



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE



TESIS

NEMATODOS BIOINDICADORES FRENTE AL ESTRÉS ABIÓTICO EN
SUELOS CON INFLUENCIA MINERA.

PRESENTADA POR:

MICHAEL OBRIAN NIÑO DE GUZMAN TITO.

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE.

PUNO, PERÚ

2022

Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO	AUTOR
NEMATODOS BIOINDICADORES FRENTE AL ESTRÉS ABIÓTICO EN SUELOS CON INFLUENCIA MINERA	MICHAEL OBRIAN NIÑO DE GUZMAN TITO

RECuento DE PALABRAS	RECuento DE CARACTERES
21177 Words	113690 Characters

RECuento DE PÁGINAS	TAMAÑO DEL ARCHIVO
79 Pages	1.4MB

FECHA DE ENTREGA	FECHA DEL INFORME
Jul 19, 2023 1:02 PM GMT-5	Jul 19, 2023 1:04 PM GMT-5

● **8% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos:

- 7% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 4% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Bloques de texto excluidos manualmente
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Dr. Israel Lima Medina

UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERIA DE MINAS
DIRECCIÓN DE INVESTIGACIONES
FIM UNAP



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
ESCUELA DE POSGRADO
DOCTORADO EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO
AMBIENTE

TESIS

NEMATODOS BIOINDICADORES FRENTE AL ESTRÉS ABIÓTICO EN
SUELOS CON INFLUENCIA MINERA.

PRESENTADA POR:

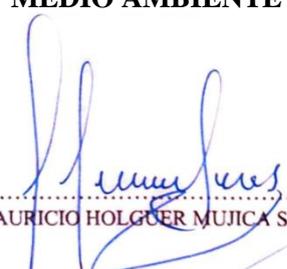
MICHAEL OBRIAN NIÑO DE GUZMAN TITO.

PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE:

DOCTOR EN CIENCIA, TECNOLOGÍA Y MEDIO AMBIENTE

APROBADA POR EL JURADO SIGUIENTE:

PRESIDENTE


.....
Dr. ANGEL MAURICIO HOLGUER MUJICA SANCHEZ

PRIMER MIEMBRO


.....
Dr. ALFREDO PELAYO CALATAYUD MENDOZA

SEGUNDO MIEMBRO


.....
Dra. GUINA GUADALUPE SOTOMAYOR ALZAMORA

ASESOR DE TESIS


.....
Dr. ISABEL LIMA MEDINA

Puno, 26 de julio de 2022.

ÁREA: Ciencias de la ingeniería.

TEMA: Calidad ambiental.

LÍNEA: Recursos naturales y medio ambiente.



DEDICATORIA

A mi familia, por todo el amor y apoyo incondicional que me brindan en cada reto de mi vida.



AGRADECIMIENTOS

Los autores reconocen el apoyo financiero del Proyecto Concytec – Banco Mundial "Mejoramiento y Ampliación de los Servicios del Sistema Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica" 8682-PE, a través de su unidad ejecutora ProCiencia (contrato número 01-2018-FONDECYT/BM-Programas de Doctorados en Áreas Estratégicas y Generales).



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	i
AGRADECIMIENTOS	ii
ÍNDICE GENERAL	iii
ÍNDICE DE FIGURAS	v
ÍNDICE DE ANEXOS	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico	
1.1.1. Suelo	3
1.1.2. Calidad del suelo	3
1.1.3. Física del suelo	4
1.1.4. Química del suelo	4
1.1.5. Microbiología del suelo	5
1.1.6. Ecosistema edáfico	6
1.1.7. Actividad minera	6
1.1.8. Gradiente de estrés abiótico del suelo	6
1.1.9. Bioindicadores del suelo	7
1.1.10. Nematodos como bioindicadores	8
1.1.11. Nematodos y sus grupos funcionales	8
1.2. Antecedentes	9

CAPÍTULO II PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema	34
2.2. Enunciado del problema	34
2.3. Justificación	35
2.4. Objetivos	35
2.4.1. Objetivo general	35



2.4.2. Objetivos específicos	35
2.5. Hipótesis	36

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio	37
3.2. Población	37
3.3. Muestra	37
3.3.1. Puntos y temporalidad de muestreo	37
3.3.2. Toma de muestra	38
3.4. Método de investigación	39
3.5. Descripción detallada de métodos por objetivos específicos	39
3.5.1. Diseño gráfico de variables analizadas	39
3.5.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos e insumos	41
3.5.3. Aplicación de prueba estadística inferencial	43

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del gradiente de estrés abiótico	44
4.2. Determinación y análisis de nematodos con el gradiente de estrés abiótico	45
CONCLUSIONES	50
RECOMENDACIONES	51
BIBLIOGRAFÍA	52
ANEXOS	64



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
1. Zonificación geográfica del área de muestreo, en la periferia de la comunidad minera de Ollachea, Carabaya, Puno. (QGIS 3.24)	38
2. Diseño de investigación	40
3. Relación de variables abióticas con el componente 1, en la temporada de lluvias	44
4. Relación de variables abióticas con el componente 1, en la temporada seca	45
5. Relación de nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico, en la temporada de lluvias	46
6. Relación de nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico, en la temporada seca	47



ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
1. Procedimiento R script para ACP en la temporada de lluvias	64
2. Procedimiento R script para ACP en la temporada de seca	65
3. Procedimiento R script para ACC en la temporada de lluvias	66
4. Procedimiento R script para ACC en la temporada de seca	67
5. Relación de los parámetros con los componentes en la temporada de lluvias	68
6. Relación de los parámetros con los componentes en la temporada de seca	69

RESUMEN

Los nematodos se presentan como valiosas herramientas de bioindicación de calidad del suelo en especial por la actividad minera. Se evaluó la relación de nematodos edáficos frente a un gradiente de estrés abiótico, en una temporada de lluvias y una temporada de seca, en suelos con influencia minera. La fase de campo consistió en un muestreo compuesto por 20 submuestras para cada tipo de suelo con 3 repeticiones a una distancia de entre 500 a 1000 m; el pastizal (*Pennisetum sp.*) y cultivo de maíz (*Zea mays*) se muestreo en forma de zic zac y el cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*) en forma de estrella, ello tanto para la temporada de lluvias como de seca; la fase de laboratorio consistió en la determinación a nivel de género de nematodos y análisis de parámetros edáficos, parámetros nutricionales, parámetros microbiológicos y metales pesados: finalmente, la última fase fue la de procesamiento de los datos donde la determinación del gradiente de estrés se realizó mediante un Análisis de Componentes principales; y la relación entre el gradiente de estrés y los nematodos se realizó mediante una Análisis de Correlación Canónica. En la temporada de lluvias el Análisis de Correlación Canónica mostró que existen correlaciones significativas: *Helicotylenchus* con vanadio ($r=0.99$) y *Globodera* con titanio ($r=0.97$); y en la temporada seca: *Meloidogyne* con vanadio ($r=0.99$). En conclusión, el gradiente de estrés abiótico presenta alta correlación a los nematodos bacteriívoros, fungívoros y fitoparásitos; y baja correlación a los nematodos omnívoros y predadores.

Palabras clave:

Ecosistemas edáficos, grupos funcionales, nematodos edáficos, parámetros fisicoquímicos, salud del suelo.



ABSTRACT

Nematodes are presented as valuable tools for soil quality bioindication, especially for mining activities. The ratio of edaphic nematodes against an abiotic stress gradient was assessed, in a rainy season and a dry season, in soils with mining influence. La fase de campo consistió en un muestreo compuesto por 20 submuestras para cada tipo de suelo con 3 repeticiones a una distancia de entre 500 a 1000 m; el pastizal (*Pennisetum sp.*) y cultivo de maíz (*Zea mayz*) se muestreo en forma de zic zac y el cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*) en forma de estrella, ello tanto para la temporada de lluvias como de seca; la fase de laboratorio consistió en la determinación a nivel de género de nematodos y análisis de parámetros edáficos, parámetros nutricionales, parámetros microbiológicos y metales pesados: finalmente, la última fase fue la de procesamiento de los datos donde la determinación del gradiente de estrés se realizó mediante un Análisis de Componentes principales; y la relación entre el gradiente de estrés y los nematodos se realizó mediante una Análisis de Correlación Canónica. In the rainy season the Canonic Correlation Analysis showed that there are significant correlations: *Helicotylenchus* with vanadium ($r=0.99$) and *Globodera* with titanium ($r=0.97$); and in the dry season: *Meloidogyne* with vanadio ($R=0.99$). In conclusion, the abiotic stress gradient presents high correlation to bacteriovorus, fungivorus and phytoparasite nematodes; and low correlations to omnívorus and predators.

Keywords:

Edaphic ecosystems, functional groups, edaphic nematodes, physical and chemical parameters, soil health.

INTRODUCCIÓN

Esta investigación corresponde a la línea de investigación de recursos naturales y medio ambiente, con el tema de investigación enfocado a la calidad ambiental; perteneciente al programa de Doctorado en Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente de la UNA-Puno. Esta investigación se orientó hacia una problemática de la calidad del suelo en minería. Considerando que es una de las prácticas antropogénicas más destructivas del suelo, produciendo alteraciones en sus propiedades físicas, químicas y biológicas y que éstas alteraciones son representadas por un gradiente de estrés abiótico (Franzo et al., 2022; Martínez et al., 2018).

El diagnóstico del gradiente de estrés abiótico se realizaban mediante análisis con parámetros fisicoquímicos, que tienen como principal inconveniente, el de brindar datos efímeros “en un punto e instante determinado” y ser costosos (Darré et al., 2019; Bongers y Esquivel, 2015); no obstante, en los últimos años se usan bioindicadores, que brindan datos por temporadas, ya que según sea el tipo de organismo, presentan diferentes ciclos de vida, resolviendo el inconveniente de proporcionar datos efímeros (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013; Campos-Herrera et al., 2016; Šalamún et al., 2018). Si bien algunos protozoarios, algas y hongos presentan algunas características bioindicadoras; son los nematodos edáficos los que presentan particularidades idóneas comparados con otros organismos, ya que estos se encuentra en todo tipo de suelo, siempre que haya humedad, son abundantes y presentan hasta 5 grupos funcionales (Calvão et al., 2019; Kabir et al., 2018; Gu et al., 2018; Bal et al., 2017).

Existen estudios de nematodos en suelos agrícolas indicadoras de calidad de suelo (Guerrero, 2017; Hassani et al., 2019; Guo et al., 2021 y Liu et al., 2022); sin embargo, es necesario ahondar el estudio del comportamiento bioindicador de los nematodos en otros tipos de suelo, ya que de esa forma se contribuirá con un adecuado diagnóstico de la calidad de suelo. Por ello, en esta investigación se evalúa el comportamiento bioindicador de los nematodos edáficos en suelos con influencia minera.

Este trabajo de investigación está estructurado en cuatro capítulos. El primer capítulo contiene el marco teórico y los antecedentes, que incluye una exhaustiva búsqueda de información bibliográfica; el segundo capítulo contiene el planteamiento del problema, que incluye la identificación y enunciado del problema, justificación y objetivos; el tercer capítulo contiene los materiales y métodos, que incluye el lugar de estudio, población, muestra, método de investigación y la descripción detallada de métodos por



objetivo; finalmente, el cuarto capítulo contiene los resultados, discusiones y conclusiones.

CAPÍTULO I

REVISIÓN DE LITERATURA

1.1. Marco teórico

1.1.1. Suelo

El suelo es un material que cubre la superficie de la tierra que se desarrolla a lo largo del tiempo como resultado de las interacciones entre muchos factores físicos, químicos, biológicos y climáticos. El suelo es un recurso natural no renovable que es esencial para la vida en la Tierra porque proporciona apoyo físico a las plantas, absorbe y filtra el agua, alberga una amplia variedad de especies biológicas y ayuda a regular el clima. El suelo está compuesto por componentes minerales, materia orgánica, agua, aire y organismos vivos como bacterias, hongos, plantas y animales. Los diferentes tipos de suelos se clasifican según sus características físicas, químicas y biológicas, como su estructura, pH, fertilidad, capacidad de retención de agua y actividad biológica. La calidad del suelo es un componente crucial de la sostenibilidad de las prácticas agrícolas, forestales y urbanas, y su conservación es esencial para garantizar la seguridad alimentaria, la conservación de la biodiversidad y la protección del medio ambiente (Chen et al., 2023).

1.1.2. Calidad del suelo

El término “calidad del suelo” se refiere a la capacidad de los suelos para funcionar como un ecosistema vivo que preserve la productividad y la calidad del medio ambiente. La calidad del suelo está influenciada por una serie de factores físicos, químicos y biológicos, incluyendo la textura, organización, porosidad, acidez, fertilidad, capacidad de retención de agua, actividad biológica y presencia de contaminantes. Estos factores interactúan entre sí para afectar la

capacidad del suelo para apoyar la producción de cultivos, la absorción y filtración del agua, la retención y liberación de nutrientes, la regulación del clima y la biodiversidad del ecosistema terrestre. La calidad del suelo es crucial para la producción de alimentos saludables y ricos en nutrientes, la conservación de la biodiversidad, la mitigación del cambio climático y la protección del medio ambiente. Como resultado, es crucial promover prácticas de gestión sostenible del suelo que mejoren y preserven la calidad del suelo al tiempo que se reduce la erosión (Leul et al., 2023).

