas de arcilla por medio del proceso de meteorización. Este potasio fijado o no intercambiable pasa a ser parte del material coloidal para poder servir de reserva del potasio en solución del suelo, y así reponerlo cuando este último sea absorbido por las plantas (INTAGRI, 2017).

Fósforo

Es un elemento del grupo de los no metales, con número atómico 15, que junto al oxígeno, carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre, forman más del 97% de masa de la gran mayoría de organismos. En la naturaleza suele encontrarse en forma de fosfato mineral. Los compuestos con presencia de fósforos son los más importantes hablando de bioquímica y de fertilizantes (Brown et al., 2012). El fósforo es un elemento muy reactivo en el suelo (INTAGRI, 2017). Una vez que se fija en el mismo, puede convertirse en formas más complejas que no permiten a las plantas asimilarlo y, por ende, se vuelve inmóvil. Entre más alto el potencial de retención, menor fósforo puede ser absorbido por las plantas (Kochian, 2012).

En cuanto al ciclo biogeoquímico del fósforo, está conformado por cuatro fases principales (INECOL, 2017):

- Meteorización: en esta etapa, el fósforo que está presente en rocas se libera por acción de erosión o descomposición de las mismas hacia el suelo.
- Absorción por plantas: el fósforo presente en el suelo, que es asimilable por las plantas, es absorbido por ellas en forma de fosfatos.
- Absorción por animales: seguimiento de la cadena trófica, es decir, las plantas son consumidas por animales y, por consiguiente, transfieren el fósforo presente en las mismas.
- Retorno al suelo: existen dos formas en que el fósforo puede regresar al suelo una vez absorbido por los animales. Una de ellas es por excreción y, la otra, por descomposición. También es posible que se transmita el fósforo al suelo en caso de fosilización.

Adicional a las antes mencionadas, hay una ruta alternativa del fósforo posterior a la meteorización. Ésta es la sedimentación y ocurre cuando se libera en cuerpos de agua. En este caso el fósforo puede precipitarse y formar rocas sedimentarias, presentándose en una forma mineral.

Nitrógeno

Es el elemento más abundante en todo el planeta; se presenta en distintas formas, tales como óxido nitroso (NO_2), nitrógeno (N_2), nitrógeno orgánico e inorgánico, entre otras. Presenta disponibilidad debido a que es bastante soluble, sin embargo, para que éste pueda ser asimilable por las plantas, debe encontrarse en dos formas específicas: en nitratos (NO_3^-) o amonio (NH_4^+). Este elemento proporciona coloración verdosa a las plantas y aporta a su crecimiento. En caso de que la presencia de este elemento sea mínima, ese tono verdoso se palidece y su crecimiento se detiene. En contraste, si existe un exceso de nitrógeno, la planta crece aún más, sin embargo su calidad se ve afectada. Presenta su propio ciclo que se compone las siguientes etapas (Maycotte, 2011):

- Fijación: consiste en la transformación del nitrógeno presente en la atmósfera (N_2) en amoníaco (NH_3) o amonio (NH_4^+); lo anterior por la acción de bacterias y cianobacterias, gracias a una enzima llamada nitrogenasa.
- Nitrificación: transformación de cualquier forma de nitrógeno a nitratos. Los nitrosomas, convierten compuestos amoniacales en nitritos (NO_2), para que después otra bacteria llamada nitrobacter la oxide, resultando así un nitrato (NO_3).
- Asimilación: en esta parte del ciclo, tanto los nitratos como el amonio, son absorbidos por las raíces de las plantas, las cuales a su vez pueden ser consumidas por animales.
- Amonificación: otras formas nitrogenadas tales como la urea, el ácido úrico y los desechos animales se convierten en Amonio (NH_4^+); para más tarde degradarlo en compuestos aminados como proteosas, peptonas y eventualmente aminoácidos, ya absorbidos por las plantas.
- Desnitrificación: acción de bacterias desnitrificadoras que resultan en la transformación de nitrógeno (N_2) para ser enviado a la atmósfera. Este proceso se presenta en situaciones donde existe mucha humedad en el suelo, provocando que los microorganismos utilicen el oxígeno de los nitratos en vez de oxígeno (O_2) en su respiración, dejando únicamente al nitrógeno y expulsándolo hacia la atmósfera en forma no asimilable.

Proceso de descomposición de un cuerpo

Es el proceso que ocurre después de la muerte de un organismo, en el cual ocurren cambios físicos y químicos en el cuerpo en descomposición; hasta, finalmente, llegar al estadio de reducción esquelética. El inicio del proceso de descomposición de un organismo comienza con la autólisis, un proceso de destrucción celular sin intervención bacteriana, mientras que la putrefacción ocurre cuando, por acción bacteriana, se produce la descomposición de materia orgánica (Serrano, 2018).

El espacio de inhumación es un medio anaerobio en que se llevan a cabo los procesos químicos de desintegración de las células. Al comenzar la putrefacción, hay presencia de olores característicos como consecuencia de actividad bacteriana; lo anterior debido a la emanación de gases tales como amoníaco (NH_3), ácido sulfhídrico (H_2S), dióxido de azufre (SO_2), indol ($\text{C}_8\text{H}_7\text{N}$), escatol ($\text{C}_9\text{H}_9\text{N}$), cadaverina ($\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$) y putrescina ($\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$). La putrescina y cadaverina son responsables del olor característico (Statheropoulos et al., 2005).

A nivel molecular, el nitrógeno se encuentra presente en los aminoácidos. Éste, es liberado inmediatamente en forma de amoníaco (NH_3). En suelos con pH bajo, tiene la capacidad de convertirse en amonio (NH_4) para ser consumido por las plantas cercanas al sitio de concentración; además, es usual que se acompañe de un aumento considerable de vegetación en comparación al resto del terreno, como consecuencia de la concentración de amonio y otros gases producto de la descomposición. Asimismo, pueden ocurrir diferencias significativas en frutos y flores. Aquellos iones que no son utilizados por las plantas pueden entrar en proceso de nitrificación que prolifera en un ambiente con pH de 7 a 9 y desnitrificación que se beneficia en un ambiente con pH de 5 a 8. La acumulación de amoníaco puede ocurrir con mayor facilidad en ambientes anaeróbicos, ya que la nitrificación se inhibe por la ausencia de oxígeno (Forbes, 2008).

Fases de la descomposición

Una de las variables más evidentes en la descomposición de cuerpos inhumados es el paso del tiempo. En un estado de condiciones normales, es decir, en un ambiente aerobio, resulta posible afirmar que el avance del tiempo aumenta el grado de descomposición. Se conoce que el periodo de inhumación en fosas clandestinas abarca un rango de entre 5 días a 15 años y, durante el paso del tiempo, los fenómenos tafonómicos van sobreponiéndose y evolucionando (Cinzia, 2023).

Los periodos de descomposición se dividen en cuatro grandes fases: cromática, enfisematosa, licuefactiva y reducción esquelética (Takajashi et al., 2019):

- Fase cromática: se distingue por signos macroscópicos, tales como la mancha verde en la zona de la fosa iliaca; misma que aparece, aproximadamente, 24 horas después de la muerte y que se caracteriza por la acumulación de bacterias, generando ácido sulfúrico.
- Fase enfisematosa: los gases se acumulan en intestino y colon, ya que no encuentran vía de escape se produce una distensión abdominal y el volumen del cuerpo se contrae, provocando una depresión en la compactación del suelo, la cual se ve reflejada en un hundimiento cóncavo en la superficie del terreno. Además del abdomen, el gas comienza a infiltrarse en todos los tejidos, provocando en el cadáver hinchazón generalizada, incluyendo el rostro y la zona genital. El gas acumulado en la capa subcutánea de la piel produce un efecto crepitante al tacto y desprendimiento dermoepidérmico. Este proceso comienza después de las 72 horas del fallecimiento y puede durar hasta 7 o 10 días (Vargas, 1999).
- Fase licuefactiva: comienza de 2 a 4 semanas después de la muerte y se subdividen en dos fases: licuefacción inicial, en la que ocurre el desprendimiento de uñas, cabello, y tejido blando; y licuefacción tardía, en la que el cuerpo adquiere un tono acaramelado, la dermis se desprende de la epidermis y los tejidos entran en proceso de licuación en el cual los órganos comienzan a perder su estructura y delimitación. Comenzando por las partes bajas e integrándose en una masa de tejido putrefacto, mientras que los restos de la licuefacción se integrarán en el subsuelo y cuerpos de agua subterráneos (Hernández, 2000).
- Fase de reducción esquelética: comienza con la pérdida total de tejido blando y la desarticulación, hasta llegar al estado de esqueletización. A comparación de ambientes aeróbicos, el proceso de esqueletización tomará más tiempo en sitios de inhumación debido a la falta de oxígeno y acción bacteriana. Una vez en reducción esquelética, la desintegración del tejido óseo dependerá, en parte, de las condiciones ambientales en las que se encuentre (Forbes, 2008).

Descomposición cadavérica en suelos

De acuerdo a la textura del suelo, uno permeable, como es el caso de los suelos arenosos, permite la pérdida acelerada de humedad que propicia la desecación del cuerpo. A nivel químico, la actividad de las enzimas hidrolíticas asociadas al ciclo de carbono y de nutrientes se reduce producto de la baja humedad en suelo. Los suelos arcillosos permiten conservar por mayor tiempo la humedad en el suelo, reteniéndola debido a la baja permeabilidad; en inhumaciones profundas, en las que el grado de evaporación de la humedad contenida en suelo es casi nula, es común un retraso en el proceso de descomposición e incluso, en algunos casos, puede favorecer la formación de saponificación. El porcentaje de humedad regularmente aumenta conforme mayor es la profundidad de inhumación; la cual, a su vez, juega un papel significativo en el ritmo de descomposición, no solo por el porcentaje de humedad, sino porque un cuerpo inhumado tiene mayor protección a efectos que tendría el mismo organismo en un ambiente expuesto (Gutiérrez, 2021).

La adipocira o saponificación, una fase alternativa, es un fenómeno químico de hidrólisis e hidrogenación, en el que la grasa corporal se desdobra en glicerol y ácidos grasos que, sumados a la falta de oxígeno, resulta en la saponificación de minerales como potasio, sodio y magnesio, transformando la grasa corporal en jabón. Dando como resultado una capa blanca que comienza en sitios donde se encontraba acumulada grasa corporal y se extiende a otras regiones del cuerpo, este fenómeno suele ocurrir en aguas estancadas y ambientes muy húmedos (Vargas, 1999).

El grado de acceso al cuerpo, dependerá de la profundidad de la inhumación; en enterramientos superficiales, la exposición del cuerpo puede presentarse a través de grietas en el suelo, esto como resultado de la inflamación del cuerpo en descomposición -en la fase enfisematosa- y, posteriormente, aparecerá una depresión en el centro de la fosa; mientras que en enterramientos mayores a un metro, se restringirá la entrada de insectos y animales carnívoros, permitiendo conservar el cuerpo por un periodo de tiempo más amplio (Carter y Tibbett, 2008).

Conforme a la profundidad de la inhumación aumente se reducirá la temperatura del ambiente de manera proporcional, por lo que cuando la temperatura del suelo disminuye también lo hará el ritmo de descomposición (Gutiérrez, 2021).

