UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA CIENCIAS FORENSES

DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA EN PLANTAS VASCULARES

Autor:
Albieri A. Jardím
C.I.: 29.846.571

Bárbula, Julio de 2024

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA CIENCIAS FORENSES

DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA EN PLANTAS VASCULARES

Trabajo de Grado presentado para optar al título
de Licenciado en Ciencias Forenses

Autor:
Albieri A. Jardím
Tutor:
David Durán

Bárbula, Julio de 2024

UNIVERSIDAD DE CARABOBO

ACTA DE DISCUSIÓN DE TRABAJO DE GRADO

FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS

Dirección de Asuntos Estudiantiles

Av. Salvador Allende, Edif. de la FCJP, torre norte, piso 3 Ciudad Universitaria Bárbula - Naguanagua Edo. Carabobo

En atención a lo dispuesto en las **NORMAS PARA REGULAR LA PRESENTACIÓN, TRAMITACIÓN, ENTREGA, DISCUSIÓN Y EVALUACIÓN DE TRABAJOS DE GRADO DE LAS CARRERAS DE DERECHO, ESTUDIOS POLÍTICOS Y CIENCIAS FISCALES DE LA FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS DE LA UNIVERSIDAD DE CARABOBO, EN SU ARTICULO 29, PARAGRAFO SEGUNDO DE LAS DISPOSICIONES TRANSITORIAS**, quienes suscribimos como Jurado designado por el Consejo de la Facultad de Ciencias Jurídicas y Políticas, para estudiar el Trabajo de Grado titulado:

"DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA EN PLANTAS VASCULARES"

Presentado para optar al título de **LICENCIADO EN CIENCIAS FORENSES,** por el aspirante:

ALBIERI ALESSANDRO JARDIM CARREÑO
C.I.: V-29.846.571

Habiendo examinado el Trabajo presentado, decidimos que el mismo está **APROBADO.**

En Valencia, a los **dieciséis** días del mes de **julio** del año **dos mil veinticuatro**.

Prof. David Duran
Tutor (Coordinador)
C.I. V-20.382.724

Prof. José Núñez
Miembro Principal
C.I. V-18.500.420

Prof. Luis Rodríguez
Miembro Principal
C.I. V-22.696.012

REPÚBLICA BOLIVARIANA DE VENEZUELA
UNIVERSIDAD DE CARABOBO
COORDINACION DE LA CARRERA DE CIENCIAS FORENSES
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLITICAS

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA CIENCIAS FORENSES

APROBACIÓN DEL TUTOR

Quien suscribe, Profesor Daniel Olivera titular de la cédula de identidad: V-20.382.724 en mi condición de Tutor, hago constar que el Trabajo de Grado titulado: Descripción de los efectos de la descripción cadavérica en planta vasculares. Presentado por el Bachiller: Albrai Jordan Titular de la Cédula de Identidad Nº V- 29.846.571, para optar al Título de Licenciado en Ciencias Forenses, considero que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a la presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

Daniel

Tutor

C.I.: V- 20.382.724
Telf: _____

En Campus Bárbula, a los 18 días del mes de junio del año 2024.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA CIENCIAS FORENSES
PERÍODO LECTIVO 2023-2024

Alumno (s): Albieri Alessandro Jardím Carreño **C.I.:** V- 29.846.571
Tutor: David T. Durán R. **C.I.:** V-20.382.724
Título del Trabajo: DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA EN PLANTAS VASCULARES
Línea de Investigación: Biología Forense

INFORME DE ACTIVIDADES CON EL TUTOR

N°	Mes de la Actividad	Tipo de Actividad
1	21-11-2023	Capítulo I Planteamiento o Formulación del Problema de Investigación. Objetivos de la Investigación. Formulación de los Objetivos de la Investigación. Importancia y Justificación de la Investigación.
2	18-12-2023	Capítulo II. Marco Teórico de la Investigación. Antecedentes de la Investigación. Bases Teóricas y Bases Legales.
3	22-04-2024	Capítulo III. Marco Metodológico de la Investigación. Diseño y Tipo de la Investigación.
4	10-05-2024	Capítulo IV Análisis e Interpretación de Resultados. Análisis e Interpretación de Resultados.
5	15-05-2024	Capítulo V Conclusiones y Recomendaciones. Conclusiones y Recomendaciones.

Firma del Tutor

Firma del Alumno

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA CIENCIAS FORENSES

DESCRIPCIÓN DE LOS EFECTOS DE LA DESCOMPOSICIÓN CADAVÉRICA EN PLANTAS VASCULARES

Autor: Albieri A. Jardím

Tutor: David Durán

Fecha: Julio de 2024

Resumen

Cuando por alguna razón resulta necesario localizar un cadáver en áreas de abundante vegetación, esta suele ser vista como un obstáculo para las técnicas tradicionales de búsqueda, basadas principalmente en el reconocimiento de cambios físicos y/o químicos del entorno y su asociación al proceso de descomposición cadavérica. Sin embargo, la relación entre este proceso y las plantas es un tema que ha sido poco explorado y cuenta con escasos antecedentes. En respuesta a esta brecha de conocimiento, la presente investigación se propone como objetivo describir de forma documental los efectos que la descomposición de cadáveres humanos podría tener en la vegetación circundante. A través de un análisis bibliográfico, se consideraron los requerimientos nutricionales de las plantas vasculares, la composición nutricional promedio del cuerpo humano y el impacto de la descomposición cadavérica sobre el suelo en que se lleva a cabo. Contrastando estos hallazgos con los resultados obtenidos en una limitada serie de experimentos realizados por otros autores, donde de forma experimental se expusieron organismos vegetales a la descomposición de modelos cadavéricos animales para identificar los cambios inducidos. Concluyendo que la descomposición de cadáveres humanos puede tener un impacto significativo a corto y largo plazo en la vegetación, manifestándose en una serie de síntomas o cambios morfofisiológicos que pueden ser detectados y comparados con las características de la vegetación no afectada, sirviendo como señalizadores a posibles sitios de descomposición de restos cadavéricos.

Descriptores: Cambios físicos y/o químico; descomposición cadavérica; plantas vasculares; cambios morfofisiológicos; señalizadores.

Línea de Investigación: Biología Forense.

UNIVERSIDAD DE CARABOBO
FACULTAD DE CIENCIAS JURÍDICAS Y POLÍTICAS
CARRERA DE CIENCIAS FORENSES

DESCRIPTION OF THE EFFECTS OF CADAVERIC DECOMPOSITION IN VASCULAR PLANTS

Author: Albieri A. Jardím

Tutor: David Durán

Date: July 2024

Abstract

When for some reason it is necessary to locate a corpse in areas with abundant vegetation, this is often seen as an obstacle to traditional search techniques, based mainly on the recognition of physical and/or chemical changes in the environment and their association with the process of cadaveric decomposition. However, the relationship between this process and plants is a topic that has been little explored and has little precedent. In response to this knowledge gap, the present research aims to describe the effects that the decomposition of human corpses could have on the surrounding vegetation. Through a bibliographic analysis, the nutritional requirements of vascular plants, the average nutritional composition of the human body, and the impact of cadaveric decomposition on the soil where it takes place were considered. Contrasting these findings with the results obtained in a limited series of experiments carried out by other authors, where plant organisms were experimentally exposed to the decomposition of animal cadaveric models to identify the changes induced. They conclude that the decomposition of human corpses can have a significant short and long term impact on vegetation, manifesting itself in a series of symptoms or morphophysiological changes that can be detected and compared with the characteristics of unaffected vegetation, serving as markers for possible sites of decomposition of cadaveric remains.

Descriptors: Physical and/or chemical changes; cadaveric decomposition; vascular plants; morphophysiological changes; markers.

Research Line: Forensic Biology.

Índice General

Resumen 6vi

Abstract vii

Introducción 1

Capítulo I 3

El Problema 3

Planteamiento del Problema 3

Formulación del Problema 7

Objetivos de la Investigación 8

Objetivo general 8

Objetivos específicos 8

Justificación de la Investigación 9

Capítulo II 11

Marco Referencial 11

Antecedentes de la investigación 11

Bases Teóricas 20

Botánica, Fisiología y Nutrición Vegetal 20

Ciencias Forenses y Criminalística 31

Principios Criminalísticos 32

Investigación Penal 34

Evidencia Física 35

Sitio del Suceso 37

Botánica Forense, Funciones y Situación 39

Composición y Descomposición del Cuerpo Humano 51

Inhumaciones Clandestinas 64

Bases Legales 69

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2009) 69

Ley Orgánica del Servicio de la Policía de Investigación, el Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas y el Instituto Nacional de Medicina y Ciencias Forenses (2012) 70

Código Orgánico Procesal Penal (2021) 71

Código de Procedimiento Civil (1990) 74

Capítulo III 75

Marco Metodológico 75

Tipo de Investigación 75

Diseño de la Investigación 76

Técnicas e Instrumentos de Acopio y Procesamiento de la Información 78

Fases del Diseño 80

Capítulo IV 83

Análisis Y Discusión De Los Resultados 83

Requisitos Nutricionales de las Plantas: Deficiencias y Excesos 83

Dinámica del pH y Disponibilidad de Nutrientes 84

Caracterización de la Composición y Descomposición del Cuerpo Humano..... 86

Caracterización del Impacto Ecológico de la Descomposición Cadavérica Mediante Modelos Animales 88

Descripción de los Efectos de la Descomposición Cadavérica en la Fisiología y Morfología de Plantas Vasculares..... 91

Capítulo V..... 97

Conclusiones Y Recomendaciones..... 97

Conclusiones 97

Recomendaciones..... 99

Referencias..... 101

Índice De Tablas

Tabla 1 .....

Tabla 2 .....

Tabla 3 .....

Tabla 4 .....

Índice De Figuras

Figura 1 .....

Figura 2 .....

Introducción

La descomposición cadavérica es un proceso irreversible que tiene lugar tras el cese de las funciones vitales y en el que intervienen una serie de agentes biológicos y abióticos, tanto intrínsecos como extrínsecos al cuerpo. Este proceso ha sido objeto de estudio de las ciencias forenses con fines centrados en la estimación del tiempo de muerte y la reconstrucción de los eventos que rodearon a la misma. Con lo que, a lo largo de la historia, se han desarrollado diferentes metodologías para caracterizar las distintas etapas de la descomposición, observando los cambios físicos y químicos que experimenta el cuerpo, así como sus efectos en el entorno.

Uno de los aspectos más estudiados de la descomposición cadavérica ha sido la sucesión de comunidades de insectos que colonizan el cuerpo tras la muerte. Presentando cada especie preferencias específicas en cuanto al estado de descomposición, lo que las convierte en valiosos indicadores para la estimación del intervalo postmortem. En segundo lugar, se encuentran los estudios del suelo donde se produce la descomposición. Estos análisis buscan identificar las alteraciones tafonómicas (cambios físicos y químicos) que se generan en el suelo como consecuencia de la liberación de materia orgánica y la actividad de los descomponedores.

En este sentido, a medida que un cuerpo se descompone, libera una serie de compuestos orgánicos y nutrientes al suelo circundante que pueden ser aprovechados por organismos de los distintos niveles tróficos. Estando demostrado que estos cambios en la disponibilidad de nutrientes llegan a impactar significativamente en las comunidades de microorganismos, artrópodos, hongos y plantas dentro del área afectada. Implicando que las plantas tienden a ser altamente sensibles a los cambios del entorno, como los provocados por la descomposición, a lo que responden de distintas formas, pudiendo resultar beneficiadas en aspectos metabólicos o ser afectadas negativamente por la exposición prolongada a las condiciones creadas por dicho

proceso, al menos durante las etapas tempranas de esta. Con lo que, si se identifican correctamente estas respuestas, las plantas podrían derivar en útiles bioindicadores de la descomposición cadavérica.

No obstante, la relación entre la descomposición cadavérica y las plantas, en general, sigue siendo un área poco explorada. Aunque el entendimiento de esta interacción representaría un avance tanto para la ecología como para las ciencias forenses. Es por esto que el trabajo que se desarrollará a continuación abordará los efectos que la descomposición cadavérica podría tener en las plantas vasculares, pretendiendo contribuir al entendimiento de la interacción entre los cadáveres en descomposición y la flora circundante, brindando información que podría resultar relevante para el tratamiento de los ecosistemas y la investigación forense.

Partiendo con el Capítulo I, donde se plantean las cuestiones que motivan el desarrollo del tema que la investigación aborda, así como se justifican las razones y los aportes que se pueden obtener de la misma y se identifican los objetivos que se ha propuesto alcanzar. En el Capítulo II se desarrolla la fundamentación teórica que enmarca la investigación dentro del tema específico; al mismo tiempo que, con los antecedentes, se hace una revisión de los estudios similares que hayan sido realizados previamente, dando a conocer las hipótesis, objetivos y resultados obtenidos en estas investigaciones previas, orientando hacia los aspectos de mayor interés que deberían ser tratados por la presente investigación.

En el Capítulo III se describen los procedimientos metodológicos que llevaron a la consecución de los objetivos establecidos, a la vez que aseguran la validez, confiabilidad y coherencia de los resultados alcanzados con la investigación. En el Capítulo IV se analizan e interpretan estos resultados obtenidos previamente, a partir de los cuales se desarrollan las conclusiones de la investigación y se hacen las recomendaciones pertinentes para futuras investigaciones en el área, contenidos en el Capítulo V.

Capítulo I
El Problema

Planteamiento del Problema

En cuanto al continente americano respecta, existe una elevada cifra de individuos en situación de "persona desaparecida", sean estas víctimas bajo cualquier contexto de alguna forma de desaparición provocada por un tercero; o de "persona no localizada". La misma suele variar entre países, igual lo hace la tasa de resoluciones por región. Así, los Estados Unidos de América presenta una de las tasas más altas en relación a la cantidad de habitantes, donde, de acuerdo a una recopilación estadística de los archivos de personas desaparecidas y personas no identificadas, del Centro Nacional de Información Criminal (NCIC), en el año 2022 se registró un total de 546.568 personas desaparecidas, reducidos a 97.127 casos abiertos para diciembre del mismo año. Llegando a inicios del año 2024 con un remanente de 24.099 casos aún activos en dicho país, registrados por el Sistema Nacional de Personas Desaparecidas y no identificadas (NamUs).

En los países hispanoamericanos las cifras oficiales suelen discrepar de los datos aportados por las entidades independientes, por lo que la cantidad real de personas en esta situación podría no ser conocida. Sin embargo, la cifra registrada es injustificadamente alta, cualquiera sea la fuente, aun sin considerar la posibilidad de casos no reportados por cualquier motivo. Siguiendo esta idea, México y Colombia aparentan ser los países con más casos de desaparecidos registrados por año, acumulando solo el primero de estos, para inicios del año 2024, un aproximado de 101.906 personas aún desaparecidas, lo que representa el 89,07 % de la totalidad de personas "desaparecidas y no localizadas" desde 1952, mientras que 192.687 es la cantidad de personas localizadas a lo largo del mismo periodo, de las cuales el 7,56 % han sido

localizadas sin vida, todo esto según el Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas (RNPDNO).

Por su parte, Venezuela no se aleja de este problema, donde se registraron 1956 homicidio en el año 2023 y se estiman 1443 personas desaparecidas, para ese mismo año, siguiendo el informe anual de violencia de la ONG Observatorio Venezolano de Violencia (OVV). De manera general, estos elevados índices, junto a la cantidad de entierros clandestinos que se descubren en distintas partes de la región, en algunos casos, de cuerpos sin identificar y, en otros, de personas aún no reportadas como desaparecidas, pueden inducir a concluir que la muerte y ocultación del cadáver son una seria posibilidad a considerar en los casos de desaparición de personas.

Si bien el hecho de que se desconozca la ubicación de una persona no implica siempre que esta haya fallecido, ni que haya sido víctima de un delito, sino solamente haberse extraviado; Cholewa et al. (2022) plantean que, en casos de muerte, los cadáveres pueden acabar en sitios de difícil localización, pudiendo ser por una razón fortuita en caso de una muerte accidental, al extraviarse en un entorno natural por ejemplo, o por completa voluntad de un sujeto activo, suponiendo un homicidio.

En esta última situación la intención suele ser ocultar el cadáver para cubrir los rastros que puedan relacionar al delito, retrasando lo más posible su localización por parte de los órganos de investigación, pretendiendo que se degrade a restos casi imperceptibles superficialmente, puesto que la condición en que sea hallado dependerá del tiempo que tome hacerlo. Para esto, el victimario, determinado en principio por factores como su propia condición, características de la víctima, motivo del delito, entre otras, tiende a elegir como sitio de liberación áreas que le permitan evitar la detección y llevar a cabo su crimen (Stevens, 2021), siempre respondiendo a criterios de accesibilidad y privacidad. Cumpliendo estas condiciones, Serrano (2012) reconoce una frecuente preferencia por las zonas forestales y boscosas, seguidas de las zonas acuáticas, conclusión similar a la de Silván Cárdenas et al. (2019).

Aproximaciones como las realizadas por los autores previos, lleva a preguntarse si estos entornos terrestres, dominados por organismos vegetales podrían pasar de presentarse como una desventaja u obstáculo en la búsqueda de cuerpos, a ser vistas como herramientas de señalización de los sitios donde se esté llevando a cabo el proceso de descomposición.

Tomando como base, en primer lugar, que la descomposición no significa la destrucción de los restos cadavéricos, solo la reducción y redistribución continua de sus componentes dentro del entorno en el que se encuentre, desprendidos estos por distintos medios. Seguido de la forma en que este proceso podría relacionarse con las plantas, considerando a estas como organismos cosmopolitas capaces de responder, con síntomas perceptibles, a las alteraciones del entorno una vez se han establecido.

Pudiendo ser una de estas alteraciones los cambios en la composición mineral del suelo producidos por un cadáver en descomposición (DeBruyn et al., 2021; Martin et al., 2021; Zychowski, 2021; Wenting et al., 2023), al constituirse de elementos esenciales aprovechables; aunque, en casos particulares, también podría concentrar otro tipo de residuos potencialmente ecotóxicos (Wenting et al., 2023), que las plantas y otros organismos pueden absorber (Pawlett et al., 2024), resultando en este caso negativos para los individuos circundantes.

Estos aspectos inducen a la posible capacidad de las plantas para actuar como indicadores forenses de la descomposición, diferenciadas de los organismos de comportamiento necrófilo y/o necrófago, como los artrópodos, en que ellas no deciden su interacción con el cadáver, tampoco el tiempo que están expuestas a él, mucho menos la posibilidad de abandonar el sitio luego de un período de tiempo específico. Dado que son agentes relativamente pasivos ante esta situación, por lo que ellas, junto con el suelo en que se encuentren, quizá servirían como un banco de información química de restos cadavéricos descompuestos durante períodos que podrían superar un año.

Sin embargo, para la fecha en que toma lugar el presente estudio, las investigaciones publicadas en que se considere este aspecto de las plantas han sido mínimas. Siempre limitando su relevancia, entre los delitos graves, al análisis del polen y otras evidencias trazas de naturaleza vegetal, con el fin de identificar la especie y establecer vínculos circunstanciales.

De hecho, en una relación bibliográfica entre las cuestiones de naturaleza botánica y las técnicas abordadas para su resolución, realizada por Caccianiga et al. (2021), se puede apreciar que para los problemas de determinación de sitios primarios y secundarios, entierros clandestinos y dinámica de cuerpos, la metodología principal ha sido el análisis comparativo de "macrorestos vegetales" (hojas, tallos, frutos, etc.) y del polen. Debiendo resaltar que para aplicar estos métodos es necesario, con anterioridad, haber localizado y procesado estos sitios o cuerpos, para posteriormente emplear en su asociación las trazas de origen vegetal halladas.

De forma que, para dar con su localización, los radares de superficie, los perros de búsqueda, los grupos de barrido e incluso las declaraciones de testigos, suelen ser los métodos más comunes dentro de la bibliografía relacionada al rastreo de cadáveres, las cuales se guían mayormente por cambios físicos y/o químicos en el entorno y su asociación con posibles sitios de entierro o liberación. Pudiendo haber mayor incidencia en unas prácticas que en otras; por ejemplo, Silván Cárdenas et al. (2019), afirman que, en México, la localización de estos entierros clandestinos ha dependido, para su fecha, principalmente de las declaraciones de los testigos, siendo más difícil cuando ellos están ausentes. Igualmente, reconocen que en muchos casos los grupos de búsqueda se conforman principalmente por familiares de los desaparecidos, siguiendo técnicas rudimentarias de exploración de campo.

Entonces, la búsqueda de cuerpos consiste en una compleja y coordinada labor multidisciplinaria en que las entidades encargadas de esta, dependiendo de la calidad de la

información con la que cuenten, suelen requerir cantidades considerables de recursos materiales, humanos y logísticos, los cuales, a su vez, determinan el tiempo y los resultados. Sin embargo, la totalidad de estos recursos disponibles podría variar entre cada situación específica, así como del contexto de la desaparición. Estas limitaciones son una realidad entre los países de la región hispanoamericana, a causa de la baja asignación de recursos al área forense en la mayoría de estos, lo que impide la adquisición de tecnologías que permitirían realizar estas búsquedas de manera remota y en menor tiempo, debido a su elevado costo y necesidades de interpretación, llevando a depender de otras fuentes imprecisas de información.

Por otro lado, si bien en el mundo, otras funciones de la botánica forense han sido bien definidas y suelen aplicarse en distintos países, no es lo mismo para Venezuela. Lugar donde, así como el inicio científico de la botánica fue tardío (Lindorf, 2018), su desarrollo forense, desea resaltar el autor, no se muestra al nivel alcanzado en otros países, ni siquiera en sus áreas más generales.

En tal sentido, si alguna vez se ha efectuado la aplicación de esta especialidad de la botánica en investigaciones penales, lo más probable es que, como refirió Nassar (2005), estas "no han quedado debidamente registradas bajo la forma de publicaciones científicas o divulgativas", mientras que el contenido teórico publicado ha solido limitarse a observaciones superficiales de conceptos generales.

Formulación del Problema

Como se ha establecido, el panorama completo ha de consistir en determinar la efectividad de las plantas como indicadores para el rastreo y detección de cadáveres en descomposición o superficies de suelo donde este proceso ha tenido lugar. Pero el vacío de conocimiento a nivel mundial acerca de este tema, para la fecha en que se lleva a cabo la

presente investigación, constituye el problema mayor; pues se requiere de más indagación para comprobar si estas aproximaciones se ajustan a la realidad que interesa a las ciencias forenses. Por lo que la investigación se limitó a describir de manera documental los posibles cambios que sufrirían organismos vegetales vasculares al ser expuestos a la descomposición cadavérica; relacionando lo que se sabe acerca de la forma en que el cuerpo humano se descompone y los requisitos nutricionales de las plantas vasculares.

Quedando, de esta manera, formulado el problema de la presente investigación de la siguiente forma:

¿Qué efectos reconocibles tendría la descomposición cadavérica sobre las plantas vasculares?

Objetivos de la Investigación

Objetivo general

1. Describir documentalmente los efectos que la descomposición cadavérica tendría sobre plantas vasculares expuestas a este proceso.

Objetivos específicos

1. Identificar los requisitos nutricionales promedio de las plantas vasculares y el impacto de un suministro mineral excesivo y prolongado.
2. Caracterizar la composición elemental del cuerpo humano, su descomposición y las repercusiones ambientales de este proceso.
3. Describir los posibles efectos de la descomposición cadavérica sobre las plantas vasculares en condiciones normales.

Justificación de la Investigación

Los estudios para comprender los procesos de la descomposición cadavérica se han limitado en su mayoría a las comunidades animales de carroñeros y necrófagos, mientras que el modo en que se ven involucrados otros tipos de organismos, como las plantas, ha sido poco explorado, aunque este conocimiento podría constituirse de un valor apreciable dentro de la investigación forense, sin ser de interés limitado solo a la línea penal. Es decir, esta información podría extenderse incluso a áreas como la conservación ambiental o la ecología forense, en pos de alternativas sostenibles para el tratamiento de cadáveres en ambientes naturales y otro tipo de metodologías mortuorias. Lo que implica que el tema es capaz de generar resultados aprovechables bajo distintos contextos, por lo que su exploración llegaría a impulsar la consideración de su papel dentro de las investigaciones y labores en que podría tener uno.

Aquí es donde la presente investigación busca un resultado de productividad práctica, al brindar información que, cuando menos, podría contribuir posteriormente al desarrollo de nuevas técnicas forenses y herramientas, tanto de análisis como de reconstrucción, basados en caracteres vegetales relacionados con la descomposición. Si bien no se pretende justificar el retraso de la implementación de tecnologías en las investigaciones, estas técnicas de búsqueda superficial podrían ajustarse a las deficiencias y limitaciones planteadas anteriormente, representando alternativas más eficientes que los imprecisos testimonios de personas relacionadas o de testigos, pero igualmente podrían servir como complemento a los métodos de búsqueda remota, en la identificación de patrones superficiales de modificación que orienten a la existencia de un sitio de liberación, con el objetivo de refinar sus resultados.

Así mismo, el conocimiento generado con la presente investigación acerca de la interacción entre las plantas y la descomposición cadavérica, bajo las condiciones documentales en que se realizó el estudio, podría ser un aporte a la literatura científica y forense, contribuyendo al avance de la botánica forense; tal vez no de gran impacto a nivel internacional, pero sí que constituiría un precedente dentro de dicha disciplina en Venezuela. País donde, a sabiendas del autor, el presente es el único estudio investigativo dentro del campo de la botánica forense que se

ha realizado al menos en la última década; y donde a pesar de, como se ha referido, no presentar unidades de investigación dentro de este campo, Nassar (2005), afirma que en el país se dispone de "personal calificado en diversas ramas de la botánica para dar apoyo a los cuerpos encargados de la investigación criminal", los cuales estarían distribuidos entre distintas instituciones nacionales.

Siendo de este modo que estos profesionales tendrían la capacidad de servir para el desarrollo de las técnicas planteadas, a partir de la información obtenida de investigaciones de este tipo, dentro de las ciencias forenses, estimulando así el desarrollo de nuevas indagaciones y, posteriormente, de la botánica forense dentro de la nación, como se expresa al decir que la ciencia progresa cuando se reconocen problemas de la realidad y periódicamente se presentan trabajos o investigaciones con propuestas para resolverlos.

Capítulo II
Marco Referencial

En este capítulo se presentan los antecedentes, conceptos y teorías relacionados a la investigación que se realiza, los cuales, seleccionados luego de un análisis realizado a la bibliografía consultada, servirán para el desarrollo de la metodología empleada para lograr los objetivos propuestos.

Acerca de las referencias que se emplean en este capítulo para sustentar su contenido, Arias (2017) establece que no hay tal cosa como un límite de vigencia menor a 5 años para la literatura citada, sino que la desactualización de esta se da cuando deja de ser citada como fuente de información para argumentar o justificar algo. Señalando que el tiempo de desactualización depende de factores como el área o tema objeto de estudio; y que por la urgencia de referir fuentes recientes, a diferencia de la original, "se puede incurrir en el error de citar fuentes secundarias o terciarias, ocasionando que las investigaciones pudieran resultar incompletas o insuficientes en cuanto a la revisión de la literatura y presentación de bases teóricas que refiere."

Antecedentes de la investigación

El primer referente examinado es el estudio realizado por Wenting et al. (2023), publicado como artículo de investigación bajo el título "*Leakage of nutrients into the soil due to carrion decomposition can enhance plant growth*" [La fuga de nutrientes al suelo debido a la descomposición de la carroña puede mejorar el crecimiento de las plantas], llevada a cabo en la Universidad Radboud, Países Bajos, entre agosto y octubre del 2021. La investigación tuvo un

diseño experimental controlado en el que trabajaron con una población de 378 plantas de maíz (*F1 Zea maiz*e), las cuales expusieron a distintos tratamientos.

Dentro de su estudio plantearon como objetivo examinar cómo las fugas de nutrientes provenientes del cadáver afectan la composición química del suelo debajo de la carroña en descomposición, centrándose en un conjunto de elementos que estiman no han sido bien estudiados, tomando como referencia 22 elementos esenciales, y cómo esto a su vez afecta el crecimiento de las plantas.

Comenzaron dejando descomponer ratones (*Mus musculus*) sobre arena desnuda pobre en minerales por períodos distintos en una serie de contenedores, cubiertos durante este proceso para excluir insectos y carroñeros. Posteriormente cultivaron plantas pregerminadas de maíz en este sustrato enriquecido, dentro de un invernadero hasta su cosecha después de 44 días. Como paso intermedio, tomaron muestras de los sustratos a 5 cm de la capa superior, directamente por debajo de la carroña, para medir las concentraciones de un grupo de elementos propuestos, 4 de ellos considerados ecotóxicos y el resto como esenciales para el crecimiento de plantas y animales.

A partir de esto, resumen algunos aspectos extraídos de su investigación que son juzgadas como relevantes para la presente investigación: concluyen que el líquido de la descomposición afectó la concentración de al menos 13 elementos esenciales en el suelo y que la mayor liberación de nutrientes ocurrió dentro de los primeros 14 días, igualmente, las concentraciones elementales eran mayores en los sustratos tratados que en los controles, mientras que no registraron diferencias significativas para ninguno de los elementos ecotóxicos medidos. Asimismo, registraron mayor crecimiento vegetal en los suelos enriquecidos con líquido de descomposición que en los de control, sin poder relacionarlo al impacto de ningún elemento en particular sobre las plantas. Estimando que la concentración de los fluidos provenientes de la carroña utilizada pudo mejorar el crecimiento vegetal neto.