1.1.3. Física del suelo

El campo de la ciencia del suelo conocido como "física del suelo" se ocupa del estudio de las características físicas del suelo y de cómo estas características afectan a la funcionalidad y la calidad del terreno. Las características físicas del suelo incluyen su composición, estructura, porosidad, densidad, permeabilidad y capacidad de retención de agua. La textura del suelo se refiere al tamaño relativo de los constituyentes minerales de suelo, como el arena, arcilla y cal. La estructura del suelo se refiere a cómo sus partes constituyentes están dispuestas en agregados, lo que afecta a la porosidad y permeabilidad del terreno. La cantidad total de espacio poroso en el suelo se denomina porosidad del suelo, que afecta a la capacidad para el flujo de aire, la retención de agua y la penetración de las raíces de las plantas. La densidad del suelo se refiere a la cantidad de suelo por unidad de volumen, lo que afecta a la capacidad de la tierra para retener agua y la penetración de las raíces. El término "permeabilidad del suelo" se refiere a la capacidad que tiene el suelo para permitir que el aire y el agua pasen por él. Esto afecta tanto a la cantidad como a la calidad del agua subterránea. La capacidad del suelo para retener agua se refiere a la cantidad de agua que puede retener y suministrar a las plantas, lo que afecta tanto a la producción de cultivos como a la salud del ecosistema terrestre. Comprender las propiedades físicas del suelo es esencial para gestionarlo de manera sostenible y mantener su calidad (Rezaei et al., 2022).

1.1.4. Química del suelo

El estudio de los elementos químicos que componen el suelo, sus interacciones, y sus efectos en la funcionalidad y la calidad del suelo se denominan "química

de suelo". Los minerales inorgánicos, la materia orgánica, el agua y los gases están entre los constituyentes químicos del suelo, y su interacción es compleja y dinámica. Uno de los componentes más importantes del suelo es su material orgánico, que se compone de plantas y animales que se encuentran en varias etapas de descomposición. El material orgánico del suelo afecta a la capacidad de los suelos de retener agua y nutrientes, así como su actividad biológica y su composición estructural. Varias propiedades químicas de los minerales inorgánicos del suelo, como la arcilla, la arena, afectan al pH del suelo, su capacidad de retener nutrientes y su capacidad para participar en el intercambio catiónico. (CIC). El CIC mide la capacidad del suelo para reponer y suministrar nutrientes a las plantas y es un indicador clave de cuán fértil es el suelo. La disponibilidad de nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, como el nitrógeno, el fósforo y el potasio, así como la presencia y el impacto de contaminantes como metales pesados y productos químicos están relacionados con la química del suelo. Una comprensión profunda de la química del suelo es esencial para gestionar el suelo de manera sostenible, aumentar los rendimientos de las cosechas y proteger el medio ambiente (Hatanaka et al., 2022).

1.1.5. Microbiología del suelo

El estudio de los microorganismos del suelo, su diversidad, sus funciones y sus efectos en la calidad y los ecosistemas terrestres se conoce como microbiología de los suelos. Los microorganismos del suelo, que también incluyen bacterias, hongos, actinomicetos, virus y protozoos, juegan un papel crucial en los procesos biogeoquímicos que ocurren allí, como la descomposición de la materia orgánica, la fijación del nitrógeno, el ciclo de nutrientes y el control de la calidad del agua subterránea. Debido a que los microorganismos del suelo pueden actuar como agentes biológicos de control para los patógenos en el suelo y fomentar el crecimiento de las líneas de raza de las plantas, la microbiología de los suelos también es crucial para la salud de las plantas. La variedad de microorganismos en el suelo es enorme y varía dependiendo de factores como la textura del suelo, la estructura, el pH y la disponibilidad de nutrientes. Comprender la microbiología del suelo es crucial para gestionar el suelo de manera sostenible, ya que permite el uso de microorganismos para mejorar la fertilidad y reducir la dependencia de fertilizantes químicos. Los microorganismos en el suelo pueden

actuar como indicadores de la contaminación del suelo y la calidad de las aguas subterráneas, por lo que la microbiología de los suelos es también crucial para proteger la salud humana (Pinto-Poblete et al., 2023).

1.1.6. Ecosistema edáfico

Se define como la superficie de la corteza terrestre llamada litosfera, la cual está en contacto directo con el ser humano y donde se establecen y desarrollan gran parte de las especies vegetales existentes, debido a que aquí encuentran los nutrientes y el agua, que son indispensables para su crecimiento. Por lo tanto, como la vida humana y animal depende absolutamente de la existencia de las plantas, el suelo debe ser usado en forma racional, de modo que se debe de evitar su rápido deterioro, ya que es un recurso natural muy susceptible al agotamiento y que sin su existencia la vida sobre el planeta se vería seriamente amenazada (Bongers y Esquivel, 2015).

1.1.7. Actividad minera

La actividad minera es antigua como la historia de la tierra, es extremadamente importante para los ingresos de los países que poseen riqueza mineral especialmente el oro, plata, cobre y otros que en el mercado adquieren un poder adquisitivo importante, para la economía individual y colectiva, así como la estatal (Campos-Herrera et al., 2016). Esta constituye recursos naturales no renovables los cuales deben explotarlos sin causar daño al ecosistema y la salud humana. El paradigma de acumulación de riqueza y el poder del mercado prioriza e induce a modos y estilos de vida deformados que afecta a la salud individual y colectiva (Sechi et al., 2018).

1.1.8. Gradiente de estrés abiótico del suelo

Consiste en todos aquellos elementos extraños del sistema suelo o la existencia de un nivel inusual que genera un efecto nocivo para los organismos del suelo y sus consumidores (Darré et al., 2019). El suelo puede contener una gran variedad de elementos químicos, por lo que puede resultar difícil establecer a partir de qué momento, un mismo elemento deja de ser beneficioso o indiferente para pasar a tener la calificación de contaminante (Kaya et al., 2015).

1.1.9. Bioindicadores del suelo

Los organismos conocidos como bioindicadores de suelo se utilizan para evaluar la calidad del suelo y la salud del ecosistema. Los bioindicadores pueden ser plantas, animales o microorganismos que responden a los cambios en el suelo y proporcionan detalles sobre su fertilidad, estructura, contenido de material orgánico y actividad biológica. Los ejemplos comunes de bioindicadores del suelo incluyen lo siguiente (Kooch y Ghaderi, 2023):

- Las lombrices del suelo son indicadores esenciales de la salud del suelo, ya que su presencia y actividad pueden revelar la calidad de la tierra en términos de fertilidad, estructura y contenido de materia orgánica.
- Los microorganismos del suelo, tales como bacterias, hongos y actinomicetos, son indicadores significativos de la actividad bioquímica de los suelos y pueden revelar la disponibilidad de nutrientes y la capacidad de la tierra para descomponer la materia orgánica.
- Ciertas plantas sirven como indicadores de la calidad del suelo y pueden revelar la presencia de contaminantes o nutrientes específicos en el suelo. Por ejemplo, la presencia de ciertas plantas, como la ortiga o el cardo, puede indicar la presencia del nitrógeno en el suelo.
- Los insectos del suelo, tales como las hormigas y los escarabajos, pueden servir como indicadores de la calidad de los suelos ya que su presencia y actividad pueden indicar la presencia de materia orgánica y la estructura de suelo.
- Los hongos micorrizos son rizomas de raíces de plantas y pueden revelar información sobre la salud de la planta y la calidad del suelo. La presencia de hongos microscópicos en el suelo puede indicar la disponibilidad de nutrientes y la capacidad del suelo para apoyar la vida vegetal.

El uso de bioindicadores de suelo puede ser una herramienta útil para evaluar la calidad del suelo y la salud del ecosistema, ya que proporcionan información útil sobre los procesos biológicos y químicos que ocurren en el suelo. Además, el seguimiento rutinario de los bioindicadores puede ayudar a identificar problemas temprano y permitir la aplicación de medidas de gestión adecuadas para mantener la calidad del suelo y la salud del ecosistema (Fournier et al., 2022).

1.1.10. Nematodos como bioindicadores

Son organismos que presentan especies que pueden ser incluidas en al menos cuatro grandes grupos funcionales, que, unido a la variabilidad de tipos de ciclos de vida dan lugar a numerosos grupos funcionales (Ezenne et al., 2019). Al contrario que en otros grupos de la fauna del suelo, los grupos funcionales de nemátodos son fácilmente identificables por estructuras morfológicas asociadas a sus hábitos alimenticios (Darré et al., 2019). Son relativamente pequeños y presentan ciclos vitales relativamente cortos lo que les permite responder rápidamente a cambios en el ambiente, a la vez que las fluctuaciones en sus poblaciones no son tan rápidas como las de otros microorganismos del suelo (Bal et al., 2017).

1.1.11. Nematodos y sus grupos funcionales

Los nemátodos edáficos pueden clasificarse fundamentalmente en cinco grandes grupos funcionales: bacterióvoros que se alimentan de bacterias; fungívoros que se alimentan de hongos y que regulan las poblaciones microbianas y participan activamente en el mantenimiento del ciclo de nutrientes y en la mineralización del Nitrógeno (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013); fitoparásitos que se alimentan de las raíces de las plantas (aunque algunas especies parasitan tallos y hojas) y pueden provocar daños importantes en las cosechas; y finalmente los omnívoros y predadores que se alimentan de otros organismos edáficos (incluidos otros nematodos) y pueden ser importantes en la supresión de especies plaga o invasoras (Sánchez-Moreno y Talavera, 2013).

1.2. Antecedentes

Kooch y Ghaderi (2023) investigaron sobre cómo los tipos de dosel de *Crataegus* y *Berberis* pueden indicar la calidad del suelo en un clima semiárido, descubrieron que el microclima y la fertilidad del suelo influyen en gran medida en la población, composición y diversidad de la biota del suelo bajo las cubiertas de dosel. Asimismo, comprobaron que un aumento en la temperatura del suelo puede ser perjudicial para las poblaciones de biota del suelo. Por lo tanto, concluyeron que los tipos de dosel que generan un microclima más adecuado, con mayor humedad y menor temperatura del suelo, y suelos fértiles, promueven poblaciones más numerosas de organismos del suelo, especialmente en la capa superior del suelo (0–10 cm).

Murphy et al. (2023) realizaron un estudio que utilizó un enfoque comparativo espacial para evaluar los efectos de sustancias químicas del suelo en la demografía de ratones ciervo. Los datos de detección de ratones ciervo de dos áreas de estudio se analizaron mediante modelos de captura-recaptura espaciales (CRE). Se encontró que la densidad de ratones ciervo fue significativamente mayor en áreas con altas concentraciones de bifenilos policlorados, cromo y zinc en el suelo. Este resultado hubiera sido pasado por alto si se hubiera utilizado un enfoque no espacial tradicional. Los autores concluyeron que el enfoque comparativo espacial con modelos CRE debe ser utilizado para evaluar los efectos de la contaminación ambiental en la demografía de los bioindicadores.

Teshita et al. (2023) llevaron a cabo una investigación para determinar si la combinación de maíz y alfalfa mejoraría la comunidad de nematodos. Además, evaluaron los efectos de esta combinación y la fertilización con nitrógeno en la abundancia, diversidad y huellas metabólicas de los nematodos en comparación con el sistema de monocultivo. El estudio utilizó un diseño de bloques al azar con factores de dos niveles de nitrógeno (sin fertilización y con fertilización) y tres modos de cultivo (maíz, alfalfa y maíz intercalado con alfalfa). Los resultados demostraron que el cultivo intercalado aumentó la abundancia total de nematodos y omnívoros-depredadores, pero redujo la de herbívoros. Además, la biomasa total de nematodos también se incrementó junto con la huella metabólica de los omnívoros y depredadores. El sistema de cultivo intercalado sin fertilización con N resultó en una

red trófica madura, estructurada y enriquecida, lo que indica una mejora en la complejidad estructural de la red alimentaria en comparación con los sistemas de monocultivo. Sin embargo, estos efectos disminuyeron después de la fertilización con nitrógeno. Concluyeron que el cultivo intercalado de maíz y alfalfa en suelos con bajo contenido de nitrógeno puede mejorar la complejidad estructural de la red alimentaria del suelo.