El efecto que tiene la temperatura en procesos de descomposición se relaciona con la proliferación de actividad bacteriana; en ese sentido, sus condiciones óptimas oscilan entre los 21°C y 38°C, mientras que la situación opuesta sería en ambientes con una temperatura

menor a 10°C o mayor a 40°C. El aumento de temperatura en sitios de inhumación corresponde, además de los procesos químicos, al incremento de microorganismos. De lo anterior se puede inferir que las bajas temperaturas alentarán el progreso de la descomposición, mientras que un aumento no exponencial de la temperatura propicia un ambiente idóneo para el cultivo bacteriano.

Generalmente, un cuerpo que ha sido enterrado con ropa mostrará mejor preservación que un cuerpo desnudo, la efectividad de la barrera textil dependerá del tipo de material de la prenda de vestir. La ropa constituye un factor importante en la formación de saponificación en restos que han sido inhumados, teniendo así un efecto de preservación de las partes cubiertas por dicha barrera (Carter & Tibbett, 2008).

Aquellas circunstancias donde el cuerpo es envuelto en material plástico ocurre un proceso más lento de descomposición, en muchos casos se ha encontrado abundante formación de saponificación en inhumaciones en las que el cadáver, además de estar cubierto en plástico, presentaba algún material textil en prendas de vestir (Leeuwe, 2017) .

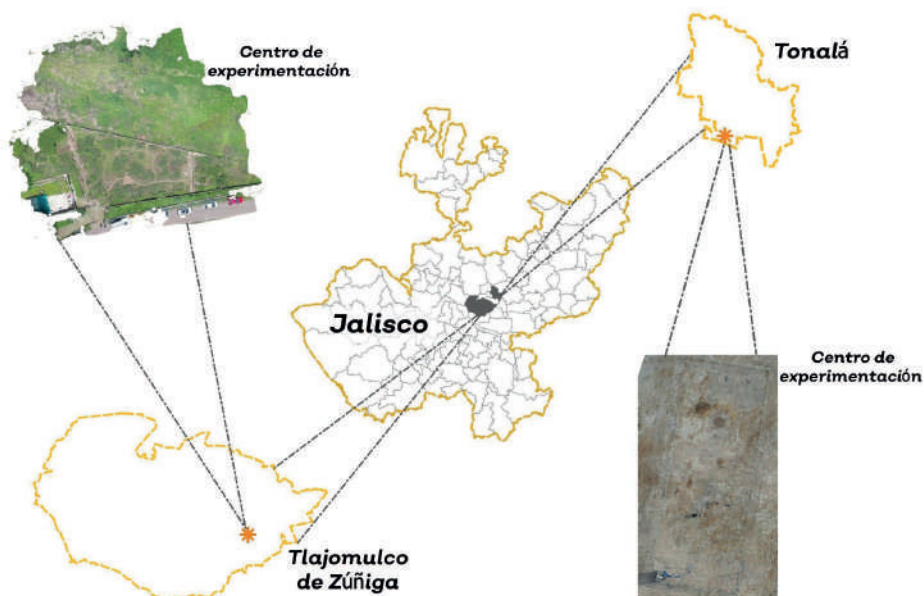
En el caso de las lesiones que resultan como consecuencia de trauma permiten una aceleración en la descomposición del organismo, esto debido a la atracción de insectos a las heridas abiertas donde depositan sus huevecillos y permiten la entrada de fluidos corporales al suelo (Carter & Tibbett, 2008).

La cal, dentro del contexto nacional de inhumaciones clandestinas, se ha usado como método inhibitor de olores provenientes de la descomposición de los cuerpos. Estudios han demostrado que el uso de cal en enterramientos retrasa el proceso de descomposición, pero no lo inhibe: aunque la actividad bacteriana externa se vea afectada por la alcalinidad, la descomposición bacteriana interna continua (Maiken, 2017). La formación de una capa de cal alrededor del cuerpo forma una barrera entre este y el sedimento, disminuyendo el intercambio de nutrientes con el suelo y reduciendo el crecimiento de vegetación en superficie, contrastando con aquellos cuerpos enterrados sin cal y en contacto directo con el sedimento. Sin embargo, también se toma en cuenta que el uso de cal en el espacio de experimentación tiene efectos casi nulos en el retraso del proceso de descomposición (Gutiérrez, 2021).

III. Materiales y métodos

La presente investigación se llevó a cabo en dos espacios de experimentación⁵ ubicados en Jalisco, donde se realizaron las inhumaciones de 27 cerdos de granja en un total de 32 fosas distribuidas 16 y 16 en cada sitio. El Polígono 1 ubicado en el Centro Universitario de Tonalá (CUTonalá) de la Universidad de Guadalajara en el municipio de Tonalá, presenta suelo Vertisol pélico de textura fina con abundantes cantidades de arcilla y roca toba ígnea; y el Polígono 2, localizado en la Universidad Politécnica de la Zona Metropolitana de Guadalajara (UPZMG) en la localidad de Cajititlán perteneciente al municipio Tlajomulco de Zúñiga.

Figura 1. Representación geográfica de los centros de experimentación Polígono 1 y Polígono 2



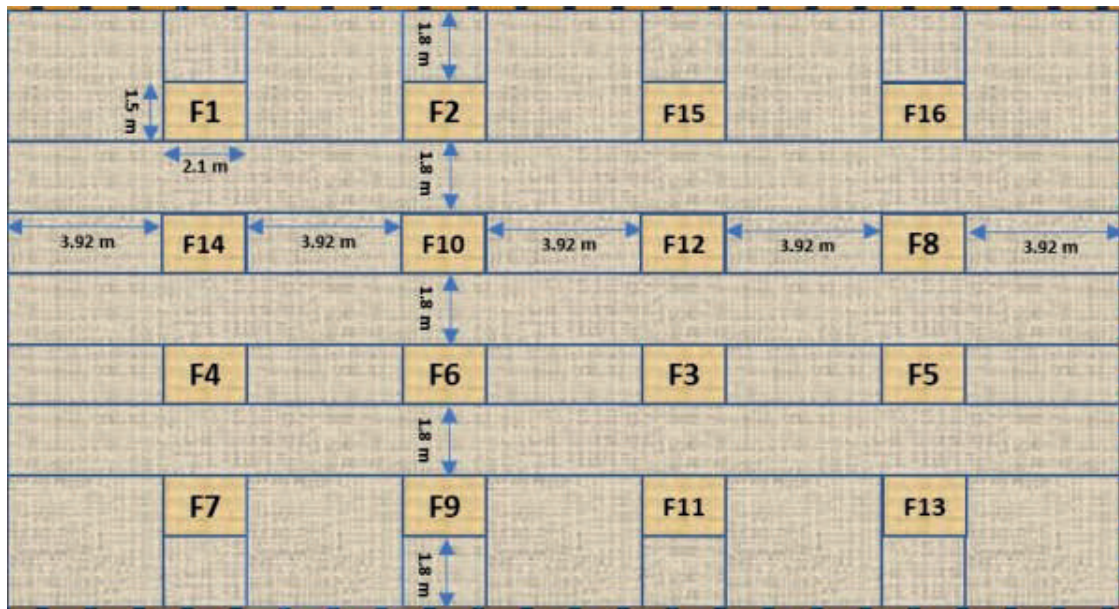
Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

5

Para ahondar en información referente a la descripción de las zonas de estudio, se sugiere la consulta del capítulo: “Experimentación forense: la historia de un proyecto” perteneciente al apartado de Planteamiento General.

Las inhumaciones del Polígono 1 fueron realizadas el 31 de mayo del 2023 y se implementaron siete tratamientos de cuerpo compatibles con técnicas utilizadas con regularidad en inhumaciones clandestinas. Se agregaron dos fosas de control F1 y F2, las cuales fueron excavadas pero dejadas vacías de manera que desempeñarán un papel diferenciador al resto de fosas con porcinos.

Figura 2. Plano de distribución de fosas en Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

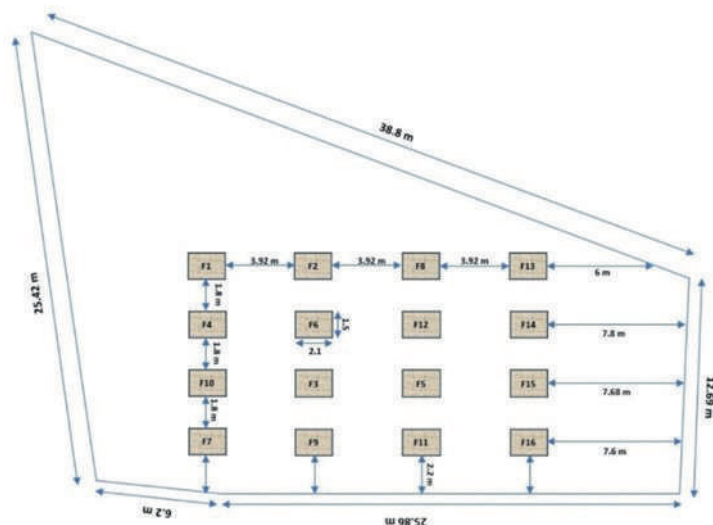
Tabla 1. Nomenclatura de fosas, tratamientos de cuerpo y profundidad de inhumación en Polígono 1

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO	0.75	F1
SIN CUERPO	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO SECCIONADO (CS)	0.75	F5
CUERPO SECCIONADO (CS)	1.25	F6
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F7
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F8
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F9
CUERPO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F10
CUERPO CON COBIJA (CJ)	0.75	F11
CUERPO CON COBIJA (CJ)	1.25	F12
CUERPO QUEMADO (CQ)	0.75	F13
CUERPO QUEMADO (CQ)	1.25	F14
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	0.75	F15
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	1.25	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2, las inhumaciones se llevaron a cabo alrededor de 4 meses después, el 11 de septiembre del 2023. De igual manera se agregaron F1 y F2 como fosas de control y se aplicaron cinco tipos de tratamientos de cuerpo.

Figura 3. Plano de distribución de fosas en Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Tabla 2. Nomenclatura de fosas, tratamientos de cuerpo y profundidad de inhumación en Polígono 2

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
SIN CUERPO (SC)	0.75	F1
SIN CUERPO (SC)	1.25	F2
CUERPO COMPLETO (CC)	0.75	F3
CUERPO COMPLETO (CC)	1.25	F4
CUERPO CON CAL (CL)	0.75	F5
CUERPO CON CAL (CL)	1.25	F6
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	0.75	F7
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA (CB)	1.25	F8
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	0.75	F9
CUERPO CON PIEDRAS (CP)	1.25	F10
CUERPO CON CEMENTO (CM)	0.75	F11
CUERPO CON CEMENTO (CM)	1.25	F12
CUERPO COMPLETO PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CCT)	1	F13
CUERPO SEGMENTADO DENTRO DE BOLSA, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CBT)	1	F14
CUERPO SEGMENTADO, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CST)	1	F15
CUERPO CON CAL, PARA ANÁLISIS TAFONÓMICO (CMT)	1	F16

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 1 se realizaron un total de 6 muestreos para la obtención de parámetros de N, P, K, y pH (véase Tabla 3).