La investigación de estos autores aporta el principal antecedente, siendo uno de los pocos estudios que han atendido el tema en cuestión. Este permite orientar a los resultados que podrían esperarse de la interacción entre plantas en desarrollo y un cuerpo en descomposición bajo condiciones de laboratorio. Además, se ha tenido en cuenta las consideraciones planteadas por los autores dirigidas a las próximas investigaciones, permitiendo desarrollar un análisis más acertado.

Continuando con el artículo de investigación publicado por van Klink et al. (2020) bajo el título "*Rewilding with large herbivores: Positive direct and delayed effects of carrion on plant and arthropod communities*" [Resilvestración con grandes herbívoros: efectos positivos directos y retardados de la carroña en las comunidades de plantas y artrópodos]. Un estudio de diseño experimental efectuado en la reserva natural Oostvaardersplassen de los Países Bajos, utilizando como modelo animal cinco cadáveres de ciervo común (*Cervus elaphus*) para probar los efectos que tiene la carroña de grandes herbívoros en el ecosistema.

Su objetivo principal fue probar la hipótesis planteada, según la cual esperaban que el pulso de nutrientes provenientes de la carroña se propagase a través de los niveles tróficos con distintas rutas, como el fluido del cadáver, el excremento de los carroñeros y el contenido gastrointestinal del cadáver, durante todo el proceso de la descomposición. Desencadenando esto un incremento en la biodiversidad, comenzando con la aparición de carroñeros invertebrados, seguidos de sus depredadores y especies oportunistas. Posteriormente, los nutrientes transferidos al suelo mejorarían el desarrollo y valores nutricionales de las plantas, lo que aumentaría las especies de invertebrados herbívoros y detritívoros, al igual que de sus depredadores.

La metodología fue puesta en práctica a partir de abril del año 2013 y consistió en seleccionar cinco sitios con cadáveres de ciervo común en descomposición avanzada (tiempo estimado de un mes), los que vincularon a cinco sitios de control con las condiciones más parecidas a los sitios de muestreo, pero sin cadáveres presentes en un radio de 25 m, reportando

vegetación de pastoreo corta (<5 cm) en dichos sitios, dominada por especies nitrófilas y herbáceas. Además, muestrearon los artrópodos presentes al momento de la designación de los sitios durante las primeras seis semanas. Cinco meses después, cuando los cadáveres se encontraban en la etapa seca de la descomposición, interesados en el impacto cadavérico en el ecosistema, tomaron tres muestras de plantas y artrópodos de 0-50 cm alrededor de los cadáveres y sitios de control.

En sus resultados, describen como efectos directos de la descomposición un aumento en la ocurrencia de artrópodos durante la etapa activa (abril), resultando hasta tres veces mayor que en los sitios de control, pero sin diferencias generales en el número de especies. La hubo solo para los grupos funcionales de insectos asociados a la carroña y al estiércol.

Por parte de los efectos retardados, reportan que a finales del verano, cuando los cadáveres estaban casi completamente descompuestos (5 meses después), la biomasa vegetal en los sitios de carroña fue hasta cinco veces mayor que en los de control, pasando a ser dominado por las especies herbáceas existentes en el primer muestreo. También indican una mejor calidad nutricional en las plantas dentro de los sitios de cadáveres debido a una menor relación C:N.

Mientras que para este punto registraron una abundancia de artrópodos 4,2 veces mayor y 2,6 veces más variedad de especies de artrópodos en los sitios de carroña. Con menos especies de artrópodos asociados a la carroña, mientras que la cantidad de depredadores aumentó 4,1 veces y la de herbívoros 3,9 veces; además hubo una relación positiva entre la biomasa vegetal con la abundancia de herbívoros y, en menor medida, con la de detritívoros, relacionando también la mayor abundancia de depredadores en los sitios de carroña con el aumento de herbívoros y detritívoros.

De lo anterior se concluye como un aporte que demuestra una sucesión de efectos positivos y detectable en las comunidades de plantas e insectos vinculados a los sitios de descomposición, aun cuando han pasado cinco meses desde la deposición original. Habiendo una clara diferencia entre las etapas temprana y tardía de al descomposición sobre la heterogeneidad y desarrollo de especies en el sitio. A pesar de que los autores aclaran haber tenido bajo poder estadístico dentro de los valores obtenidos para los cambios en la biomasa vegetal y las proporciones C:N, debido al tamaño reducido de las muestras (n=3), dando lugar, según explican, a la posibilidad de falsos negativos.

En tercer lugar, se considera la investigación realizada por Barton et al. (2016), publicada como artículo de investigación con el título "*Substantial long-term effects of carcass addition on soil and plants in a grassy eucalypt woodland*" [Efectos sustanciales a largo plazo de la adición de cadáveres en el suelo y las plantas en un bosque de eucaliptos herbáceos], llevada a cabo en el instituto Mulligans Flat-Goorooyarroo (MFGO) Woodland Experiment, ubicado en el sureste de Australia. Un estudio experimental en el que emplearon 18 cadáveres de canguros (*Macropus giganteus*) para determinar cómo la descomposición de grandes vertebrados genera perturbaciones en la química del suelo, así como variaciones en la composición y especies de plantas en sitios donde se ha producido la descomposición. Enfocados en la continuidad de estos efectos varios años después de la muerte.

Proponiéndose entonteces como objetivo responder a la pregunta de qué efecto tiene la adición de cadáveres sobre la química del suelo y los conjuntos de plantas después de cinco años de descomposición, buscando determinar el nivel de los nutrientes del suelo a lo largo del tiempo, las alteraciones en la diversidad o heterogeneidad de las plantas y determinar qué formas de vida vegetal dominan los cadáveres recolonizados.

Comenzando en el año 2010, dejaron descomponer sobre el suelo cadáveres de canguros, de aproximadamente 30 kg de masa inicial, por cinco años. En este tiempo, realizaron un estudio

inicial del suelo, las plantas y los insectos en los cadáveres durante los primeros 12 meses de descomposición; después, en 2015, realizaron otro estudio sobre 12 de los sitios de cadáveres originales localizados, habiendo pasado cinco años de descomposición sin perturbaciones.

Dentro del estudio relacionado a las diferencias en la vegetación entre los sitios de control y experimento, señalan que la composición de plantas no difirió en gran medida entre cada modelo, aunque la diferencia de riqueza media entre especies perennes y anuales, así como la de especies nativas y exóticas, fue menor en los sitios tratados que en los de control después de cinco años de la colocación inicial. Mientras que al comprar la vegetación observada en los sitios de cadáveres entre el primer estudio (2011) y el segundo (2015), registran que estos pasaron a presentar más especies exóticas, anuales y herbáceas, modificándose la especie dominante en estos sitios. Con respecto al suelo, químicamente, descubrieron que los niveles de fósforo eran ocho veces mayor en los suelos con cadáveres que en los sitios de control, mientras que las concentraciones de nitrógeno y otros atributos no permanecieron afectados en los suelos tratados.

Concluyeron que el pulso de nutrientes liberado por un cadáver en descomposición tiene efectos continuados en el área y puede conducir a cambios en la dinámica suelo-planta. Indican paralelamente que los niveles de la mayoría de los nutrientes habrían regresado a valores comparables a los de control luego de cinco años debido a la actividad microbiana del suelo, la lixiviación, la volatilización, y la absorción de nutrientes por parte de las plantas e insectos, mientras que otros, como el fósforo, pudieron haber perdurado elevados a causa de su lento ciclo en el ecosistema y a la continua erosión y lixiviación de remanentes cadavéricos en la superficie. Agregan, también, que estos cambios promovieron la colonización y establecimiento de plantas anuales de rápido crecimiento, sugiriendo que podría tomar muchos años en regresar a la poblacional dominante original.

Del estudio se destaca que buscaron identificar una variación en la composición de especies de plantas en los lugares de cadáveres, sin poder establecer una colonización especifica por especies de hierbas, debido a que estas ya estaban presentes en el paisaje, aun cuando el 80

% de los cadáveres fueron dominados por especies de maleza anual. Sin embargo, permite una aproximación a los cambios en la población vegetal que podrían ocurrir en sitios abiertos debido a la descomposición cadavérica de grandes vertebrados, siendo estos cambios estimulados por la atracción de ciertas comunidades de plantas a las fuentes alternativas y repentinas de nutrientes provenientes de las zonas de cadáveres.

A nivel nacional, como se ha referido, las investigaciones en el área han, en el mejor de los casos, pasado desapercibidas, por lo que ha resultado infructuoso hallar alguna que guarde relación con el tema planteado en la presente investigación. Sin embargo, existen registros generales de botánica que permiten estimar la condición de esta en Venezuela y la aplicabilidad que se le podría dar en el área forense.

Así, se puede referir a la investigación titulada "*Herbarios y Jardines Botánicos*" realizada en el año 2003 por Eliseo Castellano, de la Fundación Jardín Botánico, quien, dentro de una recopilación de obras acerca de la biodiversidad de Venezuela, en una parte de su informe hace saber la situación herbaria en Venezuela.

La investigación explica que los herbarios son museos de investigación, que "tienen como prepósito básico la identificación acertada de plantas y la preparación de la información que guarda en formas que sean útiles, tanto a la comunidad científica como al público", continúa planteando que la información otorgada por estas formas de colección biológica son útiles principalmente porque "muestran cuáles organismos están presentes o ausentes en un área geográfica determinada", lo que puede emplearse para la "determinación de los cambios en la distribución de los organismos en el tiempo y el espacio y relacionar estos cambios con factores, tales como el impacto de la actividad humana". Además lista una serie de funciones para estos museos entre los que se desea destacar los siguientes:

1. “Servir en la identificación de plantas, tanto para investigadores como para el público en general.”
2. “Proporcionar asesoría en cuanto a la identificación de los posibles usos de plantas autóctonas y exóticas . . . en todos aquellos aspectos de la botánica básica y aplicada que le sean requeridos por la comunidad científica o las autoridades.”
3. “Desarrollar proyectos de investigación, dentro del marco de su especialidad.”
4. “Presentar la información florística y de otras actividades de investigación en forma de publicaciones, a través de revistas especializadas y otros medios, ya sea de índole propia o de otras instituciones.”

Acaba esta sección estableciendo que en Venezuela, para la fecha de su publicación, estaban registrados 25 herbarios con representaciones florísticas de distintas escalas. Además, menciona que varios de estos no cumplían los criterios de indexación globales, habiendo solo 15 registrados para su momento, con 626.700 ejemplares y 5.494 tipos.

Estos datos pueden contrastarse con el sexto reporte anual del *Index Herbariorum,* del año 2022 (Thiers, 2023), donde aparecían indexados 20 herbarios nacionales con un total de 1.058.092 especímenes. De los que se da a suponer no reúnen cada uno más de 500.000 especímenes, dado que para esa fecha no estaban incluidos en la lista que clasifica herbarios con 500.000 especímenes o más.

Volviendo a la botánica forense en Venezuela, se puede justificar la falta de registros bibliográficos de esta disciplina por medio de una serie de decisiones y sentencias publicadas en distintos momentos por diversas cortes y tribunales del país en que se ha hecho mención a “experticias botánicas” dentro de procesos penales, obtenidas por medio del sitio web del Tribunal Supremo de Justicia y resumidos en la Tabla 1.

Tabla 1

Resumen de registros procesales en que se han usado "experticias botánicas" como prueba

AÑO	REGISTRO	MATERIA DEL DELITO ASOCIADO	EXPERTICIA BOTÁNICA	OBSERVACIONES
17/02/2011	KP01-P-2007-008483	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales e identificación toxicológica de resinas vegetales.	Experticias realizadas por expertos/profesionales en área no reportada adscritos al CICPC.
21/11/2011	YP01-P-2011-003290	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de seis plantas de la especie *Cannabis sativa.*	Experticia realizada por "farmacéutico toxicológico" adscrito al CICPC.
24/11/2011	KP01-P-2011-017003	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales.	Experticia realizada por expertos/profesionales en área no reportada adscritos al CICPC.
25/01/2012	IP01-R-2011-000147	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de semillas y otros restos vegetales.	Experticia realizada por expertos/profesionales adscritos al laboratorio de toxicología del CICPC.
02/05/2014	OP01-R-2014-000066	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales.	Sin reporte del área encargada de realizar la experticia ni la técnica empleada.
18/04/2020	GNB.CZ-62.D-627.2DA.CIA.SIP-053/	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales.	Solicitud de experticia botánica dirigida al SENAMECF.
21/10/2020	KP01-R-2019-000245	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales.	Realizada por funcionarios adscritos a laboratorios de la GNB, con técnicas espectroscópicas.
21/02/2022	AA30-P-2022-000-063	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de semillas y otros restos vegetales.	Experticia realizada por expertos/profesionales toxicólogos forenses adscritos al SENAMECF.
16/01/2023	DP04-P-2022-000259	Sustancias estupefacientes y psicotrópicas.	Identificación de restos vegetales.	Experticia realizada por expertos/profesionales adscritos al laboratorio de toxicología forense del SENAMECF.

De la información seleccionada se pueden resaltar dos aspectos fundamentales: 1) la experticia botánica en Venezuela parece tener como función predominante la determinación taxonómica de especies vegetales vinculadas a delitos de droga, en que se han incautado sustancias psicotrópicas y/o estupefacientes de naturaleza vegetal, realizadas en su mayoría con metodologías no reportadas; 2) las experticias suelen ser realizadas por personal adscrito a algún órgano de investigación, los cuales no son referidos como especialistas botánicos, sino como toxicólogos, químicos y similares.

Esto permite estimar que la botánica forense en Venezuela ocurre en una serie limitada de situaciones, relacionadas a delitos sensibles, como es el tráfico de drogas, y es ejercida probablemente por personal no especializado en esta disciplina; según esta lógica, se podría dar sentido a la falta de registros informativos de la misma.

Bases Teóricas

Botánica, Fisiología y Nutrición Vegetal

Las plantas, tomando como referencia a Coyle (2005), son todos los organismos vivientes agrupados dentro del reino taxonómico "Plantae" (p. 10), término proveniente del latín, cuya traducción es "cualidad de planta". Dicha cualidad o característica se refiere a tres rasgos estrictamente necesarios para su clasificación como tal: 1. eucariotas, 2. fotoautótrofos, 3. pluricelulares, contrarios a algunos procariontes capaces de realizar la fotosíntesis, pero que debido a sus condiciones deben ser clasificados en otro taxón. De igual modo, las plantas presentan más propiedades que las distinguen de otros organismos, como la inmovilidad, carencia de sistema nervioso, presencia de pared celular compuesta de celulosa, variedad de métodos reproductivos, entre otras.

Cumpliendo los criterios de clasificación, existen alrededor de 400.000 especies conformando el reino vegetal, distribuidas entre ecosistemas terrestres y acuáticos en los que configuran distintos ensamblajes según sus requerimientos, con nuevas especies descubiertas anualmente (Oliveira et al., 2023), de este modo, las plantas representan aproximadamente el 80 % de la biomasa planetaria total, donde dominan las plantas terrestres (Bar-on et al., 2018, p. 6507); por lo que la ubicuidad es otra característica destacable, pudiendo tener ocurrencia en la mayoría de los espacios abiertos, ya sea en forma de estructura completa o de fragmentos trasladados.

Siendo las más abundantes, las plantas vasculares cuentan con más de 300.000 especies conocidas (Qian et al., 2022, p. 1; Hokche, 2020, p. 13), representando el mayor componente de la biomasa forestal. En Venezuela, por ejemplo, se estima la presencia de aproximadamente 16.000 especies de plantas vasculares, de las cuales el 87 % son angiospermas y más de 10.000 especies pertenecen al grupo de las dicotiledóneas (Hokche, 2020, pp. 14-15).

Esta presencia extendida contrasta con otro rasgo, el cual domina la impresión que se tiene de las plantas, como es la carencia de locomoción, estando físicamente limitadas al sustrato donde se desarrollan, algo que evolutivamente han podido compensar con la capacidad para producir su propio alimento aprovechando la materia prima obtenida de su entorno (Coyle, 2005, p. 13). Pero a pesar de esta incapacidad de desplazamiento, de hecho, pueden realizar algunos tipos específicos de movimientos que involucran distintos órganos y con los que usualmente buscan las condiciones más favorables para su preservación (Sotelo, 2015, p. 2), lo que significa que en realidad las plantas no son completamente pasivas ante los factores externos, sino que de alguna forma son capaces de responder a estos estímulos. Entre las formas de movimiento se destacan los dos siguientes:

1. Tropismos: explicados por Sotelo (2015) como los "movimientos de curvatura de los órganos vegetales inducidos por estímulos ambientales direccionales" (p. 3). Consisten entones en movimientos cuya dirección responde positivamente a un estímulo, acercándose a su fuente, o negativamente, alejándose de esta. Dichos estímulos pueden llegar en forma de luz, gravedad, temperatura, sustancias químicas o mecánicos. Los últimos responden al contacto con cuerpos físicos y determinan la interacción de la planta con ellos, evitándolo o aprovechándolo hasta cierto grado (p. 7).
2. Nastias: son movimientos de órganos reversibles que no responden a la dirección de donde proviene el estímulo, sino que su dirección está determinada por la anatomía del propio órgano que lo realiza (Sotelo, 2015, p. 7). Del mismo modo, pueden ser inducidos por estímulos lumínicos, físicos, químicos, térmicos, etc.

Otras características que aseguran la supervivencia de las plantas a pesar de su inmovilidad es el desarrollo de técnicas de regeneración, reproducción y dispersión más efectivas, al igual que la formación de estructuras y sustancias que funcionan como herramientas defensivas, para ahuyentar o repeler posibles amenazas (Coyle, 2005, p. 14).

Así, todo lo acerca de la funcionalidad de las plantas puede ser abarcado dentro de la fisiología vegetal, la rama encargada de estudiar el funcionamiento y desarrollo de las plantas, interesado en los aspectos de sus funciones básicas como alimentación, reproducción, adaptación al entorno, entre otros, desde un enfoque organizacional de moléculas hasta el de organismo (Ortuño Tomás et al., 2015, p. 74). Viendo importante entender la forma en que se puede mejorar su desempeño en beneficio humano y ambiental.

La mayoría de estos aspectos dependen del metabolismo, que consiste en los procesos celulares de transformación de energía que mantienen al organismo en funcionamiento y está diferenciado en las denominadas "rutas metabólicas", secuencias de reacciones químicas que siguen instrucciones genéticas. De esta forma, el metabolismo puede ser de anabolismo; que construye moléculas complejas a partir de compuestos simples, consumiendo energía en el proceso; o de catabolismo, camino metabólico que descompone moléculas complejas y libera la energía química almacenada en los enlaces de estas; todas controladas por los catalizadores bioquímicos llamados "enzimas", que son selectivos y solo promueven reacciones especificas (Benckiser, s.f., p. 1).

Curiosamente, las plantas presentan simultáneamente un metabolismo secundario, donde destinan una parte de los recursos minerales y energéticos a la producción en menor cantidad de compuestos no esenciales para el desarrollo, denominados "metabolitos secundarios", con funciones ecológicas o adaptativas, como las de defensa o polinización, que varían con su localización y que suelen ser producidos exclusivamente por diferentes miembros de los niveles taxonómicos especie, género y familia, con lo que pueden ser útiles para la identificación (Dubey

et al., 2018; García y Carril, 2009; Lustre Sánchez, 2022, p. 4), algunos ejemplos de estos son las resinas, el látex, néctar, los alcaloides, flavonoides y taninos.

Concerniente a la producción de energía, las plantas son organismos autótrofos fotosintéticos, lo que quiere decir que no requieren alimentarse de otros organismos, sino que obtienen su energía de moléculas orgánicas sintetizadas a partir de materia inorgánica y energía lumínica que ellas mismas procesan. Aunque difiera entre plantas vasculares y no vasculares y, en menor medida, entre plantas leñosas y herbáceas, el proceso puede ser resumido, a partir de lo establecido por Margulis y Sagan (2008), en: absorción, síntesis, distribución y eliminación de los desechos.

Donde, para el caso de plantas vasculares, del suelo se toman los nutrientes minerales que se encuentran disueltos en agua, la cual entra atravesando las células epidérmicas que constituyen los pelos radiculares. Posteriormente llegan al circuito xilemático que conducirá esta mezcla, denominada savia bruta, en un transporte unidireccional hasta los órganos fotosintéticos, las hojas verdaderas. Otros materiales necesarios para los procesos de síntesis se asimilan en forma gaseosa, a través del intercambio producido entre las raíces y el suelo y, en mayor medida, en las estructuras especializadas para esto, los estomas en las hojas y las lenticelas en los tallos leñosos (pp. 243-246).

La síntesis consiste en la utilización de estos materiales, previamente absorbidos y dirigidos, para la formación de moléculas orgánicas mediante la fotosíntesis; llevada a cabo en los cloroplastos, cuyo producto es conocido como savia elaborada y se distribuye a toda la estructura por medio del floema; y energía química a través de la respiración celular, realizada en las mitocondrias (pp. 248,250-251).

La necesidad fisiológica de realizar estos procesos, hace que las plantas, al igual que todos los organismos vivos, tengan requerimientos nutricionales mínimos para poder desarrollarse con normalidad. De todos los elementos químicos existentes, se estima que la mayoría de las plantas requieren esencialmente de al menos 17 de ellos para completar su ciclo de vida, que por sus funciones no pueden ser reemplazados por otros, resultando necesarios a niveles diferentes cada uno y de los cuales su adquisición responde a diferentes ciclos entre la planta y el suelo (de Bang et al., 2021, p. 2446; Jones y Olson-Rutz, 2016, p. 2; Njira y Nabwami, 2015, p. 9779); mientras que otros no esenciales, pero no por ello inocuos, pueden ser catalogados como "beneficiosos" por estimular el crecimiento o compensar en cierto grado las deficiencias de otros esenciales, ejemplos de estos son el sodio, vanadio y silicio (Al Meselmani, 2023, p. 2).

Entre los elementos identificados como esenciales, solo el carbono, el oxígeno y el hidrógeno, los cuales componen más del 90 % de la biomasa vegetal, provienen principalmente de la atmósfera y casi siempre presentan un suministro constante a la planta, mientras que el resto es obtenido a través del suelo y solo pueden ser absorbidos en sus formas iónicas disueltas en agua (Jones y Olson-Rutz, 2016, pp. 2,4; Maathuis, 2009; Margulis y Sagan, 2008, p. 242). Estos últimos se suelen clasificar en macronutrientes y micronutrientes, según su necesidad por parte de la planta más que por las cantidades absorbidas de ellos (Jones y Olson-Rutz, 2016, pp. 3-4). Incluso se sabe que algunos de estos son dinámicos dentro de la planta y pueden trasladarse a tejidos específicos cuando sean necesarios, siempre que estén disponibles (Jones y Olson-Rutz, 2016, p. 5). Dichos nutrientes esenciales para las plantas y sus características principales se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2

Elementos identificados como esenciales para la mayoría de plantas y sus funciones principales

Elemento	Papel/Función en la Planta	Forma Asimilable
Carbono (C)	Constituyente de todas las moléculas orgánicas; necesario para la fotosíntesis.	CO_2
Hidrógeno (H)	Constituyente de todas las moléculas orgánicas; mantiene el balance osmótico; importante en numerosas reacciones bioquímicas.	H_2O
Oxígeno (O)	Constituyente de todas las moléculas orgánicas; necesario para la respiración celular.	CO_2 ; O_2
Nitrógeno (N)*	Amplio constituyente de metabolitos orgánicos (aminoácidos, metabolitos secundarios y hormonas vegetales), coenzimas, nucleótidos, y pigmentos fotosintéticos. Su contenido en las hojas se asocia a la producción de clorofila.	NO_3^- ; NH_4^+
Fósforo (P)*	Estructuración de fosfolípidos membranales, nucleótidos, aminoácidos, coenzimas y sustratos metabólicos; fuente de energía; papel en la fosforilación y desfosforilación; vinculado a la producción de frutos, flores y semillas.	HPO_4^{2-} ; $H_2PO_4^-$; $PO_4^{3-}(Pi)$
Potasio (K)*	Involucrado con la fotosíntesis, transporte de carbohidratos, síntesis de proteínas, activación de enzimas; actividad de los estomas y regulación osmótica; estabilizador de uniones biomoleculares.	K^+
Calcio (Ca)	Elemento estabilizador de la membrana, pared celular y citoesqueleto; funciones estructurales y permeabilidad de la membrana.	Ca^{2+}
Magnesio (Mg)*	Activador de enzimas, como la RuBisCo; componente de la clorofila; promueve reacciones lumínicas en el estroma.	Mg^{2+}
Azufre (S)	Integrante de proteínas vegetales, metabolitos orgánicos y componentes celulares; papel en el transporte de electrones; constituye una pequeña porción de los tilacoides.	SO_4^{2-} ; SO^2
Boro (B)	Supuesto como importante para el transporte y metabolismo de carbohidratos.	$B_2O_3^-$; H_3BO_3
Cloro (Cl)*	Involucrado con la producción de oxígeno en la fotosíntesis y protección de los fotosistemas.	Cl^-
Cobre (Cu)	Catalizador para la respiración; componente de enzimas y transportadores de electrones.	Cu^+ ; Cu^{2+}
Hierro (Fe)	Componente en transportadores de electrones; activación de enzimas vinculadas a la síntesis de clorofila.	Fe^{2+} ; Fe^{3+}
Manganeso (Mn)	Activación de enzimas catabólicas; regula sistemas de óxido-reducción y fotosíntesis.	Mn^{2+}
Molibdeno (Mo)*	Involucrado en la fijación de nitrógeno y asimilación de nitrato.	MoO_4^{2-}
Níquel (Ni)	Necesario para la germinación de semillas y el funcionamiento de enzimas.	Ni^{2+}
Cinc (Zn)	Relacionado a la composición de enzimas, la regulación metabólica y a la producción de hormonas.	Zn^{2+}

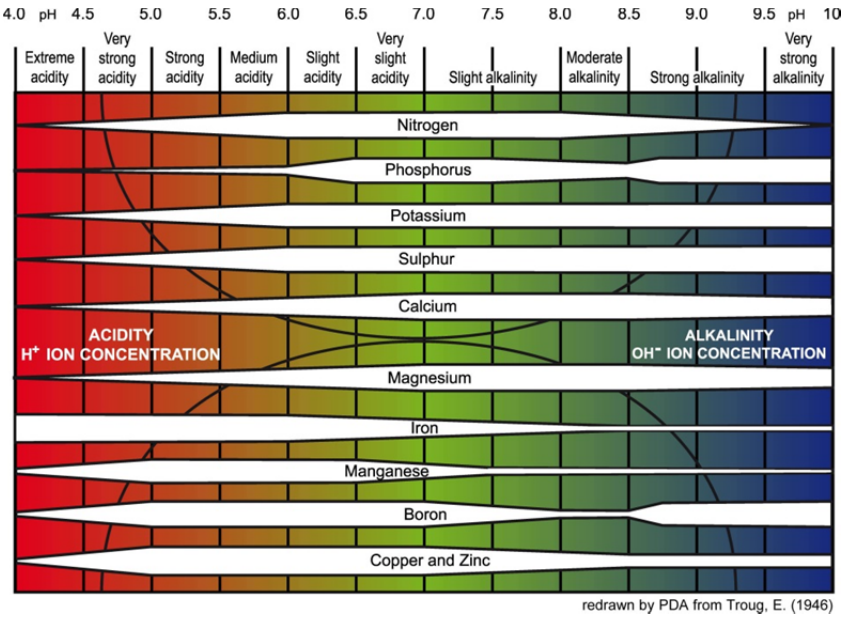
Nota. El color rojo indica los macronutrientes primarios para las plantas, el color naranja los macronutrientes secundarios, el color azul los micronutrientes y el símbolo asterisco (*) señala los nutrientes móviles dentro de las plantas. Fuente: Modificado de Jones y Olson-Rutz (2016) y complementado con información de de Bang et al. (2021), Maathuis (2009) y Margulis y Sagan (2008).

Pese a la capacidad de autoregulación de los suelos, sus características y disponibilidad mineral pueden fluctuar en términos de espacio y tiempo debido a factores como precipitaciones, temperatura, viento, tipo de suelo, pH, conductancia eléctrica y otros (Maathuis, 2009, p. 250; Al Meselmani 2023, pp. 8-9), provocando que la cantidad de minerales disponibles esté determinada principalmente por su capacidad de retención y de distribución, la cual está directamente relacionada a su textura (Jones y Olson-Rutz, 2016, p. 6).

Acerca del pH, es comprendido que puede influir sobre las funciones del suelo y la disponibilidad de nutrientes para las plantas, promoviendo la precipitación mineral, al afectar su capacidad de intercambio iónico; igualmente puede afectar la actividad de microorganismos del suelo, necesarios para la fijación de algunos nutrientes esenciales por las plantas (McCauley et al., 2017, pp. 2-4). El impacto de los niveles de pH del suelo a la disponibilidad de nutrientes, algunos de ellos esenciales para las plantas, se ejemplifica con la Figura 1.

