



Capítulo 13

La vida después de la vida: botánica forense aplicada al estudio y detección de fosas clandestinas

Ramón Cuevas Guzmán, María L. Baca Cruz, José Guadalupe Robles Estrada,
Fátima Yazmin Salcedo García y Melina Gil Meza

Contribución arbitrada

Resumen

La aplicación de la botánica forense representa una de las posibilidades más accesibles para coadyuvar en la búsqueda de personas desaparecidas que se encuentran inhumadas. Desde esta premisa, en el área metropolitana de Guadalajara (AMG) (en el estado mexicano de Jalisco), se establecieron dos polígonos de experimentación con fosas simuladas en las que se depositaron cuerpos de cerdos con diferentes tratamientos. Entre otros análisis, se estudió el establecimiento espontáneo de especies vegetales y su relación con el entorno que se modificó, tanto por la remoción de la tierra como por la degradación de los cuerpos — medida a través del registro de parámetros químicos —.

Es decir, además de la interpretación sistemática del paisaje, el establecimiento espontáneo de las especies de plantas fue relacionado con las variables del medio: pH, nitrógeno (N), fósforo (P) y potasio (K), pendiente del terreno y el propio tratamiento de los cuerpos, a través de técnicas multivariadas.

En general, se observaron cambios en la composición química de los suelos asociados con los diferentes tratamientos de los cadáveres.

Para el Polígono 2, se registraron 16 especies de plantas vasculares, que su presencia podría estar respondiendo a variables como el N, P, K y pH, y/o bien, por la profundidad y remoción de la tierra. Algunas de estas especies fueron *Melampodium* sp., *Euphorbia chamaesyce*, *Cosmos sulfureus*, *Alopecurus pratensis*, *Sporobolus alopecuroides*, *Vachellia farnesiana*, *Setaria adhaerens*, *Digitaria sanguinalis*, *Cenchrus echinatus* y *Chloris radiata*.

Palabras clave: botánica forense, descomposición de cuerpos, flora vascular, inhumación.

I. Introducción

Las plantas han estado presentes en nuestro planeta por millones de años (Nassar, 2005). Su inherente relación con la historia humana ha permitido que las especies de plantas y sus partes se utilicen como fuente de información para el esclarecimiento de crímenes. Así se ha desarrollado la disciplina de la botánica forense, la cual se encarga del estudio de las plantas como fuente de información para la investigación criminal y civil (Nassar, 2005; Zúñiga, 1984).

En el caso de cuerpos de personas desaparecidas, depositados en fosas clandestinas, el suelo como ambiente de entierro es un espacio agresivo que promueve su biodeterioro (Janaway, 2008). Los elementos y compuestos que resultan de la descomposición podrían ser utilizados para generar información de importancia forense (Fancher et al., 2017).

Se podría considerar que la putrefacción de cadáveres genera disturbio a pequeña escala, con modificaciones químicas en la composición del suelo que, a su vez, provocan nuevas oportunidades para el establecimiento de plantas (Barton et al., 2016). Ante esta modificación, la aparición de especies vegetales¹ en el ambiente circundante a la fosa, podría ayudar en la inferencia de la existencia de cadáveres sepultados (Nassar, 2005; Zúñiga, 1984; Fernández et al., 2007; Jaramillo, 2019; Martínez, 2019).

La descomposición incrementa la actividad microbiana y el potencial redox (Janaway, 2008). Aunado, provoca la concentración de elementos como el nitrógeno (N), potasio (K) y fósforo (P) e impactos en el pH, que podrían representar oportunidades para el establecimiento de plantas (Barton et al., 2016).

1 Se denomina especie al conjunto de individuos con características morfológicas similares y con la capacidad de intercambiar material genético y producir descendencia fértil.

Estudios que han tratado de ver la descomposición de cadáveres inhumados, han utilizado como sustitutos de cuerpos humanos cadáveres porcinos, bajo el argumento de que ambos son omnívoros monogástricos, presentan similitudes fisiológicas y anatómicas, incluyendo la masa corporal, la velloidad y la pigmentación (Schotsman et al., 2014; DeBruyn et al., 2021).

Si bien las descomposiciones difieren en varios elementos (Dautartas et al., 2018; DeBruyn et al., 2021), se considera que un estudio con el empleo de cadáveres de cerdos, podría contribuir al entendimiento de la modificación del ambiente alrededor de las fosas y de la respuesta de especies vegetales a dichos cambios.

II. El origen

En la experiencia latinoamericana, países como Chile han desarrollado proyectos para identificar la sucesión vegetal en los distintos estados de descomposición cadavérica (Romero-Mieres et al., 2016). Entre las contribuciones generadas se menciona el caso de la especie *Aristotelia chilensis*: una planta endémica del país, que fue reconocida en sitios de experimentación post mortem, por lo que se le determinó como una especie bioindicadora forense.

Con ello se abrió camino a una nueva herramienta que permite la contribución a la vinculación entre evidencia forense y el sitio del suceso (Romero-Mieres et al., 2016).

Ante el fenómeno de las personas desaparecidas, se buscan herramientas para caracterizar sitios de inhumación y generar indicadores que faciliten el hallazgo de tumbas clandestinas.

En el estado mexicano de Jalisco, el estudio de la botánica forense ha sido fuertemente explorada desde una visión empírica. Los familiares de personas desaparecidas son quienes, a fuerza de experiencia, han articulado el conocimiento sobre el crecimiento diferenciado de la vegetación o la ausencia de la misma en lugares con cuerpos inhumados. Valorando cada una de las modificaciones sutiles que son susceptibles de pasar desapercibidas para otros actores.

También, desde el año 2022, la Dirección de Análisis y Contexto de la Comisión de Búsqueda de Personas del Estado de Jalisco (COBUPEJ), inició con la recopilación de datos de la flora presente en inhumaciones clandestinas, detectadas localmente, con lo que se logró establecer algunos conocimientos previos:

1. La prevalencia de especies con raíz pivotante². Características en sitios de ocultamiento de personas sin vida, manifestadas en especies como huizaches (*Vachellia* sp) ó mezquites (*Prosopis* sp).
2. Establecimiento de especies pioneras³. Dado que en los sitios la superficie del suelo es removida, se abren espacios que favorecen la llegada de especies de plantas. Ejemplo de ellas son *Ricinus communis* y *Verbesina* spp.
3. Composición florística presumiblemente influenciada por la presencia de un bioelemento principal: el nitrógeno (N). Perdomo (2013) mencionó que en campos agrícolas donde hay baja disponibilidad de dicho elemento se constituye una ventaja para el crecimiento de leguminosas u otras especies fijadoras de N atmosférico; por lo contrario, en condiciones de altos suministros de nitrógeno, se favorece a la familia⁴ Gramineae ó Poaceae (Barton et al., 2016).

III. Materiales y Métodos

Para la simulación de fosas clandestinas se utilizaron 28 cerdos domésticos (*Sus scrofa*), con un peso entre 40-60 kilogramos y edades en un rango de los 6-8 meses. Su alimentación fue una dieta líquida (leche) hasta cumplir casi los 6 meses de edad, posteriormente se cambió a alimentos sólidos. Se garantizó un tratamiento ético y normativo para que los animales tuvieran una muerte rápida, sin sufrimiento innecesario. Se utilizó el método de punción al miocardio y se conservaron los órganos, líquidos y sangre de los porcinos⁵.

En el Polígono 1 (en el municipio de Tonalá, Jalisco) se efectuó la primera inhumación de los ejemplares, el 31 de mayo de 2023. Se depositaron 14 cerdos en un mismo número de fosas, replicando tratamientos comúnmente detectados en escenas criminales (Tabla 1). Se consideraron dos profundidades: 0.75 y 1.25 metros, con las siguientes dimensiones: 1.6 metros

2 Es el tipo de raíz que crece verticalmente hacia abajo y se convierte en la principal de la planta. Un ejemplo común es el caso de la zanahoria.

3 Las primeras plantas que llegan y se establecen después de una perturbación o el surgimiento de un área nueva.

4 Una familia botánica es una jerarquía taxonómica que reúne géneros y especies.

5 Para una mejor comprensión del proyecto de investigación, se recomienda la lectura del capítulo “Experimentación forense: la historia de un proyecto”.



de ancho por 2.1 metros de largo. Los ejemplares se orientaron de sur a noreste. Dos cavidades se dejaron vacías y fueron utilizadas como tratamientos control. En total se realizaron 16 fosas distribuidas en cuatro filas, separadas entre sí por un intervalo de 1.8 metros. Cada fila tuvo una separación de 3.90 metros.

En el Polígono 2 (en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco), los porcinos se depositaron el 11 de septiembre de 2023. Nuevamente se realizaron 16 fosas: dos quedaron vacías para control; en tanto que en los 14 restantes se distribuyeron 14 cerdos. Se replicaron las dimensiones y profundidades del primer polígono⁶ y se agregaron dos tratamientos nuevos: cobertura con piedras y colocación de cemento (Tabla 2).

Tabla 1. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 1

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

6 Es de resaltar que, a diferencia del Polígono 1, se inhumaron dos porcinos a un metro de profundidad, debido a que sus cuerpos se aprovecharían para realizar un análisis tafonómico.