Tabla 3. Fechas de muestreo Polígono 1

Fecha de muestreo	No.	Profundidades muestreadas	Tiempo de inhumación	Metodología de muestreo
11 mayo 2023	0	0-20 cm	Pre-inhumación	Puntos cardinales y centro de fosa
26 junio 2023	1	0-20 cm	26 días	Puntos cardinales y centro de fosa
15 agosto 2023	2	0-20 cm	2 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
21 octubre 2023	3	0-20 cm	4 meses y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
06 noviembre 2023	4	0-20 cm	5 meses y 1 semana	Puntos cardinales y centro de fosa
26 enero 2024	5	0-20 cm	8 meses 3 semanas	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Mientras que en el Polígono 2 se llevaron a cabo 5 muestreos para la recolección de parámetros de N, P, K, y pH, agregando una segunda profundidad (véase Tabla 4).

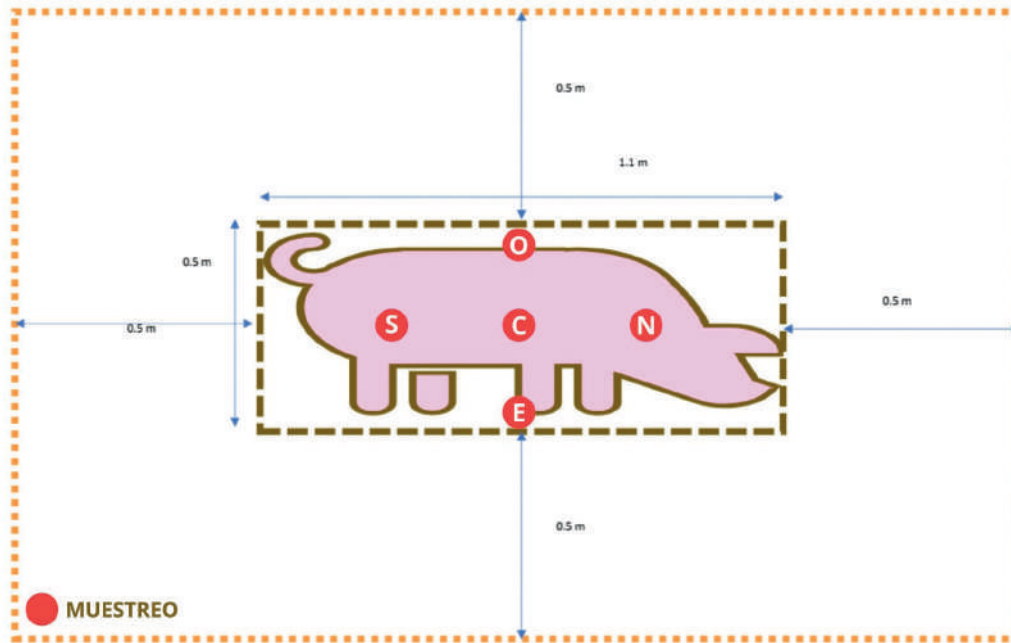
Tabla 4. Fechas de muestreo Polígono 2

Fecha de muestreo	No.	Profundidades muestreadas	Tiempo de inhumación	Metodología de muestreo
26 septiembre 2023	1	0-20 cm	5 días	Puntos cardinales y centro de fosa
06 octubre 2023	2	0-20 cm 20-40 cm	3 semanas	Puntos cardinales y centro de fosa
27 octubre 2023	3	0-20 cm 20-40 cm	1 mes y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
17 enero 2024	4	0-20 cm 20-40 cm	4 meses	Puntos cardinales y centro de fosa
15 marzo 2024	5	0-20 cm	6 meses	Cuadrícula

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

La metodología de muestreo por puntos cardinales y centro de fosa consistió en cinco tomas de suelo en cada una de las fosas. Las muestras de suelo fueron recolectadas tomando en cuenta la orientación. Se tomaron los puntos: centro de fosa, norte, sur, este y oeste a 20 cm de distancia a partir del centro (véase Figura 4).

Figura 4. Representación gráfica: metodología de muestreo puntos cardinales y centro de fosa

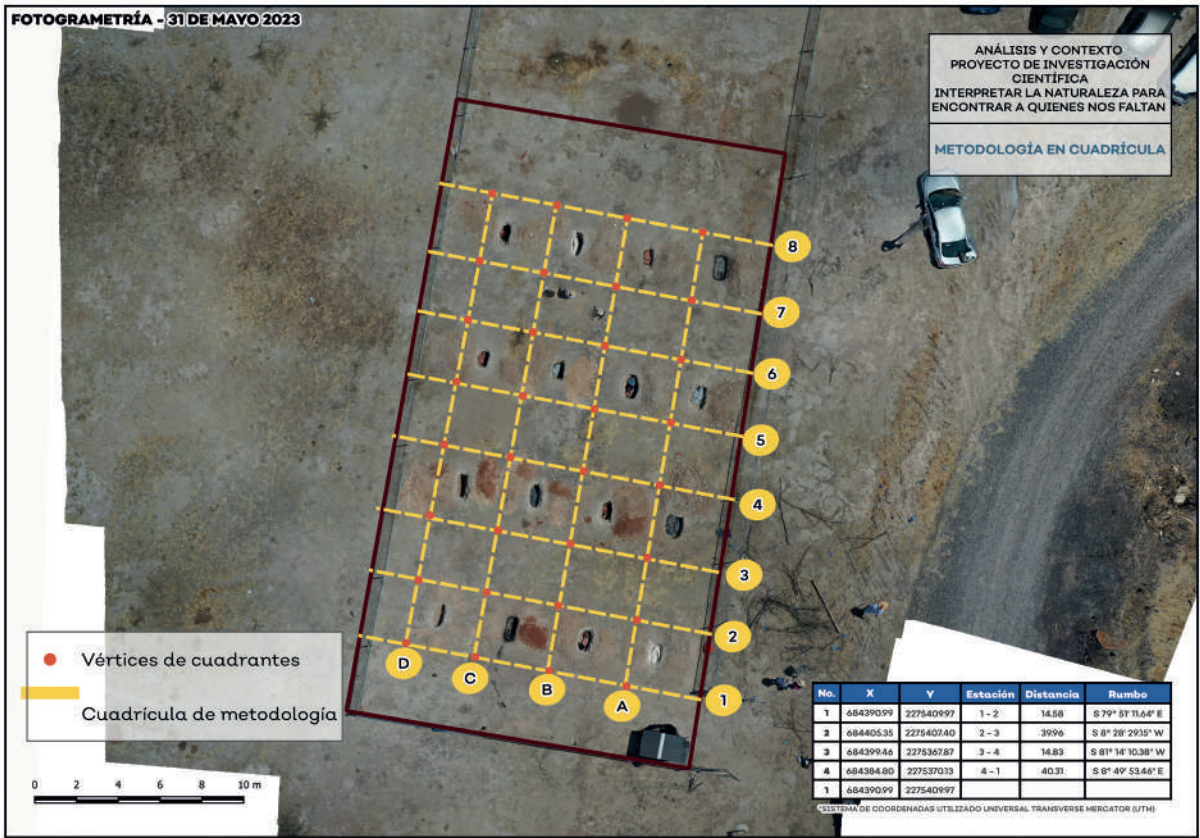


Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Se utilizaron palas de punta redonda y rectangular, barras para construcción, picos y guantes de carnaza para la remoción y excavación del suelo. Para el trabajo de recolección, se utilizaron guantes de nitrilo y bolsas plásticas rotuladas con cierre hermético.

Para la metodología de cuadrícula en el Polígono 1, se dividió el terreno en una cuadrícula de 2 x 2 metros, de la cual resultaron 8 trazos a lo largo, denominados líneas, a las que se les atribuyó un número consecutivo y 5 puntos a lo ancho, designados como puntos a los que se les asignó una letra. Las muestras fueron tomadas en los vértices línea-punto dando como resultado un total de 40 sitios de intersección (véase Figura 5).

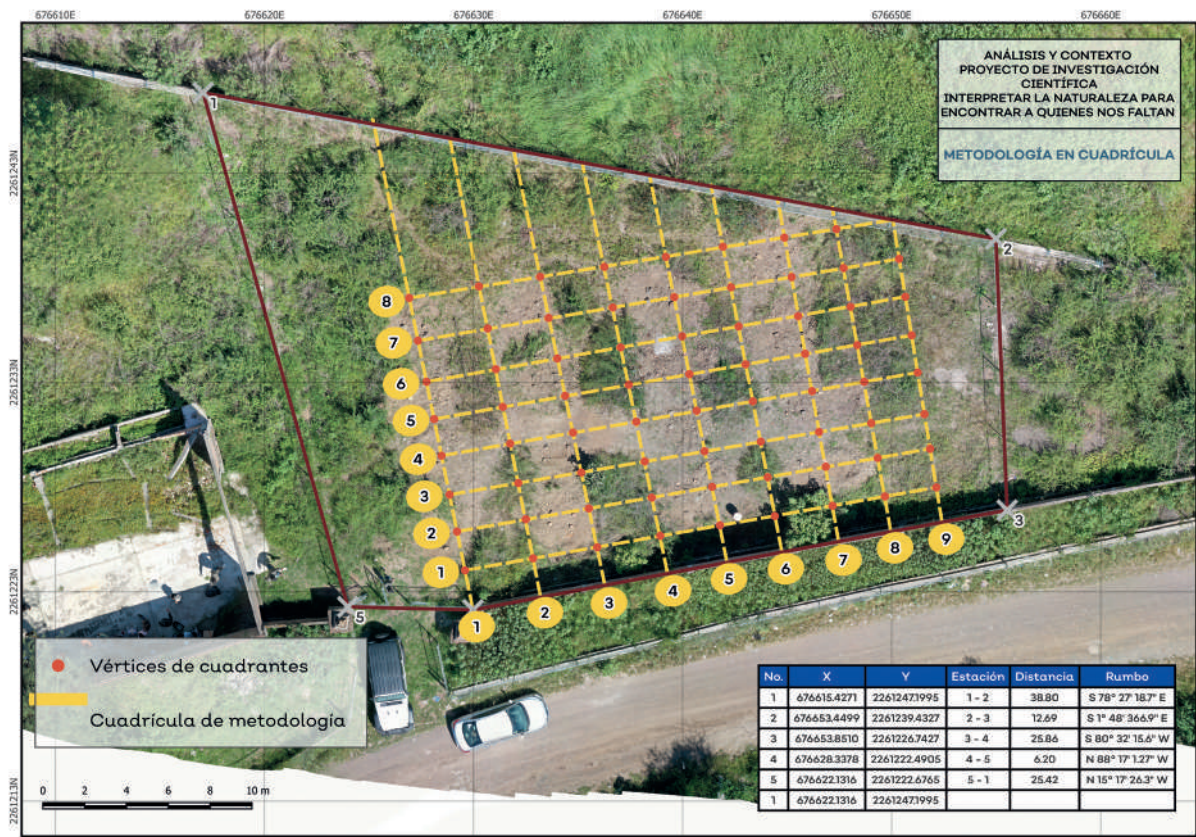
Figura 5. Metodología en cuadrícula, muestreo 26 enero 2024 en Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2 se siguió el mismo principio, con el cual se obtuvieron 9 trazos a lo largo, a los que se denominó líneas y se les ubicó con una numeración consecutiva, y 8 segmentos a lo ancho, designados como puntos y nombrados con números consecutivos (véase Figura 6).