Xue et al. (2023) evaluaron los efectos de la presencia de fósforo (P) en los nematodos del suelo que tienen vida libre, tanto mediante análisis *in situ* como *in vitro*. Determinaron que los ambientes que no tienen suficiente P tienen un impacto previsible en la ecología y evolución de rasgos importantes. Para ello, se encontró que la deficiencia de P puede influir en estos rasgos a través de la alteración del número de copias del gen rRNA, lo que afecta la expresión génica y la síntesis de proteínas. Estos resultados son significativos ya que explican los patrones ecológicos y evolutivos del suelo en distintos niveles de organización, incluyendo la estructura y funcionamiento de los organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas.

Atandi et al. (2022) evaluaron la estructura y diversidad de nematodos de vida libre (FLN) en un entorno de campo, mediante la realización de experimentos en parcelas sembradas con maíz y frijol bajo cuatro prácticas de cultivo diferentes: orgánico, convencional, prácticas agrícolas y control. Los resultados mostraron que el sistema de cultivo orgánico tuvo una mayor abundancia y diversidad de nematodos de vida libre, lo que sugiere una mayor estabilidad en la salud del suelo y fertilidad del mismo en comparación con los otros sistemas de cultivo. Concluyendo que la agricultura orgánica desempeña un papel importante en la mejora de la biodiversidad y acumulación de población de FLN en el suelo.

Young et al. (2023) realizaron una comparación de los bioindicadores de la calidad del suelo y se llevó a cabo la revisión sistemática de 31 estudios publicados en marzo de 2020 en las bases de datos de Web of Science y Scopus. Estos estudios evaluaron los impactos del uso y cambio de la tierra en los parámetros de nematodos de vida libre en los biomas globales. Lo encontrado indica que el bioma del norte tiene una mayor abundancia de nematodos que otros biomas, pero no se encontraron artículos sobre nematodos en sistemas agrícolas con influencia minera. Esto subraya

la necesidad de trabajo futuro en este campo de investigación. Dado el papel crítico que los nematodos de vida libre desempeñan en la red alimentaria, su tiempo de generación más largo y estable que los microbios, la taxonomía, los rasgos de historia de vida y los hábitos de alimentación relativamente bien conocidos, los autores proponen que los nematodos deben ser considerados como indicadores de cambios funcionales en suelos agrícolas boreales.

Campos-Herrera et al. (2022) investigaron presencia de nematodos entomopatógenos (EPN) y otros organismos del suelo. A través del uso de técnicas específicas de PCR cuantitativa y conjuntos de cebadores-sonda, examinaron la presencia de nueve especies de EPN, cinco nematodos de vida libre (FLN) y seis hongos nematófagos (NF). Los resultados indicaron que solo dos especies de EPN fueron identificadas: *Steinernema feltiae* (15,7%) y *Heterorhabditis* (7,9%). Se observó que el manejo de plagas y suelos no tuvo un efecto significativo en la presencia de EPN, pero el riego por goteo tuvo un efecto positivo ($P < 0.025$). Por otro lado, se registraron menores números de FLN en las zonas con riego por goteo, especialmente para las especies *Oscheius tipulae* y *Pristionchus maupasi* ($P = 0.003$). En un análisis multivariado, cuatro variables abióticas (P extraíble, contenido de arcilla, elevación y precipitación) explicaron el 85,6% de la variación en la presencia de especies EPN, FLN y NF.

Chaplygin et al. (2022) examinaron cómo *Phragmites australis* Cav. puede determinar la presencia de metales pesados (MPs) e hidrocarburos aromáticos policíclicos (HAPs) en el suelo a través del análisis de cambios en la estructura interna de la planta. Los niveles de Mn, Cu, Cr, Cd, Pb, Zn, Ni y 16 HAP prioritarios en los suelos hidromórficos y las plantas de *P. australis* Cav. aumentaron en proporción a la cercanía a la fuente de emisiones (en dirección predominante del viento noroeste). Los contaminantes se encontraron en mayores concentraciones en las raíces. Se observó una disminución en el diámetro de las raíces y un aumento en el grosor de las hojas. Además, mediante la microscopía electrónica, se detectaron cambios en la estructura los cloroplastos, mitocondrias y peroxisomas debido a la acumulación de MP y HAP. Los cambios más severos en la estructura celular se observaron en las plantas situadas a un máximo de 2,5 km de la fuente de emisiones y hacia la dirección predominante del viento noroeste. Estos

hallazgos sostienen que *Phragmites australis* puede ser utilizado como bioindicador de la contaminación ambiental y las particularidades de la distribución de metales pesados y otros contaminantes en suelos hidromórficos.

Cui et al. (2022) llevaron a cabo un estudio de campo para investigar el impacto de diferentes niveles de precipitación (2 mm, 5 mm, 10 mm, 20 mm y 40 mm) y la adición de nitrógeno ($10 \text{ gN m}^{-2} \text{ año}^{-1}$) en la población de nematodos en un pastizal semiárido. Los resultados revelaron que la cantidad y variedad de nematodos aumentó en los tratamientos con menos precipitaciones, pero más intensas. Sin embargo, la adición de nitrógeno disminuyó la diversidad de nematodos en estos escenarios, contrarrestando los efectos positivos del aumento de la intensidad de la lluvia. Los factores clave que influyeron en la diversidad de nematodos fueron el pH del suelo y la biomasa subterránea. Los hallazgos sugieren que, debido al cambio climático, aumentar la intensidad de la lluvia puede ser beneficioso para las comunidades de nematodos en regiones áridas y semiáridas. No obstante, estos efectos pueden verse afectados por la acidificación del suelo como resultado de la deposición de nitrógeno en ciertas áreas.

di Montanara et al. (2022) realizaron un análisis bibliográfico en la base de datos Scopus para examinar las tendencias de investigación y áreas alrededor de los nematodos libres que viven en entornos terrestres, acuáticos y marinos. Destacaron las posibles diferencias entre ellos y examinaron elementos como la coautoría entre investigadores y países, la co-ocurrencia de palabras clave y el análisis de citas de revistas. Los hallazgos demuestran que los nematodos del suelo libre reciben más atención en revistas de alto nivel, mientras que los Nematodos de agua dulce son menos prevalentes. En contraste, la investigación sobre los nematodos marinos se publica en revistas de nivel medio con un enfoque en taxonomía, sistematización, filogenia, diversidad morfológica y genética. Además, ha habido un aumento del interés en cómo la contaminación ambiental afecta a los nematodos como bioindicadores de la salud ambiental y cómo podrían utilizarse como modelos para problemas científicos.

Egea et al. (2022) describieron los procesos involucrados en la capacidad de las plantas para resistir el estrés abiótico, centrándose en cómo las plantas reaccionan a situaciones estresantes tales como estrés osmótico, oxidativo, iónico y nutricional,

así como los cambios anatómicos que resultan de estas adaptaciones. Se afirmó que para mejorar la calidad de la fruta y prevenir la pérdida de producción, es esencial identificar los genes clave en el tomate que están involucrados en la capacidad de tolerar el estrés abiótico durante un largo período de tiempo. Se describieron las funciones de los genes del tomate que han sido identificados hasta este punto y que tienen un impacto en el rendimiento de la fruta bajo estrés abiótico, incluyendo aquellos que están involucrados en la detección de olores, la percepción y transmisión del estrés Abiótica, factores de transcripción y genes que responden al estrés abiótico. Aunque los procesos de adaptación fisiológica pueden aumentar la producción de metabolitos durante el estrés abiótico, se determinó que, para avanzar en este campo, aún es necesario seguir identificando genes que mejoren la calidad de la fruta bajo estrés.

Franzo et al. (2022) investigaron nematodos de vida libre en tres puertos comerciales del Mediterráneo (Ancona y Trieste en Italia, y Koper en Eslovenia) en términos de abundancia, diversidad y funcionalidad. Sus resultados indicaron que los géneros de estrategias r eran dominantes en todos los puertos y que un conjunto más diverso caracterizaba a Trieste, a pesar de los altos niveles de contaminación, lo que sugirió una posible adaptación a la contaminación.

Fournier et al. (2022) utilizaron un enfoque que combina datos de meta-códigos de barras y algoritmos de aprendizaje automático para identificar posibles factores causales que afectan a la composición y la diversidad de la comunidad protista que habita el suelo. sugirieron el uso de protistas que habitan en el suelo como potentes bioindicadores. Realizaron experimentos en 132 parcelas en 28 pueblos suecos y descubrieron que varios taxones protistas eran sensibles a diversos factores del suelo, incluyendo la concentración de cobre, humedad, pH y respiración basal. Han llegado a la conclusión de que esta técnica puede ayudar a identificar tensiones abióticas específicas en las comunidades microbianas causadas por la gestión agrícola.

Gautam et al. (2022) estudiaron el uso de organismos vivos como algas, líquenes, musgos y plantas superiores, así como bioindicadores animales en áreas con varios tipos de contaminantes orgánicos e inorgánicos. Descubrieron que varios bioindicadores tenían sensibilidades variables a diferentes tipos y concentraciones

de contaminantes en el suelo y que un aumento en la concentración de estos contaminantes puede dañar la salud del suelo e afectar la productividad del ecosistema. A pesar de ciertas limitaciones, los autores concluyen que el uso de organismos vivos como bioindicadores es beneficioso para el seguimiento futuro de la ecotoxicología del suelo ya que es fiable y rentable para detectar y reducir los efectos de los contaminantes en el medio ambiente.

Hou et al. (2022) utilizaron como modelo de nematodo a *Caenorhabditis elegans*, se realizó un estudio sobre la interacción tóxica entre los nanomateriales TiO_2 ($n\text{TiO}_2$) y el pentaclorofenol (PCP) en el suelo. Se estudiaron los efectos de la coexposición a PCP (0,5-50 mg/kg) y $n\text{TiO}_2$ (50-5000 mg/ kg) sobre la supervivencia, el crecimiento y la locomoción de los nematodos, así como los niveles de daño ultraestructural y estrés oxidativo. Los resultados demostraron efectos antagonistas en las respuestas biológicas del nematodo, así como cambios consistentes en los niveles de daño ultraestructural y estrés oxidativo. A pesar del hecho de que las concentraciones de PCP en el suelo no cambiaron significativamente después de una exposición única o combinada a $n\text{TiO}_2$, se sugiere que las biorespuestas juegan un papel significativo en la determinación de las interacciones tóxicas entre los nanomateriales y los contaminantes.

Liu et al. (2022) usando ANOVAS bidireccionales, los investigadores examinaron cómo la estructura y la composición de los nematodos del suelo varían en diferentes profundidades del suelo en respuesta a los factores ambientales. Descubrieron que a una profundidad de 0–10 cm, la diversidad de la comunidad de nematodos del suelo estaba positivamente correlacionada con el pH, mientras que en una profundidad de 10–20 cm, la abundancia total de nematodos se correlaciona positivamente con el carbono orgánico, el nitrato total y la biomasa en el suelo. Los hallazgos implican que las comunidades de nematodos varían entre las dos profundidades del suelo, lo que probablemente se debe a las características únicas de cada nivel.

Jinhao et al. (2022) estudiaron los patrones de distribución espacial de la composición taxonómica, la diversidad y la estructura trófica de las comunidades de nematodos del suelo en diferentes zonas climáticas continuas. Llevaron a cabo investigaciones en cinco tipos de vegetación altitudinal, que incluyen bosque subtropical (SEB), bosque subtropical y caducifolio mixto (SEDB), bosque

templado cálido caducifolio (WTDB), bosque templado de coníferas y bosque mixto de hoja ancha (MTC) y bosque de coníferas templado frío (CTC). Los resultados mostraron que las abundancias y la diversidad presentaron patrones de distribución en forma de campana, siendo los valores más altos en la WTDB. Además, las abundancias de los cuatro grupos tróficos variaron significativamente entre los diferentes tipos de vegetación. Mientras tanto las abundancias relativas de los bacterívoros y fitoparásitos se mantuvieron estables, las de los fungívoros disminuyeron y las de los omnívoros-depredadores aumentaron desde el SEB hasta el CTC.

Kitagami et al. (2022) investigaron cómo las propiedades del clima y del suelo afectan la estructura de la comunidad de nematodos del suelo en plantaciones artificiales de cedro japonés (*Cryptomeria japonica*). Se evaluó la riqueza, abundancia y estructura de la comunidad de nematodos utilizando suelos recolectados a 20 cm de profundidad de ocho plantaciones de 1 hectárea de *C. japonica* (40-60 años), distribuidas en zonas templadas frescas, templadas y subtropicales en verano. Los agregados de nematodos del suelo se identificaron mediante secuenciación de alto rendimiento. La riqueza de la secuencia de amplicón de los nematodos mostró un patrón unimodal significativo con la latitud, con la mayor riqueza observada en la latitud media. En contraste, la abundancia de nematodos mostró un patrón significativo en forma de U con la latitud, siendo menor en latitudes medias. Las estructuras de las comunidades de nematodos en las zonas subtropicales difirieron claramente de las de las zonas templadas y templadas frías. Entre los factores ambientales medidos, la temperatura media anual, el pH del suelo y el contenido de carbono fueron los que más variación mostraron en las comunidades de nematodos. Los resultados indicaron que la riqueza y la abundancia de nematodos presentan patrones opuestos a lo largo de los gradientes latitudinales y que la interacción entre el clima y las condiciones del suelo es el mejor predictor de la estructura de la comunidad de nematodos del suelo en los ecosistemas forestales de monocultivo de *C. japonica*. Este estudio proporcionó información valiosa sobre la biodiversidad subterránea para evaluar la salud de los bosques en plantaciones de coníferas.