TRATAMIENTO DEL CUERPO	PROFUNDIDAD (m)	IDENTIFICACIÓN DE FOSA
CUERPO QUEMADO (CQ)	1.25	F14
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	0.75	F15
REDUCCIÓN ESQUELÉTICA (RE)	1.25	F16

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

Tabla 2. Tratamiento aplicado, profundidad e identificación de fosa por cada ejemplar en el Polígono 2

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

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

3.1. Colectas botánicas

En el Polígono 1⁷, en cuatro fechas distintas: 11 de mayo de 2023, 15 de agosto de 2023, 2 de octubre de 2023 y 6 de noviembre de 2023, se realizaron registros fotográficos y colectas botánicas, mismas que fueron colocadas en una prensa de madera para su posterior identificación taxonómica (Figura 1).

Figura 1. Prensa botánica



Fuente: COBUPEJ.

En el caso del Polígono 2⁸, los eventos de documentación se efectuaron en cinco momentos: 7 de septiembre de 2023, 27 de octubre de 2023, 9 de noviembre de 2023, 17 de enero de 2024 y 3 de abril de 2024. La evidencia se recopiló bajo el mismo tratamiento que se utilizó para Polígono 1.

7 Ubicado en el municipio de Tonalá, Jalisco.

8 Localizado en el municipio de Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco.

La ubicación de cada espécimen detectado se relacionó con cada una de las fosas, según su localización. Es decir, se vinculó si creció sobre la fosa o en el área de influencia de cada una de las 32 oquedades⁹ en donde se depositaron cuerpos de porcinos y aquellas que sirvieron de tratamientos control.

La información de las especies se sistematizó en matrices y, en un segundo momento, se confrontó con los parámetros ambientales y químicos del suelo, presentes a lo largo del periodo de experimentación. Esto, con el objetivo de evaluar la posible influencia del ambiente sobre la presencia o ausencia de las especies vegetales.

3.2. Muestras y análisis del suelo¹⁰

Las muestras de suelos fueron tomadas en cada una de las 32 fosas de los dos polígonos. La muestra se tomó a 20 cm de profundidad. Se realizaron cinco submuestras, en cada fosa, la primera muestra se tomó en el centro de la fosa y las otras cuatro hacia cada uno de los puntos cardinales. Todas las submuestras fueron tomadas a 20 cm de profundidad (Tabla 3 y 4). Información más detallada sobre los análisis de los suelos y las variables determinadas se proporcionan en el capítulo de este libro “Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”.

9 Como área de influencia se determinó un metro a partir del centro de cada excavación.

10 Para una mejor comprensión del análisis químico, se recomienda consultar el capítulo “Desenterrando la verdad: análisis de cambios en la firma química y características del suelo en sitios de inhumación clandestina”.



Tabla 3. Fechas de muestreo de suelo y profundidades en Polígono 1

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

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

Tabla 4. Fechas de muestreo de suelo y profundidades en Polígono 2

Fecha de muestreo	No. Muestreo	Profundidad muestreada	Tiempo de inhumación	Método de muestreo
16 septiembre 2023	1	20 cm	5 días	Puntos cardinales y centro de fosa
06 octubre 2023	2	20 cm	3 semanas	Puntos cardinales y centro de fosa
27 octubre 2023	3	20 cm	1 mes y medio	Puntos cardinales y centro de fosa
17 enero 2024	4	20 cm	4 meses	Puntos cardinales y centro de fosa
15 marzo 2024	5	20 cm	6 meses	Cuadrícula

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



Las variables de suelo determinadas en las submuestras de los suelos se realizaron con un analizador portátil de suelos marca Slicetex Electronics¹¹. Las variables que fueron determinados con el analizador portátil fueron pH, nitrógeno total (N)¹², fósforo (P) y potasio (K). El dispositivo, además de registrar los elementos descritos, registra temperatura y humedad, mediante cinco electrodos resistivos de uso agrícola.

La obtención de las variables del suelo se hizo a través de la siguiente secuencia (para cada uno de los muestreos):

1. Tamizado del suelo;
2. Incorporación de agua destilada a la muestra, hasta formar una masa semilíquida;
3. Colocación de cinco electrodos resistivos en una bandeja sobre la que se vertió la masa semilíquida de la muestra;
4. Una vez estabilizados los datos del sensor, se tomó la lectura de los parámetros.

3.3. Análisis de los datos

Se hizo un análisis del comportamiento de las variables ambientales para los dos polígonos. Se consideró, para cada uno, un mes de la temporada seca y otro mes de la temporada lluviosa: para el Polígono 1, se consideraron los meses de mayo y noviembre de 2023; para el Polígono 2, octubre de 2023 y marzo de 2024.

Aquellas variables que no presentaron varianza fueron retiradas del análisis, quedando sólo: pH, N, P, K, promedio de la pendiente (Ptprom) y Tratamiento del Cuerpo (TC). Las variables fueron estandarizadas y sometidas a un Análisis de Componentes Principales (ACP), para lo que se utilizó el software InfoStat (Di Rienzo et al., 2020).

11 En el capítulo “Desenterrando la verdad: Análisis de cambios en la química y compactación del suelo en sitios de inhumación clandestina” se describe a profundidad el método de toma de muestras y valoración de la composición química del suelo. Sobre el sensor de suelo es relevante destacar que no se recurrió a una fase de calibración, por lo que sus valores deben tomarse con reserva.

12 Se midió el nitrógeno total.



Las fosas que no presentaron especies también se removieron del ejercicio. Dado que las matrices presentaron una gran cantidad de valores en cero, es decir, muchas ausencias de especímenes, y para evitar el problema de que las fosas fueran más parecidas por las especies que no comparten que por las que sí, se realizó un suavizado de los datos, lo que se conoce como la transformación Beals¹³ (Beals, 1984). Con la matriz de las especies y las variables ambientales por mes y por polígono, se aplicó una ordenación directa a través de un Análisis de Correspondencia Canónica (ACC) con el software PC-ORD V.7, que sirve para analizar comunidades (McCune y Mefford, 2011). El ACC es una técnica estadística para entender y visualizar la relación entre dos tipos de datos; para el caso, permite la creación de un gráfico que refleja cómo se agrupan las especies en función de las fosas y los valores de las variables en cada una de ellas.

Además, para encontrar un sustento matemático en la fortaleza de la relación entre las especies y el contexto derivado de la descomposición de los cuerpos, la técnica hace uso de la regresión múltiple (McCune y Mefford, 2011) y para probar si hay una relación significativa entre las matrices de las especies y los factores ambientales se utiliza la correlación y la significancia de esta correlación se evalúa a través de la prueba de Monte Carlo: una técnica que utiliza simulaciones aleatorias para evaluar probabilidad.

IV. La vida se abre paso: los hallazgos

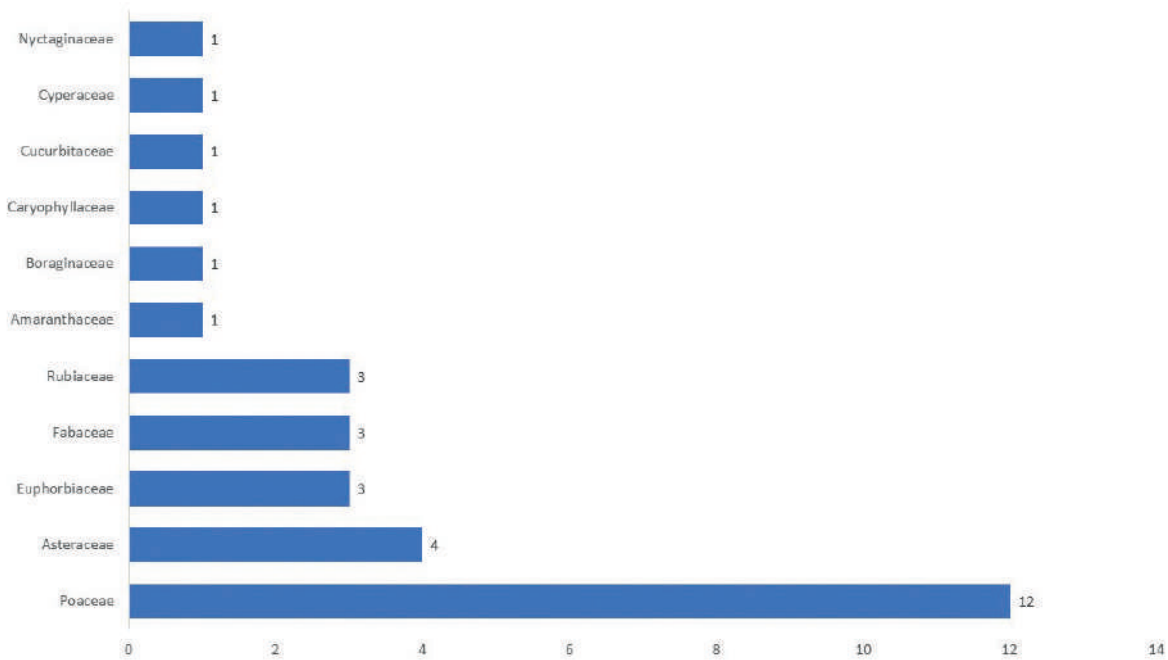
Durante el tiempo de muestreo de la vegetación en el Polígono 1, se registraron 31 especies. F13, el cuerpo incinerado, concentró ligeramente una mayor cantidad de ejemplares. La familia botánica con más registro de especies fue *Poaceae*, con 38.7 % del total (Figura 2). En la visita de mayo de 2023 se registraron 12 especies (Tabla 3), 9 en agosto (Tabla 4), 11 en octubre (Tabla 5) y 16 en noviembre (Tabla 6).