Figura 6. Metodología en cuadrícula, muestreo 15 marzo 2024 en Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En ambos polígonos se llevó a cabo un muestreo en el mes de mayo de 2024, con el objetivo de identificar diferencias entre estratos de suelo y calcular el porcentaje de humedad en el mismo. Se realizó la toma de muestras desde una de las esquinas de cada fosa con el fin de intervenir lo menos posible en el espacio de inhumación. Se denominó estrato A (EA) al estrato

más superficial de 0 - 30 cm y estrato B (EB) el segundo estrato que abarca aproximadamente 30 - 120 cm. Para determinar la dimensión de los estratos, anteriormente mencionados, se utilizó una de las imágenes generadas por el georadar⁶ en el Polígono 1.

En la recolección de suelo de los estratos se utilizó una barrena de sondeo hueca, constituida por un cilindro de metal que permite la acumulación de suelo para su extracción. La medición de la humedad de cada estrato se realizó mediante el método gravimétrico, utilizando una balanza digital para obtener la diferencia entre el suelo húmedo y seco, y calcularlo con base a el porcentaje de humedad al momento del muestreo.

En el análisis de pH y nutrientes de suelo -nitrógeno, fósforo y potasio- se utilizó, para las muestras de ambos espacios de experimentación, un sensor de suelo portátil marca Slicetex Electronics, que permite medir temperatura, humedad, conductividad, pH, nitrógeno, fósforo y potasio mediante cinco electrodos resistivos de uso agrícola.

El procedimiento de medición fue el siguiente:

- 1) Tamizado del suelo para remover piedras o restos de flora de la muestra de suelo.
- 2) Se agregó a la muestra agua destilada hasta formar una masa semilíquida o lodo.
- 3) Se colocó la sección con los cinco electrodos resistivos en una bandeja de menor tamaño sobre la que se vertió la masa semilíquida de muestra.
- 4) Una vez estabilizados los datos del sensor, se tomó la lectura de los parámetros medidos.

Este procedimiento se repitió para cada uno de los muestreos de nutrientes en suelo. Vale pena destacar que los resultados generados con el Sensor Slicetex Electronics, por la naturaleza del aparato, no son compatibles con los parámetros normales de N, P y K encontrados en suelo a partir de técnicas de laboratorio, debido a que no ocurrió una fase de calibración del sensor y, por lo tanto, no refleja cifras reales. Estos resultados se usaron únicamente con fines comparativos entre las distintas temporalidades, profundidades, tratamiento y métodos de muestreo.

6 Véase: “Reflejos de una búsqueda: el uso del Radar de Penetración Terrestre (GPR) para la detección de inhumaciones clandestinas”. Capítulo perteneciente al apartado de Geofísica.

IV. Resultados

Cambios en las propiedades físicas del suelo afectadas por la inhumación

Transcurridos 12 meses de las inhumaciones del Polígono 1, se observan cambios en el estado de las fosas, así como en el sedimento en general. En comparación al momento previo a las inhumaciones, se observa crecimiento de nuevas especies de vegetación, dos de ellas destacan por su tamaño y coinciden en los sitios de inhumación con tratamiento de cuerpo con cobija correspondientes a F11 y F12; en relación a las especies que existían con anterioridad es notable su aumento de volumen. Los cambios en patrones de vegetación del Polígono 2, a 9 meses de las inhumaciones no destacan en relación a la vegetación que se encontraba previo a las excavaciones.

Figuras 7 y 8. Fotografías a F11 (CCO) Polígono 1, 15 agosto 2023 y 09 mayo 2024, respectivamente



Fuente: COBUPEJ.

Nota. Crecimiento de vegetación en F11 (CCO).

Los cambios en la compactación del suelo donde se llevaron a cabo las inhumaciones del Polígono 1, muestran una leve depresión -poco perceptible- que delimita a las fosas. Sin embargo, es posible observar cambios en la continuidad del suelo en aquellos espacios donde existe la presencia de roca toba ígnea, de manera que es visible una interrupción del aspecto rocoso y duro del suelo en la superficie de espacios donde no se realizaron excavaciones, en contraste con aquellos donde se realizaron las inhumaciones. Estos últimos presentan un suelo menos compacto y partículas más finas y sueltas, así como rocas de menor tamaño dispersas alrededor del sitio. A diferencia del Polígono 1, en el suelo del Polígono 2 es visible la presencia de hundimientos cóncavos en cada una de las fosas.

Figuras 9 y 10. Fotografías a F16 (CL) Polígono 2, 09 noviembre 2023
y 8 de mayo de 2024, respectivamente



Fuente: COBUPEJ.

Nota. Hundimiento cóncavo de la F16 (CL).

El proceso de formación de las depresiones ocurrió de manera paulatina a lo largo del periodo de inhumación, resultando en la clara delimitación de los bordes de la fosa. Dicho hundimiento varía en profundidad según cada una de las fosas, pero mantiene un rango de entre los 2 cm a 10 cm.

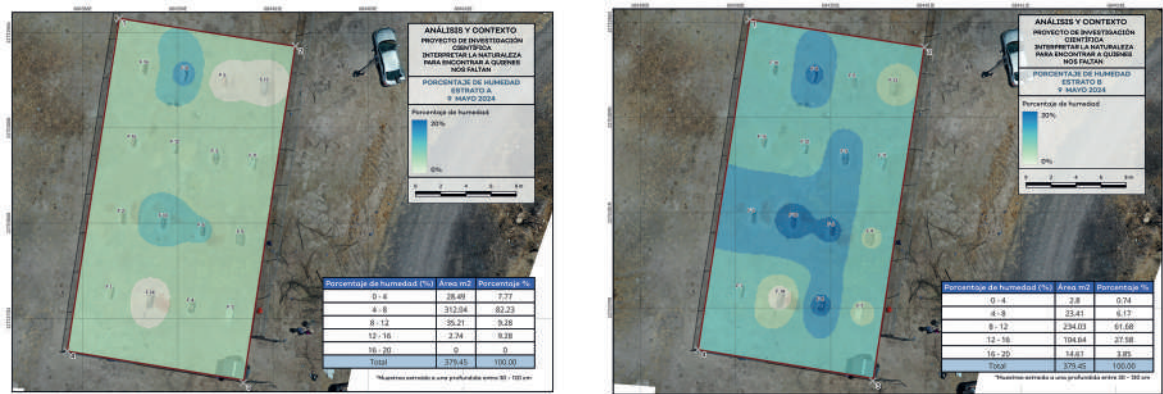
En el Polígono 1 como resultado de las mediciones gravimétricas en dos estratos para el análisis de humedad, se encontró que el porcentaje de humedad promedio en áreas de inhumación del EA es de 6.3%. La F8 (CL) y la F10 (CB) son las que presentan mayores concentraciones de humedad en relación al resto de fosas en este estrato. En el EB el porcentaje de humedad es mayor, presenta un 11.2% en promedio. La F10 (CB), F4 (CC), F6 (CS) y la F8 (CL) presentan los mayores porcentajes de humedad en el EB. En F13 y F14, que corresponden al tratamiento de cuerpo calcinado, se encontraron índices bajos de humedad en relación al resto de fosas.

Figura 11. Representación colorimétrica de escalas para porcentaje de humedad



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

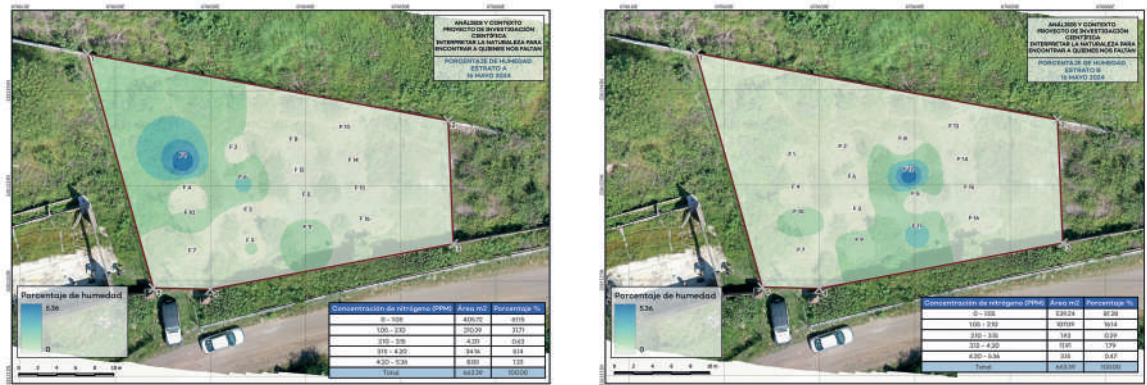
Figuras 12 y 13. Porcentajes de humedad del Polígono 1, EA y EB, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

El Polígono 2 muestra un promedio del 1% de humedad en ambos estratos. La fosa que contiene un mayor porcentaje de humedad en el EA es la F1 (SC), mientras que en el EB se observa un alza en la F12 (CCO).

Figuras 14 y 15. Porcentajes de humedad del Polígono 2, EA y EB, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Alteraciones del comportamiento de los distintos métodos de inhumación en las características químicas del suelo

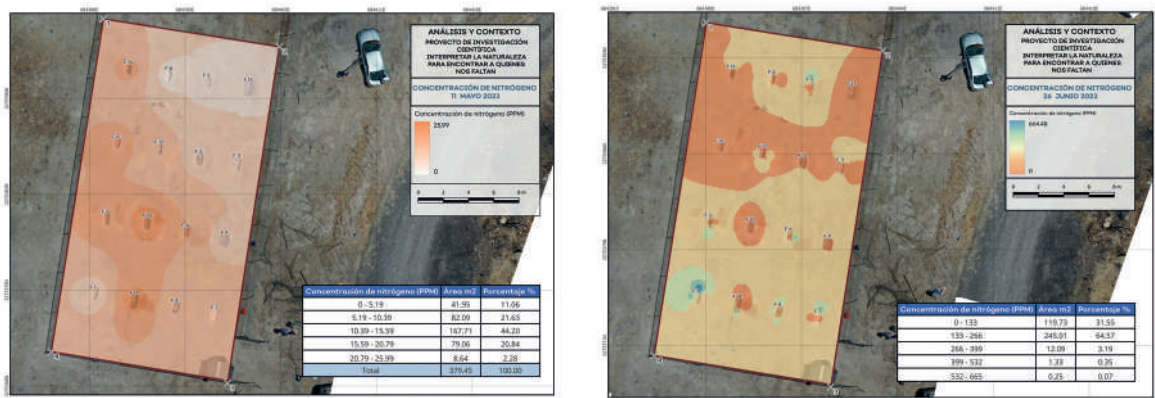
En la medición de elementos químicos presentes en suelo, el Polígono 1 arrojó un aumento en los niveles de N en el primer muestreo, en comparación a uno realizado previo a las inhumaciones, con un especial aumento de N en la F1 y F2 de control (SC).

Figura 16. Representación colorimétrica de escalas para nitrógeno (N)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

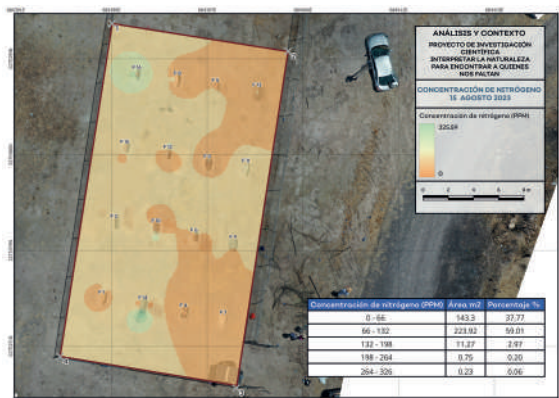
Figuras 17 y 18. Concentración de nitrógeno (N) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el caso de las fosas que contienen restos, se observa un particular aumento de N en el primer muestreo de suelo en la F3 y F4, correspondientes al tratamiento de cuerpo completo (CC). Así mismo, se identificó un aumento mayor al promedio en la F5 y F6 con tratamiento de cuerpo segmentado (CS).