Figura 1

Efectos del pH del suelo sobre la disponibilidad de nutrientes



Nota. Tomado de Al Meselmani (2023), "Nutrient Solution for Hydroponics" [Solución nutritiva para hidroponía]. Disponible en: httpdx.doi.org10.5772intechopen.101604

En el contexto de la investigación, la importancia de conocer los requerimientos minerales de las plantas, y las funciones de ellos, radica en entender qué efectos detectables produciría su ausencia o exceso en el medio. Estos síntomas de deficiencias o toxicidad tienen origen a nivel molecular y al prolongarse se ven reflejados externamente con daños a nivel de tejidos u órganos, siendo naturalmente ligados a síntomas generales que pueden presentarse tanto individualmente como simultáneamente (de Bang et al., 2021, p. 2447), así como en un único organismo vegetal o en una comunidad de estos.

En primer lugar, la deficiencia de nutrientes ocurre cuando un nutriente esencial no está disponible en la cantidad necesaria para cumplir los requerimientos nutricionales de la planta, por lo que sus funciones fisiológicas se ven afectadas (de Bang et al., 2021, pp. 2446-2465; McCauley et al., 2011, p. 2). Específicamente, cada especie de planta suele tener requerimientos nutricionales diferentes; un factor que define su distribución, por cierto; por lo que los efectos finales de la deficiencia de nutrientes minerales puede variar entre cada grupo, pero existen signos generalizados de anomalías o disfunciones, compartidos a cierto nivel, con los que se puede diagnosticar la carencia de algunos de estos. McCauley et al. (2011) establecen que los síntomas causados por la deficiencia de nutrientes pueden ser agrupados en cinco categorías: 1) retraso del crecimiento; 2) clorosis; 3) clorosis intervenal; 4) coloración rojo/púrpura; 5) necrosis (p. 4).

Siguiendo la categorización anterior y las funciones ya planteadas para cada elemento mineral, junto a los signos reportados por estudios previos sobre muestras vegetales pertenecientes a distintas familias de las plantas mayores, como gramíneas (Salinas, 1981; Sawyer, 2004), leguminosas (Salinas, 1981; Sawyer, 2004) y solanáceas (Maia et al., 2019), sometidas a deficiencias nutricionales específicas por medio de tratamientos, se pueden agrupar los nutrientes según los signos más generales que producen su deficiencia, como sigue:

1. La falta de minerales relacionados con la síntesis de enzimas, hormonas y moléculas como las proteínas ocasiona un déficit en el crecimiento, por lo que este signo se asocia a

disminuciones en N, P, K, Mg, Mo, Ca, Zn, Cu, S y B (de Bang et al., 2021; McCauley et al., 2011; Kirkby y Mengel, 1987/2000; Salinas, 1981; Maia et al., 2019).

2. La clorosis se atribuye a la deficiencia de nutrientes vinculados con pigmentos como la clorofila y con el proceso fotosintético, siendo un signo reportado en condiciones incompletas de N, Ni, K, Cl, Mo, S, B, Fe, Zn, Cu, Ni, Ca, Mg y S (de Bang et al., 2021; McCauley et al., 2011; Kirkby y Mengel, 1987/2000; Salinas, 1981; Maia et al., 2019).
3. La clorosis intervenal es vista en deficiencias de B, Fe, Mg, Mn, Ni y Zn (Kirkby y Mengel, 1987/2000; McCauley et al., 2011, p. 4).
4. Se ha reportado decoloración distinta al amarillo en tallos y otros tejidos vegetales cuando escasean nutrientes como el fósforo (P), debido a una mayor síntesis de antocianinas, aunque no todas las especies desarrollan esta en ausencia de fósforo; y también puede ocurrir en las hojas más antiguas cuando se reducen las cantidades de magnesio (Mg), dada su movilidad (de Bang et al., 2021, pp. 2453-2454; McCauley et al., 2011, p. 8; Kirkby y Mengel, 1987/2000; Sawyer, 2004; Maia et al., 2019).
5. La necrosis, total o punteada, puede ser producida por deficiencias de N, K y Mg, en casos severos, también en las de Cl, B, Fe, Zn, Ca y Cu (de Bang et al., 2021; McCauley et al., 2011; Kirkby y Mengel, 1987/2000; Salinas, 1981; Maia et al., 2019).

Vale señalar que el sodio (Na^+), elemento no esencial para la mayoría de las plantas terrestres, puede ser beneficioso cuando hay deficiencia mineral de potasio (Maathuis, 2014, p. 849), ya que en determinada condición es similar al K^+ (Gil Ortiz, 2021, p. 8) y puede desempeñar limitadas funciones de manera parecida, en las que se requiera potasio como cofactor (Maathuis, 2014, p. 850).

De igual modo se hace consideración a que los síntomas por deficiencia de nutrientes móviles suelen ocurrir en los tejidos más antiguos o inferiores y son de efectos localizados o generalizados, mientras que la deficiencia de nutrientes inmóviles presentará síntomas en las partes más jóvenes o superiores y son de efectos localizados (McCauley et al., 2011, p. 5). Llevando a que si la planta presenta afecciones en una región específica, la causa de estos

síntomas puede ser diferenciada entre la deficiencia de nutrientes móviles o inmóviles (Jones y Olson-Rutz, 2016, p. 5). Además, la limitación o exceso de uno de estos nutrientes puede influenciar el aprovechamiento de otros.

Por otro lado, cuando hay un exceso de nutrientes disponibles en el medio, una planta puede acumular cierta cantidad de ellos en las vacuolas centrales y liberarlos en situaciones de deficiencias para mantener las necesidades citoplasmáticas (Maathuis, 2009, p. 250), pero un suministro mineral excesivo y prolongado implicaría la ruptura del equilibrio iónico de los nutrientes esenciales, resultando en intoxicaciones iónicas que provocan la deficiencia de sus iones antagonistas (Al Meselmani 2023, pp. 3-4), por lo que estas serían más difíciles de revertir.

Entre los principales macronutrientes (N, P y K), el exceso de las formas del N produce un crecimiento anormal y desigual en la planta, lesiones en distintas regiones, disminución total de la biomasa vegetal y posteriormente la muerte (McCauley et al., 2011, p. 13; Li et al., 2013); un incremento excesivo de amonio (NH_4^+) puede afectar el balance osmótico y la absorción de nutriente catiónicos, como Ca^{2+}, K^+, Mg^{2+} y otros según la especie vegetal (Njira y Nabwami, 2015, p. 9780; Shilpha et al., 2023, pp. 4,6; Santos Silva et al., 2020, pp. 347,349), por lo que una intoxicación con este mineral mostraría síntomas asociados a la deficiencia de aquellos cationes. Mientras que la absorción de nitrato (NO_3^-) promueve la de los cationes anteriores, incluyendo Na^+, Cd^{2+} y Zn^{2+}, pero inhibe la absorción de aniones, como Cl^- (Zayed et al., 2023, p. 2), sin embargo, mayores concentraciones de este resultan ser más tolerables que las de amonio.

Similarmente, el aumento en las concentraciones de P tiene un efecto reductor en las de Fe, Mn y Zn (McCauley et al., 2011, p. 13). Se reporta que entre el P, Zn y Fe existe una interacción antagónica en el suelo y en el interior de la planta, donde altos niveles de P afectan la movilización de los otros (Malhotra et al., 2018, pp. 184-185), así que excesos de P causarían síntomas de deficiencia en esos nutrientes. Para incrementos de K se indica la reducción en la

absorción y subsecuente deficiencia de Mg (McCauley et al., 2011, p. 13), debido a que forma una relación antagónica, igualmente lo hace con el Ca^{2+} (Al Meselmani 2023, p. 4). A su vez, el el aumento de otros iones metálicos como Ca^{2+}, Zn^{2+}, Mn^{2+}, Fe^{2+}, Co^{2+}, Cu^{2+}, Al^{3+} y H^{+}, también pueden provocar el desplazamiento del Mg, llevando a su deficiencia e inhibición del desarrollo (de Bang et al., 2021, pp. 2462,2464).

Por otra parte, las plantas resultan más sensibles al aumento de micronutrientes, debido a que estos se necesitan en cantidades reducidas en comparación con las de los macronutrientes. Incluso los rangos entre suficiencia y exceso de micronutrientes son muy estrechos en algunas especies vegetales (McCauley et al., 2011, p. 14). Además de los metales pesados, otros elementos no esenciales en concentraciones determinadas llegan a ser tóxicos para las plantas; por mencionar algunos, como el B, cuyo exceso está relacionado a clorosis y necrosis; altas concentraciones de Cu en el suelo pueden afectar el crecimiento de las plantas, por su capacidad de desplazar otros iones metálicos como el Fe (Kirkby y Mengel, 1987/2000, p. 544); al igual tienen efectos negativos los aumentos de I, F y Se (Kirkby y Mengel, 1987/2000, pp. 589-592,597), como los ecotóxicos Al, As, Cd y Pb (Wenting et al., 2023, p. 6875).

De igual modo, suelos salino o con altas concentraciones de Na^{+} o Cl^{-}, llegan a afectar el desarrollo de las plantas no tolerantes, conocidas como glicófitas, al reducir el potencial hídrico y ralentizar la absorción de agua, siguiendo un incremento de la concentración intracelular de este ion, lo que afecta la adquisición y distribución de otros iones esenciales como Ca^{2+}, K^{+} y NO_3^{-} (Maathuis, 2014, p. 850; Gil Ortiz, 2021, p. 6).

A todo esto, puede resumirse que la línea entre un efecto tóxico o beneficioso de algún mineral para la planta “depende no solamente de sus propiedades químicas, sino también de su concentración, y de la presencia y concentraciones de otros elementos” (Kirkby y Mengel, 1987/2000, p. 589).

Ciencias Forenses y Criminalística

A nivel general, se puede plantear que las ciencias forenses son el conjunto de conocimientos y metodologías multidisciplinarias dedicados a examinar e interpretar la evidencia y otros materiales derivados de un hecho de interés dentro del contexto judicial, pudiendo ser en materia civil, penal o administrativa (Barros et al., 2021; Abrol, 2024). Esta aplicación práctica de las ciencias modernas se origina por la necesidad de auxiliar al sistema legal en el estudio y explicación científica de las cuestiones que se presenten cuyas características resultan foráneas al derecho. Vale destacar también que, en la modernidad, como refiere Ayón (2019), el término forense puede ser utilizado para referirse a "cualquier análisis de eventos pasados" o "cuando se busca una evidencia" (p. 9), lo que implica la reconstrucción científica de otro tipo de hechos, sucesos no siempre relacionados a la investigación de un hecho delictivo actual.

Por su parte, la criminalística es "la rama de las ciencias forenses que emplea estos conocimientos y métodos para coadyuvar de manera científica en la administración de justicia" (Gutiérrez Chávez, 1999, p. 25). Pudiendo considerarse como una disciplina explicativa cuyo origen está en la necesidad de estudiar científicamente el delito, en cumplimento de objetivos como son el descubrimiento y la explicación científica de este, la determinación de los instrumentos y métodos ejecutados para su comisión, así como la individualización de sus partícipes e involucrados, mediante el análisis del lugar y el reconocimiento de los indicios, valiéndose para ello de conocimientos y métodos multidisciplinarios previamente establecidos. Esta última característica es la que le ha permitido mayor progreso tanto a las ciencias forenses como a la criminalística, al asimilar los avances logrados en distintas áreas del conocimiento y conjugarlos para un mismo fin. Montiel Sosa, en su "Manual de Criminalística 1" (2008), define:

> La Criminalística es una ciencia penal natural que mediante la aplicación de sus conocimientos, metodologías y tecnología al estudio de las evidencias materiales, descubre y verifica científicamente la existencia de un hecho presuntamente delictuoso y

al o a los presuntos responsables aportando pruebas a los órganos que procuran la administración de justicia. (p. 37).

Estas disciplinas científicas que conforman las ciencias forenses, como puede ser la criminalística, tienen sus bases en, pero no se limitan a, las ciencias naturales (biología, física y química). Con estas ciencias, explica Guzmán (2000), la criminalística comparte objetivos similares, al "dedicarse a la búsqueda de la verdad a través de la aplicación del método científico" (p. 37), vistas como las fuentes que más han permitido avanzar a la criminalística y de las que constantemente extrae métodos e instrumentos para emplearlos en el análisis de las evidencias cuya naturaleza se enmarque dentro de alguna de estas. Otorgando un amplio rango de conocimientos, es por ello que las ciencias forenses han pasado de un modelo generalista a un modelo especializado, en el que una persona suele dedicarse a una determinada disciplina forense para poder ejercer la mayor parte de sus conocimientos (Nordby y Bell, 2014, p. 5).

En la actualidad suele valerse, tanto en campo como en laboratorio, de la mayoría de las ramas prácticas que pertenecen a estas y otras áreas, ejemplificando Montiel Sosa (2008) que de la Física aprovecha ramas como la óptica, la mecánica, la electricidad, entre otras. Mientras que de la Química emplea la rama analítica, la inorgánica, la orgánica, etc., y de la Biología aprovecha ramas como la antropología, la hematología, la medicina, la microbiología, la botánica y demás.

Principios Criminalísticos

El estudio de las relaciones entre los elementos que conforman el tetraedro criminalístico suele girar en torno a grandes principios de naturaleza científica que, aunque pueden aplicarse a distintos ámbitos, pasaron a establecer la síntesis de la aplicación de la criminalística al análisis

del hecho, validando el carácter técnico científico de sus métodos y conocimientos. Resumidos a partir de Sanchez (s.f.) y Noriega (2013) a continuación:

- Principio de Uso: expresa que durante la ejecución de un hecho siempre se emplean agentes mecánicos, físicos, químicos, biológicos o digitales, que van a de permitir la ejecución de este y determinan la forma en que se produce y concluye. Constituyendo básicamente los medios de comisión.
- Principio de Producción: indica que todo hecho acaba produciendo restos, materiales o no, de distintas características, que pueden ser tratados como evidencia para la reconstrucción forense y comprensión de la secuencia de los eventos, así como para permitir la identificación.
- Principio de Intercambio: principio planteado por Edmund Locard, el cual establece la relación entre la víctima, el victimario, el sitio, en cualquiera de sus formas, y los medios de comisión, de la siguiente manera: "Cualquier presencia en un lugar deja vestigio, esto implica un intercambio de evidencias que puede no ser percibida a simple vista y que se realiza sin excepción en todas las interacciones entre individuos". O igualmente, "cada contacto deja un rastro", lo cual quiere decir que toda interacción entre dos cuerpos resulta en una mutua transferencia de materiales entre ellos, la cual puede ser tenue, pero ciertamente ocurre.
- Se debe señalar que Locard no solo se refería a evidencia macroscópica, sino también a posibles trazas indistinguibles a simple vista, e incluso podría referirse a rastros intangibles, afirmando que siempre se transfieren residuos entre los elementos del tetraedro criminalístico, representados por vestigios orgánicos e inorgánicos, como los geológicos, toxicológicos, entomológicos, botánicos y de otras clases, capaces de demostrar relaciones entre dos o más de estos factores.
- Principio de Correspondencia: plantea la capacidad de establecer siempre una relación entre los indicios encontrados y su fuente de origen. Suele ser referida de igual modo a la acción dinámica de los agentes mecánicos; cuando uno de mayor consistencia molecular afecta físicamente a otro de menor produce sobre este un rastro que reproduce las características propias del primero, el cual permite la identificación del instrumento y la reconstrucción del mecanismo.

- Principio de Reconstrucción: expresa la posibilidad de deducir la secuencia de eventos pasados por medio del análisis de los rastros derivados de estos. Además, la reconstrucción puede valerse de una "recreación" de los hechos cuando los eventos que se analizan están más allá de la experiencia normal o cuando se quiera probar un fenómeno específico para asegurarse de cómo ocurrió y cuáles podrían ser sus resultados, es decir, comparar si los resultados recreados son consistentes con los observados (Bates, 2013).
- Principio de Probabilidad: determina que la representación de la verdad alcanzada por medio de la reconstrucción de hechos y la evaluación de las evidencias solo se puede medir en niveles probabilísticos, difícilmente se determinará con exactitud. Es decir, se deduce la posibilidad o imposibilidad de que un fenómeno sucediera o no de esa forma.
- Principio de Certeza: consiste en la capacidad de establecer o no la existencia o veracidad de un elemento dado dentro de una investigación así como su relación con el hecho.
- Principio de Individualidad: establece que cada cosa o persona posee características inherentes o adquiridas que le diferencian de sus semejantes, no existiendo nunca dos exactamente iguales, siendo cada uno idénticos solo a sí mismos.
- Principio de Rareza: resalta que todo elemento extraño, en relación al contexto en el que se encuentre, mantiene un mayor valor de individualidad y una razón de su presencia en el sitio. También se han de incluir todos los objetos, cuerpos y demás, cuyas características sean diferente a las normales.

Investigación Penal

Llamada anteriormente "investigación criminal", se daba a entender por el "Manual Único de Procedimientos en Materia de Cadena de Custodia de Evidencias Físicas" (2012) como el proceso cuyo fin es la reconstrucción del hecho delictivo, para determinar las circunstancias de su ocurrencia, las personas relacionadas y el motivo (p. 23). Actualmente es definido por la "Ley Orgánica del Servicio de Policía de Investigación, el Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas y el Servicio Nacional de Medicina y Ciencias Forenses" (2013), en su artículo 34, de la siguiente manera:

> Se entenderá como investigación penal el conjunto de diligencias orientadas al descubrimiento y comprobación científica del delito, sus características, la identificación de sus autores, autoras, partícipes y víctimas, así como el aseguramiento de los objetos activos y pasivos. (p. 19).

Evidencia Física

Es necesario aclarar que aunque hay una clara diferencia etimológica entre los términos "indicio" y "evidencia", luego de definirlos, se tomarán como semejantes a lo largo del texto, ajustándose al concepto suministrado por el Instituto Nacional de Ciencias Penales de México, a través del manual titulado "Protocolos de Cadena de Custodia" (2012), donde empareja ambos términos como: "huellas, vestigios y demás elementos materiales del hecho delictuoso, que puedan encontrarse en el lugar de los hechos y/o lugar del hallazgo y que por sus características pueden tener alguna relación con la comisión del delito que se investiga" (p. 23). Asimismo podría decirse que un indicio, cuya naturaleza es orientativa, puede volverse una evidencia en cuanto el investigador, por medio de su criterio, contrasta en él una relación, que puede ser directa o indirecta, con el hecho, sin tener aún la capacidad probatoria que presentaría una "prueba".

Individualmente dentro del orden criminalístico, la "evidencia física" es definida en el Manual Único de Cadena de Custodia de Evidencias Físicas (2017) como "todo elemento material o digital relacionado con un presunto hecho punible susceptible de procesamiento forense, del cual se puede obtener información para la reconstrucción histórica del suceso" (p. 18). De igual modo, Romero Urrea et al. (2010), recuperan un concepto similar para el término evidencia: "elemento material probatorio que demuestra por sí mismo y en forma inmediata, la relación con el hecho, o muestra relación entre otros elementos", donde también se dice que la razón de estas es "dar un rumbo a la investigación, ayudar a dar claridad acerca de los hechos

acontecidos, probar la o las hipótesis del investigador, establecer la clase de delito cometido, determinar modus operandi, etc.” (p. 47).

Mientras que Montiel Sosa (2008) ha establecido como indicio a "todo objeto, instrumento, huella, marca, rastro, señal o vestigio que se usa y se produce respectivamente en la comisión de un hecho" (p. 49), igual considera que debido a su relación, directa o indirecta, con el hecho que se investiga, su examen o estudio conforma las bases que van a permitir la demostración de la comisión de un hecho punible, la identificación e individualización de sus partícipes y la reconstrucción de sus mecanismos. Entonces, el reconocimiento, al igual que la correcta manipulación y preservación de los indicios o evidencias durante la investigación, constituyen etapas fundamentales para la criminalística, ya que estos son su fuente de información más imparcial, aquellos que no pueden ser influenciados, sin los cuales, aun contando con los conocimientos multidisciplinarios que la conforman, no podría lograr su objetivo de forma óptima.

Otro término común que valdría destacar es el de “evidencia forense”, el cual expresa la íntima relación entre las ciencias forenses y el derecho. Donde la parte “forense”, explican Netzel et al. (2014), hace referencia a la metodología científica con la que implícitamente se ha llegado al resultado probatorio, mientras que la parte “evidencia” del concepto implica el significado exclusivo que tendrá en un procedimiento judicial, donde podrán ser admitidos o no independientemente de los resultados científicos previamente obtenidos (p. 25).

Aparte, la Oficina de las Naciones Unidas Contra la Droga y el Delito (UNODC), a través del manual “La Escena del Delito y las Pruebas Materiales Sensibilización del Personal no Forense Sobre su Importancia” (2009), establece que se deben tomar medidas inmediatas para la preservación de los vestigios localizados en el sitio, debido a su carácter efímero y frágil, puesto que “cuando las pruebas materiales se reconocen y manipulan adecuadamente brindan las

mejores perspectivas de proporcionar información objetiva y fidedigna sobre el incidente objeto de la investigación" (p. 4).

Acerca del referido reconocimiento y manipulación de la evidencia, se tiene siempre en cuenta que esta se puede presentar en distintas formas y lugares, lo que dependerán de su naturaleza, según la cual se determinarán también las técnicas y procedimientos ejecutados para ubicarla y recuperarla eficientemente. Haciendo que la capacidad para determinar aquello que, por medio del procesamiento forense adecuado, pueda ser fuente de información de utilidad probatoria es una característica importante en el investigador, lograda mediante la capacitación y entendimiento acerca de las distintas evidencias que pueden presentarse en un mismo hecho y de las posibilidades que ellas representen, algo considerado paralelamente por la UNODC (2009) al reconocer que "las prueba pertinentes que están presentes en la escena del delito, pero que pasan inadvertidas, no pueden contribuir a resolver el caso" (p. 16).

Sitio del Suceso

Extrayendo un concepto a partir del Manual Único de Cadena de Custodia de Evidencias Física (2017), serían todos aquellos espacios físicos susceptibles de procesamiento forense que puedan interpretarse como sitios asociados o donde se consumó un hecho delictivo (p. 22). Igualmente, considerando lo dicho por Romero Urrea et al. (2010), "Es todo espacio en donde se hallan elementos materiales probatorios y evidencia física y que estos tengan relación con el hecho en averiguación, ya sea este mueble, inmueble, abierto, cerrado, nave o aeronave o mixto" (p. 14).

Mencionado procesamiento forense consiste en la labor de campo encargada al personal capacitado para ejecutar los procedimientos estándares dedicados al adecuado procesamiento del sitio, estos se rigen principalmente por la protección del mismo, acción constituida por la

delimitación y preservación del espacio físico, con el objetivo de evitar su modificación o la de su contenido para posteriormente llevar a cabo técnicas de búsqueda y reconocimiento de los indicios que serán colectados, cumpliendo reglas para su tratamiento, y suministrados al área correspondiente para su análisis. Estas técnicas, tanto de abordaje como de colección, dependen tanto de las características del sitio como del tipo de indicio que se pretende ubicar y de los recursos logísticos disponibles.

Aclarando que, a pesar de contener la palabra "suceso" en su nomenclatura más extendida, debe interpretarse que esto no siempre implica la comisión de un hecho en estos espacios, pudiendo ser, como se refiere en las fuentes anteriores, el lugar donde se han localizado elementos relacionados con el hecho que se investiga, como también el que presenta alguna conexión con el sitio donde realmente este se llevó a cabo.

Así, aunque cada sitio es único, presentan características globales que han permitido el desarrollo de varias formas de clasificación de cuerdo a distintos criterios, pero resulta más pertinente, para el interés de esta investigación, aquella clasificación más general basada en la coincidencia o no entre el lugar del hecho y el lugar del hallazgo; donde, en caso de no coincidir estos, se establece un orden o secuencia de las localizaciones. De acuerdo a esto, Miller y Jones (2014) dan a conocer parte de esta clasificación, estableciendo que las escenas (sitios) pueden ser clasificadas, de acuerdo al lugar original de la actividad delictiva, en "primaria" y cualquiera subsecuente como "secundaria", sin designarse necesariamente una prioridad o importancia entre ellas, simplemente un ordenamiento de sus secuencias (p. 42). Quedando entonces:

1. Sitio Típico: referido frecuentemente para situaciones en que el lugar donde ha ocurrido el hecho coincide con el principal lugar de hallazgo de indicios u otros elementos de interés criminalístico (Gutiérrez Chávez, 1999, p. 39).
2. Sitio Atípico: cuando ha habido una dispersión o traslado, consciente o inconsciente, de los elementos materiales o de la actividad delictiva iniciada en otro lugar. Sin ser

coincidentes el lugar del hecho y el o los sitio(s) de hallazgo (Gutiérrez Chávez, 1999, p. 39).

Dentro de esta segunda categoría es donde surge la secuencia referida previamente, desarrollada por Romero Urrea et al. (2010) en forma que el sitio primario es donde ocurre la mayor interacción y donde probablemente el hecho es materializado, representando una importante fuente de indicios. Mientras que los sitios secundarios son donde hay una menor interacción entre los elementos respecto al primero (p. 18), agregando que pueden consistir tanto en sitios fijos, a donde han sido transferidos posibles elementos indiciarios, para su liberación por ejemplo; por lo que se denominan "de abandono" o "de liberación; como también medios de transporte o lugares intermedios, que sirvan para conectar el primer sitio con otros.

De esta forma, las características del sitio es un factor a considerar al seleccionar las técnicas que se llevarán a cabo en su procesamiento, las mismas son variadas y siempre pueden aplicarse incluso de forma combinada, pero acuerdo a Geberth (2006), no importa cuál método se seleccione, siempre y cuando la búsqueda sea sistemática y completa (p. 182), considerando de igual modo que un mal procedimiento en el procesamiento del sitio podría llevar a la destrucción de la evidencia (Romero Urrea et al. 2010, p. 45), pero su incorrecta manipulación en el sitio no solo podría implicar su su contaminación, sino posibilidad de que esta no sea admitida o ver desacreditado su valor dentro de un posterior proceso judicial, en caso de llegar a este.

Botánica Forense, Funciones y Situación

Ya que la biología es una extensa fuente de conocimientos, dentro del campo forense se divide en diferentes especialidades que abarcan el estudio de la evidencia biológica relacionada con un hecho de interés legal, no limitado al fuero penal. La evidencia biológica más frecuentemente referida son los tejidos y fluidos derivados del cuerpo humano, pudiendo ser estos los más comunes en distintos casos, pero este término también agrupa al material proveniente de organismos animales y vegetales, así como el de hongos y protistas. Siendo el

papel de la biología forense informar, por medio de la caracterización e identificación de esta evidencia, acerca de la naturaleza de la muestra; su origen y, en la medida de lo posible, individualiza o excluye la fuente, constituyendo una herramienta relevante a fines identificativos y reconstructivos, además de establecer conexiones entre elementos (Bajerlein et al., 2015; Ayón, 2019; Soltyszewski y Solodov, 2022).

De tal forma, aun discriminando entre ciencias forenses y medicina forense, considerando a la primera como la que trata toda la evidencia que no es directamente un cuerpo, del cual se encargarían las especialidades médicas que constituyen la medicina forense (Bates, 2013; Abrol. 2024), se puede apreciar que muchos componentes importantes de las ciencias forenses pertenecen al área conocida como biología forense, como son: la hematología forense, seminología forense, fanerología forense, microbiología forense, ecología forense, entomología forense, botánica forense, genética forense, ornitología forense, entre otras (Ayón 2019; de Jesus Santos y Montenegro, 2023).

A pesar de la gran variedad de disciplinas que conforman la biología forense, algunas de estas se han vuelto más rutinarias que otras (Wiltshire, 2010), ya sea debido a que sus objetos de estudio suelen ser más fáciles de percibir durante una investigación en campo o que la confiabilidad de sus resultados cuente con más difusión que las de otras, como pueden ser los casos de la hematología forense y la genética forense (de Jesus Santos y Montenegro, 2023), respecto a la identificación y reconstrucción de los mecanismos; o de la entomología forense, para el establecimiento de PMI a partir de períodos en que los fenómenos cadavéricos no resultan tan precisos (Diaz et al., 2020, p. 30). Entonces, existen disciplinas que por distintos motivos se han visto menos relevantes en distintas regiones, pero no quiere decir esto que su utilidad sea limitada, como es el caso de la botánica forense, la micología forense y otras ramas menos exploradas en proporción.

Es debido a esta poca atención que han tenido dentro del campo forense, que a tres grandes reinos como son el Protista, Fungi y Plantae, históricamente se les ha asociado bajo el

título “Botánica Forense” (Gunn, 2009, p. 316; Spencer, 2021, p. 1). No obstante, el progreso individual de cada uno de estos campos ha valido establecer la distinción entre ellos, por lo que la botánica forense debe ser entendida individualmente como: el campo que aplica los conocimientos y técnicas generales de la botánica en investigaciones judiciales para el análisis de la evidencia vegetal.

Dividida en especialidades o subdisciplinas fundadas en el profundo entendimiento de la flora, así como en el conocimiento ecológico y medioambiental de sus relaciones con el entorno, dedicándose a estudiar desde distintas perspectivas plantas o fragmentos de estas, al igual que otros productos vegetales procesados, contribuyendo a casos civiles o penales, al desarrollo de regulaciones legales, en la promoción de la salud pública, entre otras cosas (Caccianiga et al. 2021; Raje et al., 2022; Kasprzyk, 2023, p. 259; Oliveira et al., 2023).