Al confrontar las especies identificadas previamente a la inhumación y las documentadas de forma posterior, se encontró que 77.42 % serían especies pioneras o malezas.

13 Es una técnica matemática que se utiliza para matrices de especies, en las cuales predomina la ausencia de especies y el procedimiento busca quitar el efecto de que los sitios se parezcan más por las especies que no se comparten que por las que comparten.



Figura 2. Riqueza de especies registradas por familia en el Polígono 1



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

Tabla 5. Registro de 12 especies en la visita del 11 de mayo de 2023 (Polígono 1)

Especie	Familia	Nombre científico
SP1	Fabaceae	<i>Vachellia farnesiana</i>
SP5	Fabaceae	<i>Astragalus mollissimus</i>
SP7	Boraginaceae	<i>Borago pygmaea</i>
SP10	Poaceae	<i>Chloris barbata</i>
SP11	Poaceae	<i>Chloris virgata</i>
SP14	Poaceae	<i>Cynodon dactylon</i>
SP15	Poaceae	<i>Distichlis spicata</i>
SP18	Euphorbiaceae	<i>Euphorbia maculata</i>
SP21	Asteraceae	<i>Lactuca saligna</i>
SP24	Poaceae	<i>Microchloa caffra</i>
SP26	Rubiaceae	<i>Oldenlandia corymbosa</i>
SP27	Poaceae	<i>Panicum hirticaule</i>

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

Tabla 6. Registro de 9 especies en la visita del 15 de agosto de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1) y especies dentro del área de estudio, aunque fuera de las fosas. La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	<i>Vachellia farnesiana</i>												1				
3	<i>Ambrosia psilostachya</i>																
11	<i>Chloris virgata</i>													1			
15	<i>Cyperus esculentus</i>																
17	<i>Drymaria viscosa</i>																
18	<i>Echinochloa colonum</i>																

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
22	Galium verum																
27	Okenia hypogaea																
30	Pectis prostrata													1			

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

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 7. Registro de 11 especies en la visita del 10 de octubre de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	Vachellia farnesiana					1							1				
2	Agrostis gigantea				1												
7	Borago pygmaea					1											
9	Cathestecum brevifolium			1													
11	Chloris virgata					1	1							1		1	1
12	Corispermum sibiricum																
13	Cucumis myriocarpus												1		1	1	
14	Cynodon dactylon		1										1		1		
20	Euphorbia polycarpa													1			
25	Melinis repens			1													
29	No identificada													1			
30	Pectis prostrata	1	1					1	1								1

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

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 8. Registro de 16 especies en visita del 6 de noviembre de 2023 y su localización, según fosa de hallazgo (Polígono 1) y especies dentro del área de estudio, aunque fuera de las fosas. La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control.

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	Vachellia farnesiana																
2	Agrostis gigantea																
3	Ambrosia psilostachya																
4	Astragalus micranthus													1			
5	Astragalus mollissimus																
6	Boeberastrum anthemidifolium													1			
7	Borago pygmaea																
8	Borreria spinosa																
9	Cathestecum brevifolium																
10	Chloris barbata																
11	Chloris virgata		1					1									
12	Corispermum sibiricum	1															
13	Cucumis myriocarpus																
14	Cynodon dactylon				1			1						1			
24	Leptochloa fusca																
30	Pectis prostrata				1			1						1			

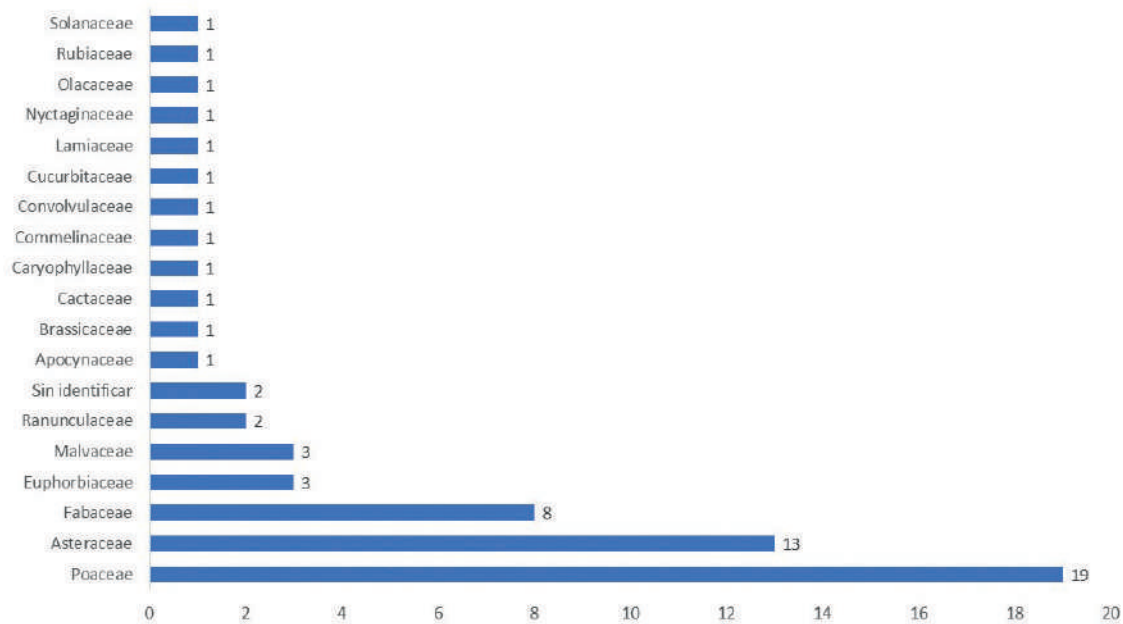
Fuente: elaboración propia. Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

En el Polígono 2 se encontraron 62 especies, durante cinco tiempos de muestreo. Particularmente, el 27 de octubre de 2023 se identificó la mayor cantidad de especies, principalmente asociadas a F16, es decir, al porcino cubierto con cal. En los trabajos de campo subsecuentes, realizados en el sitio, la flora se diversificó entre las distintas excavaciones (Tabla 7 a Tabla 11).

De forma similar al comportamiento de Polígono 1, la familia *Poaceae* acumuló la proporción más elevada de la flora registrada, con 30.6 % del total. En cuanto al comportamiento de especies pioneras se registró que, 91.94 % de las plantas detectadas, son de clases diferentes a las que existían antes del inicio del experimento (Figura 3).

Figura 3. Frecuencia de especímenes totales localizados en Polígono 2, según familia de pertenencia



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

Nota: debido a complejidades enfrentadas en la sistematización, en algunos casos no fue posible relacionar la especie identificada con alguna inhumación específica.

Tabla 9. Registro de 20 especies en la visita del 7 de septiembre de 2023 (Polígono 2)

Especie	Familia	Nombre científico
SP1	Malvaceae	Heliocarpus sp
SP3	Fabaceae	Vachellia farnesiana
SP6	Asteraceae	Ambrosia peruviana
SP8	Asteraceae	Bidens pilosa
SP9	Fabaceae	Chamaecrista nictitans
SP12	Asteraceae	Chromolaena odorata
SP13	Commelinaceae	Commelina erecta
SP14	Asteraceae	Cosmos caudatus
SP27	Euphorbiaceae	Euphorbia heterophylla
SP29	Fabaceae	Eysenhardtia polystachya
SP31	Asteraceae	Galeana pratensis
SP35	Fabaceae	Macroptilium atropurpureum
SP36	Malvaceae	Malvastrum hispidum
SP37	Asteraceae	Melampodium divaricatum
SP38	Poaceae	Melinis repens
SP42	Poaceae	Pennisetum setaceum
SP44	Sin identificar	Sin identificar
SP53	Solanaceae	Solanum rostratum
SP58	Poaceae	Tridens flavus
SP59	Asteraceae	Xanthium strumarium

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

Tabla 10. Registro de 13 especies en la visita del 27 de octubre de 2023 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
1	Helicarpus sp.																1
3	Vachellia farnesiana	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
7	Anastatica hierochuntica	1			1				1				1				
12	Chromolaena odorata																1
19	Dactyloctenium aegyptium					1				1	1	1	1				1
20	Desmodium tortuoso																
21	Desmostachya bipinnata	1	1			1		1	1	1	1	1	1			1	1
23	Echinochloa colonum	1			1												
26	Euphorbia chamaesyce																1
38	Melinis repens			1		1	1		1			1	1	1	1	1	1
41	Pectis prostrata							1		1	1	1					1
42	Pennisetum setaceum					1	1	1		1				1		1	
51	Sicyos deppei					1			1				1				