Figura 19. Concentración de nitrógeno (N) segundo muestreo Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

A partir del segundo muestreo, abarcando el tercero y el cuarto, los parámetros de N se mantuvieron en un promedio similar, con un rango que oscila entre los 19 y los 132 ppm en un 96.71 % del terreno.

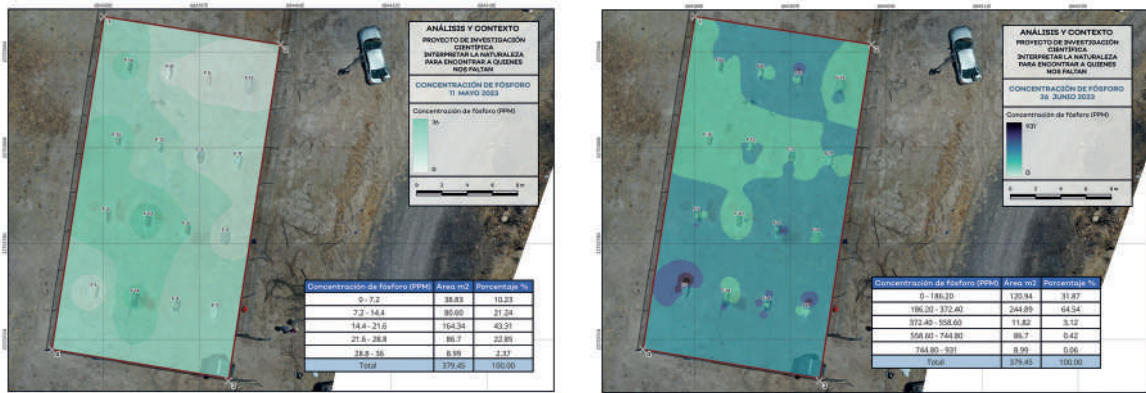
En los parámetros de P del segundo muestreo, se encuentra un incremento de los valores del Polígono 1 en general, con particular aumento de la F1 (SC), F5 y F6, correspondientes a cuerpo segmentado (CS), así como F7 (CL) y F4 (CC).

Figura 20. Representación colorimétrica de escalas para fósforo (P)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

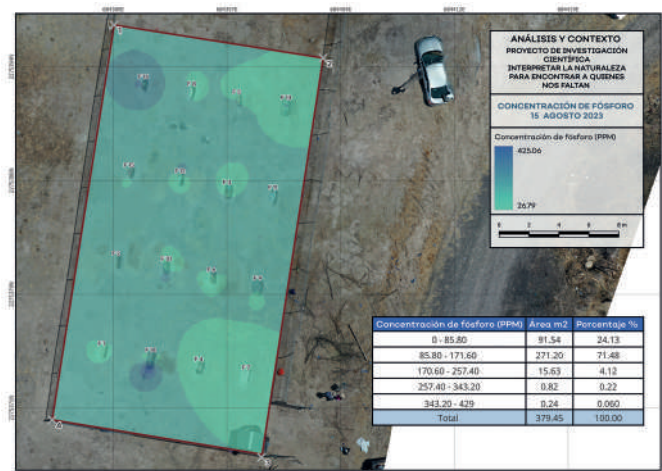
Figuras 21 y 22. Concentración de fósforo (P) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Durante el segundo muestreo, los valores presentaron un decremento en la mayoría de las fosas, sin embargo, los valores de la F14 (CCA) y F16 (RE), caracterizados por ser métodos de inhumación sin humedad, presentan un aumento en los valores de P.

Figura 23. Concentración de fósforo (P) segundo muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de
Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En las mediciones de K, los resultados arrojaron un importante aumento de valores entre el muestreo pre-inhumación y el primero, siendo la F1 (SC) -de control- la que presenta mayor concentración de K, a lado de aquellas que contienen tratamiento de cuerpo seccionado, F5 y F6.

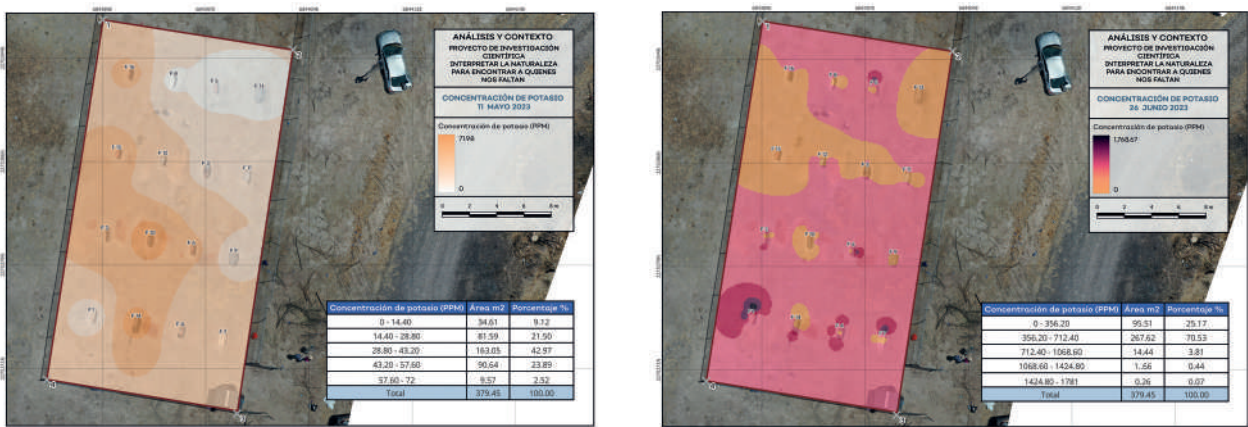
Figura 24. Representación colorimétrica de escalas para potasio (K)



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Las fosas relacionadas a tratamientos de cuerpo que no contienen humedad, presentan los parámetros de K más bajos en esta fecha.

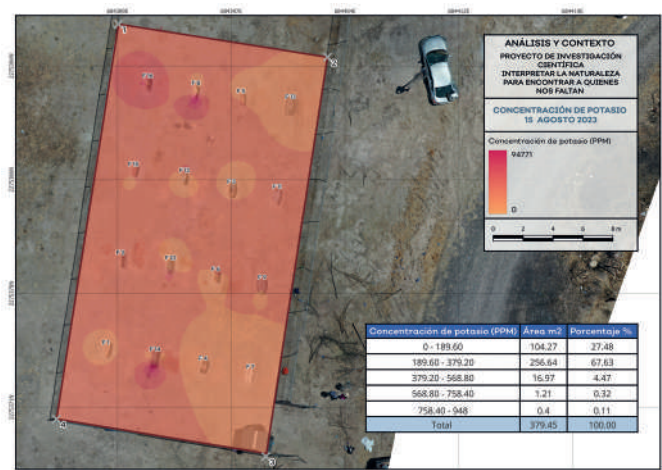
Figuras 25 y 26. Concentración de potasio (K) pre-inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el tercer muestreo aparece una baja en el repunte anterior de parámetros y, a su vez, mayor homogeneización de la concentración de K en el terreno. Las concentraciones más altas se observan en las fosas F8 (CL) y F14 (CCA).

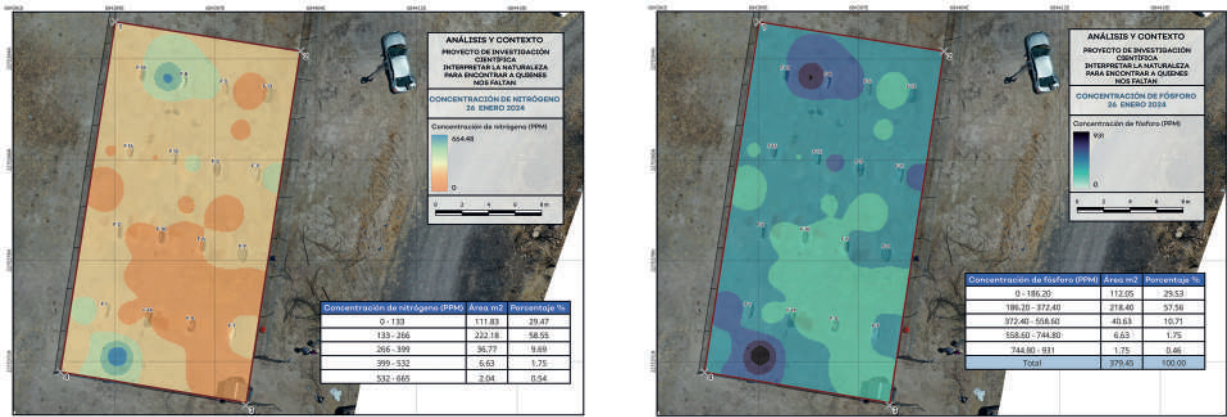
Figura 27. Concentración de potasio (K) segundo muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

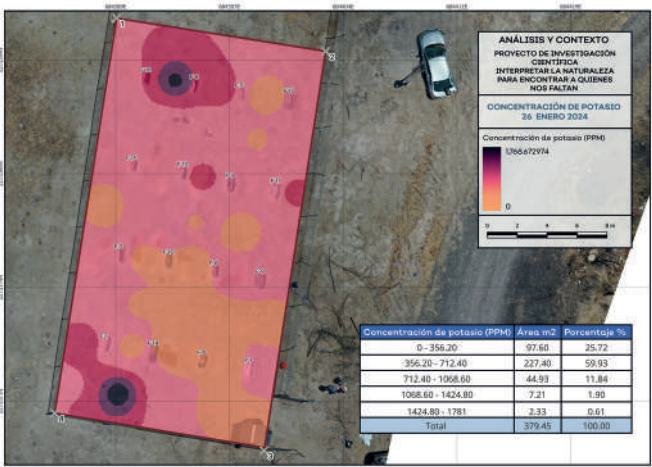
En el muestreo en cuadrícula se encontró un alza en los parámetros de N, P y K en los vértices que intersectan en 15 de las 16 fosas. Por el contrario, la F14 con tratamiento de cuerpo calcinado (CCA) presenta una disminución en los elementos químicos. Se advierte un incremento mayor al promedio en la F11 y F12, correspondientes al tratamiento de cuerpo con cobija (CCO), así como en la fosa 8 relacionada al tratamiento de cuerpo con cal (CL).

Figuras 28 y 29. Concentración de nitrógeno (N) y concentración de fósforo (P) quinto muestreo del Polígono 1, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 30. Concentración de potasio (K) quinto muestreo del Polígono 1



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 31. Concentración de nitrógeno (N) primer muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de
Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En el Polígono 2 no se realizó un muestreo previo a las inhumaciones, sin embargo, existe la referencia de un primer muestreo. Tomando lo anterior en consideración, los resultados arrojan que no hubo cambios significativos en los parámetros de N, P y K en el segundo muestreo, a excepción de un incremento de N en la F14 (CB) y la F11 (CM) y aumento de P en F9.