Liu et al. (2022) examinaron los cambios en la comunidad de nematodos del suelo a lo largo de tres etapas consecutivas (pastizales, matorrales y bosques) en un bosque subalpino a dos profundidades de suelo. (0-10 cm y 10-20 cm). Para examinar los factores ambientales que influyen en las variaciones en las comunidades de nematodos, midieron las propiedades del suelo y el microbiana. La abundancia de nematodos en general y la tasa de locura aumentaron con el éxito del bosque, mientras que la taxa de parásitos vegetales disminuyó, lo que sugiere una mayor estabilidad en las redes alimentarias y una menor herbívora de las poblaciones raciales en los bosques en comparación con los pastizales y matorrales. También se descubrió que la diversidad de frugívoros aumentó significativamente mientras que la variedad de herbívoros disminuyó. Aunque no hubo diferencias notables en la diversidad total de los nematodos a través de las tres etapas sucesivas, hubo variaciones en las comunidades de nematodos en diferentes profundidades del suelo debido a diversos factores del terreno. En general, se determinó que la sucesión forestal tenía efectos específicos en la comunidad de nematodos del suelo en diferentes capas de suelo y que especies específicas de nematodos podrían ser utilizadas como bioindicadores durante la sucesión.

Ma et al. (2022) llevaron a cabo investigaciones sobre cinco tipos de vegetación a diferentes altitudes en la pendiente oriental del monte Gongga. Estos tipos incluyen el bosque subtropical (SEB), el bosque subtropical mixto y la silvicultura (SEDB), la selva de temporada cálida (WTDB), el Bosque eterno subtropical mixto (MTC) y el bosque subtropical (SEDF). (CTC). Se encontró que la composición taxonómica de las comunidades de nematodos del suelo en SEDB, WTDB, MTC y CTC es similar a la del SED, a pesar de las diferencias en las señales morfológicas. Además, hubo una distribución unilateral en términos de abundancia y diversidad, con el WTDB mostrando los valores más altos. La abundancia de los cuatro grupos de tráfico varió significativamente entre los diferentes tipos de vegetación, y se descubrió que el SEB tenía una mayor proporción de fungicidas a bactericidas que los otros tipos de bosques. La distribución espacial de las comunidades de nematodos en el suelo se vio influenciada principalmente por el pH, K total, P total y temperatura del suelo. Estos hallazgos generalmente implican que hay variaciones en la composición taxonómica, la abundancia, la diversidad y la estructura trófica de las comunidades de nematodos del suelo en diferentes zonas climáticas, aunque

estos cambios no siempre coincidan con los cambios de composición de la comunidad aérea de las plantas.

Mendoza y Mercado (2022) evaluaron la citogenotoxicidad del amoníaco cuaternario de quinta generación. *A. cepa bulb*, *L. culinaris* y *P. sativum* semilla, así como una solución de control de agua destilada, fueron expuestos a diferentes concentraciones de amoníaco cuaternario de quinta generación durante un período de 72 horas. Los hallazgos mostraron que *A. cepa* era el biomarcador más preciso, mostrando 100% de inhibición mitótica en 40 y 50 mg, así como una reducción en la longitud del rayo en 50 mg. Las tres especies bioindicadores revelaron anomalías celulares, con *A. cepa* con el mayor porcentaje relativo de anomalía (25,28%) y el índice más alto de micronucleos. (50 mg). Se determinó que la quinta generación de amoníaco cuaternario causó un efecto citogenotóxico en las células madre apicales de las tres especies evaluadas.

P. Zhang et al. (2022) para examinar el patrón de respuesta de la comunidad de nematodos del suelo en términos de abundancia, diversidad, estructura y funciones, llevaron a cabo un experimento de manipulación de campo de cinco años con cuatro niveles de intensidad pastoreo. Los hallazgos mostraron que el pastoreo moderado soportó las mayores abundancias de todos los nematodos, comedores de plantas y omnívoros, y mantuvo las interacciones interespecíficas más pronunciadas dentro de la comunidad del nematodo. La intensidad del pastoreo parecía tener un impacto en la comunidad subterránea a través del crecimiento compensatorio de los forrajes y los efectos del tráfico ascendente de los antepasados vivos a la red de micronutrientes del suelo. Además, el pastoreo moderado aumentó el índice de huella metabólica funcional de la comunidad de nematodos, activó el canal de energía del rayo, y mantuvo el equilibrio entre los canales de bacterias y hongos, todo lo cual puede optimizar el ciclo de nutrientes en el suelo. Los hallazgos demuestran aún más que la respuesta de la comunidad de nematodos del suelo a la mayor intensidad de pastoreo se correlacionó principalmente con la humedad en el suelo, lo que reveló una respuesta similar a la de joroba a la intensidad aumentada de Pastoreo. En conclusión, la gestión de la capacidad para el pastoreo puede tener efectos significativos en la estructura del ecosistema y las funciones de los pastizales.

Shuqi et al. (2022) para comprender cómo funcionan los procesos de ensamblaje de las metacomunidades de los nematodos libres y qué factores las influyen, los investigadores examinaron las comunidades de nematodos en el terreno de tres ecosistemas montañosos en Asia. Debido a las diferentes altitudes en cada montaña, se observaron diferentes condiciones climáticas, permitiendo la identificación de los procesos de ensamblaje más importantes en diversos biomas. Los investigadores encontraron que, aunque estos procesos no eran uniformes en todas las cordilleras, una variedad de factores, incluyendo factores climáticos y edáficos, influyeron significativamente en cómo los procesos de montaje comunitario variaron según la altitud. Los hallazgos sugieren que una amplia gama de procesos ambientales tiene un impacto significativo en la estructura de las metacomunidades libres de nematodos.

Tu et al. (2022) sembraron *Cinnamomum longipaniculatum* dentro de una plantación de *Pinus massoniana*. Después de ocho años de replantado, se examinaron las características de la comunidad de nematodos en el suelo, con el tamaño y la ubicación de los parches de *C. longipaniculatum* sirviendo como la base analítica. Se descubrió que el tamaño del pasto tuvo un impacto en la comunidad de nematodos del suelo cuando *C. longipaniculatum* fue plantado. Cuando el tamaño del estacionamiento superó los 30 m x 30 m, no se observaron cambios notables en la comunidad de nematodos del suelo. También se descubrió que el contenido de carbono orgánico del suelo, el pH, el contenido en agua y el grado de aglomeración fueron los factores que más afectaron a la comunidad de nematodos. Dentro de la comunidad de nematodos del suelo, los nematodos fungívoros tenían la mayor influencia sobre los nematodos predadores y omnívoros. En conclusión, el estudio mostró que el ambiente del suelo cambia a medida que se vuelve más vegetado y tiene un efecto en los grupos de nematodos que viven allí. Además, los nematodos del suelo pueden mostrar de manera efectiva la restauración ecológica de los suelos tras la sustitución de *P. massoniana* por *C. longipaniculatum*.

Tvisha et al. (2022) llevaron a cabo un análisis factorial para determinar cómo las comunidades de nematodos afectan la salud biológica del suelo. Usando los resultados de este análisis, se determinaron cuatro características de la salud del suelo, incluyendo la tasa de ciclo de nutrientes, la complejidad de la estructura

trófica y la perturbación acumulativa. Los hallazgos mostraron que los indicadores bioquímicos de la salud del suelo, como la actividad de las enzimas, el contenido de carbono mineralizable y las proteínas de los suelos, estaban más estrechamente relacionados con los grupos dietéticos de los nematodos que con los índices de los Nematodos. También se descubrió que la velocidad del ciclo de nutrientes y la descomposición de la materia orgánica fueron significativamente afectadas por la intensidad de la labranza. En conclusión, se sugiere que las evaluaciones futuras de la salud del suelo pueden tener en cuenta los grupos de alimentación de nematodos.

Xing et al. (2022) realizaron un análisis de numerosos estudios sobre la adición de nitrógeno para determinar cómo afecta a la variedad y la abundancia de los nematodos. Los hallazgos mostraron una correlación negativa entre la tasa de adición de N y la diversidad de nematodos, pero no la abundancia. En términos de gradientes climáticos, la adición de N disminuyó la diversidad de nematodos en regiones secas mientras que la mejoró en las regiones húmedas. Además, la introducción de N redujo la abundancia de nematodos en las regiones frías, mientras que aumentó en las zonas cálidas. La abundancia de nematodos omnívoro-carnívoros (nematodos de alto nivel de tráfico) disminuyó más que los grupos de nivel inferior (nematodos que se alimentan de plantas, bacterias y hongos). Esto se debe a los efectos negativos del nitrógeno (N), como el aumento del amoníaco, la acidificación del suelo y la reducción de la biomasa microbiana. En conclusión, se prevé que la reducción futura de las poblaciones de nematodos causada por niveles más altos de N tendrá menos impacto en las actividades microbianas y vegetales y simplificará la red alimentaria del suelo, especialmente en las regiones áridas y secas.

Zhang et al. (2022) llevaron a cabo un estudio para determinar el impacto de las contribuciones superficiales y subterráneas en la composición y la actividad de la comunidad de nematodos en el suelo pastizal. Para ello, los suelos fueron sometidos a cuatro tratamientos diferentes que involucraron adiciones de plantas durante dos años consecutivos: sin adición, adición superficial (+A), adición subterránea (+B), y adiciones tanto aéreas como subterráneas (+A + B). Midieron las emisiones metabólicas del nematodo, incluyendo el carbono utilizado para el crecimiento y la reproducción, el carbón perdido a través de la respiración, y la eficiencia de la

absorción de carbono. Los hallazgos mostraron que las comunidades de nematodos eran más abundantes y complejas en los suelos subterráneos que en los terrenos superficiales, y también favorecían un canal bacteriano de descomposición. Las contribuciones subterráneas al suelo estimularon más actividad metabólica en los nematodos del suelo, lo que a su vez estimuló una red de alimentación más rica y eficaz que las ingestiones basadas en la superficie. Además, se descubrieron eficiencias de utilización de dióxido de carbono más altas para los nematodos totales y omnívoros en fuentes subterráneas del carbono que en las fuentes superficiales. Como resultado, los recursos derivados de las plantas subterráneas tienen un impacto positivo en la tasa de renovación del dióxido de carbono y la actividad metabólica de los nematodos del suelo, lo que conduce al desarrollo de una red de alimentación de suelos más productiva y rica.

da Silva et al. (2021) determinaron cómo el uso del suelo y la estacionalidad afectan a la composición y la función de los componentes de nematodos en la red de nutrientes de los suelos. Por esta razón, se recolectaron muestras de suelo en condiciones secas y húmedas de tres tipos diferentes de usos del suelo: bosque primario, zonas agrícolas y bosque secundario. Se examinaron cada grupo funcional de la abundancia de nematodos, el metabolismo del carbono y la campana metabólica. Los hallazgos demostraron que los tipos de uso del suelo y las condiciones ambientales tenían un impacto en los niveles de carbono y metilación de la población total de nematodos, así como los depredadores bacterianos, hongos y omnívoros. Se demostró que los niveles metabólicos y orgánicos de carbono del nematodo eran más bajos en las zonas agrícolas que en los bosques primarios y secundarios, así como en las estaciones secas y húmedas. Además, se descubrió que, independientemente del tipo de uso del suelo y la ubicación, la mayoría de la asimilación de recursos en la red de suelo ocurrió a través del canal bacteriano.

Guo et al. (2021) utilizaron nematodos como bioindicadores en un sistema cultivable para determinar cómo la calorificación del suelo y los cambios en la cantidad y frecuencia de precipitación afectan a las condiciones y la salud del terreno. Los hallazgos mostraron que el calentamiento del suelo aumentó significativamente la densidad de población de nematodos, pero la reducción de la frecuencia de precipitación disminuyó su densidad. Se descubrió que el

calentamiento del suelo aumentó principalmente la densidad de los hongos consumidores y los parásitos necesarios de las plantas, lo que sugiere un mayor daño a los cultivos. Por otro lado, se vio que las fuentes de nutrientes de las plantas de raza estaban aún más afectadas por cambios en el patrón de precipitación; su densidad disminuyó con la disminución de la frecuencia de la precipitación y aumentaba con la alternancia de la cantidad de precipitaciones. Además, este estudio destaca la necesidad de estudios adicionales que tengan en cuenta cómo interactúan las variables ambientales para determinar si esta falta de respuesta es un patrón universal y para desarrollar estrategias de gestión para los agroecosistemas frente al cambio climático.