Este objeto de estudio, es decir, las plantas, dada su sensibilidad y ubicuidad, ya que tanto ambientes terrestres como acuáticos cuentan con su presencia, representan una ventajosa fuente de evidencias físicas, sobretodo en aquellos casos en los que otras disciplinas no pueden aportar suficiente información para la reconstrucción y entendimiento de los eventos debido a las condiciones (ver Tabla 3), dedicándose principalmente a servir como evidencia circunstancial (Kasprzyk, 2023), para establecer asociaciones entre personas, animales, vehículos y otros objetos entre sí o con una localidad específica, por medio del reconocimiento de la distribución, hábitat y abundancia de una especie determinada (Gunn, 2009, p. 316; Oliveira et al. 2023).

Tabla 3

Esquema de macroorganismos botánicos y fúngicos localizables en investigaciones forenses

HONGOS	**PLANTAS**		
	NO PRODUCTORAS DE SEMILLAS	**PRODUCTORAS DE SEMILLAS**	
Setas			
Líquenes		**GIMNOSPERMAS**	**ANGIOSPERMAS**
Mohos	Musgos (N/V)		
Tizones	Hepáticas (N/V)	Coníferas	Plantas Con Flores
Puccinales	Antoceros (N/V)	Ginko	(Monocotiledóneas Y
Mildi	Helechos	Cícadas	Dicotiledóneas)
Levaduras	Lycopodium	Gnetales	
Producen esporas que germinan para formar a la siguiente generación.		Producen granos de polen que contienen células espermáticas que efectúan la fecundación tras la polinización.	

Nota. N/V: No vasculares. Fuente: Editado y traducido de Wiltshire (2010).

Adecuado a esto, Bajerlein et al. (2015) establecen que el uso de los conocimientos de la botánica forense se basa en dos supuestos. Primero, el principio de intercambio de Locard, donde la evidencia o trazas botánicas que se transfieren durante las interacciones pueden establecer vínculos entre personas, objetos y sitios; y el segundo supuesto se refiere a la distribución de las plantas en todo el mundo, donde cada especie se caracteriza por necesidades medioambientales diferentes, especialmente relacionados a las condiciones del suelo, temperatura, humedad y luz solar, habiendo especies menos tolerantes que solo pueden ser encontradas en lugares específicos, con lo que el conocimiento acerca de su distribución resulta de utilidad para definir la procedencia de distintos elementos (p. 73).

Históricamente hablando, el debut judicial de la botánica podría datarse al uso de plantas venenosas como método de ejecución, como es el caso del juicio de Sócrates, cuyos síntomas presentados tras la ingesta de una infusión de toxinas vegetales hasta la confirmación de su muerte fueron documentados médicamente por Platón (Bloch, 2001; Nails, 2009; Wells, 2008).

Avanzando en el tiempo, incluso podría referirse a los juicios denominados ordalías por veneno o Tangena, un tipo de práctica inquisitiva utilizada en Madagascar, entre los siglos XVIII

y XIX, donde el papel de la planta cambiaría al de determinar la culpabilidad de personas acusadas de brujería u otros crímenes considerados menos graves. Este procedimiento consistía en suministrar de forma directa a la persona, y posteriormente a un animal en su representación, una infusión de semillas de plantas como *Tanghinia venenifera*, conocidas por contener potentes toxinas y por inducir al vómito, concluyendo que si el acusado vomitaba o sobrevivía, se le debía considerar inocente; de lo contrario, se le declaraba culpable (Ellis, 2002; Robb, 1957; Rowley, 2014).

Aunque estos juicios no tenían principios científicos y solo representaban un interés en los efectos de la planta, valdría considerarlos antecedentes históricos de cómo las plantas han sido utilizadas para determinar la culpabilidad o inocencia de un acusado. Mientras que en la era moderna, a medida que las ciencias avanzaban también lo hacían los criterios para la aceptación judicial de estas, con lo que comenzarían a surgir las disciplinas forenses para la resolución sistemática de cuestiones legales. De esta forma, sea cual fuere su origen, suele referirse que la formalización de la botánica forense se vio lograda con los aportes del doctor Arthur Koehler al caso Lindbergh.

A pesar de no ser el primer caso legal en el que Koehler, un experto en lo que sería la dendrología, testificaba con base en los análisis forenses realizados sobre muestras de madera (Graham, 1997), es el que mayor repercusión tuvo en cuanto a la credibilidad de un experto botánico en la investigación forense, al haber recibido una intensa cobertura mediática. Consistió, entonces, en el secuestro de un lactante ocurrido en su propio hogar, en New Jersey, en el año 1932. Las evidencias más relevantes que pudieron recuperarse consistían en un conjunto de huellas indistintas en el barro, una nota de condiciones en la habitación de la que fue raptado el individuo, una escalara de fabricación cacera y un cincel encontrado a poca distancia de la casa.

Realizando estudios anatómicos comparativos por partes de la escalera, con microscopios y técnicas de iluminación y fotografía, pudo determinar la cantidad y los distintos tipos de maderas que la componían; características y defectos de las herramientas empleadas para su elaboración, por medio de las marcas físicas dejadas por estas en la madera; y las características del ambiente del que procedían los materiales; todo esto incluso antes de tener algún un sospechoso (Graham, 1997; Graham, 2006).

Además de demostrar hechos como que los patrones de los anillos de crecimiento son únicos y útiles para análisis comparativos, este tipo de información, inusual en ese tiempo, y su aceptación en la corte fue el punto de inflexión para el reconocimiento y validez de la evidencia botánica y el testimonio de expertos botánicos dentro de procedimientos judiciales.

Desafortunadamente, en la actualidad, la botánica forense es considerada una herramienta infrautilizada, limitada en muchos casos a la identificación de plantas ilegales o sospechosas (Hamalton, 2017, p. 11), cuyo reconocimiento dentro de las investigaciones no es equivalente en todo el mundo. Siendo países como Brasil, Estados Unidos de Norteamérica, Gran Bretaña y Nueva Zelanda los que muestran una práctica común de consultar a expertos botánicos en los casos forenses pertinentes (Bajerlein et al., 2015, p. 72; Spencer, 2021, p. 2), algo de lo que existen varias documentaciones.

Es importante aclarar que estas consultas y estudios botánicos deben ser encargados a especialista en dicho campo, no debiendo ser reemplazados por generalistas o conocedores superficiales de la biología, puesto que, como otras disciplinas forenses, su éxito depende fuertemente de la precisión para reconocer, documentar, colectar y preservar la evidencia botánica más relevante (Oliveira et al., 2023), factores que pudieran llegar a ser pasados por alto por personas no especializadas.

Continuando esta línea, una posible razón para la falta de implementación de la botánica forense, refieren Bajerlein et al. (2015) es la falta de concienciación acerca de la utilidad de esta forma de evidencia biológica, así como el desconocimiento de los métodos de identificación y conservación de dichos rastros (p. 72). Mientras que de Jesus Santos y Montenegro (2023) refieren que, aunque la botánica forense ha sido fundamental para el cumplimiento de la ley en muchos casos, aún no recibe el reconocimiento que merece dentro de las ciencias forenses, empleando para describir este fenómeno el término "ceguera botánica", atribuido originalmente a los botánicos Wandersee y Schussler en el año 1999, para referirse a la incapacidad de percibir la presencia de las plantas en el entorno y la relevancia de estas dentro de determinados sectores, llevando incluso a la reducción de expertos e investigaciones en el área (Crisci et al., 2019, p. 7; Drivet, 2023).

De hecho, esta incapacidad para distinguir las diferentes plantas presentes en el entorno, las cuales pueden resultar abrumadoras en cantidad en la mayoría de los ambientes, podría ser la razón por la cual su interacción en el delito, como la transferencia de micro y macrorrestos, es ignorada por los agentes delictivos durante su actuar y, de manera lamentable, también por el personal de investigación. Por lo que, para la correcta identificación de las muestras, es importante la habilidad del experto botánico, al igual que el acceso a bases de datos de referencia, como herbarios, actualizadas en las que haya un registro de nuevas especies cuando son descubiertas (Chandra y sharma, 2014, p. 4; Kasprzy, 2023, p. 262), pudiendo todo esto ayudar a resolver casos en el futuro.

Resumiendo las técnicas modernas dentro del estudio botánico forense, el análisis del material vegetal puede dividirse en tres métodos principales: anatómico y fisiológico, químico y molecular, los que pueden ser aplicados individualmente o en conjunto. Partiendo por el criterio de caracterizar los restos vegetales según su tamaño en macrorestos, relativos a la planta completa o partes de ella, y microrestos, para estructuras microscópicas como los palinomorfos, (Kasprzy, 2023, p. 261), el análisis morfológico y anatómico consiste, según lo planteado por Raje et al. (2022), en el estudio de la forma, la disposición interna y el tamaño de la muestra para

la identificación de la especie de planta o en la búsqueda de coincidencias entre muestras para determinar el origen, esto es posible ya que cada planta tiene patrones estructurales específicos (p. 7).

De este modo, el estudio morfológico y anatómico es una de las formas más útiles y frecuentes para la identificación forense de muestras vegetales, especialmente cuando no se encuentran totalmente degradadas o fragmentadas (Rohatgi et al., 2020, p. 1358) y puede servir para señalar el hábitat probable u origen geográfico de la muestra o identificar las características del lugar (Hamalton, 2017, p. 11), incluso permite datar la época y lugar geográfico donde ocurrió un hecho o los lugares en que ha estado una persona (Martínez, 2019, p. 53). Llamativamente, la composición de mayoría de las estructuras vegetales mantienen sus características identificativas incluso después de haber sido digeridas por una persona o animal, debido a su composición abundante de celulosa y lignina, las cuales no pueden ser digeridas directamente por la mayoría de los animales (Chandra y Sharma, 2014, p. 3; Raje et al. 2020, p.7).

Distintas estructuras vegetales pueden llevar a resultados de identificación, como semillas, frutos, cortezas y hojas, con estas últimas se utiliza para su clasificación e identificación, entre otro rasgos macroscópicos, su tamaño, forma, color, estructura y venación, ya que la organización del tejido de las hojas está estrechamente relacionada con la especie y el lugar donde se desarrolla la planta (Martínez, 2019, p. 54); aunque de igual modo pueden aportar información valiosa por medio de métodos químicos y moleculares, aun en estado de descomposición o de hojarrasca, tanto para su identificación como de las condiciones ecológicas del entorno (Kasprzy, 2023, p. 262).

Igualmente, el estudio de la madera se practica por medio de métodos químicos y genéticos (raje et al. 2022, p. 7), al igual que morfológicos, alcanzando distintos niveles de identificación con cada uno; los métodos físicos, por ejemplo, llegan a identificar a nivel de

género, y de especie en algunas circunstancias (Hamalton, 2017, p. 12; Dormontt et al., 2015, pp. 3-4), observando las características anatómicas y morfológicas de la misma, como la ausencia o presencia, disposición, número y tamaño de determinadas estructuras (Chandra y Sharma, 2014, p. 3).

Este estudio de los tallos, junto al de las raíces, conforma la dendrología, la cual es la rama con el registro más antiguo dentro de la era moderna de la botánica forense. Un área importante de esta es la dendrocronología, técnica que permite datar el desarrollo de árboles y arbustos leñosos tomando como referencia los anillos de crecimiento, relacionados a los ciclos de desarrollo lateral del tallo (Bajerlein et al., 2015, p. 77; raje et al. 2022, p. 7). Además de ser un medio comparativo de identificación, estos anillos individuales contienen registros acerca de las condiciones del entorno en el que se han desarrollado (Dormontt et al., 2015, p. 4), útil para aportar información temporal y formas de estrés sufrido. Con el conteo y medida de estos anillos y sus distorsiones se puede determinar fuentes de estrés, indicando incluso cuánto tiempo ha pasado desde que el daño fue hecho (Gunn, 2009, p. 327,328; Martínez, 2019, p. 55).

Se puede mencionar también, dentro de la descripción de la evidencia vegetal en campo, que un criterio de valor es determinar el nivel de daño que pueda identificarse en las plantas, ya que su estructura es sensible y fácil de lesionar, aun sin producir la muerte del organismo. Gunn (2009, p. 325) explica que del contacto entre una planta y un animal o persona, a lo que, al igual, debe agregarse herramientas y otros objetos, existe la posibilidad de que la primera sufra algún tipo de daño, que suele conservarse y ayudar a la reconstrucción del mecanismo de producción, un ejemplo puede ser el depositar un cuerpo u objeto sobre la hierba, donde el peso producirá el decaimiento del vegetal y su posterior muerte, reproduciendo la forma del cuerpo, algo similar ocurriría por el paso de personas o vehículos.

Por otro lado, una de las especialidades botánicas más aceptadas y consistentes en cuanto a su aplicación forense en distintas regiones es la palinología (Boi y Capó, 2010, p. 245; Raje et al., 2022, p. 3), el análisis de los pólenes de las plantas productoras de semillas, las esporas de las

no productoras de semillas, como helechos y musgos, aunque también incluye las producidas por hongos (Raje et al., 2022, p. 4), y otras estructuras y microorganismos como los dinoflagelados y las diatomeas (Gunn, 2009, p. 332), denominados colectivamente como "palinomorfos" (Bajerlein et al., 2015, p. 73), que guarden alguna relación con un hecho investigado, de los cuales se puede extraer información de modo, tiempo y lugar (Lynne et al., 2005; Breglia, 2016; Rakshanda y Reddy, 2022).

Martínez-Sánchez et al. (2008) establecen que el análisis polínico de muestras sedimentarias se fundamenta en bases como: 1. la producción biológica de polen y esporas; 2. dispersión biótica y abiótica; 3. Preservación y/o fosilización; 4. posibilidad de discriminar taxonómicamente; 5. representatividad del espectro polínico respecto a la vegetación productora; entre otras (p. 43).

Entonces, los pólenes y esporas se constituyen como evidencias trazas, cuya morfología resulta característica entre especies (Rakshanda y Reddy, 2022, p. 50), sumado a una estructura resistente a la degradación que hace posible se perduración en distintas superficies y composiciones, como suelos (Álvarez y Carrel, 2010, p. 235), agua, tierra, lodo y otras mezclas heterogéneas (Lynne et al., 2005, p. 236; Rakshanda y Reddy, 2022, p. 51), vestimentas, superficies anatómicas e incluso cavidades corporales (Bajerlein et al., 2015, p. 73), dando lugar a su identificación aún miles de años después de su producción original, asimismo resultan ser una buena fuente de información geográfica (Gunn, 2009, p. 335; Raje et al., 2022, p. 3).

Factores que influyen en la trazabilidad de un perfil polínico son la distribución geográfica del polen, representada por la combinación de especies de plantas de cada zona específica, la época del año en que cada especie produce polen (Bajerlein et al., 2015, p. 74; Lynne et al., 2005, pp. 229,231) y el método de dispersión empleada por la especie (Lynne et al., 2005, pp. 225-228), el cual también determinará su alcance. Teniendo mayor individualidad aquellos menos abundantes o de poca producción, como las especies polinizadas por insectos, ya

que son producidos en cantidades menores y transportados por agentes vivos a no muy largas distancias, así que resultan escasas en algunos sitios y su asociación puede ser más eficiente (Bajerlein et al., 2015, p. 74; Boi y Capó, 2010, p. 246), aunque igualmente pueden acaban en proporciones poco reconocibles cuando se mezclan con otros palinomorfos (Rakshanda y Reddy, 2022, p. 51).

Algunos obstáculos que se presentan en su identificación es que no todas las plantas producen pólenes morfológicamente únicos a nivel de especie, por lo que las diferenciación taxonómica puede dificultarse (Gunn 2009, p. 335); además, el polen que puede encontrarse en las capas superficiales del suelo corresponden a la más reciente floración, mientras que los de origen anterior pueden encontrarse más profundo (Álvarez y Carrel, 2010, p. 235), siendo que las encontradas en la superficie no necesariamente serán recientes, debido a los tiempos de floración y maduración periódicos (Gunn 2009, p. 335).

Cuando se presentan estos y otros problemas para discriminar taxonómicamente una muestra por medio de técnicas morfológicas, como al ser insuficientes las trazas vegetales recuperadas o por encontrarse degradadas, se hace necesario aplicar otras técnicas de identificación como las moleculares y químicas (Aquila et al., 2014, p. 1 Chandra y Sharma, 2014, p. 4). El análisis de perfiles químicos permite la identificación por medio de compuestos sintetizados por las plantas, como los metabolitos secundarios, específicos para especies u otros grupos taxonómicos, con los que también se puede obtener información cronológica de la muestra (Dormontt et al., 2015, p. 4,5). Algunos consisten en la aplicación de métodos espectroscópicos, cromatográficos, isotópicos, de radiocarbono, perros detectores, entre otros (Dormontt et al., 2015, p. 5; Hamalton, 2017, p. 12). De hecho, con estas se hace posible la identificación de drogas o toxina vegetales en casos de intoxicaciones de diversas etiologías (Dubey et al., 2018, p. 359).

De forma que, distintas ocasiones en que todas estas y otras técnicas de la botánica forense fueron empleadas en casos reales para responder a cuestiones legales han sido documentadas dentro de una variedad de contextos, demostrando la aplicabilidad de la botánica forense para datar fosas comunes por medio de la palinología (de Jesus Santos y Montenegro, 2023, p. 16), diferenciar entre homicidio y suicidio (Chandra y Sharma, 2014, p. 6; Margiotta et al., 2015), distinguir entre sitios primarios y secundarios con distintas evidencias vegetales macroscópicas (Chandra y Sharma, 2014, p. 6), uso de vegetales presentes en el contenido estomacal de víctimas para estimar el tiempo de muerte (Chandra y Sharma, 2014, p. 6) y para refutar coartadas (Raje et al., 2022, p. 7), la botánica forense de igual modo puede ser una alternativa para la estimación del PMI y otros estudios forenses de restos total o parcialmente esqueletizados, uno de los escenarios más complicados para la patología forense, como también para la identificación del arma empleada (Caccianiga et al., 2021, pp. 1069-1070,1073), entre muchas otras cosas.

Por último, la ecología vegetal, dedicada al estudio de las comunidades o ensamblajes de plantas y las relaciones con su entorno a lo largo de su desarrollo (Raje et al., 2022, p. 6), puede dirigirse al campo forense dentro de estudios relacionados a contaminación ambiental provocadas por el hombre que pudieran tener lugar en una investigación penal; detectando cambios cuantitativos y cualitativos en el conjunto de especies, lo que resulta más detectable con plantas y los hongos debido a la dificultad de estos para soportar el estrés ambiental (Kasprzyk, 2023, p. 265). Estas perturbaciones ecológicas pueden verse producidas incluso por el proceso de deposición y descomposición de cadáveres humanos (Kasprzyk, 2023, p. 265).

Entre estas interacciones, un ejemplo de interés, en cuanto al estudio de los efectos de la descomposición cadavérica, serían las relaciones de mutualismo con otros organismo a nivel radicular a las que las plantas recurren para asegurar la fijación de algunos nutrientes esenciales, como las micorrizas con los hongos y las leguminosas con las bacterias del suelo, que tienen la capacidad de fijar minerales importantes, como el nitrógeno, encontrados en la atmósfera y que no pueden ser absorbidos por las plantas, o degradar compuestos a formas aprovechables para

estos organismos, a cambio de carbohidratos y otros nutrientes por parte de la planta desde sus raíces (Jones y Olson-Rutz, 2016, p. 4; Margulis y Sagan, 2008, pp. 254,257).

Composición y Descomposición del Cuerpo Humano

Dentro de los niveles de organización, un organismo es la unidad independiente más compleja y consiste en un conjunto de sistemas de órganos coordinados e integrados todos dentro de un mismo ser vivo. Este se halla separado de su entorno, pero de forma controlada puede intercambiar materiales con él. Entonces, todos los animales, incluyendo al ser humano, son organismos que, a través del metabolismo, interactúan constantemente con el ambiente que les rodea, absorbiendo materia y liberando productos de desecho hasta el final de su vida.

Pasando a la composición química, el nivel elemental se conforma básicamente de iones inorgánicos, o minerales, los cuales no pueden ser sintetizados por el organismo y deben ser obtenidos a través de la alimentación, cumplen funciones reguladoras y tienen la capacidad para combinarse y formar moléculas que resultan esenciales para la vida, como proteínas, carbohidratos, lípidos, aminoácidos, nucleótidos, entre otros, representando las unidades estructurales más fundamentales.

Por medio de distintos modelos de estudio de la composición corporal humana a nivel general, realizados a lo largo del tiempo, se han cuantificado las concentraciones aproximadas de distintas unidades moleculares y minerales en relación al peso corporal. De acuerdo a Carbajal (2017), los minerales pueden ser agrupados según la concentración en que se presenten en el cuerpo humano de la siguiente manera:

- Macrominerales: presentes en cantidades mayores al 0,05 % del peso corporal. Como Ca, P, Mg, S, Na, K, Cl y Ca.

- Microminerales: presentes en concentraciones menores al 0,05 % del peso corporal. Como Fe, Zn, Cu, I, Se, Cr, Mn, Mo, F y otros.
- Minerales Ultratraza: B, Si, Li, As, Ni, Al, Cd, Pb, Co, Br, Ge, Ru, Ti, V, entre otros.

De manera más específica, la composición humana es reseñada en aproximadamente 15 g/kg de calcio, 32 g/kg de nitrógeno, 4,0 g/kg de potasio, 1,0 g/kg de magnesio, 16 kg de carbono, 0,5 kg de fósforo, 30 mg/kg de magnesio; esto para un humano adulto promedio (Carter y Tibbet, 2008, p. 32; de Gandarias, 2009, p. 26; Pawlett et al., 2024, p. 3). Similarmente, los valores aportados por Latham (2002), de la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), son de 1250 g de calcio, 3 a 4 g de hierro y 20 a 50 mg de yodo.

Correspondiendo para la materia inorgánica más abundante el oxígeno (65 % p/p), carbono (18,5 % p/p), hidrógeno (9,5 %) y nitrógeno (3,2 % p/p); que acumulan entre 1 y 38,6 kg, basado en un humano de 70 kg, seguidos por el calcio, fósforo, potasio, azufre, sodio, cloro y el magnesio en cantidades menores a 1 kg, componiendo todos los anteriores más del 99 % de la masa corporal total (Pawlett et al., 2024, p. 3; Taylor et al., 2023, p. 2).

Mientras que a nivel molecular se refieren a un 64 % agua, 20 % proteína, 10 % grasa, 5 % minerales, y 1 % carbohidratos (Fancher, 2015, p. 12). Así mismo, otras fuentes documentan para un hombre promedio de unos 65 kg de masa corporal entre 61,6 y 62,4 % agua, 16,4 y 17,0 % proteínas, 13,8 y 15,3 % grasa, 5,9 y 6,1 % minerales y 1,5 % carbohidratos (Latham, 2002, cap. 8; Carbajal, 2017, cap. 2). Aunque, además de compuestos químicos, el cuerpo también alberga comunidades de microorganismos en distintas partes de este, siendo el tracto gastrointestinal aquella con mayor abundancia (Pawlett et al., 2024, p. 3).

En promedio, estos materiales se encuentran en equilibrio dentro del cuerpo humano en vida, distribuidos entre las distintas estructuras corporales de las que forman parte, pudiendo ser más abundantes en unas que en otras. Así, el agua se reparte entre el medio intracelular y el extracelular, donde las células puedan contener hasta un 90 % de agua en su composición, por lo que constituye una porción relevante de todos los órganos, la piel, por ejemplo, está formada por aproximadamente 70 % agua. Por parte de los iones minerales, el calcio, componente del 1,5-2 % del peso corporal (Taylor et al., 2023, p. 17), es principalmente abundante en huesos y dientes, donde se concentra más del 99 % de este; la mayor parte del hierro está formando la hemoglobina y la mioglobina y la otra es almacenada por órganos como el hígado, el bazo y la médula ósea (Latham, 2002, cap. 10; Carbajal Azcona, 2017, cap. 10).

Continuando, el yodo se halla en mayor medida en la glándula tiroidea; el cinc está presente en todas las células y parte del tejido muscular, también de la piel y el cabello, igual que de los huesos, la glándula prostática y los ojos; el flúor está principalmente en dientes y huesos (Latham, 2002, cap. 10; Carbajal Azcona, 2017, cap. 10); el cobre, con entre 1,4 y 2,1 mg por kg de peso corporal (Zalamea y Zalamea, 2020b) se deposita en mayor cantidad en la médula ósea; el silicio está asociado mayormente al tejido conjuntivo; el magnesio, con cerca del 0,02 % del peso corporal (Taylor et al., 2023, p. 17), se halla distribuido entre los huesos y el líquido intracelular; el manganeso se deposita principalmente en hígado, páncreas y riñones (de Gandarias, 2009). Aunque no es considerado un elemento esencial, el Aluminio (Al), en cantidades medias de 35 a 50 mg, se distribuye entre los pulmones, tejidos blandos y huesos (Zalamea y Zalamea, 2020a).

El sodio y el potasio, que componen aproximadamente el 0,11-0,14 % y el 0,15-0,18 % del peso corporal, respectivamente, se presentan en sus formas catiónicas en los fluidos extracelulares, para el sodio, e intracelulares, para el potasio (Keane, 1972, p. 7; Taylor et al., 2023, p. 16); el fósforo, segundo elemento mineral más abundante en el cuerpo, constituyendo entre el 0,8 y 1,1 % de la masa corporal (Keane, 1972, p, 7), se concentra en un 85 % en el esqueleto, en forma de hidroxiapatita, mientras que porcentaje restante forma parte de los tejidos

blandos, vísceras y el medio extracelular (Taylor et al., 2023, p. 13); Mientras que el cloro se encuentra principalmente en la sangre en forma aniónica, 88 % de ellos extracelularmente (Keane, 1972, p, 7). En caso del nitrógeno, además de su abundancia, se puede destacar que durante la descomposición gran parte de este se convertirá en amonio (Brabazon et al., 2020, p. 947).

Estos datos son representados para su mejor comprensión en la Tabla 4.

Tabla 4

Principales componentes minerales del cuerpo humano y órgano/tejido de mayor concentración

Elemento	Órgano/Tejido de Mayor Concentración
Carbono (C)	Mayor componente en compuestos orgánicos.
Hidrógeno (H)	Mayor componente en compuestos orgánicos.
Oxígeno (O)	Mayor componente en compuestos orgánicos.
Nitrógeno (N)	Mayor componente en compuestos orgánicos.
Calcio (Ca)	Huesos, dientes, mioglobina, hígado, bazo, médula ósea, líquido extracelular, citoplasma celular.
Fósforo (P)	Huesos, tejidos blandos, vísceras, medio extracelular.
Potasio (K)	Fluidos intracelulares y extracelulares.
Sodio (Na)	Fluidos extracelulares e intracelulares.
Magnesio (Mg)	Huesos, líquido intracelular.
Cloro (Cl)	Sangre, piel, tejido subcutáneo, esqueleto.
Azufre (S)	Tejidos conectivos, piel, cabello, uñas.
Flúor (F)	Huesos, dientes.
Yodo (I)	Glándula tiroidea.
Cobre (Cu)	Médula ósea, hígado, cerebro, riñones, corazón, enzimas.
Cinc (Zn)	Células y tejido muscular, piel, cabello, huesos, glándula prostática, ojos.
Manganeso (Mn)	Huesos, hígado, páncreas y riñones, cerebro.
Molibdeno (Mo)	Hígado, riñones, glándulas suprarrenales, huesos, esmalte dental.
Hierro (Fe)	Sangre, hígado, bazo, médula ósea.
Silicio (Si)	Huesos, tendones, hígado, riñones, tejido conjuntivo, piel, uñas, cabello.

Nota. El color rojo indica los macrominerales que componen el cuerpo humano, el color naranja los microminerales y el color azul los minerales ultratraza. Fuente: Creada a partir de la información tomada de Carbajal (2017), Nielsen (2014, 2014) y los sitios web Britannica y National Institues of Health (NIH).

Este equilibrio puede romperse cuando inicia la muerte; de forma somática se da cuando cesan de manera irreversible las funciones vitales, tras lo que que el cuerpo inerte comenzará el complejo proceso que supone la descomposición; dominado por una serie de fenómenos físicos,

químicos y biológicos bien diferenciados y secuenciales, definido además por seguir un patrón sigmoidal (Carter y Tibbett, 2008, p. 33), responsable de acabar reduciendo la materia orgánica que constituía al cuerpo en vida y reincorporarla gradualmente a los ciclos naturales, con lo que podrá ser reutilizada como fuente finita de energía por otros organismos (Gunn, 2009, p. 12; Valenciano, 2018, p. 57).