Figura 32 y 33. Concentración de fósforo (P) y concentración de potasio (K) del primer muestreo del Polígono 2, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Durante el tercer muestreo se encontró, nuevamente, una homogeneización de los parámetros en rangos que oscilan entre los 40 y 80 ppm para N, con exclusión de la F2 (SC). Por otra parte, los parámetros de P se encuentran en rangos de 60 a 90 ppm, a excepción de las fosas F1 y F2 (SC), la F10 (CP) y F7 (CSB).

En este espacio de investigación se registraron dos profundidades en el cuarto muestreo, gracias a este podemos advertir que los niveles de N tienen mayores concentraciones en el estrato más superficial.

Figura 34 y 35. Concentración de nitrógeno (N) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

La misma situación es visible en los parámetros de P, en los cuales ocurre un crecimiento significativo en la F6 (CL) en la profundidad más superficial; mientras que en el estrato más profundo, encontramos valores elevados en la F10 (CP).

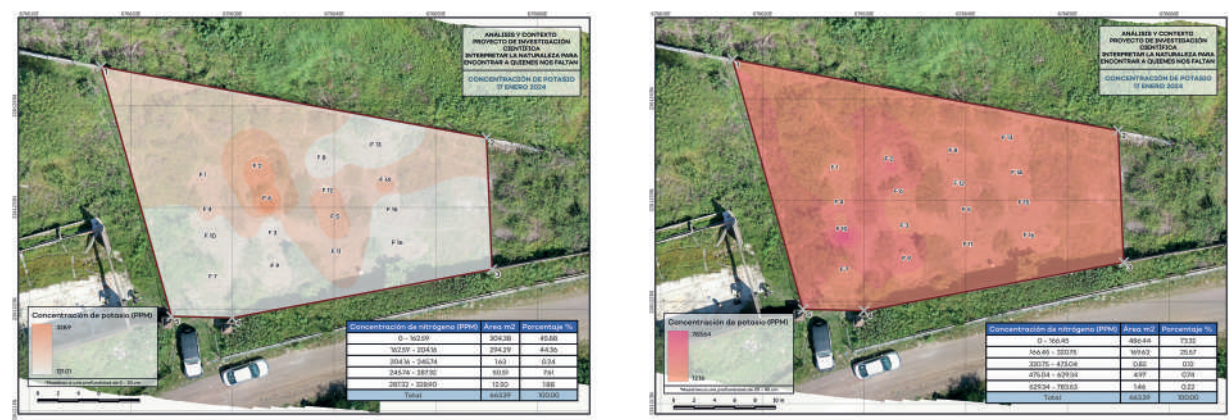
Figura 36 y 37. Concentración de fósforo (P) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En los resultados derivados de K, la cantidad de concentración en el estrato más profundo es considerablemente mayor al que se obtuvo en superficie, con especial implicación en la F10 (CP) correspondiente a método de inhumación cuerpo con piedras.

Figura 38 y 39. Concentración de potasio (K) cuarto muestreo del Polígono 2, profundidad 0-20 cm y 20-40 cm, respectivamente



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

En los resultados del quinto muestreo se advierte un incremento promedio de niveles de N en el terreno. Considerando la metodología implementada en este muestreo, es visible una concentración mayor de N en la fosa 2 (SC), fosa 3 (CC) y fosa 14 (CB).

Figura 40 y 41. Concentración de nitrógeno (N) y concentración fósforo (P) del quinto muestreo del Polígono 2, respectivamente



Nota: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Además, se advierten niveles elevados de P y K en F14 (CB), F12 (CM), F2 (SC) y F3 (CC).

Figura 42. Concentración de potasio (K) quinto muestreo Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

A partir del muestreo realizado con la barrena de sondeo, para el análisis de estratos, se observa una sutil diferencia en los parámetros, resultado de la medición de N, P y K entre los estratos A y B del Polígono 1, siendo EB el mayor en valores promedio.

En la F8 (CB), F9 y F10 (CP) se percibe un decremento en los valores de nutrientes respecto al resto, en ambos estratos.

Tabla 5. Parámetros nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K) del EA y EB del Polígono 1

FOSA	N		P		K	
	EA	EB	EA	EB	EA	EB
F1	42	28	60	39	120	79
F2	42	24	58	34	118	69
F3	42	42	60	58	120	118
F4	42	42	59	59	119	118
F5	43	54	61	62	122	124
F6	18	23	25	32	50	65
F7	42	42	60	58	120	117
F8	17	4	24	6	49	12
F9	15	43	20	61	41	123
F10	13	21	18	29	37	58
F11	43	44	60	62	120	124
F12	43	43	60	61	121	122
F13	44	44	62	75	124	123
F14	42	42	59	59	119	119
F15	43	43	60	61	121	122
F16	42	25	5.9	35	119	71

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

De igual manera, en el Polígono 2 los resultados de nutrientes demuestran una leve disparidad entre estratos, siendo EB superior a EA. En EB se encuentra una diferencia con mayor aumento en F8, F14 (CB) y F10 (CP); las cuales presentan parámetros bajos de N, P y K en contraste con las demás fosas.

Tabla 6. Parámetros nitrógeno (N), fosforo (P) y potasio (K) del EA y EB del Polígono 2

FOSA	N		P		K	
	EA	EB	EA	EB	EA	EB
F1	43	5	60	7	121	14
F2	43	43	60	60	122	122
F3	44	44	62	62	124	124
F4	43	44	60	61	121	123
F5	42	42	59	59	117	119
F6	43	44	60	62	121	124
F7	42	54	59	60	118	122
F8	4	5	5	6	11	13
F9	43	19	61	28	122	55
F10	4	44	6	61	11	123
F11	44	43	61	61	123	123
F12	43	43	60	60	121	121
F13	42	42	60	59	120	119
F14	4	43	6	61	12	122
F15	27	42	38	59	76	118
F16	43	42	60	59	120	118

Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.



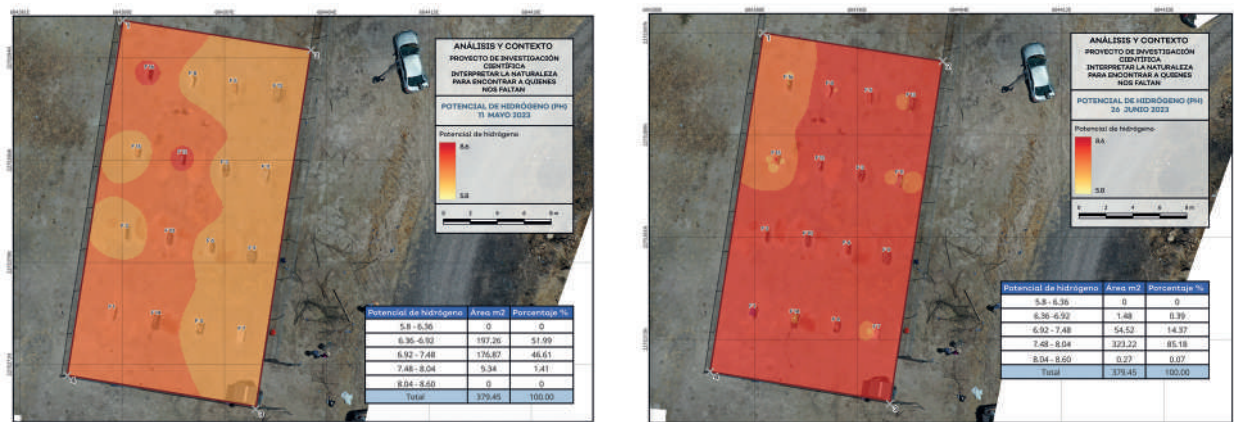
En el Polígono 1, derivado del primer muestreo pre-inhumaciones, el pH aumentó en promedio 0.8, volviendo más alcalino a la gran mayoría del terreno en relación a las condiciones previas al enterramiento. Además, mantienen valores más bajos de pH la F15 y F16, correspondientes a tratamiento de reducción esquelética, así como la F7(CL), correspondiente al tratamiento con cal, y el más elevado resultó la F1(SC).

Figura 43. Representación colorimétrica de escalas para pH



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

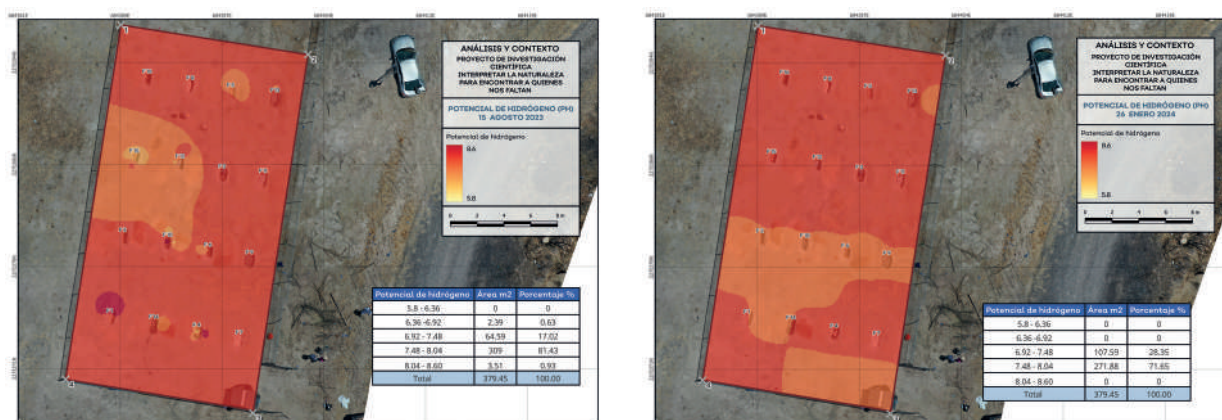
Figura 44 y 45. Concentración de pH pre inhumación y primer muestreo del Polígono 1, respectivamente.



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Para el segundo muestreo, los niveles de pH del espacio de experimentación se mantienen oscilando en los mismo rangos, sin embargo, la F15 (RE) continúa bajando su nivel de pH, de igual manera la F5(CS), F12 (CCO), F4 (CC) y F10 (CB) presentan el mismo fenómeno, reduciendo sus valores. Por el contrario, la fosa de control F1 y la F4 (CC) aumentan a valores superiores de pH.

Figura 46 y 47. Concentración de pH segundo y quinto muestreo del Polígono 1, respectivamente

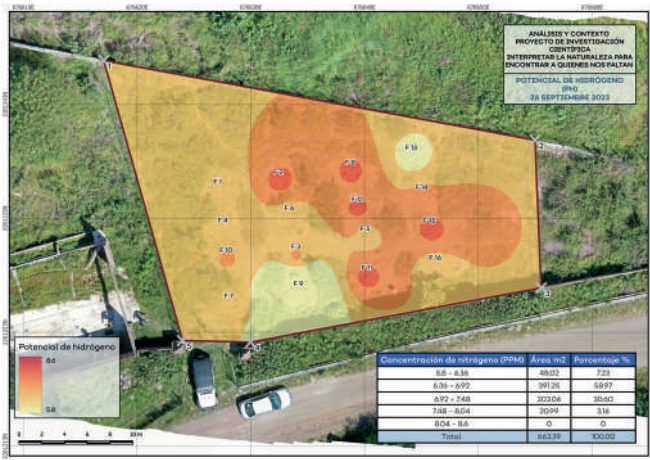


Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Después del segundo muestreo, los parámetros fluctúan entre 0.1 y 0.2 de diferencia entre ellos, lo anterior durante el tercer y cuarto muestreo. En el quinto muestreo, realizado en cuadrícula, se observa nuevamente una unificación en los parámetros del Polígono 1, los cuales se inclinan a niveles altos en un 71.65% del terreno, exceptuando la segunda hilera de fosas que presentan niveles levemente menores al resto.