Bell et al. (2021) desarrollaron un método para crear un expediente de bioseguridad ambiental que se utilizará en el futuro para evaluar los efectos de los cultivos transgénicos y mejorar los sistemas agrícolas actuales. Las muestras de suelo examinadas por el estudio no difirieron significativamente en términos de los factores medidos de la química, textura o porcentaje de material orgánico del suelo. Fue posible asignar correctamente cada plantación a un cultivo primario o secundario utilizando un análisis de conglomerados basado en la abundancia de taxones en lugar de la presencia o ausencia de taxa, lo que sugiere que un visitante tiene una influencia significativa en la abundancia de especies particulares de nematodos en el suelo. En términos de tendencias generales, hubo una diferencia entre los tres tipos de plantaciones evaluadas en términos tanto de los índices de diversidad trófica y basal como de la proporción de colonizadores de nematodos rápidos.

Boughattas et al. (2021) se examinaron los microplásticos en los suelos agrícolas utilizando diversas prácticas agronómicas, como la agricultura ecológica, el suelo bajo cobertura de invierno, el terreno bajo un cultivo cubierto, y el terreno que había sido regado con aguas residuales tratadas. (ART). Los investigadores recogieron y caracterizaron partículas de plástico de cada ubicación utilizando la microspectroscopia FTIR y Raman. Las partículas de plástico se aterrizaron y se añadieron a los suelos agrícolas orgánicos que contenían *Eisenia andrei* en una concentración de 100 g kg^{-1} durante siete y catorce días. Midiendo y caracterizando la acumulación de MP en las lombrices y midiendo la actividad de la catalasa, la

glutación-S-transferasa y la acetilcolinesterasa, así como el acúmulo de malondialdehído, se evaluó el estrés oxidativo. Los resultados mostraron que había una mayor cantidad de MP en suelos con pequeños tamaños de predominio (0,22-1,22 m), con polietileno (PE) y (PBAT) siendo el MP más prevalente. Además, se encontró una ingestión significativa de MP en los lóbulos, principalmente de PE, PBAT y polipropileno (PP), y se vieron cambios significativos en el lóbulo expuesto a MPs de superficies irrigadas con ART. Este estudio proporciona información importante sobre el impacto de los microplásticos en la vida silvestre terrestre y destaca la vulnerabilidad del ecosistema terrestre a esta amenaza emergente.

Liu et al. (2021) determinaron los efectos de pastoreo, siega y cultivo en las comunidades de nematodos en el suelo, así como las características edáficas en dos profundidades diferentes. Este estudio es significativo porque aborda la complejidad de las interacciones entre las condiciones ambientales locales, las comunidades de nematodos y las prácticas de gestión pastizal. Se descubrió que la pradera alpina (AM) tenía una mayor abundancia de nematodos en comparación con los pastizales de pradera estepa (MS) y estepa típica (TS), y que las nematodos eran más prevalentes en la superficie del suelo. También se descubrió que los TS y MS pastizales tenían más bacterióvoros, lo que tiene un impacto en la mineralización del suelo y las vías para la descomposición bacteriana de la materia orgánica. Los hallazgos mostraron que, a diferencia de los pastizales TS o MS, las características ambientales tuvieron un impacto significativo en la estructura de la comunidad de nematodos en los pastizales AM.

Losi et al. (2021) realizaron una descripción detallada de la población de nematodos, incluyendo su composición, diversidad taxonómica y características funcionales. Además, se midió la cantidad y el tipo de material orgánico, así como la presencia de contaminantes tales como metales pesados, hidrocarburos policlimáticos e hidrocarburos de cadena larga. Se descubrió que el mercurio era la principal fuente de contaminación en el área de estudio, seguida de arsénico, zinc e hidrocarburos. La distribución de la fauna de nematodos fue afectada por la contaminación, la composición y la sedimentación, tanto desde un punto de vista taxonómico como funcional. Las principales diferencias entre los grupos de ubicaciones se observaron en la población de nematodos y las variables ambientales.

Ikoyi et al. (2021) en una reserva contaminada naturalmente por metales, evaluaron la distribución espacial de los indicadores de calidad del suelo basados en nematodos utilizando la técnica geoestadística. Se esperaba que una serie de propiedades del suelo, incluyendo pH, contenido de humus, arcilla, materia orgánica, cadmio (Cd) y concentraciones de zinc (Zn), podrían explicar al menos parte de la variación espacial en los índices. Para seleccionar 80 lugares donde se tomaron muestras de suelo con el fin de recoger nematodos y determinar los índices, se utilizó un modelo aleatorio simple. Los hallazgos mostraron que las propiedades del suelo, en particular su contenido de Cd y Zn, varían significativamente en toda la zona de estudio, con valores que oscilan entre 0,07 y 68,9 y 5,3 y 1 329 mg kg⁻¹, respectivamente. El estudio enfatizó la importancia de tener en cuenta las propiedades del suelo para comprender la distribución espacial de los indicadores de calidad de suelo y evaluar el riesgo ambiental. También se demostró que el uso de técnicas de regresión podría mejorar la precisión del modelo de la distribución espacial de los índices de calidad del suelo basados en nematodos.

Chen et al. (2021) examinaron los efectos de los diferentes tipos de pastoreo (sin pastoreo, pastoreo con ovejas, pastoreo con ganado, y pastoreo mezclado con oveja y ganado) y la adición de N (N medioambiental; añadido de N) en los nematodos del suelo en una estepa pradera individualmente y en combinación. Los resultados mostraron que tanto el pastoreo como la adición de N interactúan para afectar la abundancia total de nematodos, el número de grupos de tráfico, la riqueza general, la diversidad y una serie de índices basados en nematodos. Se observó que el ganado pastoreo podría beneficiar a la comunidad de nematodos que habitan en el suelo en presencia de depósitos N. En general, el estudio subrayó la importancia de tener en cuenta tanto los efectos independientes de numerosos factores ambientales como sus interacciones con la comunidad de nematodos en el suelo en el estuario de la pradera.

Karuri (2021) investigaron sobre la red de alimentación de nematodos y las campanas metabólicas en un bosque tropical y los campos de té circundantes. Los nematodos fueron identificados a nivel de género utilizando muestras de suelo de ambos campos y áreas forestales. En contraste con el bosque, los campos de té mostraron un alto índice de parásitos vegetales y una mayor abundancia de

nematodos en las clases funcionales cp2 y gremio Ba2. En el bosque, se descubrieron densidades más altas de *Helicotylenchus*, *Rotylenchu*, *Telotilenchu* y *Malenchu*. También se observó una huella de depredadores mucho mayor. El contenido de pH, manganeso, arena, arcilla y limo varían en todo el bosque y los campos de cultivo. Según las ordenanzas multidimensionales, no métricas, las comunidades de nematodos en los dos sistemas de uso terrestre mostraron diferencias considerables. Este estudio proporcionó información de referencia que puede ser útil para tomar decisiones informadas sobre la producción de té y las políticas de uso de la tierra que promuevan la salud del suelo.

Su et al. (2021) realizaron una comparación de los impactos de los fertilizantes orgánicos e inorgánicos en la red alimentaria del suelo, prestando especial atención a los efectos sobre los microbios y los nematodos. Los resultados del experimento de invierno mostraron que la fertilización microbiana aumentó la diversidad, la riqueza y la abundancia de bacterias y hongos, así como una serie de índices estructurales, funcionales y de relación para los canales de nematodos. También se descubrió una correlación significativa entre el pH y MOS del suelo y las variaciones en su fauna microbiana. Estos hallazgos sugieren que el uso de fertilizantes orgánicos puede mejorar la calidad del suelo en áreas con altos niveles de MOS y pH, y que la interacción entre los microbios y los nematodos generados por el fertilizante orgánico puede desempeñar un papel significativo en la mejora de la calidad de los suelos.

Petrovskaia et al. (2021) sugirieron un diseño de pantalla basado en la noción de elegir las ubicaciones de la pantalla con las diferencias más significativas, y demostraron la eficacia del algoritmo de base de maxvol para este fin. Este método supera los métodos de muestreo más populares en términos de predecir la tasa de suelo basado en las características topográficas del sitio. El algoritmo propuesto también puede ser particularmente útil en aplicaciones prácticas debido a su capacidad para generar un esquema de pantalla de alta calidad con un pequeño número de puntos.

Papa et al. (2020) determinaron la posibilidad de reducir el esfuerzo necesario para mostrar las parcelas forestales, se llevó a cabo una evaluación manteniendo un nivel adecuado de precisión en la estimación de las características de la vegetación en el

paisaje. El enfoque convencional, uniforme y ad hoc fue contrastado con la clasificación basada en las características estructurales del bosque. La estratificación resultante pudo distinguir claramente el gradiente estructural de variación del bosque y el perfil de densidad de la vegetación. Los resultados mostraron que, en comparación con una prueba simple aleatoria, el inventario estandarizado permitió una reducción del 41% en el número de parcelas de campo necesarias para alcanzar un nivel de incertidumbre del 10% en el área estimada. La reducción del esfuerzo permitió cubrir el coste de la recopilación de datos y mejoró significativamente la viabilidad financiera.

Wang et al. (2020) realizaron experimentos en microcosmos para aprender más sobre la composición molecular de la proteína del suelo relacionada con la glomalina (GRSP), que se derivó de tres hongos arbusculares microscópicos: *Glomus intraradices*, *Glomus versiforme* y *Acaulospora laevis*. Para determinar las áreas para la caza ambiental de metales GRSP, también se examinaron las principales zonas húmedas tropicales y subtropicales del sur de China. Descubrieron que los metales conectados al GRSP tenían una correlación significativa y favorable con el total de metales y que la unión de los metálicos ayudó a eliminar metales del césped de manglares. El análisis de Fourier de la transformación infrarroja reveló que las fracturas iniciales de GRSP y de los factores ambientales contenían grupos funcionales de hidroxilo, carboxilo, amida y carbonilo, que mejoraron la soldadura del metal. Aunque los tipos de grupo funcional del GRSP no fueron afectados por el proceso ambiental, el contenido relativo de los grupos funcionales se alteró significativamente. La pantalla de infrarroja digital GRSP original y ambiental mostró características de campo precisas, pero no características de taxón GRSP precisas. Además, el análisis biostadístico de la composición molecular del GRSP reveló que las proporciones de los grupos funcionales asociados con hidrocarburos, proteínas, polisacáridos y ácidos nucleicos estaban reguladas por fuentes de contaminación del suelo. Desarrollaron una técnica para localizar la fuente de contaminación de metales pesados utilizando la cúpula digital infrarroja del GRSP y el análisis multivariado, proporcionando pruebas más fiables sobre las fuentes contribuyentes.

Meehan et al. (2019) realizaron un estudio para ver si Mesostigmata y Oribatida, ácaros del suelo pueden ser utilizados como bioindicadores de perturbaciones en el bosque boreal del norte de Alberta. Tres tipos de perturbaciones (incendios, incendios forestales y características lineales) se evaluaron en tres niveles taxonómicos diferentes: especie, género y familia. Para minimizar las diferencias en el hábitat y el tiempo, los sitios perturbados se combinaron con sitios situados de manera similar, sin perturbaciones. Los hallazgos mostraron que Mesostigmata > 50 m y Oribátida tenían menor riqueza y diversidad en los sitios perturbados en comparación con los no perturbados en los tres niveles taxonómicos. Además, la estructura de ensamblaje de Mesostigmata > 50 m y Oribátida indicó la presencia de perturbación. Los hallazgos sugieren que las identificaciones de ácaros a nivel de especies pueden no ser necesarias para los estudios de bioindicadores que utilizan ácaros del suelo. La generalidad de estos resultados debe ser evaluada en muchas regiones y bajo diversas perturbaciones.

du Preez et al. (2018) para evaluar la salud del suelo en tierras agrícolas, recogieron muestras de suelo y agua de riego durante las estaciones de cultivo de invierno y verano, y se examinaron sus propiedades físicas y químicas. La clasificación de los ecosistemas del suelo como degradados o alterados se realizó utilizando índices específicos de indicadores de nematodos. Sin embargo, se descubrieron ecosistemas de suelo degradados o alterados en el sistema de referencia, lo que indica que la calidad del abastecimiento de agua no era el factor primario que afecta a la salud del ecosistema del suelo. Por el contrario, se cree que las prácticas agrícolas convencionales fueron los principales impulsores de los efectos disruptivos observados. Un análisis de los datos del triplot de redundancia reveló una fuerte correlación entre el nitrógeno orgánico, la producción de cultivos y las especies de nematodos, lo que indica que los ensayos de nematodos respondieron rápidamente a actividades agrícolas como la adición de fertilizantes.