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

Tabla 11. Registro de 7 especies en la visita del 9 de noviembre de 2023 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
3	Vachellia farnesiana				1	1		1								1	1
7	Anastatica hierochuntica																
21	Desmostachya bipinnata																
23	Echinochloa colonum						1		1	1	1	1	1	1	1		
24				1													
25	Eriophyllum lanatum																
26	Euphorbia chamaesyce																
30				1													
31	Galeana pratensis			1													

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
37	Melampodium divaricatum		1	1													
38	Melinis repens																

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

Tabla 12. Registro de 7 especies en la visita del 17 de enero de 2024 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
3	Vachellia farnesiana				1												1
10	Chloris halophila	1	1	1	1	1	1	1		1	1	1					
48	Sagina procumbens																
53	Solanum rostratum																
54	Sporobolus alopecuroides													1	1	1	
57	Tricholaena monachne																
60	Ximenia parviflora																

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

Tabla 13. Registro de 15 especies en la visita del 3 de marzo de 2024 y su localización, según inhumación de hallazgo (Polígono 2) y especies dentro del área de estudio (y fuera de las fosas). La F1 y F2 corresponden a los tratamientos control

Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
2	Abronia fragrans																
3	Vachellia farnesiana	1									1		1				
5	Alopecurus pratensis				1												
11	Chloris radiata		1														
17	Cymbopogon marginatus						1										
18	Digitaria sanguinalis			1								1			1		
24	Erioneuron pilosum																



Sp	N. Científico	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8	F9	F10	F11	F12	F13	F14	F15	F16
40	Opuntia ficusindica					1											
43	Phagnalon saxatile															1	
45	Prosopis glandulosa																
46	Ranunculus acris													1			
49	Seteria adhaerens											1					
50	Cenchrus echinatus		1														
54	Sporobolus alopecuroides				1		1										
61	Sin identificar	1															

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

4.1. Resultados del análisis de los suelos

Los diferentes muestreos de N,P,K y pH en ambos polígonos de experimentación — en conjunto con los valores de promedio de la pendiente (Ptprom) y Tratamiento del Cuerpo (TC) de las inhumaciones— presentaron los siguientes valores¹⁴. Se presentan únicamente los valores registrados para los meses de mayo y noviembre de 2023 para el polígono 1 y octubre de 2023 y marzo de 2024 para el polígono 2, que fueron los que se utilizaron en los análisis multivariados (Tablas 14-17).

14 Para la lectura de las tablas de este apartado debe entenderse: SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética. Las celdas que se marcan “sin dato” corresponden a muestras con características insuficientes para el uso del sensor (debido a alta cantidad de rocas, por ejemplo).

Tabla 14. Resultados de muestreo 11 de mayo de 2023. Polígono 1

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	7.24	7	10	20	0.57° - 1.15°	SC
F2	6.8	17	25	50	0.57° - 1.15°	SC
F3	6.75	9	13	26	0 - 0.57°	CC
F4	6.86	12	18	36	0 - 0.57°	CC
F5	6.67	1	1	3	1.15° - 2.86°	CS
F6	6.88	16	22	46	0 - 0.57°	CS
F7	6.82	11	16	32	0 - 0.57°	CL
F8	6.78	3	5	11	1.15° - 2.86°	CL
F9	6.8	7	10	20	0 - 0.57°	CSB
F10	7	26	36	72	0.57° - 1.15°	CB
F11	6.88	7	10	21	0 - 0.57°	CCO
F12	7.7	11	15	31	0.57° - 1.15°	CCO
F13	6.75	1	2	5	1.15° - 2.86°	CCA
F14	7	24	33	67	0.57° - 1.15°	CCA
F15	6.73	19	27	54	0.57° - 1.15°	RE
F16	7.6	17	24	48	0.57° - 1.15°	RE

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

Tabla 15. Resultados de muestreo 6 de noviembre de 2023. Polígono 1

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	6.7	42	59	119	0.57° - 1.15°	SC
F2	7.8	43	60	120	0.57° - 1.15°	SC
F3	7.79	43	60	121	0 - 0.57°	CC
F4	7.79	30	42	86	0 - 0.57°	CC
F5	7.76	42	59	119	1.15° - 2.86°	CS
F6	7.8	24	34	69	0 - 0.57°	CS

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F7	7.84	18	25	50	0 - 0.57°	CL
F8	7.81	43	61	122	1.15° - 2.86°	CL
F9	6.61	21	30	60	0 - 0.57°	CSB
F10	7.78	21	29	58	0.57° - 1.15°	CB
F11	7.81	26	36	72	0 - 0.57°	CCO
F12	7.85	31	44	88	0.57° - 1.15°	CCO
F13	7.8	26	37	72	1.15° - 2.86°	CCA
F14	7.78	56	79	158	0.57° - 1.15°	CCA
F15	7.76	30	43	86	0.57° - 1.15°	RE
F16	7.86	139	198	361	0.57° - 1.15°	RE

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

Tabla 16. Resultados de muestreo 6 de octubre de 2023. Polígono 2

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	7	43	61	120	1.15° - 2.86°	SC
F2	7	43	61	123	1.15° - 2.86°	SC
F3	6.7	65	100	200	1.15° - 2.86°	CC
F4	6.89	40	60	120	0.57° - 1.15°	CC
F5	8.2	44	61	123	1.15° - 2.86°	CL
F6	6.76	43	60	120	1.15° - 2.86°	CL
F7	7.33	44	62	124	1.15° - 2.86°	CSB
F8	7.35	40	60	122	0.57° - 1.15°	CSB
F9	6.85	66	94	189	1.15° - 2.86°	CP
F10	7	123	176	354	1.15° - 2.86°	CP
F11	6.83	100	142	282	1.15° - 2.86°	CM
F12	7.5	44	62	124	1.15° - 2.86°	CM

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F13	7.73	42	58	119	1.15° - 2.86°	CC
F14	7.82	68	97	196	1.15° - 2.86°	CSB
F15	6.82	55	77	155	1.15° - 2.86°	CS
F16	6.78	97	132	276	1.15° - 2.86°	CL

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

Tabla 17. Resultados de muestreo 15 de marzo de 2024. Polígono 2

	pH	N (ppm)	P (ppm)	K (ppm)	Pendiente (PT)	Tratamiento de Cuerpo (TC)
F1	6.76	43	61	122	1.15° - 2.86°	SC
F2	6.82	70	111	226	1.15° - 2.86°	SC
F3	6.82	70	95	191	1.15° - 2.86°	CC
F4	7	86	122	251	0.57° - 1.15°	CC
F5	7.28	101	145	291	1.15° - 2.86°	CL
F6	6.87	62	87	173	1.15° - 2.86°	CL
F7	7	42	60	120	1.15° - 2.86°	CSB
F8	7	43	60	122	0.57° - 1.15°	CSB
F9	6.87	62	87	173	1.15° - 2.86°	CP
F10	7	78	111	222	1.15° - 2.86°	CP
F11	7	64	92	186	1.15° - 2.86°	CM
F12	7	43	61	123	1.15° - 2.86°	CM
F13	6.86	43	61	123	1.15° - 2.86°	CC
F14	7	42	59	150	1.15° - 2.86°	CSB
F15	7	44	62	124	1.15° - 2.86°	CS
F16	7	44	61	123	1.15° - 2.86°	CL

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



El establecimiento de las especies descritas, y su vinculación con los resultados de N, P, K, pH, Tratamiento del Cuerpo (TC) así como el valor promedio de la pendiente (Ptprom)¹⁵, presentó particularidades demostradas a través de las valoraciones arrojadas por el ACP y el ACC. Con éstas, se logró acotar la incidencia del medio en la presencia y ausencia de las especies de flora.

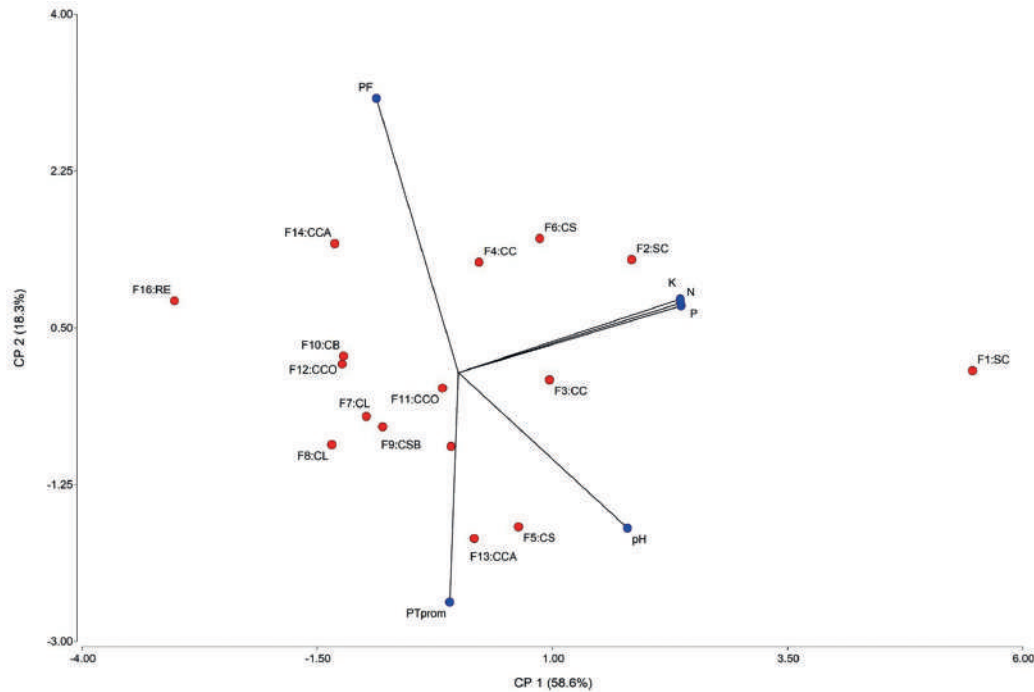
4.2. El medio y las especies, ¿vinculados?