Dichos fenómenos, han sido divididos de acuerdo a la percepción de estos durante su desarrollo secuencial, pero Gunn (2009) establece que las etapas que suelen referirse se funden entre sí y es imposible separarlas en entidades discretas (p. 12), indicando la posibilidad de que ocurran dos o más de estos al mismo tiempo en un cuerpo según las circunstancias. Por lo que la descomposición es un proceso de tiempo continuo con etapas superpuestas y no claramente definidas (Szelecz et al., 2018). Entonces, se consideran las clasificaciones clásicas, de la forma en que son suministradas por Alvarado (1999) y Calabuig (2004), referidos por Valenciano (2018, p. 58), junto a la de Sánchez y Robledo (2010, p. 327), quedando:

1. Tempranos (etapa fresca)
    1.1. Abióticos
        1.1.1. Deshidratación Cadavérica
        1.1.2. Enfriamiento Cadavérico
        1.1.3. Lividez e Hipóstasis Cadavérica
    1.2. Bióticos
        1.2.1. Acidificación Tisular
        1.2.2. Rigidez y Espasmo Cadavérico
2. Tardíos (etapa de descomposición y esqueletización)
    2.1. Autólisis
    2.2. Putrefacción
3. Conservadores

A partir de esta estructuración se pueden explicar a nivel general, dando especial atención a los denominados fenómenos "Tardíos" o "Destructores", pues ellos son los principales responsables de la reducción cadavérica cuando no intervienen agentes externos.

1. Fresco: comienza inmediatamente después de la muerte y engloba a todos los fenómenos tempranos, tanto bióticos como abióticos (Gunn, 2009, p. 13). Aunque se han detenido las actividades vitales, muchas células continúan en actividad, además no hay actividad larvaria y no hay decoloración del cuerpo, excepto por la producida por las livideces (Fancher, 2015, p. 11).

2.1. Autólisis: de acuerdo a Pérez Pérez (2016), es el "conjunto de procesos fermentativos anaeróbicos que tienen lugar en el interior de la célula por la acción de las propias enzimas celulares sin intervención bacteriana. Es el más precoz de los procesos transformativos cadavéricos, sucedido posteriormente por la putrefacción" (p. 21). Dado que a este punto no ha ocurrido la muerte celular, la hipoxia prolongada provoca que las células recurran a la vía fermentativa para obtener energía, acumulando subproductos ácidos en su interior, lo que provoca la destrucción de organelos como los lisosomas y, con ello, a la liberación enzimas celulares, que, tras acceder al citoplasma celular, comienzan a digerir la célula desde su interior hasta la destrucción estructural y funcional de esta (Valenciano, 2018, p. 62).

2.2. Putrefacción: es el proceso biótico que, según Ibargoyen (2015), da lugar a la "descomposición o degradación postmortem de los tejidos y de toda la materia orgánica componente de un cadáver" (p. 58), resultado de la secuencia de degradación enzimática iniciado por la destrucción celular (Fancher, 2015, p. 8), junto a la acción aportada por "una importante flora y fauna compuesta de: bacterias, hongos, artrópodos y vertebrados", ejercidas sobre el cadáver hasta su degradación total (Ibargoyen , 2015, p. 58).

Sobre la acción bacteriana en este proceso, Peña et al. (2019) plantean que "las que tienen un papel fundamental son las que se encuentran en el medio interno, en especial en el ciego, repleto de abundante flora microbiana, donde se inicia el proceso invadiendo al organismo" (p. 26), entonces estas migran de los tejidos donde se localizan a otros a través de espacios

tisulares y vías pasivas, como los linfáticos, los vasos sanguíneos y los tegumentos (Fancher, 2015, p. 9). Igualmente se menciona que algunas bacterias pueden provenir del exterior, penetrando al organismo por medio de heridas abiertas o cualquier otro orificio (Pérez Pérez, 2016, p. 23).

Mientras que, acerca de la secuencia, se establece que las primeras en actuar son las bacterias aerobias, consumiendo el oxígeno restante para llevar a cabo sus funciones, seguidas de las facultativas y, para cuando se ha acabado el oxígeno, las anaerobias, responsables principales de la descomposición (Peña et al., 2019, p. 26; Pérez Pérez, 2016, p. 23). De este modo, el proceso de la putrefacción también suele ser dividido:

2.2.1 Fase Cromática: es el primer signo visible de la putrefacción y consiste en la aparición de una mancha verdosa, generalmente ubicada en la fosa ilíaca derecha, donde tiene lugar el inicio de la colonización bacteriana endógena, seguida de la visualización de la red venosa de la piel por la hemólisis, signo denominado veteado venoso, provocando la coloración corporal generalizada. El color, que de igual manera se presenta en los órganos internos, es producido por la degradación de los pigmentos orgánicos como la hemoglobina y la bilis, donde subproductos del metabolismo bacteriano, como el ácido sulfihídrico, se combinan con la hemoglobina, produciendo en este caso sulfohemoglobina y otros pigmentos verdes, responsables de la coloración característica (Peña et al., 2019, p. 26; Pérez Pérez, 2016, p. 23; Valenciano, 2018, p. 62; Ibargoyen, 2015, P. 57).

2.2.2 Fase Enfisematosa: representada por el inflamiento corporal debido a la acumulación de los gases derivados del metabolismo bacteriano por todo el tejido celular subcutáneo, lo que incrementa la presión interna del cadáver, desfigurándolo y pudiendo provocar la proyección de fluidos y algunos órganos, a la vez que se tornan prominentes las estructuras externas y se acentúan los signos cromáticos, en ocasiones también puede producir la ruptura de los tejidos al superar su elasticidad, causando el escape de los gases (Sánchez y Robledo, 2010, p. 336; Peña et al., 2019, p. 27; Pérez Pérez, 2016, p. 24). Marca el final de la "descomposición temprana" o activa (Fancher, 2015, p. 11).

2.2.3 Fase Colicuativa: ocurre la licuefacción de los tejidos blandos debido a la presión experimentada, la piel se desprende y se forman ampollas llenas de líquido, ocurre una reducción del volumen corporal y las estructuras tegumentarias tienden a desprenderse (Peña et al., 2019, p. 27; Pérez Pérez, 2016, p. 24). Estos cambios húmedos en que el cuerpo colapsa simultáneamente son referidos como "descomposición avanzada" (Fancher, 2015, p. 11, Gunn, 2009, p. 25) e implican que el oxígeno pueda acceder nuevamente al cuerpo o lo que queda de él, restableciendo el metabolismo aeróbico.

2.2.4 Fase Reductiva: la etapa más tardía, donde solo quedan los restos esqueléticos y los elementos más resistentes del cuerpo, como el tejido fibroso, los ligamentos, tendones, las uñas y el cabello (Gunn, 2009, . 28; Pérez Pérez, 2016, p. 24; Valenciano, 2018, p. 63). Puede extenderse por cuanto dure la descomposición ósea.

Entonces la descomposición, como un proceso inherente al cadáver e influenciado por factores bióticos y abióticos provenientes del entorno en el que se produzca, no significa simplemente la destrucción del cuerpo, sino la degradación de sus componentes en partes menos complejas y su reincorporación dentro del medio. Teóricamente, esto podría tener un impacto positivo y negativo, suministrando recursos nutricionales que acabarían por concentrarse en puntos específicos, cuyo efecto y duración en el tiempo podría variar según distintas condiciones.

Estos nutrientes se desprenden del cuerpo y son dispersados por el ecosistema en distintas formas: a la atmósfera como gases (compuestos orgánicos volátiles), en insectos y carroñeros al alimentarse de este, y licuados al suelo (lixiviados); las cuales, en el mejor de los casos, pueden resultar biodisponibles para ser absorbidas y aprovechadas por las planta y/u otros organismos del medio (Pawlett et al., 2024, p. 3; Taylor et al., 2023, p. 2).

Atendiendo a esta forma de liberación licuada, los productos son liberados al suelo como un flujo de materia orgánica, producido debido a la presión interna experimentada por los tejidos blandos, principalmente durante la etapa avanzada de putrefacción, resultando en puntos efímeros de concentración de nutrientes, que afectan al ciclo de nutrientes y a los microorganismos del suelo (Pawlett, 2024, p. 4; Szelecz et al., 2018). Este líquido forma lo que suele denominarse "isla de descomposición del cadáver" (CDI por sus siglas en inglés).

La misma puede describirse como un pulso altamente nutritivo y de intensa actividad biológica que se forma en el suelo por debajo y alrededor de un cuerpo en descomposición (Aitkenhead-Peterson et al. 2012, p. 1); compuesta por agua, minerales y otras moléculas orgánicas que provienen del cadáver, por lo que está directamente relacionada a este proceso y a la etapa en que se halle; sin embargo, durante el período fresco de la descomposición se la considera formada por el cadáver, el suelo cadavérico y las moscas que ovipositan en el cadáver (Carter et al., 2006; Carter y Tibbett, 2008; Szelecz et al., 2018). Otro aspecto asociado a las CDI, como describen Carter y Tibbett (2008), es la muerte de la vegetación circundante en las etapas tempranas de su formación, pudiendo perdurar por hasta 100 días, aunque este tiempo parece estar relacionado a la masa cadavérica inicial (p. 33,36).

Pero los estudios de campo que cuantifiquen la transferencia de nutrientes por medio del flujo de cadáveres en descomposición a otros organismos o al medio ambiente no son muy frecuentes (Barton et al., 2019, p. 4; Szelecz et al., 2018), por lo que los efectos medioambientales de este proceso han sido poco descritos, desconociéndose todavía cómo los múltiples elementos derivados de la descomposición pueden contribuir a la fertilidad del suelo (Pawlett et al. 2024, p. 2; Wenting et al., 2023, p. 6875). Aunque, dentro de la búsqueda por entender los procesos de degradación cadavérica, en algunas ocasiones se han llevado a cabo caracterizaciones de los cambios físicos y químicos ocurridos en terrenos expuestos a las CDI, obteniendo resultados similares en muchos aspectos, como asimismo se han observado diferencias significativas entre los efectos producidos, las que parecen responder a factores que valdría mencionar primero.

Entonces, se entiende que, cuando el proceso de la descomposición se realiza sin interrupciones, los patrones en que los compuestos bioquímicos son liberados al ambiente se muestran dependientes de distintos factores que podrían llegar a ser la causa de discrepancias entre los resultados.

Por un lado están los que resultan intrínsecos al cadáver, que determinan la velocidad de la descomposición y la concentración de los productos que llegarían a ser liberados, tales como la edad, el tamaño corporal, patologías, lesiones, alimentación y sustancias consumidas, el índice de masa corporal (Mason et al. 2022; Szelecz et al., 2018); además las proporciones de C, N y P en el cuerpo y el contenido de agua pueden fomentar la rápida degradación (Zychowski, 2021, p. 1).

También habría que considerar la región del cuerpo en descomposición que esté en contacto con la superficie de donde se toma la muestra (Silva-Bessa et al., 2022, p. 644), debido a la diferencia que existe en el ritmo de descomposición entere los distintos tejidos del organismo; igualmente, cuerpos con órganos y tejidos faltantes parecen tener menor impacto que un cuerpo completo, como se observa en los resultados de Aitkenhead-Peterson et al. (2012), empleando cadáveres humanos autopsiados y no autopsiados (pp. 2-5).

Del lado externo estarían la temperatura y la humedad, así como el tipo de suelo según sus propiedades, pH del mismo, la profundidad del entierro, el acceso de insectos y vertebrados carroñeros, actividad bacteriana y los materiales asociados al cuerpo, los cuales pueden afectar la biodisponbilidad de los minerales liberados (Cholewa et al., 2022; Parson, 2019; Pawlett et al., 2024, pp. 4-5; Tumer et al., 2013; Szelecz et al., 2018; Zychowski, 2021, p. 1). Además, se reporta que sus características biológicas, físicas y químicas cambian con el tiempo, en función de factores como la sucesión de comunidades de insectos, plantas y hongos, al igual que cambia también su extensión lateral (Carter y Tibbett, 2008). Todo esto hace que cada sitio de descomposición sea único y deba analizarse individualmente.

Taylor et al. (2023) registran que, a medida que los productos de la descomposición de cadáveres humanos se movían a través del suelo, los niveles de pH decrecían (5.8 - 6.4), mientras que la conductancia eléctrica (EC) aumentaba, manteniéndose ambos diferentes a lo largo del estudio (p. 7). Los mismos también agruparon los elementos según las características observadas; indicando para el primer grupo de Na, S, P y K un incremento temprano que permaneció elevado a lo largo del tiempo; de estos, mencionan que el Na mostró mayor aumento respecto a los otros, seguido del P, S, y K (p. 7). A su vez, el grupo formado por el Mn, Mg, Se, B y Ca mostró un incremento temprano (p. 8) y variaron en el tiempo luego de alcanzar un punto máximo (p. 9). Reportando finalmente que el tercer grupo, compuesto por el Fe, Co, Cu y Zn incrementaron su concentración en períodos posteriores, cuya mayor variación fue del Fe (p. 10).

En gran medida, estos resultados pueden compararse con otros experimentos en los que de igual modo usaron modelos humanos y encontrar coincidencias. Por ejemplo, Aitkenhead-Peterson et al. (2012) reportaron también un aumento de EC y reducción de pH (4.9 - 5.1) (p. 4); igualmente observaron un gran y generalizado aumento en las formas de nitrógeno orgánico disuelto (DON) y en las de N-amonio y N-nitrato, formando este último puntos de concentración; además de un incremento relativo en las cantidades de P-ortofosfato, con una alta dispersión lateral en la CDI; como aumentos de las formas catiónicas, como Ca^{2+}, K^{+}, Mg^{2+} y Na^{+} (p. 5). Parecido a esto, Fancher et al. (2017), a un PMI temprano, registraron que el N-nitrato, N-amonio y carbono inorgánico disuelto (DIC) alcanzaban valores máximos, reduciéndose a valores cercanos a los normales con el tiempo, mientras que otros, como el carbono orgánico disuelto (DOC), DON, p-ortofosfato, al igual que iones como Na^{+} y K^{+}, permanecieron elevados.

Mientras que DeBruyn et al. (2021) reportaron una acidificación del suelo (pH< 7) debajo de cadáveres humanos, perdurando a lo largo del experimento, y un aumento notable en la cantidad de amonio (p. 6); y señalan también un enriquecimiento del suelo con productos provenientes de la descomposición de proteínas, como la amonificación, además de haber identificado varios aminoácidos a lo largo de la descomposición (p. 8).

A los que podrían agregarse otros compuestos como alcanos, alcoholes y cetonas, según refieren documentalmente Martin et al. (2021). Por añadidura, se ha demostrado que los metabolitos provenientes de la asimilación previa de toxinas, drogas y otros fármacos del orden de los analgésicos, antidepresivos, cardiovasculares, antipsicóticos y benzodiazepinas y el tabaco, pueden ser transferidos del cuerpo al líquido de la descomposición y posteriormente al suelo, donde pueden ser detectados (Steadman et al., 2023, p. 19,20). Debido a su origen, estas sustancias químicas podrían resultar en configuraciones de las CDI únicas para los cadáveres humanos y distinguibles por distintos métodos (Brabazon et al., 2020, p. 948).

Llamativamente, Zychowski (2021) en un muestreo sobre los suelos de distintas composiciones que cubrían 18 fosas comunes originarias de la I y II Guerra Mundial en Polonia, para los elementos seleccionados Cu, Pb, Zn, S, Na, Ca, y P, encontró distintas concentraciones de estos elementos; siendo el P y Ca los más abundantes, cuya mayor proporción, junto al Na, estuvo ligada a una mayor cantidad de personas enterradas en un área relativamente pequeña. Mientras que relacionó las cantidades de Ca y P a etapas posteriores de la descomposición ósea, así como a cenizas y fragmentos de hueso no completamente incinerados cerca de crematorios. Por otro lado, asoció la presencia de metales pesados a kas posesiones con que fueron enterrados, así como a fragmentos de armamento y otros objetos metálicos. Por último se puede mencionar que todos los sitios presentaban niveles de pH que iban desde 5,96 a un máximo de 9,33.

En cuanto a su distribución y profundidad en el suelo, las CDI suelen presentar un radio aproximado de 3 m^2 (Brabazon et al., 2020; Mondragón et al., 2022), cuyo perímetro parece ser difícil de superar para los nutrientes (Perrault y Forbes, 2016), y donde los mismos fluyen con un paso horizontal y vertical (Silva-Bessa et al., 2022, p. 644), formando puntos de concentraciones diferentes según los mapeos realizados por Aitkenhead-Peterson et al. (2012); con lo que, al menos en períodos tempranos, habría disponibilidad de estos nutrientes en la superficie del suelo.

Ya que, Fancher et al. (2017), registraron los valores mencionados anteriormente con muestras superficiales; y Carter y Tibbett (2008) indican que, durante la etapa de restos secos de la descomposición, aún puede detectarse un aumento en las concentraciones de amonio, sulfato, P, K, Ca, Cl y Na a una profundidad de entre 3 y 5 cm de la superficie (p. 36), por otro lado, Zychowski (2021) indica haber muestreado a unos 20 cm de la superficie (p. 7).

Por último, otras caracterizaciones de la descomposición en que se han empleado modelos animales, debido a las restricciones o aspectos éticos que dificultan el uso de cadáveres humanos (DeBruyn et al., 2021, p. 2), sirven para complementar la limitada información que se tiene acerca de los efectos en la descomposición en el medio. Considerando que cada especie posee una composición única y no producen efectos idénticos al descomponerse; algo que incluso puede ocurrir entre modelos humanos, ya que, por ejemplo, Cobaugh et al. (2015) no observaron cambios significativos en el pH de suelos bajo la descomposición de cadáveres humanos (p. 6), mientras que DeBruyn et al. (2021) documentan que existen otros estudios donde se reportan incrementos en el pH del suelo (p. 2); entonces, se pueden considerar para entender el comportamiento que presentan algunos nutrientes y otros derivados de la descomposición en el suelo.

Dicho esto, para cadáveres de cerdos, Szelecz et al., (2018) registraron aumentos del pH del suelo en etapas tempranas de la descomposición, seguido de una caída de este valor en etapas posteriores; un gran aumento en las formas de nitrógeno, amonio y nitrato, de las cuales el amonio posteriormente regresó a los niveles basales, mientras que el nitrógeno permaneció elevado; además de un masivo incremento de las cantidades de fósforo biodisponible, alcanzando dos puntos altos para luego descender progresivamente, pero manteniéndose por encima de los valores normales; del mismo modo indican un aumento temprano de K^+. Al utilizar ratones como modelo, las mayores concentraciones, respecto a las de control, reportadas por Wenting et al. (2023) fueron de Mo, C, Ca, K y P; mientras que fueron menores las de Mg, Mn, Se, Se y Zn (p. 6876).

Se debe resaltar que todas las fluctuaciones revisadas en este título coinciden con los valores promedio de la composición corporal humana, por lo que dentro de los estudios de la descomposición cadavérica se atribuyen su origen a este proceso. La explicación de esto consiste desde el comienzo de la descomposición, se inicia la degradación enzimática de las moléculas complejas formadas a base de C, N y P; de las cuales el cuerpo humano contiene en abundancia, como proteínas, lípidos y carbohidratos, que luego son liberados progresivamente a medida que se exponen los tejidos (Szelecz, 2018), a esto se debe las distintas concentraciones a lo largo del tiempo, mientras que las reducciones podrían atribuirse a la absorción por parte de organismos circundantes o a la filtración de las moléculas no fijadas entre las capas del suelo.

Inhumaciones Clandestinas

Acerca de las formas en que el victimario se deshace de un cuerpo, Serrano (2012) distingue entre las acciones realizadas para acelerar la degradación del cuerpo y las destinadas a la ocultación de los restos humanos, esta última tendría lugar en lo que denomina "escena de abandono" (p. 9). Para estas, Price (2023) establece que las situaciones más frecuentes son las de su abandono en la superficie del suelo, entierro y sumersión en medio acuático, correspondiendo las dos primeras a ambientes terrestres; agrega también que esta liberación suele tener lugar más comúnmente en zonas exteriores, donde hay mayor oportunidad de ocultación a través del entorno, lo que reduce la probabilidad de que la víctima sea encontrada poco después de la muerte (p. 19).

Esta conducta de ocultar el cadáver se asocia con la intención de cubrir los rastros que puedan relacionar al delito y retrasar lo más posible su localización por parte de los cuerpos de investigación (Serrano, 2012, p. 10), pretendiendo que se degrade a restos casi imperceptibles superficialmente, puesto que la condición en que sea hallado dependerá del tiempo que tome hacerlo. Para esto, el autor tiende a elegir como sitio de liberación áreas que le permitan evitar la detección y llevar a cabo su crimen (Stevens, 2021, p. 44). Es destacable que estas medidas contraforense de ocultar o destruir la evidencia se atribuyen a un comportamiento organizado en la comisión sistemática de delitos, minimizando el riesgo de ser capturado (Serrano, 2012, p. 13; Price, 2023, p. 27).

Acorde a esto, la elección del sitio dependerá de las condiciones propias del sujeto activo, así como de las características de la víctima y el motivo del delito, pero, como indican Silván Cárdenas et al. (2019), también responde siempre a los criterios de privacidad y accesibilidad, llevando a lugares que permitan un transporte rápido y discreto de los restos que, en el caso de ambientes naturales, toma un papel importante la estructura del paisaje, definida principalmente por el terreno y la vegetación, siendo entonces las áreas boscosas una de las más frecuentes (p. 22). Con esto mismo igualmente coincide Serrano (2012), quien refiere una recurrencia a las zonas forestales y boscosas, seguidas de las zonas acuáticas (p. 12).

Entonces, las sepulturas clandestinas pueden ser comprendidas como lugares de liberación donde de forma ilegal y sin registro se depositan uno o más cuerpos o restos humanos a nivel profundo o superficial, con el objetivo de evitar o retrasar su descubrimiento (Lorusso, 2021, pp. 135,148; Price, 2023, p. 19). De acuerdo a Rodríguez (2015), las mismas pueden clasificarse, según la transferencia de su contenido de un lugar a otro luego de la primera inhumación, en primarias y secundarias; igualmente, según los espacios de tiempo entre sus intervenciones, en sincrónicas y diacrónicas (Ramirez, 2021), siendo las segundas cuando se depositan restos en diferentes eventos.

Otro dato importante acerca de las sepulturas es que, dadas las circunstancias bajo las que se presentan, suelen ser realizadas de manera apresurada y manual por el autor; resultando de poca profundidad al cavar apenas lo suficiente para ocultar el cuerpo (Stevens, 2021, p. 49) debido al desgaste que representa alcanzar capas profundas del suelo; llegando a oscilar entre 30 cm (Olivares Castro, 2016, p. 11) y 1 m de la superficie (Price, 2023, p. 19), este dato puede ser complementado por Hoffman et al. (2009), quienes, según datos del FBI, indican entre 1,5 a 2,5 pies (0,46-0,75 m) de profundidad para entierros típicos. Por otro lado, este trabajo manual también supondría una transferencia de rastros entre el autor, el cuerpo de la víctima y el sitio en cuestión.

Pese a las dificultades para localizarlas, junto al hecho de que cuanto más tiempo pasa se reduce la información acerca de cómo se produjo el enterramiento, cómo se ocultó el cuerpo o cualquier otra información relativa al autor o a la identidad de la víctima (Price, 2023, p. 20), además de los hallazgos accidentales, existen técnicas dedicadas a orientar su ubicación. La mayoría de estas se basan en detectar cambios físicos y/o químicos en el entorno y asociarlos con posibles alteraciones provocadas al enterrar un cuerpo y con los cambios ocurridos durante la descomposición cadavérica. Entre las más básicas, Silván Cárdenas et al. (2019) mencionan, en caso de México, la formación de grupos de búsqueda integrados por familiares de las personas desaparecidas y otros activistas que emplean métodos rudimentarios de exploración de campo (p. 21), mismos grupos referidos por Lorusso (2021) como "brigadas de búsqueda ciudadana" (p. 131).

Viniendo a ser del mismo modo frecuente el recurrir a testigos para obtener información contextual y cualquier otra forma de colaboración que pueda llevar al descubrimiento de los restos. A pesar de esto, en ocasiones pueden ser poco fiables e inexactos, o ausentarse al padecer temor a represalias, pudiendo incluso llevar conscientemente a los investigadores en al dirección equivocada, retrasando la investigación o provocando la pérdida de evidencia (Bartelink, et al., 2016, p. 273; Price, 2023, p. 18; Silván Cárdenas et al., 2019, p. 21).

Mientras que entre los métodos más objetivos destacan los tecnológicos; como los radares de penetración de superficie (Ramirez, 2021), los perfiles de resistividad, cámaras termográficas (Silván Cárdenas, 2019, p. 22), las fotografías aéreas, LIDAR (Price, 2023 pp. 40-41), entre otros; y los de búsqueda superficial; como los barridos de personas, la observación de la compacidad del subsuelo y los perros de búsqueda de cadáveres (Price, 2023, pp. 42-44).

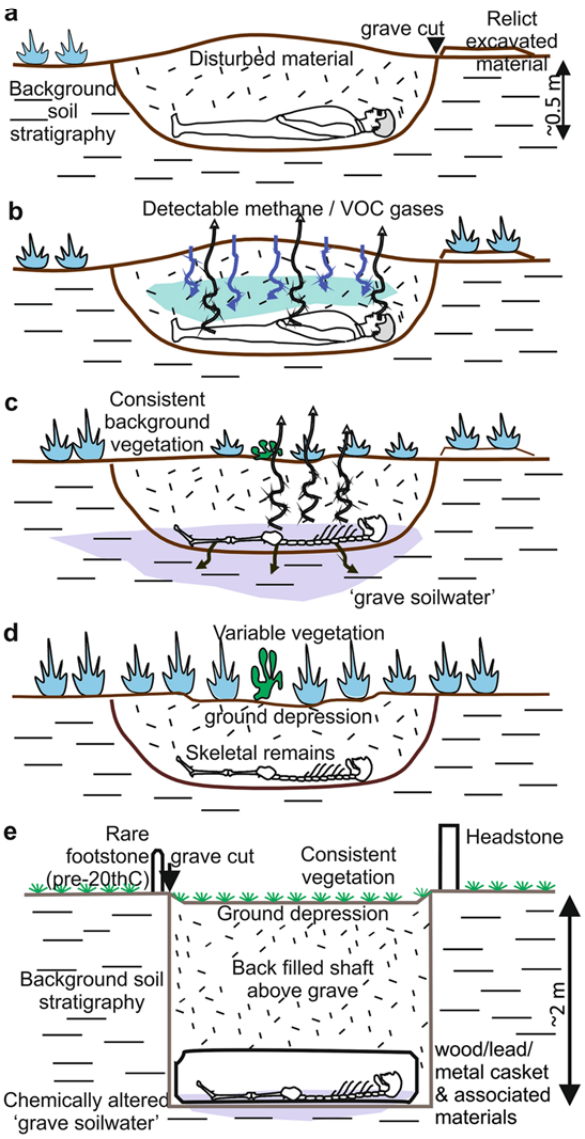
Las anteriores son algunas de las más comunes dentro de la bibliografía al respecto, aun así, presentan problemas, como una cobertura limitada en terrenos extensos y accidentados y el elevado costo que representan tanto para su adquisición como para los análisis de sus resultados, quedando reducidos solo a casos concretos (Brabazon et al., 2020, p. 947; Silván Cárdenas, 2019, p. 22), mientras que Ruotsala (2020) destaca que algunos de ellos, como el GPR o los

métodos espectrales, no son capaces de distinguir entre restos humanos o entre alteraciones producidas al enterrar un cuerpo de aquellas de otra naturaleza, pudiendo resultar en falsos positivos (pp. 7-8).

Por otro lado, los signos que se consideran durante la búsqueda de posibles sitios de sepultura consisten en las modificaciones morfogeológicas en la superficie, producidas al excavar el suelo, efectos en el paisaje que pueden ser detectados y diferenciados de las características del entorno no alterado (Bartelink et al. 2016, p. 278). Entre las perturbaciones tempranas observables se distingue la decoloración y los cambios en la textura y consistencia del suelo. Ello se debe a que al excavar y reintegrar la tierra se produce una mezcla de capas superficiales con profundas, lo que da una apariencia diferente en un parche específico del suelo (Robledo y Sánchez, 2010, p. 21; Ruotsala, 2020, p. 15). Algunas de las referidas modificaciones son ilustradas en la Figura 2.

Figura 2

Representación esquemática de los cambios producidos por y alrededor de entierros clandestinos



Nota. Figuras esquemáticas de una tumba clandestina típica de una víctima de homicidio que muestran la descomposición (a) recién depositada, (b) temprana, (c) tardía y (d) en fase de esqueleto con los respectivos indicadores/objetivos de la tumba. Estas figuras contrastan con (e) los enterramientos aislados en cementerios excavados en tierra, que tienen un estilo/profundidad muy diferentes, etc. Tomado de Pringle et al. (2020), "Geophysical Monitoring of Simulated Homicide Burrials for Forensic Investigations" [seguimiento geofísico de enterramientos simulados para investigaciones forenses]. Disponible en: doi.org10.1038s41598-020-64262-3

Al ser rellenado junto con un cuerpo, el mismo suelo puede adoptar forma cóncava o depresiva respecto a la del terreno circundante, que va acentuándose a medida que el cuerpo se descompone, además suele haber un exceso de tierra debido a la presencia del cuerpo, que ocupa el lugar donde esta debería haber estado (Stevens, 2021, p. 49). También se dan alteraciones o

desplazamientos de la vegetación que se encuentra por encima de la tumba, formando parches de tierra desnuda (Bartelink et al., 2016, p. 279) o, en ocasiones, la acumulación de materia vegetal en puntos específicos usada como cobertura (Price, 2023, p. 23).