Elie et al. (2018) evaluaron la exportación de material orgánico en los bosques gestionados utilizando la fauna terrestre como bioindicadores. Para caracterizar la respuesta de las comunidades macrofaunistas del suelo a la materia orgánica, se establecieron parcelas experimentales con diversos tratamientos en 6 bosques. Los hallazgos mostraron que la exportación de material orgánico causa una disminución

a corto plazo en la abundancia en las comunidades macrofaunistas, lo que puede cambiar el ciclo de materia orgánica en el suelo. También se descubrió que ciertas especies de árboles y grupos de fauna tropical tenían una influencia en la magnitud de este impacto negativo. Los hallazgos también mostraron que la tasa específica de la comunidad macrofauna podría ser utilizada como bioindicadores de alteraciones en la materia orgánica. Por lo tanto, el estudio sugiere que el grado de perturbación asociado con las nuevas prácticas de gestión forestal, como la cosecha total de árboles para aumentar los rendimientos de los biocombustibles forestales, se puede evaluar utilizando la macrofauna de todo el suelo o herramientas como bioindicadores taxonómicos, y debe tenerse en cuenta en relación con los Árboles.

Fusaro et al. (2018) para evaluar los agroecosistemas, utilizaron el Índice de Calidad del Suelo (QBS-e), que se basa en el uso de lombrices de suelo como bioindicadores. Se presentaron dos estudios de caso, uno en agroecosistemas hortícolas y el otro en vegetación, para probar la aplicación práctica de esta nueva herramienta. La metodología QBS-e se comparó con la metodología convencional de análisis de la diversidad de los lombridos. Para determinar si ciertas prácticas agrícolas tienen un impacto en particular en las lombrices, se examinaron las diferencias en la fauna de lombrices entre los agroecosistemas orgánicos y convencionales. Los resultados obtenidos utilizando los dos métodos fueron equivalentes, lo que parece demostrar la eficacia de usar el índice QBS-e para ahorrar tiempo y dinero en los programas de seguimiento de lesiones. También se propuso un software sencillo para calcular el valor del índice QBS-e y ayudar a asignar la categoría ecológica adecuada a las muestras mostradas.

Gabilondo et al. (2018) examinaron los efectos de las emisiones de dióxido de carbono en las comunidades ciliadas, se compararon mesocosmos experimentales controlados y entornos respiratorios naturales. La capacidad de los ciliados para funcionar como bioindicadores de los aumentos de CO₂ en el suelo se evaluó mediante la medición de la abundancia relativa de cada familia taxonómica y el desarrollo de métricas de clúster ciliado para una evaluación cuantitativa de la calidad del suelo. Se calcularon varios índices de diversidad y porcentajes de estructura de la comunidad, y los resultados revelaron una disminución en la diversidad de los cilios y un aumento en la relación Colpodid/Polyhymenophorean

en condiciones ambientales desfavorables para los ciliados en el suelo. Se encontró que los valores de CO₂ y la comunidad de cilios que viven allí tienen una relación positiva y significativa, apoyando el potencial de los cilios edáficos como bioindicadores de los aumentos de CO₂.

Kabir et al. (2018) recopilaron muestras de suelo de dos granjas de repollo chinas altamente infectadas, y se analizaron los quistes totales de cada muestra, quistes con huevos, número de huevo y quistes sin huesos. Para caracterizar los patrones de distribución de estas variables, se utilizaron técnicas de análisis de índice de distancia espacial (SADIE) y variograma. El modelo resultante sugiere que cada muestra debe tomarse a al menos 50 metros de distancia de las áreas que se muestran para obtener una muestra representativa de nematodos. La incorporación de este patrón de distribución puede reducir significativamente el número de muestras necesarias en futuras técnicas de muestra, ahorrando tiempo y esfuerzo. También puede facilitar la implementación de prácticas de gestión mediante la identificación de los factores espaciales de variabilidad que afectan al rendimiento de la cosecha.

Martinez et al. (2018) para examinar el impacto de las actividades mineras en los ensayos de nematodos, recogieron muestras de suelo de cinco lugares en una zona minera de pequeña escala en Sibutad, Filipinas. Dos de los sitios no tenían signos evidentes de minería y se consideraron no afectados, mientras que los otros tres sitios fueron perturbados. Sobre la base de los historiales de vida de los nematodos, se examinaron la composición de género, la diversidad sexual y la trófica, así como el índice de mortalidad materna. Además, se midieron los factores ambientales del suelo como el pH, la materia orgánica, la granulometría y varios metales pesados, y se mostró una correlación entre cambios en la composición de las especies de nematodos y cambios en estos factores medioambientales. Las actividades mineras a pequeña escala tuvieron algunos efectos, pero generalmente no fueron significativos en las propiedades del suelo. Aunque no uniformemente en todo el tablero, la minería alteró la vegetación y aumentó las concentraciones de mercurio y plomo. Hubo una diferencia significativa entre los sitios perturbados y sin perturbar en la composición de las especies de nematodos.

Wardle y Ghani (2018) reflexionaron acerca del uso del cociente metabólico microbiano (qCO_2) como bioindicador de la calidad del suelo y se discutió en relación con un artículo. Este concepto, que ha sido ampliamente aplicado en la ecología del suelo durante más de 30 años, se basa en la teoría de Eugene Odum del éxito de los ecosistemas. El valor de qCO_2 refleja la ineficiencia energética de la microbiomasa del suelo, con un valor más alto indicando una mayor ineficiencia. La teoría de J. También se utilizó la "estrategia de plantas ecológicas" de Philip Grime, que postula la existencia de un tercer tipo de ecosistema caracterizado por condiciones persistentemente duras. Se midió en qCO_2 para muestras tomadas durante la Edad de Hielo de 120.000 años del glaciar Franz Josef en Nueva Zelanda, que incluyó los tres tipos de ecosistemas mencionados. Se descubrió que qCO_2 era menor para la fase desarrollada y similarmente alto para las fases alteradas y aceleradas, lo que hace imposible distinguir entre fases tempranas y tardías sucesivas. Se determinó que los diferentes tipos de ecosistemas no pueden estar organizados satisfactoriamente a lo largo de un solo eje y que ningún bioindicador básico y unidimensional puede capturar adecuadamente la variación en la calidad del suelo entre ecosistemas.

Song et al. (2017) examinaron los patrones de distribución geográfica de los nematodos del suelo a gran escala. El objetivo era determinar si la latitud, el clima y el tipo de vegetación eran los impulsores de los patrones de distribución y la diversidad de las especies de nematodos a gran escala en el suelo. (LSP). Los hallazgos demostraron que el LSP de los nematodos del suelo tenía una distribución unimodal y que había más nematodos en latitudes entre 30 y 55 grados. Los patrones de distribución a gran escala de las especies de nematodos del suelo fueron influenciados por las condiciones hidrotermales, el crecimiento de las plantas y las actividades humanas.

Gutiérrez et al. (2016) presumieron que la composición de la comunidad de nematodos del suelo varía dependiendo de los tres usos principales de la tierra (agricultura, silvicultura e industrial), y esta variación está influenciada por las propiedades del terreno, así como afectada adversamente por la presencia de altos niveles de contaminantes como metales pesados, productos farmacéuticos y productos de cuidado personal. (PPCP). Aunque la presencia de estos contaminantes

no afectó significativamente al número total de nematodos libres, sí tuvo un impacto significativo en la diversidad y la estructura de la comunidad. Los hallazgos del estudio demostraron que los nematodos con una estrategia de reproducción "r" eran más resistentes a estos contaminantes, pero los géneros con una estrategia reproductiva "k" fueron afectados negativamente por los contaminantes elegidos. Aunque estos efectos disminuyeron en suelos con altos niveles de metales pesados debido a su adaptación a la contaminación histórica, los nematodos no se ajustaron a los contaminantes emergentes.

Lei et al. (2015) determinaron si los cambios en el fósforo del suelo y la comunidad de nematodos son similares a los observados en las comunidades aéreas y si la sucesión primaria ha entrado en una fase regresiva después de 120 años, los investigadores examinaron una cronosecuencia de siete etapas en el glaciar Hailuogou. El éxito inicial se puede ver como una etapa de desarrollo con un aumento significativo en el número de nematodos. Las fases posteriores revelaron comunidades de nematodos más equilibradas, mientras que las fases anteriores revelaron características regresivas. Los diferentes gremios de nematodos tienen respuestas que contrastan con las etapas de cronosecuencia, y las comunidades de Nematodos en el suelo pueden actuar como bioindicadores sensibles de la salud del suelo en las regiones de retrogresión glacial.

Lecomte-Pradines et al. (2014) examinaron los efectos de la contaminación radioactiva actual en las comunidades de nematodos en las zonas afectadas por el desastre de Chernóbil. Se descubrió que la mayoría de los nematodos actuales se alimentan de bacterias, plantas y hojas, mientras que sólo unos pocos pertenecen a familias que son sensibles a la perturbación. Estos hallazgos implican que la exposición continua a 200 Gy h^{-1} tuvo un efecto menor en las comunidades de nematodos en áreas forestales. Esto sugiere una selección contra las especies sensibles después del desastre, que se cree que es causada por la prevalencia de nematodos resistentes a contaminantes en todos los lugares.

Nielsen et al. (2014) realizaron el primer estudio globalmente estandarizado de grupos de nematodos del suelo para determinar si existen distribuciones restringidas y cómo los factores ambientales y climáticos afectan su estructura social. Los resultados mostraron que la composición del grupo de nematodos está fuertemente

influenciada por el clima, con entre el 58% y el 65% de la variación atribuida a él. Había patrones macroecológicos similares a los de otros organismos, como una correlación positiva entre la abundancia y el rango de tamaño y la distribución restringida de algunas familias. También se descubrió que las características del suelo se correlacionan con la abundancia local de nematodos, pero no se encontraron correlaciones entre la riqueza familiar y los factores ambientales o climáticos. La precipitación media anual y la temperatura, por otro lado, estaban relacionadas con la composición de la familia, lo que sugiere que el clima es un buen indicador de la organización del grupo de nematodos en una zona determinada.

Garnier-Laplace et al. (2013) examinaron los datos sobre la radiactividad crónica recopilados en áreas contaminadas y utilizaron un enfoque estadístico para compararlo con lo conocido sobre la variación en la sensibilidad de diferentes especies a la radiación externa controlada. Esta comparación destacó la falta de comprensión mecánica y la posible confusión que puede surgir como resultado de las tácticas de demostración del campo. Una estrategia de muestreo más sólida en el campo, con un diseño adecuado para abordar los factores de confusión, se recomienda para confirmar la aparente mayor sensibilidad de la vida silvestre en la Zona de Exclusión de Chernóbil.

Sánchez-Moreno et al. (2013) realizaron una revisión de literatura, luego sintetizaron los resultados obtenidos en la utilización de la nematofauna como indicadora de perturbaciones ambientales en los agroecosistemas, y expusieron una breve reseña del estado de la nematología como disciplina científica en España; y recomendaron el uso de estos bioindicadores en la determinación de la calidad de los suelos.

Park et al. (2011) para investigar los efectos del drenaje de la mina, incluida la presencia de metales pesados, en la estructura de la comunidad de nematodos del suelo, examinaron los indicadores ecológicos de las poblaciones de Nematodos de suelo y microbios en los suelos afectados (CS) y en una zona cercana que no estaba contaminada (NC). Se midieron las características físicas y químicas del suelo y se encontró que no había diferencias notables en las propiedades nutricionales, como la cantidad de materia orgánica, el contenido de nitrógeno y los cationes solubles, pero hubo diferencias significativas en el pH, la conductividad eléctrica, el fósforo

disponible y las concentraciones de metales pesados, indicando la influencia de la mina. En particular los nematodos persistentes y de larga vida, había menos nematodos en CS que en NC.

Peres et al. (2011) establecieron objetivos para las áreas de enfoque de bioindicadores basados en los hallazgos de los estudios con lombrices terrestres en su estudio sobre el uso de *Phragmites australis* como bioindicador de la contaminación por metales pesados e hidrocarburos aromáticos de suelos hidrosféricos. Por esta razón, se evaluaron diversos descriptores a nivel comunitario de los lombridos terrestres (como la abundancia, la biomasa, las especies y las estructuras funcionales, y los riesgos ecológicos) así como indicadores a nivel de los organismos (como el nivel de expresión del gen metalotionina en los lóbulos). Los resultados de la campaña de demostración de primavera mostraron que la abundancia de larvas y endógenos, así como el peso endógeno individual, parecen ser buenos indicadores en áreas no contaminadas, mientras que la estructura ecológica, o la proporción de especies anafiláticas a endógenos, y la proporción de especies no vulnerables, deben utilizarse como indicadores de áreas contaminadas. Además, los hallazgos iniciales para *Lumbricus terrestris* y *L. rubellus rubellus* son alarmantes ya que muestran que la expresión de aumenta en suelos contaminados con metales.