El análisis de componentes principales para el Polígono 1, para los datos de mayo de 2023, presentó un gradiente de los elementos N, P y K, los cuales registraron sus mayores valores en F1, F2, F3 y F6 (sin cuerpo, cuerpo completo y porcino seccionado). Mientras que los valores más bajos de estos elementos se encontraron en F16, F14 y F8: reducción esquelética, cuerpo calcinado y porcino cubierto con cal. En lo que respecta a pH, las concentraciones más elevadas se detectaron en las mayores pendientes¹⁶ (Figura 4). Estas características químicas del suelo representan la condición ambiental previa al efecto del depósito de las inhumaciones.

15 Es decir, se obtuvo el promedio de la variable Pendiente (PT), descrita en las tablas que acompañan los parámetros químicos.

16 La varianza extraída por los dos primeros ejes fue 77%; el primero extrajo 59%; el segundo, 18%. La varianza es una medida estadística que habla sobre qué tanto se dispersan los valores en un conjunto de datos: si hay valores similares, la varianza será baja, caso contrario cuando hay disparidades relevantes en éstos.

Figura 4. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y los tratamientos de los cuerpos para mayo de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética.

Los datos de noviembre de 2023, para el mismo Polígono 1¹⁷, mostraron que F16 y F14 (con reducción esquelética y cuerpo calcinado) contaba con los valores más altos de los tres elementos; en contraparte, los menores se encontraron en F7 y F9 (cuerpo con cal y seccionado en bolsa). Ésta última fosa, junto a la excavación F1 de control, exhibieron los menores pH (Figura 5). La F1 y F2 SC en la condición inicial contaban con los mayores valores de N, P,

17

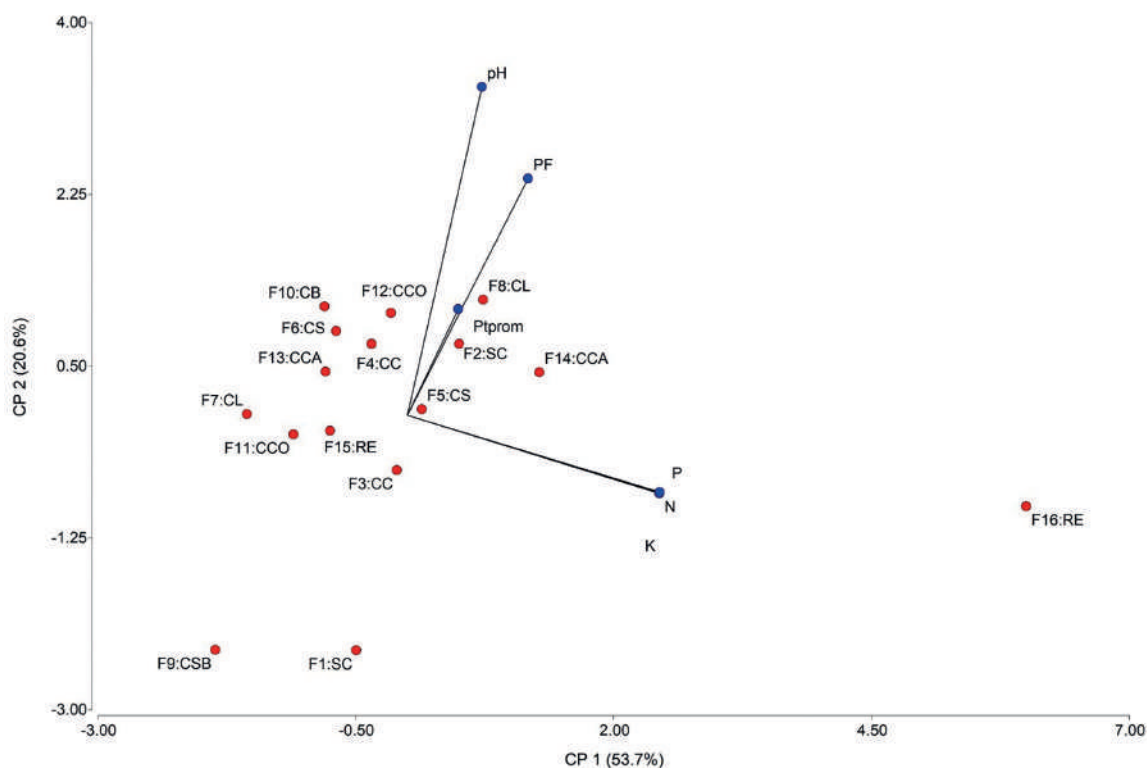
Los dos primeros ejes explicaron 75% de la varianza de los datos; el primero extrajo 54% y el segundo, 21%.

K, pero para noviembre del mismo año, los valores de los parámetros quedaron por debajo de fosas con inhumaciones, lo que es un indicativo de un efecto en el incremento de estos elementos por el efecto de la descomposición de los cuerpos que no se tuvo en las fosas de control (Figura 4 y 5).

La F7 y F9, en cuerpos con cal y seccionado en bolsa, registraron los valores más bajos de N, P y K, lo que indica que mientras estos elementos se incrementaron en otros tratamientos, en F7 y F9 se mantuvieron con muy ligero cambio. Al compararlos con otros tratamientos, que tuvieron incremento, quedaron por debajo de ellos (Figura 4 y 5).

Ya ha sido documentado en otras investigaciones que, en el caso de la cal, esta anula parcialmente los efectos del ambiente general del suelo y retrasa la descomposición de los cuerpos (Schotsman et al., 2014). En el caso del cuerpo seccionado y encerrado en bolsa, se espera que también tenga un retraso en su descomposición, pues se sabe que cadáveres en ambientes encerrados tienen una descomposición más lenta (Janaway, 2008).

Figura 5. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para noviembre de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CCO = cuerpo en cobija, CCA = cuerpo calcinado, RE = reducción esquelética.

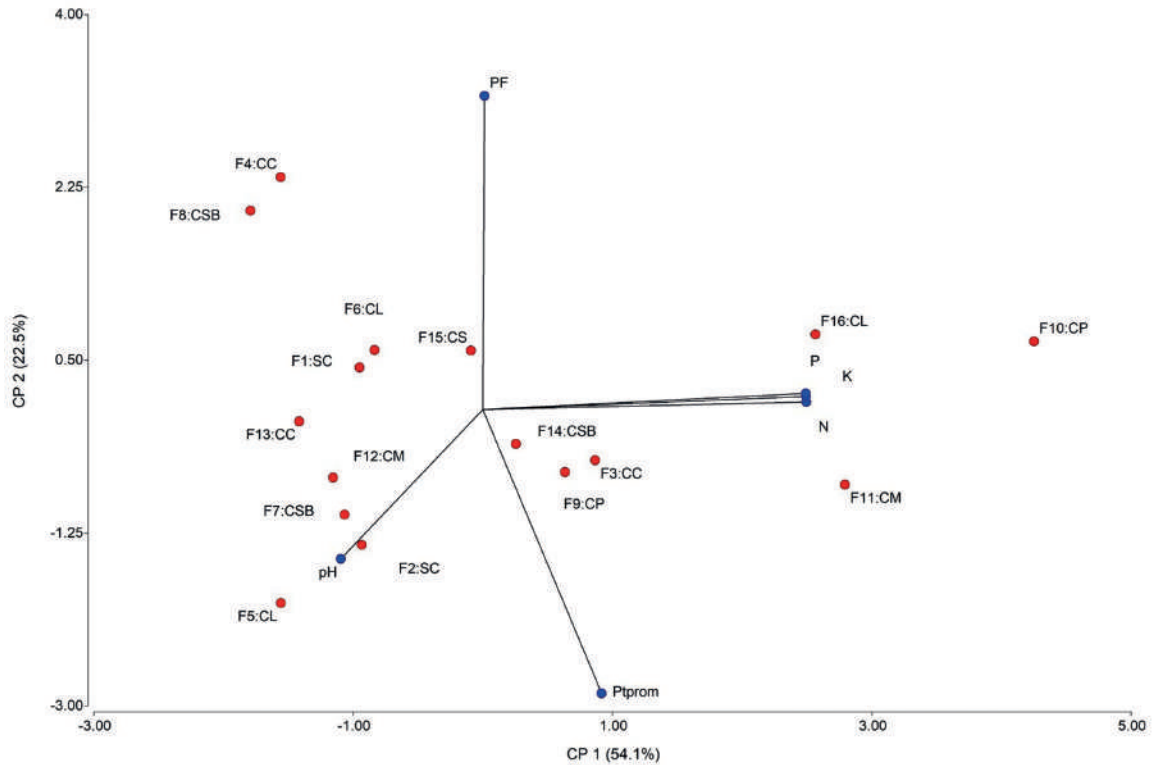
En cuanto al Polígono 2 (Cajititlán), con los datos de octubre de 2023, a través del ACP se encontró que las fosas relacionadas con los mayores valores de N, P y K fueron la F10, F11 y F16: es decir, cuerpo con piedras, con cemento y con cal¹⁸. Por su parte, los niveles más elevados de pH se encontraron en F5, F2 y F7 — porcinos con cal, fosa de control y cuerpo seccionado y en bolsa, respectivamente.