Todas estas modificaciones resultan debido a que no hay formas de reproducir los detalles originales del suelo una vez que se ha modificado su estructura; igualmente, el grado en estos patrones se manifiestan está directamente relacionado con el tamaño del entierro y el número de cuerpos (Price, 2023, p. 28) y sus características y duración podrían variar dependiendo del tipo de suelo y las condiciones climáticas.

Además de estos cambios, Brabazon et al. (2020) proponen que las modificaciones en las características espectrales de los tejidos de las plantas o en la composición de las comunidades vegetales cercanas a las zonas de cadáveres podrían resultar en un señalizador ambiental de estos sitios, ya que estos cambios suelen asociarse al impacto de las CDI y los productos derivados de los cadáveres en descomposición (pp. 3-4, 6).

Bases Legales

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela (2009)

> Artículo 49. El debido proceso se aplicará a todas las actuaciones judiciales y administrativas; en consecuencia:
>
> 1. . . . Toda persona tiene derecho a ser notificada de los cargos por los cuales se le investiga, de acceder a las pruebas y de disponer del tiempo y de los medios adecuados para ejercer su defensa. Serán nulas las pruebas obtenidas mediante violación del debido proceso. . . .

2. Toda persona se presume inocente mientras no se pruebe lo contrario.

El artículo transcrito parcialmente indica el carácter general del debido proceso dentro de las actuaciones procesales, donde su cumplimiento determinará el valor probatorio, así como la admisibilidad de las pruebas obtenidas.

Ley Orgánica del Servicio de la Policía de Investigación, el Cuerpo de Investigaciones Científicas, Penales y Criminalísticas y el Instituto Nacional de Medicina y Ciencias Forenses (2012)

> Artículo 34. Se entenderá como investigación penal el conjunto de diligencias orientadas al descubrimiento y comprobación científica del delito, sus características, la identificación de sus autores, autoras, partícipes y víctimas, así como el aseguramiento de los objetos activos y pasivos.
>
> Corresponde al Ministerio Público ordenar y dirigir la investigación penal en los casos de perpetración de delitos, de conformidad con las competencias y atribuciones establecidas en la Constitución de la República de Venezuela, las leyes y reglamentos. . .
>
> Artículo 39. Los órganos y entes con competencia en materia de investigación penal y policial, están obligados a aplicar el procedimiento científico necesario para garantizar la cadena de custodia de las evidencias físicas, como modelo necesario dentro del desarrollo de la actividad criminalística. En consecuencia, emplearán con carácter obligatorio las normas establecidas a tal efecto por el Órgano Rector.

Los artículos referidos anteriormente indican la obligatoriedad de ejercer los procedimientos necesarios para la preservación de la evidencia física, existiendo un tratamiento adecuado para cada tipo de evidencia, que debe ser considerado por el referido Órgano Rector.

Código Orgánico Procesal Penal (2021)

Artículo 181. Los elementos de convicción sólo tendrán valor si han sido obtenidos por un medio lícito e incorporados al proceso conforme a las disposiciones de este Código.

Artículo 182. Salvo previsión expresa en contrario de la ley, se podrán probar todos los hechos y circunstancias de interés para la correcta solución del caso y por cualquier medio de prueba, incorporado conforme a las disposiciones de este Código y que no esté expresamente prohibido por la ley.

Un medio de prueba, para ser admitido, debe referirse, directa o indirectamente, al objeto de la investigación y ser útil para el descubrimiento de la verdad. . .

Al igual que en el primer artículo referido, por medio de los dos anteriores se puntualiza la potestad de las partes para hacer uso de cualquier medio de prueba válido para tal fin, al igual que la relación entre el valor probatorio de estos y el cumplimiento de un procedimiento para su obtención e incorporación.

Artículo 187. Todo funcionario o funcionaria que colecte evidencias físicas debe cumplir con la cadena de custodia, entendiéndose por ésta, la garantía legal que permite el manejo idóneo de las evidencias digitales, físicas o materiales, con el objeto de evitar su modificación, alteración o contaminación desde el momento de su ubicación en el sitio del suceso o lugar del hallazgo,su trayectoria por las distintas dependencias de investigaciones penales, criminalísticas y forenses, la consignación de los resultados a la autoridad competente, hasta la culminación del proceso.

> Los procedimientos generales y específicos, fundados en los principios básicos de la cadena de custodia de las evidencias físicas, estarán regulados por un manual de procedimiento único, de uso obligatorio para todas las instituciones policiales del territorio nacional, que practiquen entre sus labores, el resguardo, fijación fotográfica o por otro medio, colección, embalaje, etiquetaje, traslado, preservación, análisis, almacenaje y custodia de evidencias físicas, con la finalidad de mantener un criterio unificado de patrones criminalísticos.

El artículo anterior expresa la exigencia de cumplir con procedimientos estandarizados y específicos para el tratamiento de la evidencia, que garanticen la integridad probatoria de esta desde su colección hasta la culminación del proceso.

> Artículo 188. En cada órgano de investigación penal se destinará un área para el resguardo de las evidencias que se recaben durante las investigaciones penales llevadas por esos organismos, definido de conformidad con las especificaciones del Manual de Procedimientos en Materia de Cadena de Custodia de Evidencias.
>
> Las áreas de resguardo deberán estar debidamente acondicionadas, equipadas y dotadas de infraestructura, materiales consumibles, tecnología, seguridad y mantenimiento, necesarios para contener y conservar evidencias de origen biológico y no biológico hasta la culminación del proceso.

En este sentido, cada órgano de investigación penal debe contar con un área apta para el resguardo y conservación de elementos de origen biológico, como lo es el material botánico, de interés forense recuperado durante las investigaciones penales.

Artículo 223. El Ministerio Público realizará u ordenará la práctica de experticias cuando para el examen de una persona u objeto, o para descubrir o valorar un elemento de convicción, se requieran conocimiento o habilidades especiales en alguna ciencia, arte u oficio.

El artículo otorga al Ministerio Público, como director de la investigación, la potestad de realizar o solicitar la aplicación de conocimientos especiales para la valoración de elementos que los requieran.

Artículo 224. Los o las peritos deberán poseer título en la materia relativa al asunto sobre el cual dictaminarán, siempre que la ciencia, el arte u oficio estén reglamentados. En caso contrario, deberán designarse a personas de reconocida experiencia en la materia.

De acuerdo a lo señalado, al ser la botánica una ciencia establecida, implica como requisito que los peritos/expertos que intervengan en la investigación, en cuanto a lo que dictaminar sobre elementos de naturaleza botánica se refiera, deberán poseer título en esta materia para dar validez legal a sus aportes.

Artículo 225. El dictamen pericial deberá contener; de manera clara y precisa, el motivo por el cual se practica, la descripción de la persona o cosa que sea objeto del mismo, en el estado o del modo en que se halle, la relación detallada de los exámenes practicados, los resultados obtenidos y las conclusiones que se formulen respecto del peritaje realizado, conforme a los principios o reglas de su ciencia o arte.

El dictamen se presentará por escrito, firmado y sellado, sin perjuicio el informe oral en la audiencia.

Este artículo se refiere a la estructura y requisitos del dictamen pericial, a lo que puede sumarse los aspectos señalados por el Ministerio Público por considerarlos relevantes para la investigación.

Código de Procedimiento Civil (1990)

> Artículo 395. Son medios de prueba admisibles en juicio aquellos que determine el Código Civil, el presente Código y otras leyes de la República. Pueden también las partes valerse de cualquier otro medio de prueba no prohibido expresamente por la ley, y que consideren conducente a la demostración de sus pretensiones.

Esto se concatena con el artículo 182 del Código Orgánico Procesal Penal, referido anteriormente, junto con la Sentencia Nº 0968 (16 de julio de 2002) de la Sala Político-Administrativa del Tribunal Supremo de Justicia, de la cual se extrae:

> . . . el llamado sistema o principio de los medios de prueba es absolutamente incompatible con cualquier intención o tendencia restrictiva de admisibilidad del medio probatorio seleccionado por las partes, con excepción de aquellos legalmente prohibidos o que resulten inconducentes para la demostración de sus pretensiones, lo cual se deduce sin lugar a equívocos del texto consagrado en el artículo 395 del Código de Procedimiento Civil.

Lo anterior sirve para establecer que la evidencia botánica y, por consiguiente, los métodos derivados de ella expresados en el presente trabajo de grado, tendrían validez legal como medio probatorio, dado que para la fecha de su realización no existe ninguna prohibición respecto a ella. Así mismo, vale mencionar que tampoco existen regulaciones ni manuales para su aplicación legal.

Capítulo III
Marco Metodológico

En este capítulo se abordan las características que permiten ubicar al estudio dentro alguno de los niveles de clasificación dados a toda investigación científica, siendo esta un "proceso metódico y sistemático dirigido a la solución de problemas o preguntas científicas" (Arias, 2016), por lo que se constituye de una serie de procedimientos y métodos que llevan a la obtención de información confiable para la consecución de sus objetivos o propósitos, a la vez que aseguran la validez, confiabilidad y coherencia de los resultados obtenidos.

La presente investigación se configura como un análisis Bibliográfico o Documental, ubicado dentro del Nivel Descriptivo, donde, por medio de la percepción la de información proveniente de datos secundarios, se pretende describir los posibles efectos del proceso de descomposición cadavérica sobre el desarrollo de plantas vasculares, siendo su finalidad la de mejorar la comprensión acerca de esta interacción entre los organismos vegetales y los cadáveres en descomposición.

Tipo de Investigación

La investigación parte desde un enfoque cualitativo, donde una vez que se plantea el objeto de estudio el autor no está obligado a seguir un método predeterminado para la obtención y análisis de los datos, lo que resulta en métodos de procesamiento y acción indagatoria más flexibles, permitiendo un movimiento en ambos sentidos desde distintas etapas de la

investigación y la modificación de aspectos del diseño a medida que avanza la examinación literaria para desarrollar una teoría coherente que represente en mejor medida lo que se observa (Hernández Sampieri et al., 2014, pp. 7-9). Siendo este el más adecuado cuando el tema de la investigación ha sido poco explorado (Hernández Sampieri et al., 2014, p. 358).

Mientras que según el conocimiento del tema, el nivel de una investigación, como indica Arias (2016), hace referencia al "grado de profundidad con que se aborda un fenómeno u objeto de estudio" (p. 23); entendiendo que el nivel descriptivo es aquel en el que la investigación se dedica a la caracterización y descripción de uno o múltiples fenómeno, eventos o individuos, con el fin de conocer sus características (Arias, 2016, p. 24). Dentro del mismo, indica Bavaresco de Prieto (2013) se buscan asociaciones entre las variables de estudio en un marco teórico (p. 27).

A su vez, correspondiente al propósito de la investigación, la misma puede ser clasificada dentro de la investigación básica o pura, lo que denomina a las investigaciones que se originan dentro un marco teórico disponible y cuyo objetivo es incrementar los conocimientos científicos acerca de una determinada área sin centrarse en resolver problemas inmediatamente, estableciendo teorías o principios generales (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023, pp. 9736-9737).

Diseño de la Investigación

Según, Sabino (1992), el diseño de la investigación "proporciona un modelo de verificación que permita contrastar hechos con teorías, y su forma es la de una estrategia o plan general que determina las operaciones necesarias para hacerlo". Mientras que el origen de la información define el tipo de diseño de la investigación; así, en un diseño documental se cumple un proceso de búsqueda y recuperación de documentos que son el resultado de otras investigaciones, registradas principalmente en forma impresa, audiovisual y electrónica los

cuales han sido previamente elaborados y procesados por otros investigadores, recibiendo el nombre de “datos secundarios” (Arias, 2016, pp. 27-29; Morales, 2003, p. 2).

Por lo que con este tipo de diseño se generan nuevos conocimientos a partir de la conceptualización, reflexión, conclusión y criterio propio del autor sobre la información obtenida de las fuentes consultadas, como se plantea en el Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maestría (2016).

En cuanto al procedimiento, el diseño documental, según Maradiaga (2015), implica un proceso sistemático de recopilación, organización y análisis de información proveniente de diversas fuentes documentales. Morales (2003, p. 2) complementa esta idea al afirmar que el conocimiento en este enfoque se construye a partir de la lectura crítica, el análisis reflexivo y la interpretación de dichos documentos. Donde la lectura inicial permite identificar textos relevantes y pertinentes para el estudio (Morales, 2003, p. 2), lo que implica la recopilación de material publicado e inédito relacionado con el tema de investigación, algo que resulta

> Indispensable para la buena marcha de la investigación, pues sabiendo qué datos o ideas se han expuesto anteriormente sobre el tema, la manera en que han sido formulados y lo que han contribuido al esclarecimiento del problema, podrá el investigador partir de bases sólidas para perfeccionar su propio pensamiento y, además, evitar la repetición de ideas. (Maradiaga, 2015).

Mientras que la organización de la información consiste en la extracción de los aspectos más relevantes para el estudio a partir del material recopilado (Sabino, 1992). Esta labor puede realizarse mediante la elaboración de fichas bibliográficas o hemerográficas (Maradiaga, 2015), las cuales permiten organizar la información de acuerdo a su contenido y facilitar el manejo de datos e ideas. Una vez organizada y analizada la información, se procede a la interpretación de las conclusiones del estudio, prestando atención al esclarecimiento y respuesta de la problemática y preguntas planteadas en un principio (Sabino, 1992). Buscando, además, presentar las conclusiones, descubrimientos, comprobaciones o reflexiones alcanzadas a partir

del proceso de investigación documental de forma clara y minuciosa, ejerciendo la sustentación argumentativa cuando sea necesario (Maradiaga, 2015).

Técnicas e Instrumentos de Acopio y Procesamiento de la Información

De acuerdo a Arias (2016), las técnicas son las acciones realizadas para obtener la información, en cambio, los instrumentos consisten en "cualquier recurso, dispositivo o formato, que se utiliza para poder obtener, registrar y almacenar la información" (p. 68). Correspondiendo con Sabino (1992), quien plantea que los instrumentos para la recolección de datos son "cualquier recurso de que se vale el investigador para acercarse a los fenómenos y extraer de ellos información."

Ya que la investigación documental, como bien lo menciona Sabino (1992), se basa en el análisis de datos secundarios, aquellos que ya han sido recolectados y procesados por otros investigadores, y dada la amplia variedad de estos datos, vale establecer una clasificación que facilite su organización y comprensión. En este sentido, Maradiaga (2015) propone una distinción clara entre dos tipos principales:

- Documentos Primarios: "son aquellos documentos originales, que proporcionan datos de primera mano", siendo ejemplos de estos los libros, las publicaciones periódicas, informes de organismos internacionales, tesis y monografías, normas, entre otras.
- Documentos Secundarios: "proporcionan datos sobre cómo y dónde hallar documentos primarios, es decir, dónde encontrar información." ejemplificando estos con los resúmenes bibliográficos o de revistas, repertorios y directorios, pies de página, entre otros.

Empleando en el presente estudio documentos escritos principalmente de tipo primario, los cuales fueron recopilados en formatos electrónicos, obtenidos por medio de distintas fuentes digitales de información documental a las cuales se accedió por medio del Internet (Maradiaga,

2015; Sabino, 1992). Mientras que para la extracción de los datos necesarios, en la presente investigación se emplearon "técnicas documentales", explicadas por Berenguera et al. (2014) de la siguiente forma:

> Las técnicas documentales consisten en la identificación, recogida y análisis de documentos relacionados con el hecho o contexto estudiado. En este caso, la información no nos la dan las personas investigadas directamente, sino a través de sus trabajos escritos, gráficos, etc. Y es a través de estas que pretendemos compartir sus significados. (p. 126).

Entonces, para la selección de los documentos escritos con el contenido más adecuado, según pertinencia e idoneidad, para responder a las preguntas de la investigación, se emplearon técnicas documentales como la lectura reflexiva y crítica, utilizadas por el autor para "sentar su posición frente al texto valorándolo o refutándolo, para expresar su acuerdo o desacuerdo sobre las afirmaciones hechas en el texto" (Maradiaga, 2015); y el subrayado, útil para "destacar mediante trazos las ideas esenciales y palabras clave de un texto, lo que ayuda a memorizar y facilita el repaso de una lección; pues, con solo un vistazo se pueden observar las ideas fundamentales del texto" (Maradiaga, 2015).

Por otro lado, luego de la recopilación de la investigación, como bien lo señala Sabino (1992), la simple acumulación de datos no conduce por sí sola a conclusiones relevantes. La información recopilada debe ser sometida a un proceso riguroso de análisis que permita extraer patrones, tendencias y significados relevantes para la investigación. Este proceso, también conocido como "procesamiento de datos", es crucial para alcanzar los objetivos de la investigación y responder a las preguntas planteadas al inicio e implica "el examen detallado y sistemático de documentos o materiales, con el propósito de identificar patrones temáticos y tendencias" (Vizcaíno Zúñiga et al., 2023, p. 9735).

En este sentido, para poder realizar este procesamiento de los datos estos deben ser ordenados y clasificados de manera que faciliten su comprensión y posterior análisis, para lo que se procedió a emplear como instrumento de acopio y organización la ficha de contenido hemerográfico, con el objetivo de agrupar la información según los puntos de la investigación. Consistiendo estas en instrumentos de registro que permiten organizar y sistematizar la información extraída de artículos de revistas y periódicos, donde se almacenan los datos esenciales de cada artículo, facilitando su consulta y análisis posterior (Maradiaga, 2015).

Por ende, se puede entender entonces que el procesamiento de la información, como refiere Sabino, consiste en la operación de tratamiento o análisis documental, lo que "representa la información de un documento en un registro estructurado, reduce todos los datos descriptivos físicos y de contenido en un esquema inequívoco", habiendo una "transformación de los documentos originales en otros secundarios, instrumentos de trabajo, identificativos de los primeros y gracias a los cuales se hace posible tanto la recuperación de éstos como su difusión" (Castillo, 2005, p. 2). Siendo en este caso esos documentos secundarios lo que resulta al introducir la información de interés en las fichas de contenido hemerográfico, lo que posibilita la recuperación de esta sin tener que recurrir al contenido original cada vez.

Fases del Diseño

El procedimiento seguido para cumplir con los objetivos propuestos ha consistido primero en la identificación y análisis de las fuentes documentales, concernientes al tema en cuestión, existente y disponible en distintos formatos. Esto se realizó por medio de la búsqueda de palabras clave dentro de bases de datos digitales dedicadas a la publicación regular de estudios científicos y académicos, tales como Elsevier, PubMed, ScienceDirect y ResearchGate. Seguido de la filtración de los resultados de acuerdo a su título y resumen, o índice según el tipo de material.

De este primer paso se logró extraer las fuentes de información necesarias para el desarrollo teórico de cada variable por separado, junto al reconocimiento de los estudios previos que se han dedicado a abordar temas similares al de la presente investigación, como es la descripción de los efectos de la descomposición cadavérica sobre el desarrollo de organismos vegetales vasculares.

Para cumplir el primer objetivo específico, el cual consistió en "identificar los requisitos nutricionales promedio de las plantas vasculares y el impacto de un suministro mineral excesivo y prolongado"; siendo la variable central los requisitos nutricionales de las plantas vasculares, se analizaron las fuentes que abordaran temas concernientes de manera general o específica para cada nutriente de interés, para responder a esta interrogante. Resultando en la información necesaria para identificar los requisitos nutricionales básicos de las plantas y el papel de estos en dichos organismos, los cuales se presentan en la Taba 2. A partir de esto, se dio paso a la identificación de los factores que pueden influir en la disponibilidad de tales nutrientes en el suelo y el posterior impacto de la disminución o aumento de estos en el medio de crecimiento de las plantas.

Continuando con el segundo objetivo específico, definido como "caracterizar la composición elemental del cuerpo humano, su descomposición y las repercusiones ambientales de este proceso". Relacionando directamente dos variables, como son la composición y la descomposición del cuerpo humano. Al igual que con el objetivo específico anterior, se realizó una revisión analítica y selección de una serie de fuentes para responder a esto. Llevando a la producción de la Tabla 4, la cual indica los principales componentes minerales del cuerpo humano y su distribución en el mismo. Utilizando estos resultados para corroborar la información obtenida de otras fuentes documentales acerca del proceso de la descomposición cadavérica y los efectos que este mismo puede tener en el ecosistema donde se lleva a cabo.

En cuanto al tercer objetivo específico de la presente investigación, "describir los posibles efectos de la descomposición cadavérica sobre las plantas vasculares en condiciones normales", se contrastó la información obtenida de los objetivos anteriores, buscando identificar cómo los derivados de la descomposición cadavérica pueden ser factores influyentes en la disponibilidad de nutrientes en un ecosistema terrestre y por lo tanto producir efectos descriptibles sobre las plantas del entorno circundante. Para lo que se tomaron como referencias principales, pero no limitativas, los resultados experimentales presentados por Wenting et al. (2023), van Klink et al. (2020) y Barton et al. (2016).

Capítulo IV
Análisis Y Discusión De Los Resultados

A partir del análisis documental de los datos recopilados y presentados a lo largo de los capítulos previos, para dar respuesta a los objetivos de la investigación, se exponen en este capítulo los resultados obtenidos, organizados en torno a cada uno de los objetivos de investigación planteados, brindando respuestas concretas y fundamentadas a las preguntas que guiaron este estudio.

Requisitos Nutricionales de las Plantas: Deficiencias y Excesos

El punto de partida del presente análisis es la respuesta al primer objetivo específico, centrado en los requisitos nutricionales de las plantas vasculares, las cuales, para su desarrollo completo, requieren de al menos 17 minerales esenciales. Estos nutrientes, absorbidos del suelo en su forma iónica disuelta en agua (Margulis y Sagan, 2008), son indispensables para el correcto funcionamiento metabólico de las plantas y se clasifican en macronutrientes y micronutrientes según las cantidades requeridas (Jones y Olson-Rutz, 2016), cada uno de los cuales desempeña un papel específico en la fisiología vegetal.

Así, tanto la deficiencia prolongada como el exceso de estos minerales pueden ocasionar daños funcionales graves, incluso la muerte de la planta. Si bien las plantas pueden almacenar ciertos minerales en las vacuolas para compensar futuras deficiencias (Maathuis, 2009), la absorción continua de minerales puede alterar el equilibrio iónico interno, impidiendo la fijación de iones antagonistas y generando deficiencias de estos últimos (Al Meselmani, 2023). De igual

manera, el exceso de nutrientes no esenciales puede tener efectos adversos al superar los niveles de tolerancia de las plantas, los cuales varían según la especie. Además, algunos elementos, como Al, As, Cd y Pb, resultan ecotóxicos y pueden generar daños considerables aun en concentraciones menores (Wenting et al., 2023).

Por su parte, la carencia de uno o más nutrientes esenciales afecta negativamente el desarrollo de las funciones fisiológicas de las plantas, manifestándose en síntomas externos visibles (de Bang et al., 2021). Estos síntomas generales se agrupan en cinco categorías principales (McCauley et al., 2011):

- Retraso del crecimiento: la planta presenta un crecimiento lento o estancado, con tallos y hojas más pequeñas de lo normal.
- Clorosis: las hojas se vuelven amarillas debido a la disminución de clorofila, pigmento esencial para la fotosíntesis.
- Clorosis intervenal: la coloración amarilla se concentra entre las venas de las hojas, mientras que las venas permanecen verdes.
- Coloración rojo/púrpura: las hojas, tallos o frutos adquieren un tono rojizo o púrpura debido a la acumulación de antocianinas, pigmentos que actúan como protectores ante el estrés.
- Necrosis: las células vegetales mueren, ocasionando manchas marrones o negras en hojas, tallos o frutos.

Dinámica del pH y Disponibilidad de Nutrientes

Tras identificar los nutrientes esenciales y sus efectos en las plantas, se analizaron los factores que pueden alterar la composición mineral del suelo, el medio de crecimiento habitual. Encontrando que, entre los factores abióticos, el tipo de suelo, la conductancia eléctrica, el pH y otros, son influyentes en la disponibilidad mineral de los suelos a lo largo del tiempo (Maathuis,

2009; Al Meselmani, 2023). Dando especial atención al pH, que debido a su rapidez para verse afectado, en comparación con otros factores más generales, se puede indicar que en el suelo este juega un papel crucial en la biodisponibilidad de los nutrientes.

Esto se debe a que la concentración de iones de hidrógeno (H^+) y de hidróxido (OH^-) puede afectar significativamente la dinámica de los nutrientes en el suelo. Provocando el desplazamiento de minerales esenciales hacia capas profundas del suelo, donde quedan fuera del alcance de las raíces de las plantas (McCauley et al., 2017), traduciéndose esto en una potencial deficiencia mineral. Además, variaciones en el pH incluso pueden afectar la actividad microbiana, necesaria para, por ejemplo, la fijación de nutrientes esenciales como el N_2 atmosférico y en la mineralización de otros compuestos orgánicos nitrogenados, convirtiéndolos en formas iónicas asimilables por las plantas (Guzmán Duchen y Montero Torres, 2021; McCauley et al., 2017).

Por lo tanto, se encontró que el pH del suelo no es un factor estático, sino que se ve afectado por diversos agentes, como la presencia catiónica. Así, entre los cationes que promueven la acidez del suelo se encuentran el hidrógeno (H^+), el aluminio (Al^{3+}), el hierro (Fe^{2+} o Fe^{3+}) y el amonio (NH_4^+). Por otro lado, cationes como el calcio (Ca^{2+}), el magnesio (Mg^{2+}), el sodio (Na^+) y el potasio (K^+), contribuyen a la basicidad del suelo (McCauley et al. 2017, p. 2; Wang et al., 2022).

De modo que, para la relación entre el pH del suelo y la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas, puede indicarse como ejemplo, y según señalan McCauley et al. (2017, p. 3), que la disponibilidad de macronutrientes como el N, K, Mg y Ca es mayor en un rango de pH entre 6,5 y 8. En cambio, micronutrientes como el B, Cu, Fe, Mn, Ni y Zn presentan mayor disponibilidad en un rango de pH entre 5 y 7. Así como la actividad microbiana resulta ser mayor cerca de condiciones neutrales de pH, reduciéndose cuando los niveles caen por debajo de

5 (McCauley et al., 2017, p. 4). Merece la atención otro micronutriente vegetal, el molibdeno, cuya concentración solo es mayor en suelos básicos y neutros (Zalamea y Zalamea, 2020c).

Es relevante resaltar que McCauley et al. (2017) también indican que en suelos con pH inferior a 5,5, la concentración de micronutrientes como el manganeso (Mn) y el aluminio (Al) puede alcanzar niveles tóxicos para las plantas (p. 3).

Caracterización de la Composición y Descomposición del Cuerpo Humano

En respuesta al segundo objetivo específico, se halló que el cuerpo humano, al igual que cualquier organismo vivo, está compuesto por una serie de elementos minerales esenciales que permiten su correcto funcionamiento. Estos elementos, también clasificados según su abundancia relativa (Carbajal, 2017), constituyen aproximadamente un 5 % de la composición molecular y se distribuyen de manera variable entre los diferentes órganos y tejidos, cumpliendo funciones específicas en cada uno de ellos. Registrando también que, en promedio, la composición molecular se completa con un 64 % agua, 20 % proteína, 10 % grasa y 1 % carbohidratos (Latham, 2002; Carbajal, 2017). A todo esto puede sumarse las comunidades de microorganismos que alberga cada cuerpo (Pawlett, et al., 2024).

Mientras que la descomposición consiste en un proceso continuo con etapas superpuestas (Szelecz et al., 2018), el cual sigue un patrón sigmoidal (Carter y Tibbet, 2008) e implica la degradación secuencial de la materia orgánica que constituía al cuerpo en vida, liberando sus componentes al medio ambiente a través de diversos mecanismos; considerando principalmente la de materia licuada, durante la formación de una Isla de Descomposición Cadavérica (CDI) altamente nutritiva y de intensa actividad biológica en el suelo por debajo y alrededor de un cuerpo en descomposición (Aitkenhead-Peterson et al. 2012; Carter y Tibbett, 2008).

La velocidad de este proceso, así como el nivel de impacto que tendría en el entorno, dependen de la concurrencia de una amplia serie de factores, tanto intrínsecos como extrínsecos al cuerpo, tales como la edad, masa corporal, la naturaleza de las sustancias consumidas, la región del cuerpo en descomposición, el contenido de agua, la temperatura y humedad ambiental, el tipo de suelo, la profundidad del entierro, el acceso de insectos y vertebrados carroñeros, la actividad bacteriana, entre otras (Cholewa et al., 2021; Mason et al., 2022; Parson, 2019; Pawlett et al., 2024; Szelcz et al., 2018; Tumer e al., 2018; Zychowski, 2021;).

Considerando esto, entre los efectos del proceso de descomposición de cadáveres humanos, principalmente se han registrado patrones generales en los cambios fisicoquímicos que se producen en el suelo como resultado de dicho proceso. Estos cambios incluyen la alteración de los valores de pH, comúnmente de reducción (Aitkenhead-Peterson et al., 2012; DeBruyn et al., 2021; Taylor et al., 2023); y la conductancia eléctrica, pudiendo haber un aumento por parte de esta (Aitkenhead-Peterson et al., 2012; Taylor et al., 2023); así como modificaciones (mayormente de incremento) en las concentraciones minerales (Aitkenhead-Peterson et al., 2012; DeBruyn et al., 2021; Fancher et al., 2017; Taylor et al., 2023) y la acumulación de otros metabolitos provenientes del organismo en descomposición (DeBruyn et al., 2021; Martin et al., 2021; Steadman et al., 2023).