Han et al. (2009) para examinar cómo los metales pesados afectan a las comunidades de nematodos en el suelo, tomaron muestras de suelo. Los niveles de plomo, cobre y zinc en el suelo, así como la estructura de la comunidad de nematodos, fueron examinados por los investigadores. Los hallazgos mostraron que los niveles totales y disponibles de plomo, cobre y zinc varían significativamente según la distancia de la carretera. El principal contaminante del suelo a lo largo de la autopista Shen-Ha era el plomo, y la zona más contaminada se encontraba a 20 a 40 metros de la carretera. El mayor número de nematodos en el suelo se descubrieron a 5 metros de la carretera, mientras que el menor número se descubrió a 20 metros de distancia. Los investigadores descubrieron 36 especies diferentes de nematodos pertenecientes a 23 familias distintas y clasificaron los gremios nematodos en cuatro tipos basados en cómo respondieron a los metales pesados. En conclusión, los

gremios de nematodos del suelo pueden servir como un indicador útil de la presencia de contaminación por metales pesados en las carreteras.

Ekschmitt et al. (2006) llevaron a cabo seis experimentos de campo a largo plazo para determinar si diferentes especies de nematodos podrían ser sensibles o tolerantes a los metales pesados y contaminantes orgánicos. Los autores discutieron las similitudes en las respuestas de los nematodos a varios contaminantes, lo que puede ayudar a explicar por qué los Nematodos pueden desarrollar tolerancias transespecie a diversos contaminantes. Se sugirió que los nematodos menos sensibles y más tolerantes deberían utilizarse como bioindicadores de contaminación del suelo. También proporcionaron una lista de especies de nematodos que pueden utilizarse como bioindicadores específicos de contaminantes particulares del suelo.

Seijas (2004) estableció criterios para la clasificación taxonómica de los nematodos, así como estrategias de exhibición para su investigación. Examinó a 19.508 personas en total durante su investigación, encontrando 143 taxis diferentes en los hábitats examinados. Su estrategia de exhibición reveló que el número de nematodos que se alimentan de hongos aumenta significativamente a lo largo de la recolección, tal vez como resultado de una mayor contribución de material orgánico después de la maduración de los frutos y un mayor desarrollo de descomponedores de hongo en el suelo. También se descubrió que la distribución de los nematodos que se alimentan de bacterias parecía estar influenciada por la pendiente del suelo, quizás porque en estas regiones la materia orgánica se acumula y se descompone más rápidamente como resultado del efecto de bloqueo del viento.

CAPÍTULO II

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1. Identificación del problema

En el Perú la actividad minera, representa más del 12 % del PBI y ayuda a que exista un 60% de las exportaciones hacia otros países, posicionándolo en el ranking mundial de producción minera (Velásquez, 2020); y según el ministerio de energía y minas la región Puno obtiene el 40 % de sus ingresos brutos de la actividad minera; y en la zona del distrito de Ollachea es la actividad principal de ingreso económico; sin embargo, es una de las prácticas antropogénicas más destructivas del suelo, produciendo alteraciones de sus propiedades físicas, químicas y biológicas; debido principalmente a la contaminación por metales pesados y otros contaminantes que son representados mediante un gradiente de estrés abiótico, el cual debe ser evaluado correctamente para plantear estrategias de gestión y obtener una minería sostenible, en especial en la Región de Puno y el distrito de Ollachea; para ello se requiere una comprensión de la respuesta bioindicadora del suelo, y los nematodos se presentan como una valiosa alternativa para evaluar la calidad de suelos, ya que sus características se pueden utilizar para reflejar la salud del suelo.

2.2. Enunciado del problema

¿Cuál es la relación de los nematodos edáficos frente a un gradiente de estrés abiótico, en suelos con influencia de la comunidad minera artesanal de Ollachea, de la provincia de Carabaya del departamento de Puno?

2.3. Justificación

A pesar de la contribución económica que representa la minería en Perú, la región de Puno y en particular en el distrito de Ollachea, las consecuencias de esta actividad siguen siendo un tema muy polarizado debido a la incidencia de la degradación ambiental y los problemas de salud entre las comunidades expuestas. La minería está asociada con el aumento de metales pesados y otro tipo de contaminantes en el medio ambiente, estos contaminantes se pueden depositar naturalmente en las rocas y pueden ser liberados al medio ambiente ya sea por meteorización natural o artificial (por ejemplo, excavación, procesamiento de minerales, etc.) y representan una amenaza debido a su potencial para bioacumularse e interferir con varios procesos biológicos, por ello es necesario un diagnóstico adecuado de la calidad de suelos para la toma de decisiones y planteamiento de estrategias; es así que los organismos bioindicadores se presentan como una alternativa eficiente para la evaluación de la calidad del suelo. De los organismos con comportamiento bioindicador, los nematodos edáficos se pueden presentar como los bioindicadores de mayor eficiencia comparado con otros organismos a la hora de realizar el diagnóstico de la calidad del suelo; y si bien se sabe la relación de algunos parámetros fisicoquímicos con los nematodos, no se conoce su relación con elementos nutricionales, parámetros edáficos, parámetros microbiológicos y metales pesados. Adicionalmente se ha usado un software libre en el procesamiento de datos para fines académicos lo cual facilitó el desarrollo de esta investigación y servirá de base para investigaciones relacionadas donde tengan necesidad de hacer uso de esta herramienta.

2.4. Objetivos

2.4.1. Objetivo general

Evaluar la relación de nematodos edáficos frente a un gradiente de estrés abiótico en suelos con influencia de la comunidad minera artesanal de Ollachea, de la provincia de Carabaya del departamento de Puno.

2.4.2. Objetivos específicos

- Determinar y analizar la relación de nematodos edáficos frente a un gradiente de estrés abiótico en suelos con influencia minera: pastizal (*Pennisetum sp.*), cultivo de maíz (*Zea mays*), cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*), en una temporada de lluvias.

- Determinar y analizar la relación de nematodos edáficos frente a un gradiente de estrés abiótico en suelos con influencia minera: pastizal (*Pennisetum sp.*), cultivo de maíz (*Zea mays*), cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*), en una temporada seca.

2.5. Hipótesis

2.5.1. Hipótesis general

El gradiente de estrés abiótico y su relación con los nematodos edáficos puede explicar las perturbaciones en la calidad de los suelos con influencia de la comunidad minera artesanal de Ollachea, de la provincia de Carabaya del departamento de Puno.

2.5.2. Hipótesis específicas

P₁: Los nematodos edáficos presentan relaciones a parámetros del gradiente de estrés abiótico en suelos con influencia minera pastizal (*Pennisetum sp.*), cultivo de maíz (*Zea mays*), cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*), en una temporada seca.

P₂: Los nematodos edáficos presentan relaciones a parámetros del gradiente de estrés abiótico en suelos con influencia minera: pastizal (*Pennisetum sp.*), cultivo de maíz (*Zea mays*), cultivo de higo (*Ficus sp.*) y eucalipto (*Eucalyptus sp.*), en una temporada de lluvias.

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de estudio

Como se observa en la Figura 1, el área de estudio se localizó en la periferia (500 a 1500 m) de la comunidad minera artesanal de Ollachea, situada en el área de Minapampa de la compañía minera Kuri Kullu S.A., en la región Puno, provincia de Carabaya y distrito de Ollachea; ubicada en las coordenadas $13^{\circ} 47' 41''$ S, $70^{\circ} 28' 17''$ O, a una altitud de 3041 m.s.n.m. Presenta un clima templado y cálido con una temperatura media anual que oscila entre los 6 y 18° C, con una precipitación pluvial total promedio anual variable entre los 790 y 1000 mm; se elige esta área de estudio bajo los criterios: presencia de varios tipos de ecosistemas edáficos alrededor de la comunidad minera, uso actual del suelo es apta para actividades agrícolas y pecuarias que presentan alta influencia de residuos mineros (Formulario informativo anual, 2017).

3.2. Población

Se consideró suelos con influencia de la comunidad minera de Ollachea, Carabaya – Puno clasificadas según su capacidad de uso: pastizal, cultivo de maíz, cultivo de higo y eucalipto.

3.3. Muestra

3.3.1. Puntos y temporalidad de muestreo

Se realizó el muestro en 4 tipos de suelo clasificados según su capacidad de uso: pastizal, cultivo en limpio (cultivo de maíz), cultivo permanente (cultivo de higo) y forestal (eucalipto); en 100 m^2 para cada tipo de suelo, ubicados entre los 500 y 1500 m de distancia de la mina. El muestreo se realizó en dos temporadas estacionales, en el que fue posible encontrar mayor representatividad de nematodos (Achicanoy et al., 2012).

3.3.2. Toma de muestra

En los suelos de pastizal y cultivo de maíz se muestreó en zigzag (Sechi et al., 2018); en cultivo de higo y eucalipto en forma de estrella (Kaya et al., 2015); la extracción de las muestras se realizó con una barrena de cánula de 4 cm de diámetro a 20 cm de profundidad (Piedra, 2015). El muestreo consistió en una muestra compuesta por 20 submuestras y 3 repeticiones para cada tipo de suelo (Coyne et al., 2007); que fueron colocadas y rotuladas en bolsas de polietileno negro.



Figura 1. Zonificación geográfica del área de muestreo, en la periferia de la comunidad minera de Ollachea, Carabaya, Puno. (QGIS 3.24).

3.4. Método de investigación

Para la de determinación del gradiente de estrés se utilizó el método multivariante: análisis de componentes principales (ACP) que consiste en expresar un conjunto de variables en un conjunto de combinaciones lineales de factores no correlacionados entre sí. Este método permite representar los datos originales (variables edáficas, elementos nutricionales, microbiológicas y metales pesados) en un espacio de dimensión inferior del espacio original. La representación de los datos en espacios de dimensión (componentes) facilita considerablemente el análisis del total de variables en algunas variables que representan al gradiente de estrés con el mínimo de pérdida de información de los datos.

Para la determinación de las relación de los nematodos con el gradientes de estrés se utilizó el método multivariante: análisis de correlación canónica (ACC) con esta técnica se explora la estructura de datos multidimensionales y las relaciones complejas que se establecen entre dos grupos de variables (nematodos – gradiente de estés abiótico), el modelo multivariante de correlaciones canónicas constituye una excelente técnica que revela al menos la correlación máxima que se puede obtener entre las funciones lineales de dichos grupos de descriptores.

3.5.Descripción detallada de métodos por objetivos específicos

3.5.1. Diseño gráfico de variables analizadas.

La Figura 2 explica las fases de la investigación, donde la fase de campo consistió en un muestreo compuesto por 20 submuestras para cada tipo de suelo con 3 repeticiones a una distancia de entre 500 a 1000 m; el pastizal y cultivo de maíz se muestreo en forma de zic zac y el cultivo de higo y eucalipto en forma de estrella, ello tanto para la temporada de lluvias como de seca. La fase de laboratorio consistió en la determinación a nivel de género de nematodos y análisis de parámetros edáficos, parámetros nutricionales, parámetros microbiológicos y metales pesados. Finalmente, la última fase fue la de procesamiento de los datos donde la determinación del gradiente de estrés se realizó mediante un Análisis de Componentes principales; y la relación entre el gradiente de estrés y los nematodos se realizó mediante una Análisis de Correlación Canónica.

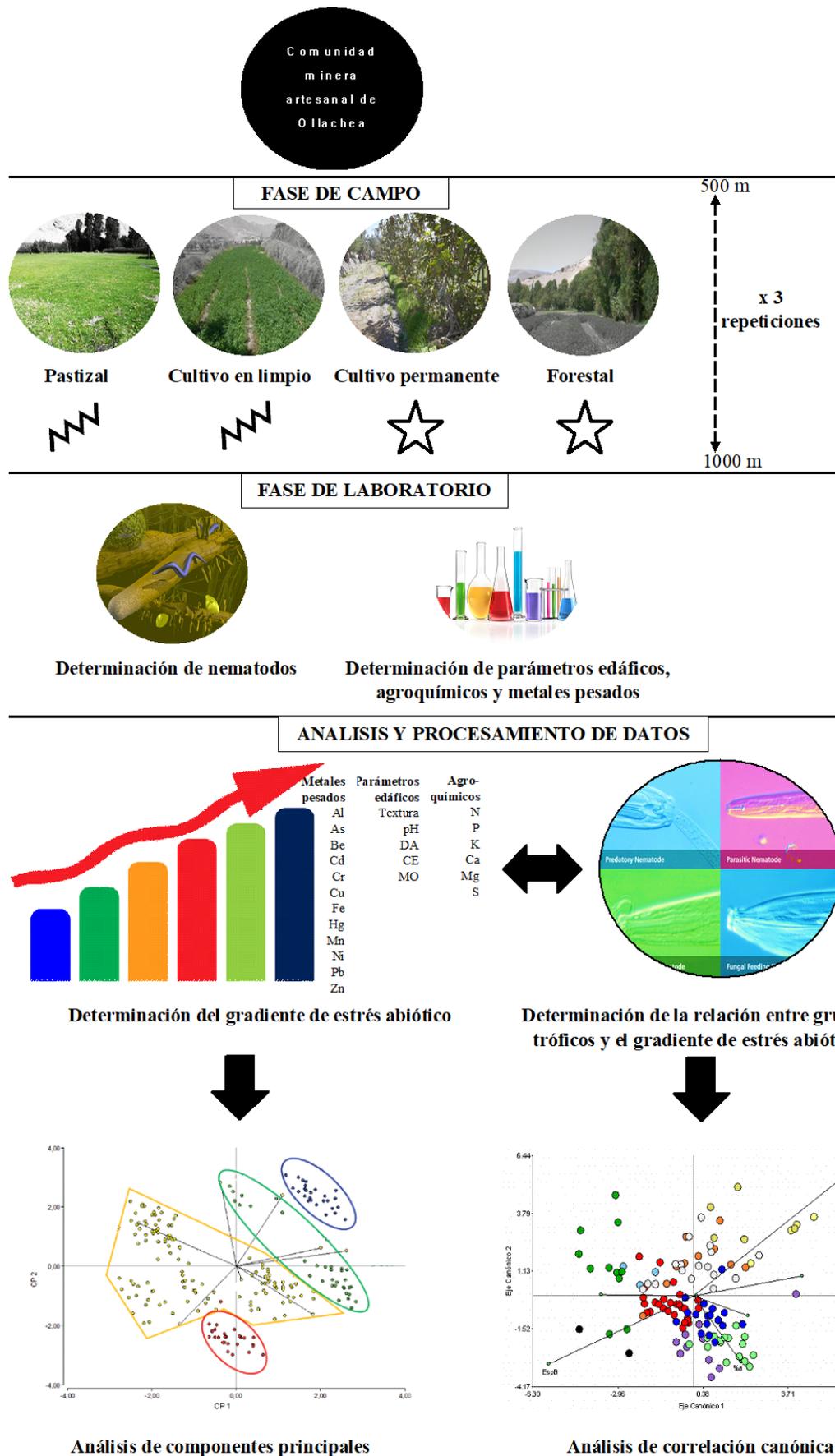


Figura 2. Diseño gráfico de investigación.