Las variaciones se encontraron influidas en función de la profundidad de las inhumaciones, así como del aumento de la pendiente del terreno (Figura 6). Es de considerarse que la información química de los suelos para octubre de 2023, debe de representar la condición inicial de las características del suelo, pues el análisis se realizó a menos de un mes de haber realizado las inhumaciones y ya se ha registrado que los mayores cambios en la composición química del suelo podrían darse hacia los seis meses y permanecer por varios años (Macdonald et al., 2014; Fancher et al., 2017).

18 77% de la varianza de los datos se encontró en los primeros dos ejes: del primero se extrajo 54% y, del segundo, 23%. Las variables de mayor peso en la formación de la primera dimensión fueron el N, P, K en forma positiva y el pH en forma negativa.



Figura 6. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para octubre de 2023



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CP= cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento.

La información del ACP de marzo 2024, también de Polígono 2, reflejó los valores más altos de N, P y K en F5, F4, F10 y F2, correspondientes a porcino inhumado con cal, cuerpo completo, cuerpo con piedras y sin cuerpo, respectivamente. En contraste, las concentraciones menores

se detectaron en F1 y F13: fosa sin cuerpo y con cuerpo completo. En cuanto a pH, tanto F4 como F10, cuerpo completo y cuerpo con piedras, mostraron los valores más elevados.¹⁹

La F10 con cuerpo con piedra, en octubre de 2023, fue la que presentó los valores mayores de N, P y K, con una disminución para marzo de 2024, pero a pesar de ello se colocó entre las fosas con mayor contenido de nutrimentos (Figura 6 y 7).

La disminución en sus concentraciones podría atribuirse a que muy posiblemente el contenido de sus nutrimentos tenga una manifestación mayor hacia la parte baja del cadáver (que se estableció a 1 metro de profundidad) y no se manifiesta un enriquecimiento sustancial hacia la parte superior del cadáver, sobre todo a las profundidades que fueron tomadas las muestras de suelo para análisis.

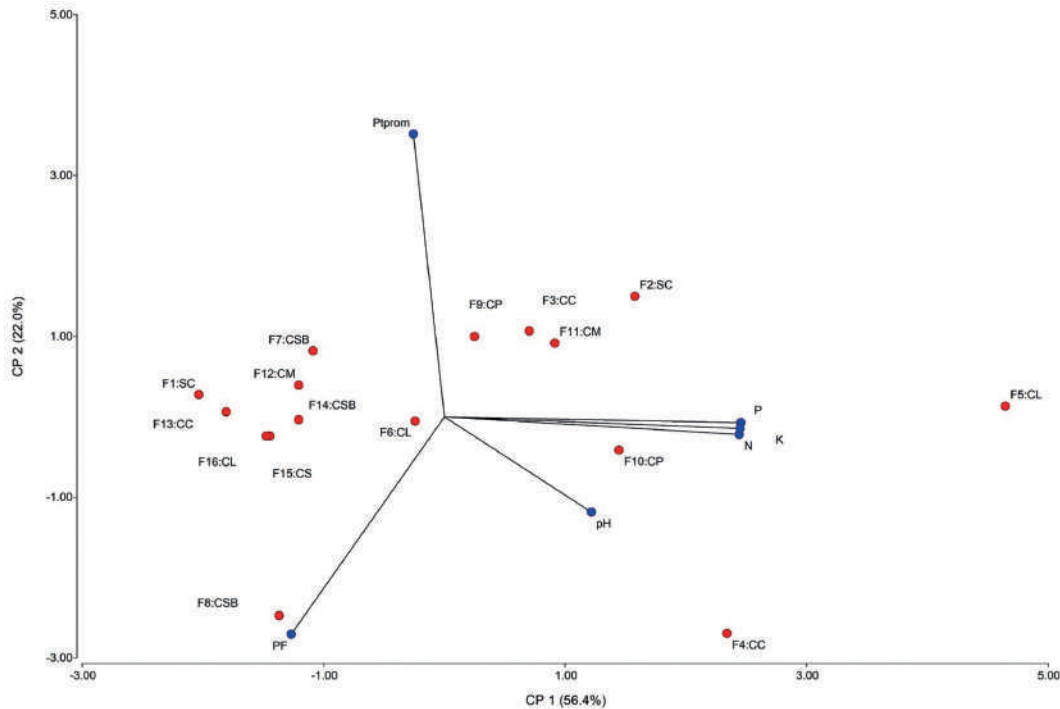
Lo anterior encuentra fundamento en que la F13 con cuerpo completo, también a 1 metro de profundidad, no cambió en sus contenidos de N, P y K para marzo de 2024, seis meses después de haberse realizado la inhumación, muy posiblemente el mismo efecto de que la profundidad a la que se tomó la muestra de suelo no tuvo impacto de la descomposición del cadáver (Figura 6 y 7): hay investigaciones que ya han encontrado que la deposición de los cadáveres tiene un mayor efecto hacia la parte baja del mismo (Carter et al., 2007; Fancher et al., 2017; DeBruyn et al., 2021) y su influencia hacia la parte superior puede estar limitada a pocos centímetros, además de que a mayor profundidad del entierro la descomposición parece ralentizarse (Janaway, 2008).

Los incrementos observados en N, P y K en la F5, cuerpo con cal, podrían atribuirse a que la inhumación se realizó a menos profundidad y que el efecto retardador de la cal sobre la descomposición del cadáver (Schotsman et al., 2014), está apenas permitiendo la mayor manifestación de los elementos en el ambiente del suelo en esa fosa.

La F1, sin cuerpo, que sirvió de control, no tuvo cambios en sus contenidos de N, P y K, pero en las dos ordenaciones, octubre de 2023 y marzo de 2024, pareciera haber perdido concentración de los elementos, lo cual se debe a que como las otras fosas ganaron valor en las concentraciones de N, P y K, quedaron en el componente 1 más a la derecha que la F1 (Figura 5 y 6).

19 El ACP obtuvo, en los dos primeros ejes, 78% de la varianza de los datos. El primer eje extrajo el 56% y estuvo asociado en forma positiva con el N, P, K y el pH.

Figura 7. Variables ambientales y su distribución en función de las fosas y tratamiento de los cuerpos para marzo de 2024



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CP= cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento.

El Análisis de Correspondencia Canónica mostró que existe una correlación significativa entre la matriz de las especies y la matriz ambiental ($r = 0.92$) y la prueba de Monte Carlo obtuvo una $p = 0.02$ para Polígono 2. Así, podría interpretarse un efecto de las variables del ambiente sobre la presencia de las especies que no se debe al azar (Figura 8). De esta forma, se detectaron 16 especies específicas relacionadas con el contexto de degradación de los cuerpos depositados en el espacio de experimentación forense.

El Análisis de Correspondencia Canónica con los datos de la época de lluvias²⁰, encontró que los mayores valores de N, P y K se registraron para las fosas que contienen cuerpos con piedras y con cemento, a mayor profundidad.