Sin embargo, al analizar en profundidad estos cambios fisicoquímicos en los sitios de descomposición cadavérica, se distinguen discrepancias en algunos resultados, particularmente en lo que respecta al pH. Donde, así como los autores mencionados anteriormente reportan una disminución en el pH durante la descomposición, otros, como Cobaugh et al. (2015) y DeBruyn et al. (2021), en estudios diferentes, indicaron que los niveles de pH pueden no verse afectados o incluso aumentar.

Para comprender estas discrepancias, resultaría fundamental identificar los iones que promueven la formación de medios ácidos y básicos, algunos de ellos ya mencionados. Donde la liberación de aquellos como el amonio (NH_4^+) pueden ser factores determinantes en la acidificación del suelo. De hecho, el aumento de los niveles de este recurso fue indicado en los estudios donde hubo una reducción del pH, especialmente en los resultados de DeBruyn et al. (2021). Mientras que en los casos donde el pH no disminuye o incluso aumenta, sería necesario considerar la relación entre el amonio, y otros iones acidificantes, con aquellos promotores de medios básicos (como el calcio, magnesio, potasio, entre otros), tomando en cuenta sus concentraciones y su interacción con las características del suelo en cuestión.

Caracterización del Impacto Ecológico de la Descomposición Cadavérica Mediante Modelos Animales

Atendiendo al tercer objetivo específico, respecto a la falta de estudios que exploren la relación entre la descomposición de cadáveres humanos y la vegetación a escala de ecosistema, investigaciones realizadas por otros autores han demostrado efectos directos sobre las comunidades vegetales al evaluar la descomposición de cadáveres de vertebrados en condiciones experimentales, cuyos resultados se consideran primero.

Por un lado, Wenting et al. (2023) investigaron el impacto del filtrado de líquido proveniente de la descomposición de ratones (*Mus musculus*) en el crecimiento de plantas de maíz (*F1 Zea Maize*). Para ello, se diseñaron un experimento de laboratorio donde dejaron filtrar el líquido de descomposición sobre muestras de sustrato inicialmente pobre en minerales y posteriormente cultivaron plantas de maíz durante 44 días en estos sustratos. La actividad de los carroñeros fue excluida para controlar la fuente de la fuga.

Los resultados del estudio revelaron que el filtrado de líquido de descomposición de ratones aumentó la concentración de al menos 13 elementos esenciales (no ecotóxicos) en los suelos. Este aumento en la concentración de nutrientes esenciales condujo a un notable crecimiento de las plantas de maíz, superando hasta nueve veces el crecimiento observado en suelos sin el filtrado. Es importante mencionar que este efecto positivo en el crecimiento no se pudo atribuir a la concentración de un elemento en particular. Proporcionando evidencia sólida de que la descomposición de la carroña, en este caso de ratones, puede mejorar significativamente el crecimiento de las plantas mediante la liberación de una amplia gama de elementos esenciales al suelo.

En cambio, van Klink et al. (2020) investigaron los cambios en la biodiversidad de plantas y artrópodos asociados a la descomposición de cadáveres de ciervo común (*Cervus elaphus*). En el estudio, que se llevó a cabo durante un período de cinco meses, evaluaron los cambios en la abundancia y diversidad de estas comunidades en los sitios de descomposición y en áreas de control sin cadáveres.

Resultando en que, durante la etapa activa de descomposición, los investigadores observaron un aumento en la abundancia de especies asociadas a la carroña en los sitios de descomposición. Sin embargo, no detectaron incrementos significativos en la abundancia de depredadores o detritívoros. Cinco meses después, a una descomposición casi completa, la biomasa vegetal en los sitios de descomposición era cinco veces mayor que en las áreas de control. Además, la calidad nutricional de las plantas, medida por la relación C:N, también resultó ser más alta en estas áreas. Estos cambios en la vegetación se asociaron con un aumento en la abundancia y diversidad de artrópodos, incluyendo herbívoros, depredadores y detritívoros.

Revelando también una compleja red de interacciones entre los diferentes grupos tróficos en los sitios de descomposición. Mostrando una relación positiva entre la abundancia de herbívoros y detritívoros y la biomasa vegetal, lo que sugiere que la mayor disponibilidad de

recursos vegetales favoreció el crecimiento de estas poblaciones. Además, la abundancia de depredadores fue correlacionada positivamente con la de herbívoros y detritívoros, indicando un efecto en cascada en la cadena alimentaria.

Los resultados de su estudio demuestran que la descomposición de cadáveres, incluso en ecosistemas naturalmente ricos en nutrientes, puede tener un impacto significativo a corto y largo plazo en las comunidades de plantas y artrópodos. Lo que resalta la importancia de considerar la descomposición cadavérica como un proceso ecológico que puede influir en la estructura y función de los ecosistemas.

Por su parte, Barton et al. (2016) investigaron los efectos a largo plazo de la descomposición de cadáveres de canguros (*Macropus giganteus*) en la comunidad vegetal y la química del suelo durante un período de cinco años. Los resultados de su estudio revelaron un aumento significativo en la concentración de fósforo en el suelo debajo de los cadáveres, alcanzando hasta ocho veces la concentración en áreas sin cadáveres. Este hallazgo sugiere que la descomposición de cadáveres puede alterar la composición química del suelo, aumentando la disponibilidad de nutrientes esenciales para las plantas.

Si bien la riqueza total de especies de plantas no mostró diferencias significativas entre los sitios con y sin cadáveres, observaron cambios en la proporción de especies anuales y perennes, así como en la de especies nativas y exóticas. Cuando los sitios de control tenían mayor abundancia de perennes que de anuales, los sitios con cadáveres mostraron una proporción similar de ambos tipos. De manera similar, cuando los sitios de control tenían mayor riqueza de especies nativas que exóticas, los sitios con cadáveres mostraron una riqueza similar de cada tipo.

Otro aspecto notable del estudio fue la mayor presencia de especies de plantas exóticas (80 % de los cadáveres), anuales y herbáceas en los sitios con cadáveres. Este cambio en la composición de la comunidad vegetal sugiere que los efectos en la disponibilidad de nutrientes provenientes de la descomposición cadavérica pueden favorecer la variación en la configuración de las plantas dominantes, alterando la estructura de la comunidad vegetal de un ecosistema a largo plazo.

No se puede pasar por alto que los estudios revisados se basan en la descomposición de cadáveres de animales herbívoros, cuya composición metabólica y corporal difiere significativamente de la de un humano. Esta distinción es crucial, ya que la descomposición cadavérica también puede verse influenciada por diversos factores, como el estilo de vida, las condiciones de la muerte del individuo y otros, que pueden influir en la composición química del cuerpo y, por lo tanto, en el proceso de descomposición. Esto hace que incluso existan variaciones intraespecíficas en la descomposición cadavérica humana.

Descripción de los Efectos de la Descomposición Cadavérica en la Fisiología y Morfología de Plantas Vasculares

Continuando entonces con el tercer objetivo específico, la descomposición cadavérica genera transformaciones en la composición química del suelo a través de dos mecanismos principales: la materia corporal licuada y los subproductos de los carroñeros (van Klink et al., 2020). Resultando como uno de los efectos más notorios en las primeras etapas de la descomposición de cadáveres humanos el impacto negativo que la isla de descomposición cadavérica (CDI) puede tener sobre la vegetación cercana (Brabazon et al., 2020, p. 947), llegando incluso a causar su muerte (Carter y Tibbett, 2008). Si bien la dinámica de las CDI no ha sido muy explorada y la causa exacta de la muerte vegetal puede aún desconocerse, Carter y Tibbett (2008) hipotetizan que este efecto negativo puede deberse a la lixiviación de fluidos cadavéricos y asfixia vegetal.

Siendo que la repentina exposición a altas concentraciones de nutrientes liberados durante la descomposición podría provocar este efecto negativo temprano en las plantas. Igualmente las perturbaciones mecánicas como la deposición del cuerpo sobre el suelo o la vegetación, así como las alteraciones del terreno en caso de entierro, podrían dañar las raíces y estructuras vegetales. Como también el hecho de que la descomposición cadavérica puede modificar, entre otros factores, el pH del suelo, lo que podría afectar la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales para las plantas o perturbar las comunidades de microorganismos necesarios para la fijación de otros.

A pesar de que las fuentes analizadas anteriormente no reportan tales daños a la vegetación durante la descomposición cadavérica, es importante considerar posibles explicaciones para esta ausencia de efectos negativos tempranos: en el caso de Wenting et al. (2023), puede deberse a que la descomposición de ratones, al ser de menor tamaño, libere una menor cantidad de nutrientes, insuficientes para generar este impacto negativo. Asimismo el lapso entre la descomposición y el cultivo de las plantas podría haber permitido la estabilización de los nutrientes en el sustrato a través de la lixiviación. Sustrato que al ser inicialmente pobre en nutrientes, es posible que, incluso con la liberación de nutrientes durante la descomposición, las concentraciones finales no alcanzaran niveles perjudiciales para las plantas a partir de los fluidos liberados por la descomposición de estos pequeños mamíferos.

Ya para los estudios de van Klink et al. (2020) y Barton et al. (2016), que evaluaron los efectos de la descomposición cadavérica durante períodos de 5 meses y 5 años, respectivamente, es posible que el tiempo transcurrido entre los muestreos haya permitido una regulación de las concentraciones nutricionales en los suelos tratados, pasando a reportar solo efectos tardíos. Sin embargo, es importante destacar que, incluso con esta regulación, las concentraciones de nutrientes en los sitios con descomposición cadavérica permanecieron diferentes a las condiciones previas al tratamiento.

Mientras que en etapas posteriores de la descomposición, podrían describirse efectos a largo plazo, vinculados al aumento de la vegetación alrededor de las CDI, como lo reportan Carter y Tibbett (2008), al igual que dentro de las CDI, según Cholewa et al. (2022). Concordando con los resultados positivos para el desarrollo vegetal descritos por van Klink et al. (2020) y los de Wenting et al (2023).

Esto al menos para casos en que la descomposición se produce en la superficie del suelo; pues, Cholewa et al. (2022) y Ruotsala (2020, p. 18) refieren que Caccianiga et al. (2012) no reportaron cambios en la dinámica de la vegetación de sitios donde enterraron cadáveres de cerdo. Podría indicar esto que el impacto de la descomposición cadavérica en la vegetación se ve afectado por la profundidad del entierro (Kasprzyk, 2023, p. 265), la cual influye en la disponibilidad de nutrientes para las raíces de las plantas. Ya que la lixiviación, proceso por el cual los nutrientes se disuelven y se mueven a través del suelo, tiende generalmente a un movimiento vertical (Silva-Bessa et al., 2022). Entonces, cuando los cadáveres son enterrados, los nutrientes liberados durante la descomposición pueden quedar concentrados en capas más profundas del suelo, fuera del alcance de las raíces de muchas plantas.

Si bien los estudios coinciden en los efectos positivos a largo plazo de la descomposición cadavérica en la vegetación, Cholewa et al. (2022) mencionan que se desconocen los agentes responsables del crecimiento mejorado de las plantas en las CDI. Aunque debería considerase los cambios en las concentraciones de nutrientes esenciales, producidos por la descomposición cadavérica, que pueden permanecer en la química del suelo durante un tiempo considerable. Como demostraron en su estudio Barton et al. (2016), reportando un aumento significativo en la concentración de fósforo en el suelo debajo de los cadáveres incluso después de 5 años. Este hallazgo sugiere que la descomposición cadavérica puede alterar la disponibilidad de nutrientes a largo plazo, con implicaciones para la comunidad vegetal y los procesos ecológicos en el ecosistema.

Por otro lado, van Klink et al. (2020) destacan la presencia de una amplia diversidad de artrópodos asociados a los sitios de carroña, incluyendo especies oportunistas, depredadoras e incluso algunas inesperadas como mariposas, abejas melíferas y otros insectos verdaderos (p. 2). Esto lleva a suponer que entre las comunidades de insectos, atraídos por la carroña o por las plantas más nutritivas de estos sitios, podrían participar especies polinizadoras, dispersoras de semillas y otros agentes con diferentes roles, contribuyendo a la reproducción de las plantas en las CDI, la recolonización y contribuir en los cambios en la configuración vegetal de estas áreas.

Entonces, a partir de los resultados obtenidos de los análisis anteriores, es posible establecer aproximaciones generales en cuanto a los efectos observables en la vegetación producidos por la descomposición cadavérica. De modo que los efectos tempranos sobre esta podrían incluir:

- Daño por intoxicación/deficiencia: las altas concentraciones de nutrientes alcanzadas en las CDI pueden alterar el metabolismo normal de las plantas, especialmente debido a las relaciones de antagonismo entre la mayoría de los minerales liberados durante este proceso.
- Muerte de la vegetación: parece ser común que la exposición a estas altas concentraciones de nutrientes cause la muerte de las plantas en un área limitada alrededor de las CDI.
- Reproducción de la silueta corporal: la deposición de un cuerpo sobre la vegetación puede generar la decaída de las plantas que se encuentran por debajo de esta, reproduciendo el mecanismo de producción, tal como indica Gunn (2009, p. 325).

Mientras que a largo plazo, los estudios revisados sugieren que la descomposición cadavérica puede tener efectos en las comunidades vegetales, especialmente en lo que respecta a la recolonización de los sitios afectados, pudiendo haber un cambio en los grupos dominantes y la modificación de la biomasa vegetal, producto de las modificaciones en las propiedades del suelo y un mejor suministro de nutrientes, al igual que de calor y agua provenientes del cadáver (Ruotsala, 2020, p. 17), en puntos específicos del terreno, lo que puede beneficiar o suprimir el desarrollo vegetal de un grupo u otro (Price, 2023, p. 24).

Aun cuando la descomposición cadavérica, como destacan los estudios previos, llega a aportar beneficios a largo plazo para la vegetación, también conlleva riesgos potenciales. Puesto que la liberación de minerales ecotóxicos (Wenting et al., 2020) al suelo durante este proceso puede afectar negativamente la salud y el crecimiento de las plantas tras absorberlos.

Aunque la literatura previa no reporta esta interacción negativa; lo cual en el caso de Wenting et al. (2020) podría atribuirse nuevamente al tamaño de los modelos animales empleados (ratones). DeBruyn et al. (2021), por otro lado, hallaron derivados de moléculas orgánicas complejas (como aminoácidos) en las CDI. Más aún, Steadman et al. (2023) demostraron la transferencia de metabolitos de drogas, medicamentos y otras sustancias previamente asimiladas desde cadáveres humanos a las CDI, el suelo y artrópodos necrófagos. Resultando relevante, pues esta transferencia, dependiendo de la concentración, también podría ocasionar cambios a largo plazo en las plantas, negativos en este caso y de tiempo variable.

Por tanto a esto, además de los cambios morfológicos y de ensamblaje, desde la posición actual del conocimiento acerca del tema, puede establecerse que la descomposición cadavérica es capaz de generar otros efectos a largo plazo en las plantas. Incluyendo cambios en las firmas de reflectancia hiperespectral, propuestas por Brabazon et al. (2020), ya que la absorción de metabolitos, aminoácidos y otras moléculas del cadáver en descomposición, por parte de las hojas, induce anomalías a nivel celular, generando diferencias espectrales detectables (pp. 6-7). Pero minerales específicos, como el nitrógeno, un componente esencial de la clorofila, también pueden provocar cambios cuantificables en el color y la reflectancia de estos tejidos (Stewart, 2020).

Todos estos cambios resultarían útiles para detectar posibles sitios de descomposición cadavérica; en tanto que para distinguir entre cadáveres humanos de aquellos de animales

silvestres, Stewart (2020) sugiere que los metabolitos específicos de la especie humana, ausentes en la dieta de otros animales, podrían resultar como los indicadores para lograr esta diferenciación. Mientras que si se habla de concentraciones minerales distinguibles, elementos como el fósforo (P) podrían ser clave, ya que, como se ha registrado, este puede perdurar por muchos años en el suelo y tal vez en las plantas; refiriendo Zychowski (2021) que el 80 % del fósforo no se lixivia del suelo y que su concentración en el mismo dependerá no del tiempo sino del uso de la tierra (p. 13).

Capítulo V
Conclusiones Y Recomendaciones

Conclusiones

En principio, el análisis documental que ha llevado al cumplimiento del primer objetivo específico ha servido para identificar los requisitos nutricionales básicos de los organismos vegetales, así como los efectos que estos padecerían en situaciones de deficiencia o exceso de los mismos en el medio de crecimiento. Concluyendo que los nutrientes minerales, requeridos por las plantas vasculares en forma iónica, implican una relación de equilibrio en el suelo, que puede romperse y conducir al aumento negativo de unos y la riesgosa disminución de otros, traduciéndose esto en signos morfológicos y fisiológicos asociables a esta alteración por parte de la planta.

Igualmente, se consideraron los factores que pueden influir en la disponibilidad de dichos nutrientes esenciales en el suelo, encontrando que la variación en las unidades de pH del medio es un determinante directo en la dinámica de estos, así como de igual modo está relacionado al nivel de actividad bacteriana, necesaria por las plantas en muchos casos para asegurar la disponibilidad de ciertos nutrientes esenciales en sus formas asimilables. Cobrando relevancia en cuanto al contexto de la investigación se refiere, puesto que, por medio del segundo objetivo específico, se determinó que uno de los efectos producidos por la descomposición cadavérica va dirigido a la modificación del grado de acidez o basicidad de la solución del suelo en que ocurre este proceso. Esto vendría a ser información indicativa de la posible capacidad de la descomposición cadavérica para producir cambios en las poblaciones vegetales, principalmente mediante efectos nutricionales.

No obstante, el segundo objetivo específico no se limitó a la obtención de lo referido anteriormente, sino que también sirvió para caracterizar la composición elemental del cuerpo humano y lo que ocurre con estos elementos durante la descomposición. Encontrando que el cuerpo humano se compone de una serie de nutrientes que pueden ser contrastados con los requeridos por las plantas, distinguiéndose que la principal diferencia es la cantidad necesaria de cada uno de ellos por ambos tipos de organismos.

De igual modo, por medio de este objetivo se halló que durante la descomposición cadavérica son liberados al medio en distintas concentraciones muchos de estos nutrientes en las formas iónicas que los organismos vegetales requieren. Lo que permitió establecer que la liberación de nutrientes específicos durante el proceso de descomposición, en el mejor de los casos, puede actuar como un fertilizante natural, favoreciendo a largo plazo el crecimiento y desarrollo de las plantas circundantes de forma distinguible.

Todo lo anterior permitió posteriormente el desarrollo de una descripción de los posibles efectos de la descomposición cadavérica sobre las plantas vasculares en cumplimiento del tercer objetivo específico de la presente investigación, resultado presentado en el capítulo IV de esta.

Los resultados la concluida investigación documental servirían para el posterior complemento de los conocimientos que se tienen acerca de cómo el proceso de la descomposición cadavérica puede impactar en los distintos niveles tróficos, corroborando la naturaleza cíclica de los limitados recursos naturales y la dinámica de los nutrientes dentro de los ecosistemas, involucrando no solo organismos descomponedores, sino también a las plantas, que pueden aprovechar los recursos proporcionados por la descomposición.

Mientras que en el contexto forense, la comprensión del impacto de la descomposición en los ecosistemas y los organismos vegetales puede ayudar a los investigadores a desarrollar técnicas de rastreo más efectivas, así como complementar las ya existentes. Pudiendo dejar de pensarse en las zonas boscosas y forestales, o a aquellas con una abundante vegetación, como un obstáculo para la investigación y una ventaja en el ocultamiento de víctimas de crímenes violentos por parte de los autores de estos, pasando a ser consideradas como una herramienta para la detección de dichos sitios. Del mismo modo, la información puede ser útil en otros aspectos de interés forense, como la estimación del tiempo de muerte, la causa de muerte y la reconstrucción de los eventos que rodearon el fallecimiento.

Recomendaciones

Considerando que los resultados descritos conceptualmente en el presente trabajo, por medio de la relación e interpretación de las conclusiones provenientes de investigaciones con modelos animales, podrían no reflejar con total precisión los efectos de la descomposición de cadáveres humanos en situaciones reales, dadas las características únicas de cada CDI y la variedad que factores que pueden afectar la descomposición de un cadáver y, por lo tanto, a la escala de los recursos derivados de este proceso; aun así, estos resultados podrían permitir la identificación de las variables más relevantes a considerar en futuras investigaciones, preferiblemente experimentales. Necesarias de realizar para poder ampliar tanto los conocimientos de la botánica forense como las técnicas dedicada a la búsqueda de cadáveres en entornos naturales, donde, como se ha establecido, la botánica podría constituirse de gran valor dentro de las investigaciones.

Con lo que, a pesar de las dificultades e implicaciones éticas que obligan a emplear otros modelos biológicos diferentes al humano para el estudio de la descomposición, se hace necesario el tomar en cuenta cadáveres humanos para realizar estos estudios, dadas las diferencias

metabólicas vinculadas a la descomposición de estos con respecto a la de otros animales, lo que podría llevar a interpretaciones distintas en cuanto a sus efectos en las plantas.

Entre otros factores, la caracterización previa del modelo cadavérico con respecto a sus condiciones nutricionales y composición física; las características del ambiente en que se lleva a cabo la descomposición, puesto que los factores climáticos, como por ejemplo las precipitaciones, podrían influir en el flujo de las CDI; igualmente, el tipo de vegetación predominante antes del estudio; los ciclos de crecimiento; las comunidades de microorganismos asociados a estas, debido a que está demostrado que la descomposición cadavérica también les afecta; serían algunas consideraciones a tomar en futuros diseños experimentales.

Referencias

Abrol, V. (2024). Forensic Science: Revealing the Clues. En Hakan, D. K. (Ed.), *Unlocking the Mysteries of Death - New Perspectives for Post-mortem Examination* (cp. 11). IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.1000429

Aitkenhead-Peterson, J. A., Owings, C. G., Alexander, M. B., Larison, N., y Bytheway, J. A. (2012). Mapping the Lateral Extent of Human Cadaver Decomposition with Soil Chemistry. *Forensic science international*, 216(1-3), 127-134.

Al Meselmani, M. A. (2023). Nutrient Solution for Hydroponics. En Turan, M., Argin, S., Yildirim, E., y Güneş, A. (Eds.), *Recent Research and Advances in Soilless Culture* (cp. 2). IntechOpen. doi: 10.5772/intechopen.101604

Álvarez, A. M., y Carrel, M. P. (2010). Estudio Pericial de Suelos. En Anadón, M. y Robledo, M. (Eds.), *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses Aplicadas a la Investigación Criminal* (pp. 218-241). Madrid: Editorial Tébar.

Aquila, I., Ausania, F., Di Nunzio, C., Serra, A., Boca, S., Capelli, A., Magni, P. Y Ricci, P. (2014). The Role Of Forensic Botany in Crime Scene Investigation: Case Report and Review of Literature. *Journal of Forensic Sciences*, 59(3), 820-824.

Arias, F. (2016). *El Proyecto de Investigación*. (7° ed.) Caracas Epísteme.

Arias, F. G. (2017). Obsolescencia de las Referencias Citadas: Un Mito Académico Persistente en la Investigación Universitaria Venezolana. *E-Ciencias de la Información*, 7(1), 1-15.

Ayón, M. R. (2019). El Rol de la Biología en las Ciencias Forenses. En Ayón, M. R. (Ed.), *Biología Forense* (pp. 9-10). Opera Lilloana 54 (2019).

Bajerlein, D., Wojterska, M., Grewling, Ł., y Kokociński, M. (2015). Forensic Botany: Current State of Knowledge and Possible Applications in Investigative Practice. *Issues of Forensics Science*, 283, 72-83.

Bar-On, Y. M., Phillips, R., Milo, R. (2018). The Biomass Distribution on Earth. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 115(25): 6506–6511.

Barros, F. D., Kuhnen, B., Serra, M. D. C., y Fernandes, C. M. D. S. (2021). Ciencias Forenses: Principios Éticos y Sesgos. *Revista Bioética*, 29, 55-65.

Bartelink, E. J., Milligan, C. F., y Colls, C. S. (2016). The Role of Forensic Archaeology in Missing Persons Investigations. En Morewitz, S. J., y Colls, C. S. (Eds.), *Handbook of Missing Persons* (pp. 271-294). Switzerland: Springer International Publishing.

Barton, P. S., McIntyre, S., Evans, M. J., Bump, J. K., Cunningham, S. A., y Manning, A. D. (2016). Substantial Long□Term Effects of Carcass Addition on Soil and Plants in a Grassy Eucalypt Woodland. *Ecosphere*, 7(10), e01537.

Barton, P. S., Strong, C., Evans, M. J., Higgins, A., y Quaggiotto, M. M. (2019). Nutrient and moisture transfer to insect consumers and soil during vertebrate decomposition. *Food Webs*, 18, e00110.

Bates, R. (2013). *Reconstruction & Re-enactment*. [Archivo de Video]. Introduction to Forensic Science, Nanyang Technological University, Singapore. https://www.coursera.org/lecture/forensic-science/week-1-9-reconstruction-re-enactment-BnwzJ?utm_source=link&utm_medium=page_share&utm_content=vlp&utm_campaign=top_button

Bates, R. (2013). *Basic Ideas in Forensic Science*. [Archivo de Video]. Introduction to Forensic Science, Nanyang Technological University, Singapore. https://www.coursera.org/lecture/forensic-science/week-1-1-basic-ideas-in-forensic-science-j14YL?utm_source=link&utm_medium=page_share&utm_content=vlp&utm_campaign=top_button

Bavaresco de Prieto, A. (2013). *Proceso Metodológico en la Investigación (Cómo hacer un diseño en la investigación)*. (6ta ed.). Maracaibo - Venezuela: Imprenta Internacional C.A.

Benckiser, R. (s.f.). Introduction to Body Chemistry. En *Challenging Medicines: Body Chemistry Resources*. RSC. Recuperado de https://edu.rsc.org/download?ac=12785

Bloch, E. (2001). Hemlock Poisoning and the Death of Socrates: Did Plato Tell the Truth?. *Journal of the International Plato Society*, 1.

Boi, M. Y Capó, M. (2010). Palinología y Entomología Forense. En Anadón, M. y Robledo, M. (Eds.), *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses Aplicadas a la Investigación Criminal* (pp. 242-263). Madrid: Editorial Tébar.

Brabazon, H., DeBruyn, J. M., Lenaghan, S. C., Li, F., Mundorff, A. Z., Steadman, D. W., y Stewart, C. N. (2020). Plants to Remotely Detect Human Decomposition?. *Trends in Plant Science*, 25(10), 947-949.

Breglia, G. (2016). *Palinologia Forense una Ciencia que se Abre Paso en la Investigación Criminal*. Curso de Capacitación en Ciencias Forenses. Universidad Nacional de La Plata. Cipolletti–Rio Negro. Págs, 1-13. doi: 10.13140/RG.2.1.3780.7769

Caccianiga, M., Caccia, G., Mazzarelli, D., Salsarola, D., Poppa, P., Gaudio, D., Cappella, A., Franceschetti, L., Tambuzzi, S., Maggioni, L., y Cattaneo, C. (2021). Common and Much Less Common Scenarios in which Botany is Crucial for Forensic Pathologist and Anthropologists: a Series of Eight Case Studies, *International Journal of Legal Medicine*, 135, 1067-1077.

Carbajal A. (2017). Minerales. En *Manual de Nutrición y Dietética*. Universidad Complutense de Madrid. 2013. Recuperado de https://www.ucm.es/nutricioncarbajal/manual-de-nutricion

Carter, D. O., y Tibbett, M. (2008). Cadaver Decomposition and Soil: Processes. En Carter, D. O., y Tibbett, M. (Eds.), *Soil Analysis in Forensic Taphonomy: Chemical and Biological Effects of Buried Human Remains* (pp. 29-52). CRC Press.

Castellano, E. (2003). Herbarios y Jardines Botánicos. En: Aguilera, M., Azócar, A., y González-Jiménez, E. (Eds.), *Biodiversidad en Venezuela*, Tomo II. Caracas, Venezuela, Fundación Polar - Ministerio de Ciencia y Tecnología - FONACIT, 2003, pp. 944-957. https://bibliofep.fundacionempresaspolar.org/media/17058/libro_bio_t2_054.pdf

Castillo, L. (2005). *Análisis Documental*. [Archivo PDF] Recuperado de https://www.uv.es/macas/T5.pdf

Chandra, R., Sharma, V., (2014). Forensic Botany: An Emerging Discipline of Plant Sciences. *Indian Botanists Blog-o-Journal*, 1-8.

Cholewa, M., Bonar, M., y Kadej, M. (2022). Can Plants Indicate Where a Corpse is Buried? Effects of Buried Animal Tissues on Plant Chemistry: Preliminary Study. *Forensic Science International*, 333, 111208.

Cobaugh, K. L., Schaeffer, S. M., DeBruyn, J. M. (2015). Functional and Structural Succession of Soil Microbial Communities below Decomposing Human Cadavers. *PLOS ONE* 10(6): e0130201.