En el Polígono 2, los valores de pH oscilan entre 6.3 y 8.2, con variaciones promedio de 0.1 del primer al segundo muestreo, en este último se observa un aumento; mientras que entre el tercer y cuarto muestreo, existe una baja de la misma cantidad, mostrando valores menores en el terreno.

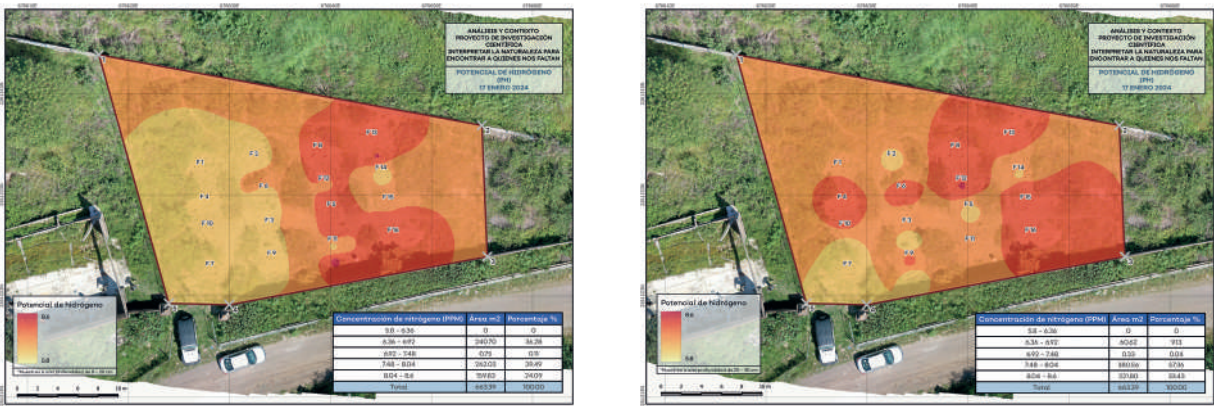
Figura 48. Concentración de pH primer muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

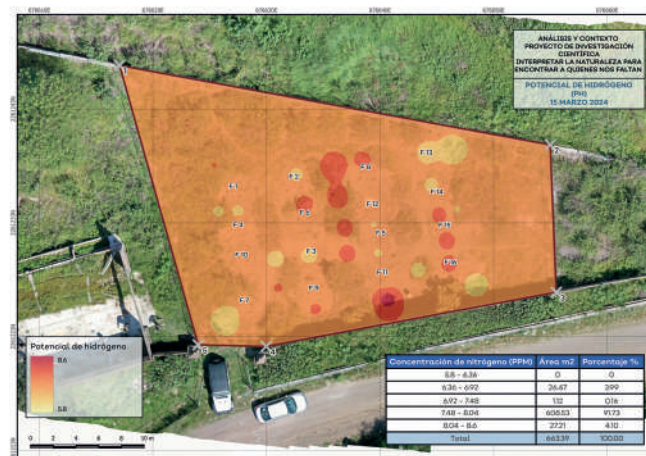
En el primer muestreo, los niveles más altos de pH se registraron en las fosas F2 (SC), F8 (CB), F12 (CM), F15 (CS) y F11(CM).

Figura 49 y 50. Concentración de pH cuarto muestreo del Polígono 2 profundidad 0-20 y 20-40 cm, respectivamente.



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Figura 51. Concentración de pH quinto muestreo del Polígono 2



Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

V. Discusión

Hallazgos físicos

El motivo por el que existen hundimientos en la ubicación de las fosas, se describe a continuación. Cuando existe remoción de tierra, esta misma aumenta su volumen. Una vez devuelta a su punto de origen, puede ocurrir que se reúna más tierra -aparentemente-. Lo que ocurre, es que al realizar la remoción de tierra, el espacio poroso aumenta por la descompactación, dando así la apariencia de que existe más tierra. Con el paso del tiempo, este aumento de volumen disminuye por acción de la gravedad y la humedad que va rellenando ese espacio poroso, compactando nuevamente el suelo y propiciando la delimitación de la fosa. Este fenómeno está más presente en el Polígono 2. En el Polígono 1, este cambio es menos notorio, particularmente en la F14 con cuerpo calcinado. Al quemar el cuerpo en el lugar, se reduce la humedad y el volumen del cuerpo, por lo tanto, hay menos hundimiento.

En cuanto a la humedad, se observa más presente en estratos más profundos, debido a que la que se almacena de forma superficial se evapora por el calor del sol. La F14 del Polígono 1 presenta menor humedad debido a su tratamiento.

Hallazgos químicos

En el suelo existe una cualidad denominada variabilidad espacial. Esto se define como los cambios presentes en el suelo por consecuencia de distintos factores físicos tales como topografía, compactación, geomorfología, profundidad del suelo, entre otros (Vargas & Best, 2022). Los nutrientes presentes en el suelo tienen una alta variabilidad. La variabilidad espacial de las propiedades químicas en los suelos es un problema al que se enfrentan los investigadores que trabajan la agricultura de precisión; sobre todo cuando se desea saber cómo se distribuye la concentración de nutrientes o algunas otras variables químicas útiles para la experimentación (Acevedo et al., 2008).

Esto explicaría el porqué los parámetros en los elementos son distintos entre sí tan solo en el mismo polígono. No se define un patrón de comportamiento de los nutrientes N, P y K en un mismo polígono, ni por tratamiento de inhumación. Las fosas que tienen tratamientos en común cambian de distinta forma, lo que podría deberse a que la variabilidad tiene un mayor papel en los parámetros de los nutrientes, con respecto al tratamiento de inhumación que se le dio.

En el Polígono 1, las fosas que presentan los cuerpos completos (CC) y segmentados (CS), son aquellas que presentan un aumento más notable en los parámetros de los elementos medidos. Sin embargo, no aumentaron en la misma proporción.

Tratamientos que ayudan a retrasar, más no inhibir, la etapa de putrefacción de un cuerpo en descomposición, como el tratamiento con cal (CL) o con cobija (CCO), presentan cambios sólo en una de dos o tres fosas con mismo tratamiento. Se registran aumentos en las fosas de control -sin inhumación-. El comportamiento de los nutrientes presenta bastante variabilidad.

Respecto al pH, no se observaron diferencias significativas en alguno de los dos polígonos de forma general. En un principio, la mayoría de las fosas presentaron un incremento en el pH hasta de 1.0 más que inicialmente. Unos otros, como en el caso de la fosa 16 con cuerpo en reducción esquelética del Polígono 1, se encontraron niveles bajos de pH, sin embargo, fue solo en una de las fosas con dicha característica. Es decir, no hay un patrón. En el Polígono 2 también

ocurrió un declive del pH en la fosa 3 con cuerpo completo, nuevamente no presentando un patrón aparente. En el segundo y tercer muestreo en el Polígono 1, coincidiendo con temporal de lluvias, algunas fosas presentan una disminución del pH, una con cuerpo encobijado, otra con características de reducción esquelética y una con cuerpo completo. Eventualmente, en el resto de los muestreos, los valores del pH en ambos polígonos no presentaron más variaciones notables, únicamente cambios no significativos a nivel decimal.

El pH es el factor que menos cambios presenta en cuanto a variabilidad, lo que coincide con la literatura existente. (Acevedo et al., 2008).

VI. Conclusiones

Considerando que a lo largo del estudio las condiciones metodológicas, de muestreo y medición fueron construidas a medida que el experimento progresaba, fue inviable establecer una homologación de los resultados que permitiera la comparativa de cambios en las propiedades químicas del suelo de los espacios de inhumación.

Tomando en consideración que existen variables de tipo de inhumación y profundidad, no fue posible determinar con certeza si existe o no una relación entre los cambios en la firma química del suelo en sitios de inhumación, en contraste con suelos sin esta característica. Siendo a su vez imposible determinar la dinámica de afección química entre suelo y descomposición de un organismo en subsuelo.

La inviabilidad de un análisis comparativo reside en el uso de distintas metodologías de muestreo en un mismo sitio, en la ausencia de un muestreo previo en ambos espacios, la aleatoriedad en fechas de muestreo, la profundidad seleccionada -ya que se considera superficial para reflejar cambios químicos consecuencia de la inhumación- y la falta de fiabilidad en las mediciones arrojadas por el sensor de suelos -que si bien tiene la ventaja de tener un uso sencillo y práctico, no tiene elementos suficientes que avalen su calibración-. Además, se considera deficiente la falta de homologación en las cantidades de suelo y agua destilada para la medición de N, P y K con el sensor de suelos.

Recapitulando que el objetivo principal de este texto es valorar la posibilidad de implementar nuevas técnicas científicas para la búsqueda de sitios de inhumación clandestina

-como resultado de la crisis forense actual- se determinó, tras la revisión bibliográfica y el avance de la investigación, que el análisis químico de suelos no es una herramienta recomendable para la búsqueda de fosas clandestinas. Principalmente, debido al factor de variabilidad química en suelos mencionado con anterioridad.

Si bien la mayoría de los estudios relacionados a la variabilidad química de suelos tienen origen en el campo de la agronomía, podemos asumir entonces que no es posible determinar parámetros químicos normales de suelo porque estos serán sumamente distintos entre sí aún cuando se hable del mismo tipo de suelo. Otro factor a considerar es el costo de las mediciones, de modo que para que los resultados sean precisos el análisis de laboratorio es la mejor vía, infortunadamente estos tienen un costo elevado y aún con estos datos se necesitaría una referencia previa de ese suelo en particular.

Sin embargo, el suelo cuenta con propiedades además del aspecto químico que sí pueden actuar como una herramienta eficiente en la detección de fosas clandestinas, es por ello que se considera importante apostar a la investigación de las características físicas del suelo en sitios de inhumación.

Algunas de estas propiedades fueron descritas en la presente investigación como precedente, no obstante no tuvieron un seguimiento propio es por ello que se exhorta, para estudios futuros, ahondar más en la interpretación del paisaje mediante técnicas que permitan analizar la humedad, densidad aparente, abundamiento, presencia de vegetación, cambios en la estructura del terreno en sitios de inhumación clandestina y que permitan su detección en campo o vía remota. Encaminando, de esta manera, los estudios de suelos para detección de fosas a un ámbito físico en lugar de químico.

VII. Consideraciones finales

Para futuras investigaciones, presentamos una serie de recomendaciones a considerar para la metodología:

- El uso de recipientes que mantengan en condiciones favorables las muestras de tierra. Preservarlas lo mejor posible para su posterior análisis es recomendable. Se aconseja realizar un análisis gravimétrico para las mediciones de humedad tanto para obtener

una cantidad similar de muestra de todos los puntos de interés, como para obtener información exacta respecto a la humedad en caso de que se pierda por algún factor externo.