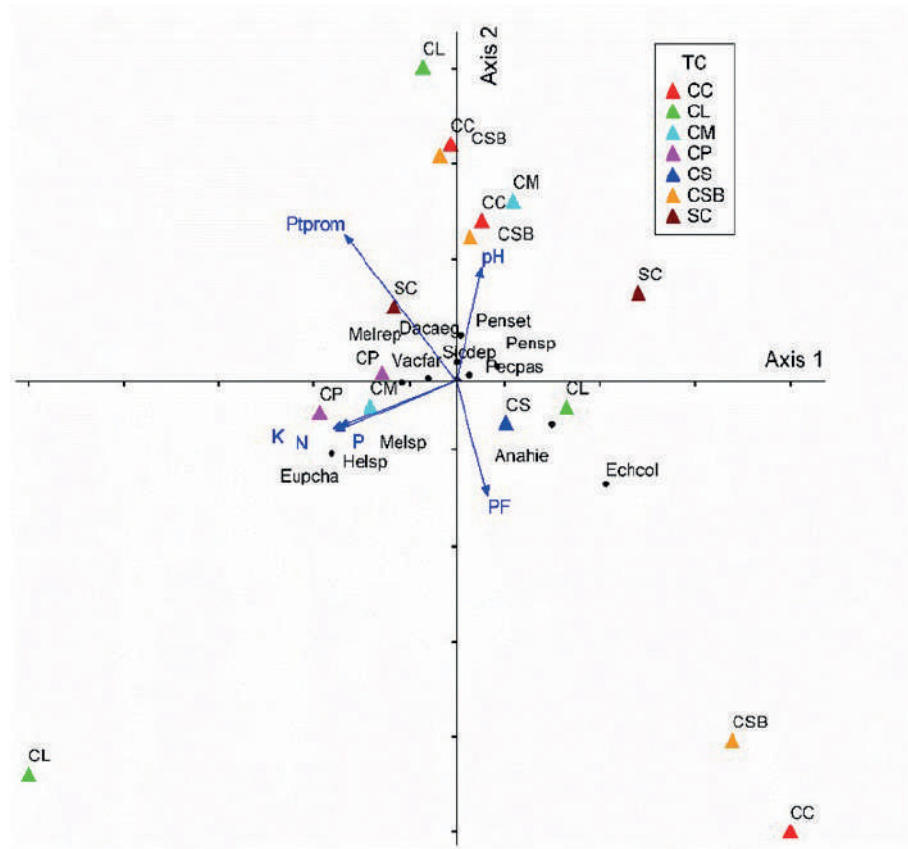
Las especies de plantas que parecen estar ligadas con estas condiciones son *Melampodium* sp, *Heliocarpus* sp, y *Euphorbia chamaesyce*. Mientras que *Anastatica hierochuntica* y *Echinochloa colona* mostraron preferencia por las fosas de mayor profundidad con menores niveles de pH; también por las excavaciones en las que no se inhumó cuerpo, se depositó con bolsa, con cal o donde hubo menos concentración de N, P y K (Figura 8).

Es de considerar que la relación encontrada entre las fosas y las especies, podría deberse a las condiciones iniciales que presentaban los suelos, previo a las inhumaciones, ya que a menos de 1 mes aún no se esperarían un efecto marcado derivado de la descomposición de los cuerpos (que generalmente se identifica hasta cerca o después de los seis meses del establecimiento de los cadáveres (Macdonald et al., 2014)). Para este conjunto de datos, podría ser que sea la remoción del suelo sea la variable de más peso que este influyendo en la presencia de las especies y aún no a cambios en la composición química del suelo.

20 Para octubre de 2023, el CCA obtuvo que los tres primeros ejes explicaron 65.2% de la varianza de los datos; el 1 explicó 50.1 %; el 2, 11.8 %; y el 3, 3.2%.



Figura 8. Biplot en el que se muestra la relación de las variables ambientales con las fosas y las especies para el Polígono 2, para el mes de octubre de 2023



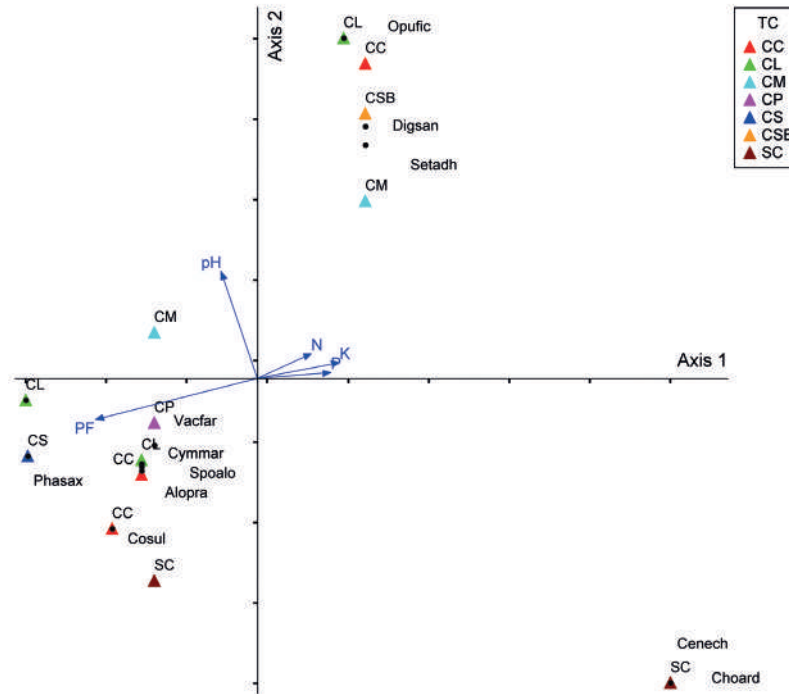
Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CB = cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento. Anahic = *Anastatica hierochuntica*, Decaeg = *Dactyloctenium aegyptium*, Echcol = *Echinochloa colonum*, Eupcha = *Euphorbia chamaesyce*, Helsp = *Heliocarpus* sp., Melrep = *Melinis repens*, Melsp = *Melampodium* sp., Pecpas = *Pectis prostrata*, Penset = *Pennisetum setaceum*, Sicdep = *Sicyos deppei*, Vacfar = *Vachellia farnesiana*.

El Análisis de Correspondencia Canónica entre las variables químicas del suelo y las especie registradas para marzo de 2024, mostró una correlación de 1 entre las variables ambientales y las especies para el eje 1, aunque la prueba de Monte Carlo registró una $p = 0.07$. Se encontró que la variable de mayor peso fue la profundidad de la excavación. Así, las inhumaciones a mayor profundidad con porcino con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra, favorecieron la presencia de *Phagnalon saxatile*, *Cosmos sulfureus*, *Alopecurus pratensis*, *Sporobolus alopecuroides*, *Cymbopogon marginatus* y *Vachellia farnesiana*.

La presencia de *Setaria adhaerens*, *Digitaria sanguinalis* y *Opuntia ficusindica* se relacionaron con mayores concentraciones de N, P, K y pH, en fosas con cuerpos con cemento, seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal; mientras que *Cenchrus echinatus* y *Chloris radiata* tuvo relación con la fosa sin cuerpo y con mayor concentración de N, P y K (Figura 9).

Figura 9. Biplot en el que se muestra la relación de las variables ambientales con las fosas y las especies para el Polígono 2, para el mes de marzo de 2024



Fuente: elaboración propia.

Nota. SC = sin cuerpo, CC = con cuerpo completo, CS = cuerpo seccionado, CL = cuerpo con cal, CSB = cuerpo seccionado en bolsa, CB = cuerpo completo en bolsa, CB = cuerpo con piedra, CM = cuerpo con cemento. Alopra = Alopecurus pratensis, Cenech = Cenchrus echinatus, Choard = Chloris radiata, Cosul = Cosmos sulfureus, Cymmar = Cymbopogon marginatus, Digsan = Diguitaria sanguinalis, Opufic = Opuntia ficusindica, Phasax = Phagnalon saxatile, Setadh = Setaria adhaerens, Spoalo = Sporobolus alopecuroides, Vacfar = Vachellia farnesiana.

Es de considerar que, aunque los resultados presentados, podrían reflejar una respuesta de las especies a la modificación del ambiente, éstos deben ser interpretados con cautela, pues se reitera que, hay investigaciones que indican que un efecto marcado de la modificación

del ambiente por la inhumación de cadáveres, en las especies vegetales, se expresa 12 meses o más después de realizadas las inhumaciones (Barton, 2016).

La relación de la modificación de los factores ambientales producto de las inhumaciones en el Polígono 1, y su vinculación con especies de plantas vasculares, no fue factible, debido a la escasez de especies vegetales registradas: los resultados obtenidos con la ordenación no obtuvieron estabilidad.

V. Conclusiones y recomendaciones

Los resultados presentados en este capítulo deben ser tomados como preliminares, ya que el tiempo de establecimiento de las fosas aún es corto. De acuerdo con algunas investigaciones, los efectos notorios del ambiente sobre las especies vegetales podrían darse después de un 12 meses de las inhumaciones y, su efecto, podría durar por varios años. Por lo cual, sería necesario continuar con los muestreos por más tiempo y, posteriormente, realizar la búsqueda de patrones de respuesta de las especies.

En ambos polígonos de experimentación, la principal familia botánica identificada fue *Poaceae*: los especímenes de esta categoría representan una tercera parte del total de la flora localizada (38.7 % en Polígono 1; 30.6 % en Polígono 2). Su presencia resulta compatible con la literatura existente, respecto a la ventaja que obtienen ante la acumulación de N.

El Análisis de Correspondencia canónica, así como las valoraciones estadísticas y probabilísticas mostraron, para el Polígono 2, una relación significativa entre el crecimiento de especies y las condiciones ambientales vinculadas con los procesos de degradación y excavación. En contraste, las estimaciones alcanzadas para el Polígono 1 no resultaron relevantes.

A partir de la perspectiva matemática, en el Polígono 2, se determinaron 16 especies que podrían estar inducidas por las concentraciones de N, P, K y pH, y/o bien, por la profundidad y remoción de la tierra (Tabla 18 y Figura 10).

Un dato relevante, que además resulta congruente con los antecedentes de sistematización de botánica forense en Jalisco, es la presencia de especies pioneras en ambos sitios de experimentación. En Polígono 1, se detectó que 77.42 % de las especies documentadas no se encontraban de forma previa a la inhumación. En el caso del Polígono 2, el porcentaje de esta



situación es aún mayor: 91.94 %. No obstante, el dato debe entenderse con reserva, dado que el registro de especies originales se realizó en una única temporada del año.