Código Orgánico Procesal Penal [COPP]. Gaceta Oficial Nº6.664. 17 de septiembre de 2021. Artículos 181, 1821, 187, 188, 223, 224 y 225. Septiembre (Venezuela).

Comisión Nacional de Búsqueda (CNB). Registro Nacional de Personas Desaparecidas y No Localizadas. Secretaría de Gobernación. Recuperado en marzo del 2024 de https://versionpublicarnpdno.segob.gob.mx/Dashboard/ContextoGeneral

Constitución de la República Bolivariana de Venezuela [CRBC] Enmienda Nº1. Artículo 49. 15 de febrero de 2009 (Venezuela).

Coyle, C. H. (2005). Basic Plant Biology. En *Fornesic Botany: Principles and Applications to Criminal Casework* (pp. 9-28). CRC Press.

Crisci, J. V., Apodaca, M. J., y Katinas, L. (2019). El fin de la Botánica. *Revista del Museo de la Plata*, 4(1). pp. 41-50.

de Bang, T. C., Husted, S., Laursen, K. H., Persson, D. P., y Schjoerring, J. K. (2021). The Molecular–Physiological Functions of Mineral Macronutrients and Their Consequences for Deficiency Symptoms in Plants. *New Phytologist*, 229(5), 2446-2469.

de Gandarias, J. M. (2009). *Nutrición : Minerales y Oligoelementos*. Real Academia de Medicina del País Vasco.

de Jesus Santos Santos, A. C., y Montenegro, A. (2023). O papel da Biologia Forense na Resolução de Crimes de Grande Repercussão no Brasil e no Mundo: Uma Revisão. *Revista Brasileira De Criminalística*, 12(2), 12–20.

DeBruyn, J. M., Hoeland, K. M., Taylor, L. S., Stevens, J. D., Moats, M. A., Bandopadhyay, S., Dearth, S. P., Castro, H. F., Hewitt, K. K., Campagna, S. R., Dautartas, A. M., Vidoli, G. M., Mundorff, A. Z., y Steadman, D. W. (2021). Comparative Decomposition of Humans and Pigs: Soil Biogeochemistry, Microbial Activity and Metabolomic Profiles. *Front. Microbiol.* 11:608856.

Decreto Nº 9.045 de 2012 [con fuerza de ley orgánica]. Ley Orgánica del Servicio de Policía de Investigación, el Cuerpo de Investigaciones Científicas Penales y Criminalísticas y el Servicio de Medicina y Ciencias Forenses. 15 de junio de 2012. Gaceta Oficial Nº6.079.

Diaz, C. E., Guilcaso, A. V., Ortega, H. S., Zambrano, C. V., Perrazo, J. G., Cobeña, K. F., Pérez, M. Ñ., y Carrasco, Á. M. (2020). La Entomología Forense en Latinoamérica. *Archivos Venezolanos de Farmacología y Terapéutica*, 39(1), 29-34.

Dormontt, E., Boner, M., Braun, B., Breulmann, G., Degen, B., Espinoza, E.O., Gardner, S., Guillery, P., Hermanson, J.C., Koch, G., Lee, S.L., Kanashiro, M., Rimbawanto, A., Thomas, D., Wiedenhoeft, A.C., Yin, Y., Zahnen, J., y Lowe, A.J. (2015). Forensic Timber Identification: It's Time to Integrate Disciplines to Combat Illegal Logging. *Biological Conservation*, 191, 790-798.

Drivet, L. (2023). Del Árbol Sagrado a la "Ceguera de las Plantas". *Papeles del Centro*; 17; 27; 12-2023; 1-15. doi: http://dx.doi.org/10.14409/pc.2023.27.e0041

Dubey, N. K., Dwivedy, A. K., Chaudhari, A. K., y Das, S. (2018). Common Toxic Plants and Their Forensic Significance. En *Natural Products and Drug Discovery* (pp. 349-374). Elsevier.

Ellis, S. D. K. (2002). Witch-hunting in central Madagascar 1828-1861. *Past & Present*, (175), Oxford, (175), 90-123.

Fancher, J. P. (2015). *Evaluation of Soil Chemistry in Human Decomposition Sites* [Disertación Doctoral]. Texas State University.

Fancher, J. P., Aitkenhead-Peterson, J. A., Farris, T., Mix, K., Schwab, A. P., Wescott, D. J., Hamilton, M. D. (2017). An Evaluation of Soil Chemistry in Human Cadaver Decomposition Islands: Potential for Estimating Postmortem Interval (PMI). *Forensic Sci Int*. 2017 Oct;279:130-139.

Federal Bureau of Investigation, National Crime Information Center. (2022). *Estadísticas de Personas Desaparecidas y Personas no Identificadas* [Archivo PDF]. Recuperado de https://www.fbi.gov/file-repository/2022-ncic-missing-person-and-unidentified-person statistics.pdf/view

Fiscalía General de la República Bolivariana de Venezuela. (2012). *Manual Único de Procedimientos en Materia de Cadena de Custodia de Evidencias Físicas*. Caracas, Venezuela.

Fiscalía General de la República Bolivariana de Venezuela y Ministerio del Poder Popular para Relaciones Interiores, Justicia y Paz. (2017). *Manual Único de Cadena de Custodia de Evidencias Físicas*. Caracas, Venezuela.

Gaceta Oficial Nº4.209, Extraordinario. Ley de Reforma Parcial del Código de Procedimiento Civil. 18 de septiembre de 1990.

García, A. Á., y Carril, E. P. U. (2011). Metabolismo Secundario de Plantas. *Reduca (biología)*, 2(3).

Geberth, V.J. (2006). *Practical Homicide Investigation: Tactics, Procedures, and Forensic Techniques*, Fourth Edition (4th ed.). CRC Press.

Gil Ortiz, S. (2021). *Efectos de la Salinidad en Plantas Glicófitas* [Tesis de Grado, Universidad de Jaén. Biología Animal, Biología Vegetal y Ecología]. https://hdl.handle.net/10953.1/14417

Graham, S. (2006). Crime-Solving Plants. The Botanical Society of America: The Society for ALL Plant Biologists. *Plant Science Bulletin*, 52, 3.

Graham, S. A. (1997). Anatomy of the Lindbergh kidnapping. *Journal of forensic sciences*, 42(3), 368-377.

Gunn, A. (2009). *Essential Forensic Biology*, Second Edition. Wiley-Blackwell.

Gutiérrez Chávez, Á. (1999). *Manual de Ciencias Forenses y Criminalística*. México : Trillas, 1999. https://www.academia.edu/download/54912319/3970_antrop_forense_asoc_a_esc_crimen_aidde_chavez_r.pdf

Guzmán Duchen, D., y Montero Torres, J. (2021). Interacción de Bacterias y Plantas en la Fijación del Nitrógeno. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, 8(2), 87-101.

Guzmán, C. A. (2000). *Manual de Criminalística*. Ediciones La Rocca, Argentina.

Hamalton, T. (2017). *Timber Forensics*. 4(10). 11-13. Tropical Forest Research Institute, Jabalpur, MP, India.

Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C. y Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación* (6ª ed.). México: McGraw-Hill Interamericana Editores S.A. .

Hoffman, E. M., Curran, A. M., Dulgerian, N., Stockham, R. A., y Eckenrode, B. A. (2009). Characterization of the Volatile Organic Compounds Present in the Headspace of Decomposing Human Remains. *Forensic Science International*, 186(1-3), 6-13.

Hokche, O. (2020). Diversidad Florística de Venezuela: Situación General. En Huérfano, A., Fedón, I., y Mostaccero, J. (Eds.), *Libro Rojo de la Flora Venezolana*. Segunda Edición. Instituto Experimental Jarín Botánico Dr. Tobías Lasser.

Ibargoyen, G. S. (2015). *Cambios Post Mortem Generales*. Cátedra de Patología General, Anatomía y Fisiología Patológicas. Fac. Cs. Veterinarias, U.N. Rosario. 42-63. https://www.produccion-animal.com.ar/veterinaria_forense/15-cambiospm.pdf

Jones, C. Y Olson-Rutz, K. (2016). *Plant Nutrition and Soil Fertility* [Archivo PDF]. Recuperado de https://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/4449-2.pdf

Kasprzyk, I. (2023). Forensic Botany: Who?, How?, Where?, When?. *Science & Justice*, 63(2), 258-275.

Keane, K. W. (1972). Mineral Nutrition in Humans. *HortScience*, 7(2), 145-147.

Kirkby, E., y Mengel, K. (2000). *Principios de Nutrición Vegetal* (Traducido por Melgar, J. R. y Gallud, R. M.). Intemational Potash Institute Schneidergasse. (Obra original publicada en 1987).

Latham, M. C. (2002). Nutrición Humana en el Mundo en Desarrollo. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Colección FAO: Alimentación y nutrición No 29. Roma, 2002. https://www.fao.org/4/w0073s/w0073s00.htm

Li, S. X., Wang, Z. H., y Stewart, B. A. (2013). Responses of Crop Plants to Ammonium and Nitrate N. *Advances in agronomy*, 118, 205-397.

Lindorf, H. (2018). La Botánica en Venezuela. sus Comienzos y Evolución - Botany in Venezuela. Its Beginnings and Evolution. *Acta Botanica Venezuelica*, 41(1), 123–167.

Lorusso, F. (2021). Una Discusión Sobre el Concepto de Fosa Clandestina y el Contexto Mexicano. El caso de Guanajuato. *Historia y grafía*, (56), 129-170.

Lustre Sánchez, H. (2022). Los Superpoderes de las Plantas: los Metabolitos Secundarios en su Adaptación y Defensa. *Revista digital universitaria*, 23(2).

Lynne, M. A., Vaughn, B. M Jr., y Mildenhall, D. C. (2005). Forensic Palinology. En Coyle, C. H. (Ed.), *Fornesic Botany: Principles and Applications to Criminal Casework* (pp. 217-252). CRC Press.

Maathuis, F. J. (2009). Physiological Functions of Mineral Macronutrients. *Current opinion in plant biology*, 12(3), 250-258.

Maathuis, F. J. (2014). Sodium in Plants: Perception, Signalling, and Regulation of Sodium Fluxes. *Journal of experimental botany*, 65(3), 849-858.

Maia, J. T. L. S., Martinez, H. E. P., Clemente, J. M., Ventrella, M. C., y Milagres, C. D. C. (2019). Growth, nutrient concentration, nutrient accumulation and visual symptoms of nutrient deficiencies in cherry tomato plants. *Semina: Ciências Agrárias*. 40(2), 585-598. doi: 10.5433/1679-0359.2019v40n2p585

Malhotra, H., Vandana, Sharma, S., y Pandey, R. (2018). Phosphorus Nutrition: Plant Growth in Response to Deficiency and Excess. *Plant Nutrients and Abiotic Stress Tolerance*, 171-190.

Maradiaga, J. R. (2015). *Técnicas de investigación documental*. UNAN-FAREM Matagalpa, Matagalpa, Nicaragua, 131. Recuperado de http://repositorio.unan.edu.ni/12168/1/100795.pdf

Margiotta, G., Bacaro, G., Carnevali, E., Severini, S., Bacci, M., y Gabbrielli, M. (2015). Forensic Botany as a Useful Tool in the Crime Scene: Report of a Case. *Journal of Forensic and Legal Medicine*, 34, 24-28.

Margulis, L., y Sagan, D. (2008). El Proceso de Nutrición en las Plantas. *Fundamentos de Fisiología Vegetal*, 242-258.

Martin, C., Maesen, P., Minchilli, D., Francis F., y Verheggen, F. (2021). Forensic Taphonomy: Characterization of the Gravesoil Chemistry Using a Multivariate Approach Combining Chemical and Volatile Analyses. *Forensic Sci Int*. 2021 Jan;318:110569.

Martínez, O. (2019). La Botánica y su Aplicación en las Ciencias Forenses. En Ayón, M. R. (Ed.), *Biología Forense* (pp. 52-61). Opera Lilloana 54 (2019).

Martínez-Sánchez, M., Fernández, S., y Carrión, J. (2008). Palinología y Escenario Forense. Un Caso de Estudio del Sureste de España. *Anales de Biología*, (30), 43–54. https://revistas.um.es/analesbio/article/view/54181

Mason, A. R., McKee-Zech, H. S., Hoeland, K. M., Davis, M. C., Campagna, S. R., Steadman, D. W., DeBruyn, J. M. (2022). Body Mass Index (BMI) Impacts Soil Chemical and Microbial Response to Human Decomposition. *Msphere*, 7(5), e00325-22.

McCauley, A., Jones, C. and Jacobsen, J. (2011). Plant Nutrient Functions and Deficiency and Toxicity Symptoms [Archivo PDF]. Recuperado de http://landresources.montana.edu/nm/documents/NM9.pdf

McCauley, A., Jones, C. y Olson-Rutz, K. (2017). *Soil pH and Organic Matter* [Archivo PDF]. Recuperado de https://store.msuextension.org/publications/AgandNaturalResources/4449-8.pdf

Miller, T., y Jones, P. (2014) Crime Scene investigation. En James, S. H., Nordby, J. J., Bell, S. (Eds.), *Forensic Science: an Introduction to Scientific and Investigative Techniques* (pp. 41-66). Fourth Edition. CRC Press.

Mondragón, A. J. A., Díaz, F. L., Reyes, J. R., y Silván Cárdenas, J. L. (Junio 30, 2022). *Hallazgos de Fosas Clandestinas: uso de Análisis Geoespacial para la Búsqueda de Personas Desaparecidas en Baja California, México*. Evidence Lab. https://citizenevidence.org/2022/06/30/hallazgos-de-fosas-clandestinas-uso-de-analisis-geoespacial-para-la-busqueda-de-personas-desaparecidas-en-baja-california-mexico/

Morales, O. A. (2003). Fundamentos de la Investigación Documental y la Monografía. En Espinoza, N. y Rincón, A. (Eds.), *Manual para la Elaboración y Presentación de la Monografía* (pp. 1-14). Mérida, Venezuela: Universidad de Los Andes.

Nails, D. (2009). The trial and death of Socrates. *A Companion to Greek and Roman Political Thought*, 321-338.

Nassar, J. M. (2005). La Botánica como Herramienta de la Investigación Criminal. *Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas*, Caracas, Venezuela. http://servicio.bc.uc.edu.ve/derecho/revista/relcrim12/12-12.pdf

National Missing and Unidentified Persons System (NamUs). Reportes y Estadísticas. United States Government, Department of Justice. Recuperado en marzo del 2024 de https://namus.nij.ojp.gov/library/reports-and-statistics#1-0

Netzel, L. R., Kiely, T. F., y Bell, S. (2014). Evidence: Origins, types, and Admissibility. En James, S. H., Nordby, J. J., Bell, S. (Eds.), *Forensic Science: an Introduction to Scientific and Investigative Techniques* (pp. 13-36). Fourth Edition. CRC Press.

Nielsen, F. H. (2014). Macromineral Nutrition. En Berdanier, C.D., Dwyer, J. T., y Herber, D. (Eds.), *Handbook of Nutrition and Food*; 3rd Edition (pp. 199-210). CRC Press.

Nielsen, F. H. (2014). Trace Mineral Deficiencies. En Berdanier, C.D., Dwyer, J. T., y Herber, D. (Eds.), *Handbook of Nutrition and Food*; 3rd Edition (pp. 211-226). CRC Press.

Njira, K. O., y Nabwami, J. (2015). A review of Effects of Nutrient Elements on Crop Quality. *African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development*, 15(1), 9777-9793.

Nordby, J. J., y Bell, S. (2014). Justice and Science. En James, S. H., Nordby, J. J., Bell, S. (Eds.), *Forensic Science: an Introduction to Scientific and Investigative Techniques* (pp. 3-22). Fourth Edition. CRC Press.

Noriega, L. F. H. (2013). *El ADN de Locard: Genética Forense y Criminalista*. Editorial Reus.

Observatorio Venezolano de Violencia (2023). Informe Anual de Violencia 2023 [Archivo PDF]. Recuperado de https://observatoriodeviolencia.org.ve/news/informe-anual-de-violencia-2023/

Olivares C. G. (2016). *Procesos de Descomposición en Restos Enterrados a Baja Profundidad en el Valle del Maipo, Región Metropolitana, Chile Una aproximación Tafonómica y Entomológica* [Tesis Pregrado, Universidad de Chile]. https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/150960

Oliveira, M., Azevedo, L., Ballard, D., Branicki, W., y Amorim, A. (2023). Using Plants in Forensics: State-of-the-Art and Prospects. *Plant Science*, 111860.

Ortuño Tomás, A. M., Díaz Expósito, L., y del Río Conesa, J. A. (2015). Evolución de la Fisiología Vegetal en los Últimos 100 Años. Euvacteria, nº34, 2015.

Berenguera, A., Fernández de Sanmamed, M. J., Pons, M., Pujol, E., Rodríguez, D., y Saura, S. (2014). *Escuchar, observar y comprender. Recuperando la narrativa en las Ciencias de la Salud. Aportaciones de la investigación cualitativa* (1ª ed.). Barcelona: Institut Universitari d'Investigació en Atenció Primària Jordi Gol (IDIAP J. Gol). https://saludcomunitaria.files.wordpress.com/2014/12/escucharobservarcomprender.pdf

Parson, K. (2019). The Effect of Various Soil Types on Decomposition Rate. *Instars: A Journal of Student Research*, 5.

Pawlett, M., Girkin, N. T., Deeks, L., Evans, D. L., Sakrabani, R., Masters, P., Garnett, K., y Márquez-Grant, N. (2024). The Contribution of Natural Burials to Soil Ecosystem Services: Review and Emergent Research Questions. *Applied Soil Ecology*, 194, 105200.

Perrault, K. A., y Forbes, S. L. (2016). Elemental Analysis of Soil and Vegetation Surrounding Decomposing Human Analogues. *Canadian Society of Forensic Science Journal*, 49(3), 138-151.

Peña, J. A., Bustos Saldaña, R., y Verdin, O. (2019). Fenómenos cadavéricos y el tanatocronodiagnóstico. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, 31 2019: 10-37. https://hdl.handle.net/10550/70619

Price, N. T. (2023). *Identification of Clandestine Grave Sites by Understanding Location Choices From an Environmental and Psychological Perspective* [Disertación Doctoral]. Universidad de Murdoch.

Pringle, J. K., Stimpson, I. G., Wisniewski, K. D., Heaton, V., Davenward, B., Mirosch, N., Spencer, F., y Jervis, J. R. (2020). Geophysical Monitoring of Simulated Homicide Burials for Forensic Investigations. *Sci Rep*, 10(1), 7544. https://doi.org/10.1038/s41598-020-64262-3

Protocolos de Cadena de Custodia. Dos Grandes Etapas: Preservación y Procesamiento. (2012). *Instituto nacional de Ciencias Penales (INACIPE) y Servicios Periciales PGR*, México.

Pérez Pérez, R. M. (2016). *Fundamentos de la Medicina Forense*. Editorial UOC.

Qian, H., Zhang, J., y Zhao, J. (2022). How Many known Vascular Plant Species Are There in the World? An Integration of Multiple Global Plant Databases. *Biodiversity Science*, 30(7), 22254.

Raje, S. C., Bhagat, D. S., Nimbalkar, R. K., Shejul, S. K., Bumbrah, G. S., y Sankhla, M. S. (2022). Contributions and Current Trends of Forensic Botany in Crime Scene Investigation. *Forensic Sci J*, 21(1), 1-2.

Rakshanda, A., y Reddy, J. (2022). Pollen in Forensic Palynology: An Exploration into a Crime Solving Tool. *International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology*, 7, 048-053. doi: 10.22161/ijeab.71.6

Ramirez, L. (2021). Forensic Anthropology in Latin America: Examining Methods of Human Identification. *State Univ. Stanislaus*.

Robb, G. L. (1957). The ordeal poisons of Madagascar and Africa. *Botanical Museum Leaflets*, Harvard University, 17(10), 265-316.

Robledo, M. M. Y Sánchez, J. A. (2010). Antropología Forense. Investigación Criminal en Restos Óseos. En Anadón M. y Robledo M. (Eds.), *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses Aplicadas a la Investigación Criminal* (pp. 16-53). Madrid: Editorial Tébar.

Rodríguez, M. A. E. C. (2015). *Antropología Forense Asociada a la Escena del Crimen y la Investigación Criminal* [Archivo PDF]. Recuperado de

https://www.academia.edu/download/54912319/3970_antrop_forense_asoc_a_esc_crimen_aidde_chavez_r.pdf

Rohatgi, S., Sharma, S., y Singla, P. (2020). Forensic Analysis of Leaf as a Botanical Evidence. *World Journal of Pharmacy And Pharmaceutical Sciences*. 9(6). 1357-1364.

Romero Urrea, L. J., Alonso Cortes, D. C., y Guevara, M. (2010). *Criminalistica Basada al Lugar de los Hechos de las Conductas Punibles*. Colombia: Universidad Autónoma de Colombia.

Rowley, C. (23 de noviembre de 2014). *The «Tanghin Ordeal»*. Kew Gardens. https://www.kew.org/read-and-watch/the-tanglin-ordeal

Ruotsala, A. H. (2020). *Detecting Clandestine Graves* [Tesis de Maestría, Aalto University]. https://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-202010256068

Sabino, C. (1992). *El Proceso De Investigación*. Ed. Panapo, Caracas.

Salinas, J. G. (1981). *Síntomas de Deficiencia de Macronutrimentos y Nutrimentos Secundarios en Pastos Tropicales*. CIAT.

Sanchez, C. (s.f.). *Manual de Criminalística* [Archivo PDF]. Recuperado de https://www.derechopenalenlared.com/libros/manual-de-criminalistica-cicely-sanchez.pdf

Santos Silva, B., Mello Prado, R. D., Calero Hurtado, A., Aparecida De Andrade, R., y Pereira da Silva, G. (2020). Ammonia Toxicity Affects Cations Uptake and Growth in Papaya Plants Inclusive With Silicon Addition. *Acta Biológica Colombiana*, 25(3), 345-353.

Sawyer, J. (2004). *Nutrient Deficiencies and Application Injuries in Field Crops*. https://alliedcooperative.wordpress.com/wp-content/uploads/2014/08/nutrientdeficiency.pdf

Sección de Laboratorio y Asuntos Científicos, Oficina de las Naciones Unidas contra la Droga y el Delito (UNODC). (2009). *La escena del delito y las pruebas materiales Sensibilización del personal no forense sobre su importancia*. Nueva York : Naciones Unidas, 2009.

Serrano, J. J. (2012). Revisión Sobre el Comportamiento de Ocultación del Cadáver Desde un Análisis Psico-Geográfico. *Gaceta internacional de ciencias forenses*, (2), 3-6.

Shilpha, J., Song, J., y Jeong, B. R. (2023). Ammonium Phytotoxicity and Tolerance: An Insight Into Ammonium Nutrition to Improve crop Productivity. *Agronomy*, 13(6), 1487.

Silva-Bessa, A., Madureira-Carvalho, Á., Dawson, L., Ferreira, M. T., Dinis-Oliveira, R. J., Forbes, S. L. (2022). The Importance of Soil on Human Taphonomy and Management of Portuguese Public Cemeteries. *Forensic Sci*. 2022, 2, 635–649.

Silván-Cárdenas, J. L., Mondragon, A. J. A., y Zuccolotto, K. G. (2019). Potential Distribution of Clandestine Graves in Guerrero Using Geospatial Analysis and Modelling. *iGISc* (pp. 21-28).

Sosa, J. M. (2008). *Manual de Criminalística*. Ediciones Ciencia y Técnica.

Sotelo, A. (2015). El Movimiento de las Plantas-: Tropismos y Nastias. *PhD diss*., Central European University.

Sołtyszewski, I., y Solodov, D. (2022). History, Present and Future of Forensic Biology. https://cris.mruni.eu/cris/bitstreams/fbfa9865-acbe-46fa-b06b-c711425401e5/download

Spencer, M. A. (2021). Forensic Botany: Time to Embrace Natural History Collections, Large Scale Environmental Data and Environmental DNA. *Emerging Topics in Life Sciences*, 5(3), 475-485.

Steadman, D. W., DeBruyn, J., Campagna, S. Bugajski, K., Davis, M., Delgado, T., Höland, K., Mason, A., May, A., McKee, H., Owings, C., Patrick, E., y Schwing, S. (2023). *The Impact of Drugs on Human Decomposition and the Postmortem Interval: Insect, Scavenger and Microbial Evidence*. Universidad de Tennessee.

Stevens, B. (2021). *Identification of Clandestine Grave Site by Understanding Location Choices From an Environmental and Psychological Perspective* [Disertación Doctoral]. Universidad de Murdoch.

Stewart, N. (3 de septiembre de 2020). *Cómo Pueden las Plantas Ayudar a Encontrar Cadáveres Escondidos*. Europa Press. https://www.europapress.es/ciencia/laboratorio/noticia-pueden-plantas-ayudar-encontrar-cadaveres-escondidos-20200903173219.html

Szelecz, I., Koenig, I., Seppey, C. V., Le Bayon, R. C., y Mitchell, E. A. (2018). Soil Chemistry Changes Beneath Decomposing Cadavers Over a One-Year Period. *Forensic science international*, 286, 155-165.

Sánchez, J. A. y Robledo, M. M. (2010). Tanatología. En Anadón M. y Robledo M. (Eds.), *Manual de Criminalística y Ciencias Forenses Aplicadas a la Investigación Criminal* (pp. 322-347). Madrid: Editorial Tébar.

Taylor, L. S., Gonzalez, A., Essington, M. E., Lenaghan, S. C., Stewart, C. N., Mundorff, A. Z., Steadman, D. W., y DeBruyn, J. M. (2023). Soil Elemental Changes During Human Decomposition. *PLOS ONE* 18(6): e0287094.

Thiers, B. M. (2023). *The World's Herbaria 2022: A summary report based on data from Index Herbariorum* [Archivo PDF]. Recuperado de https://sweetgum.nybg.org/science/wpcontent/uploads/2023/11/The_Worlds_Herbaria_2022.pdf

Tribunal Supremo de Justicia. Sala Político-Administrativa. Sentencia Nº 0968; 16 de julio de 2002.

Tumer, A. R., Karacaoglu, E., Namli, A., Keten, A., Farasat, S., Akcan, R., Sert, O., y Odabaşi A. B. (2013). Effects of Different Types of Soil on Decomposition: An Experimental Study. *Legal Medicine*, 15(3), 149-156.

Universidad Pedagógica Experimental Libertador; Fondo Editorial de la Universidad Pedagógica Experimental Libertador. (2016). *Manual de Trabajos de Grado de Especialización y Maesteia y Tesis Doctorales* (5ta edición). La editorial pedagógica de Venezuela, Caracas.

Valenciano, M. S. (2018). La química de los Fenómenos Cadavéricos. *Gaceta Internacional de Ciencias Forenses*, (29), 57-70.

van Klink, R., van Laar-Wiersma, J., Vorst, O., y Smit, C. (2020). Rewilding With Large Herbivores: Positive Direct and Delayed Effects of Carrion on Plant and Arthropod Communities. *PLOS ONE* 15(1): e0226946.

Vizcaíno Zúñiga, P. I., Cedeño Cedeño, R. J., y Maldonado Palacios, I. A. (2023). Metodología de la Investigación Científica: Guía Práctica. *Ciencia Latina Revista Científica Multidisciplinar*, 7(4), 9723-9762.

Wang, F., Wang, Q., Yu, Q., Ye, J., Gao, J., Liu, H., Yong, J. W. H., Yu, Y., Liu, X., Kong, H., He, X. y Ma, J. (2022). Is the NH4+-Induced Growth Inhibition Caused by the NH4+ Form of the Nitrogen Source or by Soil Acidification? *Plant Sci*. 13:968707.

Wells, C. (2008). The Mystery Of Socrates' Last Words. *Arion: A Journal of Humanities and the Classics*, 16(2), 137-148.

Wenting, E., Jansen, P. A., Laugeman, M. J., y van Langevelde, F. (2023). Leakage of Nutrients Into The Soil Due to Carrion Decomposition Can Enhance Plant Growth. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 23(4), 6874-6879.

Wiltshire, P. (2010). Forensic Ecology. En White, P. (Ed.), *Crime Scene To Court: The Essentials Of Forensic Science*. Royal Society Of Chemistry.

Zalamea Molina, Q. F. L., y Zalamea, C. J. (2020a). *Aluminio en el Cuerpo* Humano. Universidad de Guayaquil.

Zalamea Molina, Q. F. L., y Zalamea, C. J. (2020b). *Cobre en Salud Humana*. Universidad de Guayaquil.

Zalamea Molina, Q. F. L., y Zalamea, C. J. (2020c). *Molibdeno en Organismo Humano*. Universidad de Guayaquil.

Zayed, O., Hewedy, O. A., Abdelmoteleb, A., Ali, M., Youssef, M. S., Roumia, A. F., Seymour, D., y Yuan, Z. C. (2023). Nitrogen Journey in Plants: From Uptake to Metabolism, Stress Response, and Microbe Interaction. *Biomolecules*, 13(10), 1443.

Zychowski, J. (2021). Selected Elements in the Soils Covering Mass Graves from World Wars I and II in Southeastern Poland. *Minerals*, 11(3), 275.