- La implementación de métodos criminalísticos para la documentación fotográfica y recolección de muestras con el fin de llevar un mejor control de la información. Además, se sugiere homologar que los muestreos se realicen en lapsos de tiempo similares entre cada uno, metodología a realizar, para obtener una mayor precisión en información.
- Se considera fundamental realizar un análisis de las condiciones físicas del suelo previo a las inhumaciones. Es necesario realizar una comparativa y observar la evolución de las características físicas del suelo, además de procurar un seguimiento específico de cada uno de los tratamientos de los cuerpos en descomposición.
- Orientar investigaciones a análisis de microtopografía con énfasis en las características de abundamiento y densidad aparente del suelo. Así como mediciones en campo con el uso de un penetrómetro. Se sugiere el uso de vehículos aéreos no tripulados -coloquialmente conocidos como drones- para un monitoreo remoto⁷ de las condiciones microtopográficas de sitios de inhumación en distintas temporalidades y condiciones meteorológicas.

7

Véase artículos del apartado de Percepción Remota del presente libro.

Referencias

- ACEVEDO, D., ÁLVAREZ, M., HERNÁNDEZ, E., MALDONADO, R., PÉREZ, M. & CASTRO, R. (2008). *Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos*. Terra Latinoam, vol.26, n.4.
http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792008000400004&lng=es&nrm=iso
- ANDRADES, M. & MARTÍNEZ, M. (2022). *Fertilidad del suelo y parámetros que la definen*. Universidad de la Rioja.
<https://investigacion.unirioja.es/documentos/5c13b229c8914b6ed377892a>
- BARROS, F., KUHNEN, B., COSTA, M. & SILVA, C. (2021). *Ciencias forenses: principios éticos y sesgos*. Rev. bioét. 2021; 29 (1): 55-65.
<http://dx.doi.org/10.1590/1983-80422021291446>
- BEHRENSWEYER, A. (1984). *Taphonomy and the Fossil Record: The complex process that preserve organic remains in rocks also leave their own traces, adding another dimension of information to fossil samples*. American Scientist, Vol. 72, No. 6, pp. 558-566.
<http://www.jstor.org/stable/27852965>
- BOTTACIN, S. CACCIANIGA, & M. CATTANEO, C. (2012). *Vegetation Dynamics as a Tool for Detecting Clandestine Graves*. Journal of Forensic Sciences, 57(4), 1-6.
<https://doi.org/10.1111/j.1556-4029.2012.02071.x>
- BRAKEL, J. (1997). *Chemistry as the science of the transformation of substances*. Synthese (111) 1 253–282.
<https://doi.org/10.1023/A:1004953915874>
- BROWN, T., LEMAY, H., BURSTEN, B., MURPHY, C. & WOODWARD P. (2012). *Chemistry. The Central Science (12 ed.)*. Pearson.
<https://ghostwriter144.neocities.org/img/scienceChemistryTheCentralScience12th.pdf>

- CARTER, D. & TIBBETT, M. (2008). *Cadaver Decomposition and Soil: Processes*, in D. Carter & M. Tibbett (Ed.), *Soil Analysis in Forensic Taphonomy Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press, pp. 29-51.
<https://doi.org/10.1201/9781420069921>
- CID, G., LÓPEZ, T., HERRERA, J. & GONZÁLEZ, F. (2021). *Variación de la Densidad Aparente para diferentes contenidos de agua en suelos cubanos*. Revista Ingeniería Agrícola, 11(2). <https://www.redalyc.org/journal/5862/586266250001/html/>
- CINZIA, A. (2023). *Taphonomical Investigation Applied to Clandestine Graves*. Advances And Applications in Geoforensics: Unraveling Crimes with Geology, 101(1), 1-9.
<https://doi.org/10.1478/AAPP.101S1A6>
- FERTILAB. (2022). *El color del suelo como indicador de su fertilidad*. <https://www.fertilab.com.mx/Sitio/notas/El%20Color%20del%20Suelo%20como%20Indicador%20de%20su%20Fertilidad.pdf>
- FOA. (2006). *Guidelines for soil description*. Food and Agriculture Organization of the United Nations.
<https://www.fao.org/3/a0541e/a0541e.pdf>
- FORBES, S. (2008). *Decomposition Chemistry in a Burial Environment*, in D. Carter & M. Tibbett (Ed.), *Soil Analysis in Forensic Taphonomy Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains*. CRC Press, pp. 203-223.
<https://doi.org/10.1201/9781420069921>
- GERBER, SAMUEL M. (1983). *Chemistry and Crime: From Sherlock Holmes to Today's Courtroom*. American Chemical Society. Recuperado el 02 de mayo del 2024 de <https://files.eric.ed.gov/fulltext/ED343778.pdf>
- GONZÁLEZ, D. (2019). *Violencia y terror. Hallazgos sobre fosas clandestinas en México 2006-2017*. Universidad Iberoamericana.
<https://ibero.mx/files/2019/violencia-y-terror.pdf>
- GUTIÉRREZ, A. (2021). *Estudio de los efectos tafonómicos observados en los restos cadavéricos de Sus scrofa domestica*. Universidad Autónoma de Barcelona. https://www.researchgate.net/publication/359399345_Estudio_de_los_efectos_tafonomicos_observados_en_los_restos_cadavericos_de_Sus_scrofa_domestica

- HERNÁNDEZ, M. (2000). *Fundamentos de medicina legal*. McGraw Hill Interamericana. <https://facdyc.uanl.mx/wp-content/uploads/2024/04/GUIA-Fundamentos-Medicina-Legal.pdf>
- INTAGRI. (2017). *Fijación de Potasio en el Suelo*. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Serie Suelos Núm. 31.
<https://www.intagri.com/articulos/suelos/fijacion-de-potasio-en-el-suelo>
- INTAGRI. (2017). *Uso Eficiente del Fósforo en la Agricultura*. Instituto para la Innovación Tecnológica en la Agricultura. Serie Nutrición Vegetal Núm. 105.
<https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/uso-eficiente-del-fosforo-en-la-agricultura>
- INECOL. (2017). *Nuestro fósforo cada día*. Instituto de Ecología.
<https://www.inecol.mx/inecol/index.php/es/2017-06-26-16-35-48/17-ciencia-hoy/1693-nuestro-fosforo-de-cada-dia>
- KIM, B. (2020). *Short Communication on Modern Chemistry*. Modern Chemistry and Applications Vol. 8 Iss. 4 No. 281.
<https://www.walshmedicalmedia.com/open-access/short-communication-on-modern-chemistry.pdf>
- KOCHIAN, L. (2012). *Plant Nutrition: Rooting for more phosphorus*. Macmillan Publishers Limited.
https://www.researchgate.net/publication/230722025_Plant_nutrition_Rooting_for_more_phosphorus
- LEEUWE, R. & MIKE, W. (2017). *A Taphonomic Study Based on Observations of 196 Exhumations and 23 Clandestine Burials: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*, in E. Schotsmans, N. Márquez-Grant & S. Forbes (Ed.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Wiley. (pp. 394-401). <https://doi.org/10.1002/9781118953358.ch26>
- MAIKEN, U. & STUART, B. (2017). *Degradation of Clothing in Depositional Environments*, in E. Schotsmans, N. Márquez & S. Forbes (Ed.), *Taphonomy of Human Remains: Forensic Analysis of the Dead and the Depositional Environment*. Wiley (pp. 120-133).
- MAYCOTTE, C. (2011). *Edafología 1*. Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. <https://repository.uaeh.edu.mx/bitstream/handle/123456789/7381>

- MENGEL, K. & KIRBY, E. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal*. Internacional Potash Institute. <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/64-principios-de-nutricion-vegetal.pdf>
- MOORBERG, C. & CROUSE, D. (2023). *Soils Laboratory Manual*. LibreTexts. [https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Soils_Laboratory_Manual_\(Moorberg_and_Crouse\)/03%3A_Soil_Physics/03.1%3A_Soil_Texture_and_Structure](https://geo.libretexts.org/Bookshelves/Soil_Science/Soils_Laboratory_Manual_(Moorberg_and_Crouse)/03%3A_Soil_Physics/03.1%3A_Soil_Texture_and_Structure)
- MORRISH, R. (1955). *The Police and Crime-Detection Today*. Oxford University Press.
- RODRIGUEZ, W. (1997). *Decomposition of Buried and Submerged bodies*, in W. Haglund & M. Sorg (Ed.), *Forensic Taphonomy. The postmortem fate of human remains*. CRC Press. <https://doi.org/10.1201/9781439821923.sec4>
- SECRETARÍA DE GOBERNACIÓN. (2015). *Acuerdo A/009/15*. Diario Oficial de la Federación. https://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5381699&fecha=12/02/2015#gsc.tab=0
- SERRANO, M. (2018). *La química de los fenómenos cadavéricos*. Gaceta Internacional de Ciencias Forenses, 26(1), 57-70. https://www.uv.es/gicf/4A1_Serrano_GICF_29.pdf
- SISOVID. (2024). *Personas desaparecidas al 30 de junio del 2024*. Sistema de Información Sobre Víctimas de Desaparición. <https://sisovid.jalisco.gob.mx/#section-2>
- SOIL SURVEY STAFF (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos* (12 ed.). Departamento de Agricultura de los Estados Unidos.
- SOIL SURVEY STAFF. (2015). *Illustrated Guide to Soil Taxonomy, version 2*. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/202206/Illustrated_Guide_to_Soil_Taxonomy.pdf
- SOIL SURVEY STAFF. (2022). *The 12 Orders of Soil Taxonomy*. United States Department of Agriculture. https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-06/orders_hi.pdf
- STATHEROPOULOS, M., SPILIOPOULOU, C. & AGAPIOU, A. (2005). *A study of volatile organic compounds evolved from decaying human body*. Forensic Science International

(153)1, 147-155. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0379073804006188?via%3Dihub>

TAKAJASHI, F., SUSANO, P., GARCÍA, F. & CÁRDENAS, J. (2019). *Medicina Forense*. Manual Moderno. https://gc.scalahed.com/recursos/files/r161r/w25678w/saber1/s1_04_Medicina_forense_compressed.pdf

TAYLOR, D. (1962). *Principios Fundamentales de Mecánica de Suelos*. Compañía Editorial Continental. https://catalogo.uniquindio.edu.co/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=13894&shelfbrowse_itemnumber=19957

VARGAS, E. (1999). *Medicina Legal*. Editorial Trillas. <https://medicinalegalunah.wordpress.com/wp-content/uploads/2015/05/medicina-legal-eduardo-vargas-alvarado.pdf>

VARGAS, D., OLIVARES, L., CERÓN, A. & BOBADILLA, M. (2020). *Manual de Evaluación de Suelos. Énfasis en Memoria Edáfica, Materia Orgánica e Hidroedafología*. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 3(1), 1-35. https://www.researchgate.net/publication/346452883_Manual_de_Evaluacion_de_Suelos_Enfasis_en_Memoria_Edafica_Materia_Organica_e_Hidroedafologia

VARGAS, Q. & BEST, S. (2022). *Variabilidad microclimática, espacial de características fisicoquímicas del suelo y su efecto en la heterogeneidad a la respuesta productiva de los cultivos*. Moletín INIA N° 457, pp. 21-34. <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/68559/Capitulo%202.pdf?sequence=5#:~:text=Se%20entiende%20por%20variabilidad%20espacial,caracter%C3%ADsticas%20diferenciadoras%20en%20la%20productividad.>