Entender, e interpretar de forma objetiva, el comportamiento de las especies, representa una de las posibilidades más relevantes para el conocimiento forense. Leer su crecimiento resulta una de las herramientas más accesibles para la identificación de excavaciones clandestinas, en donde víctimas de desaparición permanecen inhumadas. La flora, abriéndose paso, trasciende a partir de quienes perdieron la vida para tornarse en una huella.

En el rastro que le retorne a casa.

Tabla 18. Especies de Polígono 2 y variables de probable inducción²¹

Especie	Familia	Factores ambientales	Tratamiento de cuerpo	Profundidad de inhumación
Melampodium sp	Asteraceae	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Heliocarpus sp	Malvácea	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Euphorbia chamecrista	Euforbiácea	Concentración de N, P y K	Cuerpos con piedras, cuerpo con cemento	Mayor profundidad
Anastatica hierochuntica	Brassicaceae	Bajos niveles en pH	Sin cuerpo, cuerpos en bolsa plástica	Mayor profundidad
Echinochloa colona	Poaceae	Bajos niveles en pH	Sin cuerpo, cuerpos en bolsa plástica	Mayor profundidad
Phagnalon saxatile	Asteraceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Cosmos sulfureus	Asteraceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Alopecurus pratensis	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad

21 Las imágenes de las especies se presentan a continuación.

Especie	Familia	Factores ambientales	Tratamiento de cuerpo	Profundidad de inhumación
Sporobolus alopecuroides	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Cymbopogon marginatus	Poaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Vachellia farnesiana	Fabaceae		Cuerpo con cal, cuerpo seccionado, cuerpo completo, sin cuerpo y cuerpo con piedra	Mayor profundidad
Setaria adhaerens	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
Digitaria sanguinalis	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
Opuntia ficusindica	Cactácea	Concentraciones de N, P, K y pH	Cuerpos con cemento, cuerpos seccionados en bolsa, cuerpo completo y cuerpo con cal	
Cenchrus echinatus	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Sin cuerpo	Mayor profundidad
Chloris radiata	Poaceae	Concentraciones de N, P, K y pH	Sin cuerpo	Mayor profundidad

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

Figura 10. Especies de Polígono 2 con relación significativa respecto a variables ambientales



Botón de oro (*Melampodium* sp)



Jonote blanco (*Heliocarpus* sp)



(*Euphorbia chamaecrista*)



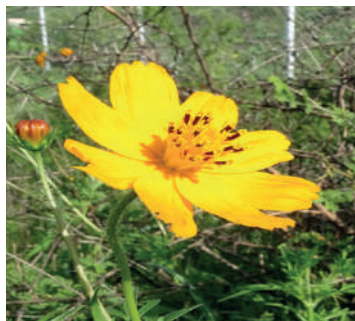
Rosa de Jericó (*Anastatica hierochuntica*)



(*Echinochloa colona*)



(*Phagnalon saxatile*)



Mirasol coreopsi ó girasol púrpura (*Cosmos sulfureus*)



Cola de zorra (*Alopecurus pratensis*)



(*Sporobolus alopecuroides*)



Cola de zorra pegajosa (*Setaria adhaerens*) Tomada de Naturalist México



Huizache (*Vachellia farnesiana*)



Hierba de limón (*Cymbopogon marginatus*)



(*Digitaria sanguinalis*)



Nopal (*Opuntia ficusindica*)



Zacate cadillo (*Cenchrus echinatus*)



Pata de gallo (*Chloris radiata*)

Fuente: Dirección de Análisis y Contexto de la COBUPEJ.

Referencias

- BARTON, P. S., MCINTYRE, S., EVANS, M. J., BUMP, J. K., CUNNINGHAM, S. A. & MANNING, A. D. (2016). *Substantial long-term effects of carcass addition on soil and plants in a grassy eucalypt woodland*. *Ecosphere* 7: e01537. 10.1002/ecs2.1537
- BEALS, E. W. (1984). *Bray-Curtis ordination: an effective strategy for analysis of multivariate ecological data*. *Advances in Ecological Research*, 14, 1-55. [https://doi.org/10.1016/S0065-2504\(08\)60168-3](https://doi.org/10.1016/S0065-2504(08)60168-3)
- CARTER, D. O., YELLOWLEES, D. & TIBBETT, M. (2007). *Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems*. *Naturwissenschaften*, 94:12–24. DOI 10.1007/s00114-006-0159-1
- DATA CÍVICA, ELEMENTA DDHH, CENTRO GEO, PROGRAMA DE DERECHOS HUMANOS DE LA UNIVERSIDAD IBEROAMERICANA. (s.f.). *Modelo geoespacial para búsqueda de fosas clandestinas en Baja California, México*. <https://www.ohchr.org/sites/default/files/documents/issues/disappearances/cfi/newtechnologies/submissions/cso/wgeid-submission-data-civica.pdf>
- DAUTARTAS, A., KENYHERCZ, M. W., VIDOLI, G. M., MEADOWS, L. J., MUNDORFF, A. & WOLFE, D. S. (2018). *Differential decomposition among pig, rabbit, and human remains*. *Journal of Forensic Sciences*. Doi:10.1111/1556-4029.137.84
- DEBRUYN, J. M., HOELAND, K. M., TAYLOR, L. S., STEVENS, J. D., MICHELLE, A. M., BANDOPADHYAY, S., DEARTH, S.P., CASTRO, H. F., HEWITT, K. K., CAMPAGNA, S. R., DAUTARTAS, A. M., VIDOLI, G. M., MUNDORFF, A. Z. & STEADMAN, D. W. (2021). *Comparative decomposition of humans and pigs: soil biogeochemistry, microbial activity and metabolomic profiles*. *Front. Microbiol. Sec. Systems Microbiology*, 11. <https://doi.org/10.3389/fmicb.2020.608856>
- DI RIENZO J.A., CASANOVES F., BALZARINI M.G., GONZALEZ L., TABLADA M., ROBLEDO C.W. (s.f). *InfoStat versión 2020*. Centro de Transferencia InfoStat, FCA, Universidad Nacional de Córdoba <http://www.infostat.com.ar>
- 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 Science International*, 270: 130-139. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2017.08.002>

- FERNÁNDEZ, J.L., GALINDO, A. & IDOBRO, J.M. (2007). *Las plantas como evidencia legal. Desarrollo de la botánica forense en Colombia*. Revista de la Academia Colombiana de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales, 31 (119), 181-198. <http://hdl.handle.net/10261/32229>
- JANAWAY, R.C. (2008). *The decomposition of materials associated with buried cadavers*. In, M. Tibbed & D. O. Carter (ed.). Soil analysis in forensic taphonomy. Taylor & Francis Group, LLC. Boca Raton, FL. Pp. 153-202.
- JARAMILLO, V. (2019). *Los árboles como testigos de un crimen: aplicaciones de la dendrocronología a las ciencias forenses*. Revista ambiental Éolo, 18 (18), 177 – 183.
- MARTÍNEZ, O. (2019). *La botánica y su aplicación en las ciencias forenses*. En, M.R. Ayón (Ed.). Biología Forense. Fundación Miguel Lillo.
- MACDONALD, B. C.T., FARRELL, M., TUOMI, S., BARTON, P. S., CUNNINGHAM, S. A. & MANNING, A.D. (2014). *Carrion decomposition causes large and lasting effects on soil amino acid and peptide flux*. Soil Biology & Biochemistry 69: 132e14. <http://dx.doi.org/10.1016/j.soilbio.2013.10.042>
- MCCUNE, B. & M. J. MEFFORD. (2011). *PC-ORD. Multivariate Analysis of Ecological Data. Version 7.0*. MjM Software.
- McVAY, K.A. & RICE, C.W. (2005). *El carbono orgánico del suelo y el ciclo global del carbono*. <http://ceiba.agro.uba.ar/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=25211>
- NASSAR, J.M. (2005). *La botánica como herramienta de la investigación criminal*. Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas.
- PERDOMO, C. (2013). *Área de suelos y aguas cátedra de fertilidad. Nitrógeno*. Universidad de la Republica.
- ROMERO-MIERES, M., VIVALLO, G., DONOSO, G., ESSE, C., DÍAZ, R., FRANCOIS, A., SOLANO, J., ORTLOFF, A., ALBORNOZ, S., BETANCOURT, O., COFRE., VALDIVIA, M., DE LA FUENTE, J., FIGUEROA, A. & LIZAMA, C. (2016). *Botánica Forense en Chile: El caso de Aristotelia chilensis (Molina) Stuntz y su potencial utilidad como especie bioindicadora forense*. Gayana. Botánica, 73(1), 156-160. <https://dx.doi.org/10.4067/S0717-66432016000100018>
- SCHOTSMANS, E. M. J., FLETCHER, J. N., DENTON, J., JANAWAY, R. C. & WILSON, A. S. (2014). Long-term effects of hydrated lime and quicklime on the decay of human remains using pig cadavers as human body analogues: Field experiments. Forensic Science International, 238: 141. e1–141e.13. <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.046>
- ZÚÑIGA, M. (1984). *Diccionario de términos jurídicos y de medicina legal*. Editorial Papiro