3.5.2. Descripción detallada del uso de materiales, equipos e insumos

a) Medición de parámetros edáficos, elementos nutricionales y metales pesados

Para cada uno de los puntos de muestreo se analizaron:

- 7 parámetros edáficos:
 - Capacidad de intercambio catiónico (Método de saturación con acetato de amonio).
 - Carbonato de calcio (NOM-021-SEMARNAT-2000 item 7.1.1 method AS-07).
 - Conductividad eléctrica (ISO 11265:1994 Cor1:1996).
 - Humedad del suelo (método gravimétrico).
 - Materia orgánica (NOM-021-SEMARNAT-2000 item 7.1.1 method AS-07).
 - pH (EPA SW 846 method 9045 D, revisión 4).
 - Textura (arena, limo y arcilla) (Robinson's pipette method).
- 9 parámetros nutricionales (EPA method 200.7 Rev. 4.4 EMMC versión/1994):
 - Boro (ppm).
 - Fósforo (ppm).
 - Manganeso (ppm).
 - Potasio (ppm).
 - Zinc (ppm).
 - Azufre (meq/100g).
 - $Al^{+3}+H^{+}$ (meq/100g).
 - Calcio (meq/100g).
 - Magnesio (meq/100g).
- 26 metales pesados (EPA method 3050B/method 200.7 Rev. 4.4 EMMC versión/1994):
 - Antimonio (mg/Kg).
 - Arsénico (mg/Kg).
 - Bario (mg/Kg).
 - Berilio (mg/Kg).
 - Bismuto (mg/Kg).

- Cadmio (mg/Kg).
 - Cerio (mg/Kg).
 - Cobalto (mg/Kg).
 - Cromo (mg/Kg).
 - Cesio (mg/Kg).
 - Cobre (mg/Kg).
 - Estaño (mg/Kg).
 - Estroncio (mg/Kg).
 - Hierro (mg/Kg).
 - Litio (mg/Kg).
 - Mercurio (mg/Kg).
 - Molibdeno (mg/Kg).
 - Níquel (mg/Kg).
 - Plata (mg/Kg).
 - Plomo (mg/Kg).
 - Selenio (mg/Kg).
 - Silicio (mg/Kg).
 - Talio (mg/Kg).
 - Titanio (mg/Kg).
 - Uranio (mg/Kg).
 - Vanadio (mg/Kg).
- 2 parámetros microbiológicos:
- Carbono de biomasa microbiana (Anderson and Domsch, 1978; Beck et al., 1995; Höper, 2006).
 - Respiración edáfica (trampa de álcali).

b) Determinación de nematodos edáficos

Para obtener representatividad de nematodos se utilizó 2 métodos; para los nematodos móviles se utilizó el método de bandejas Whitehead modificado y para nematodos inactivos y lentos se utilizó el método centrifugación-flotación modificado (Hernández-Ochandia et al., 2016); y con ayuda de un estereoscopio Olympus de 0.8 a 4.5 X de aumento se identificó los nematodos a nivel taxonómico de género.

3.5.3. Aplicación de prueba estadística inferencial.

a) **Determinación del gradiente de estrés abiótico**

Se determinó el gradiente de estrés abiótico mediante una modificación de la metodología propuesta por Touron-Poncet et al. (2014); en la que la totalidad de las variables fisicoquímicas (parámetros edáficos, parámetros nutricionales, elementos nutricionales y metales pesados) medidas en todos los puntos de muestreo fueron normalizadas, para que los datos sean comparables, a continuación se realizó un Análisis de Componentes Principales (ACP) previa exclusión de variables no correlacionadas mediante el Factor de Inflación de Varianza ($VIF \leq 10$); el primer eje fue seleccionado como el gradiente de estrés abiótico, siendo este eje el componente que explicó el mayor porcentaje de varianza del ACP.

b) **Determinación y análisis de la relación de los grupos tróficos con el gradiente de estrés abiótico.**

Los valores de los parámetros del gradiente de estrés abiótico fueron normalizados mediante las herramientas de R studio, en valores entre 0 a 1; a continuación, se realizó un Análisis de Correlación Canónica (ACC) para determinar la correlación de nematodos y el gradiente de estrés abiótico, donde “r” representa el coeficiente de correlación.

c) **Procesamiento de datos**

Todos los análisis estadísticos como: el análisis de componente principales, análisis de correspondencia canónica, y análisis de verificación de significancias, se realizaron mediante el programa estadístico RStudio (versión 4.0.2), que es una versión activa de la comunidad R, el cual es un software de análisis de datos de código abierto y que actualmente es uno de los más eficientes e innovadores para la ciencia (R Development Core Team, 2016).

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Determinación del gradiente de estrés abiótico

Para la temporada de lluvias; las 44 variables obtuvieron un $VIF \geq 10$; por tanto, fueron consideradas para el ACP. Debido a que el Componente 1 superó el 70 % de explicación de la varianza acumulada, se eligió solo el Componente 1 del ACP ya que explicó el 94.35 % de la varianza acumulada, como se observa en la Figura 3; por ello, fue seleccionado como el gradiente estrés abiótico; y estuvo representado por las variables abióticas: un agroquímico que fue el potasio ($r = 0.10$); dos variables edáficas de textura que fueron el limo ($r = 0.01$) y la arcilla ($r = -0.01$); y 14 metales pesados que fueron el arsénico ($r = -0.01$), bario ($r = 0.12$), cerio ($r = 0.03$), cobalto ($r = 0.01$), cromo ($r = 0.03$), cesio ($r = 0.02$), cobre ($r = 0.01$), litio ($r = 0.08$), níquel ($r = 0.04$), plomo ($r = 0.02$), silicio ($r = 0.94$), estroncio ($r = 0.02$), titanio ($r = 0.28$) y vanadio ($r = 0.03$).

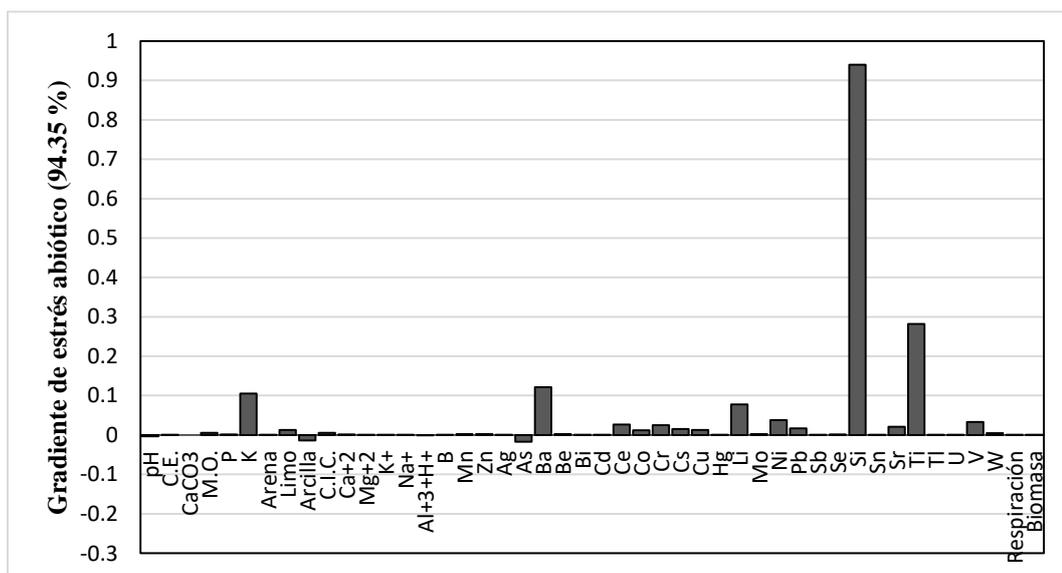


Figura 3. Relación de las variables abióticas con el componente 1, en la temporada de lluvias.

Para la temporada seca; las 44 variables obtuvieron un VIF ≥ 10 ; por tanto, fueron consideradas para el ACP. Debido a que el Componente 1 superó el 70 % de explicación de la varianza acumulada, se eligió solo el Componente 1 del ACP ya que explicó el 97.77 % de la varianza acumulada, como se observa en la Figura 4; por ello, fue seleccionado como el gradiente estrés abiótico; y estuvo representado por las variables abióticas: un agroquímico que fue el potasio ($r = 0.04$); y 14 metales pesados que fueron arsénico ($r = 0.02$), bario ($r = 0.11$), cerio ($r = 0.02$), cobalto ($r = 0.01$), cromo ($r = 0.02$), cesio ($r = 0.02$), cobre ($r = 0.01$), litio ($r = 0.07$), níquel ($r = 0.03$), plomo ($r = 0.01$), silicio ($r = 0.95$), estroncio ($r = 0.01$), titanio ($r = 0.26$) y vanadio ($r = 0.03$).

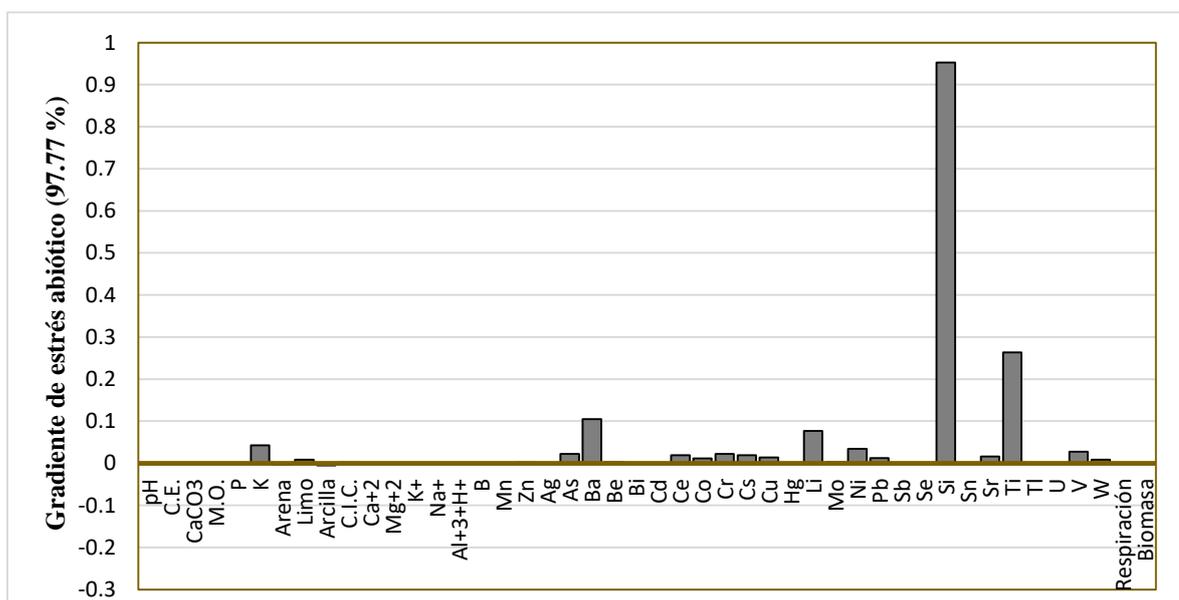


Figura 4. Relación de las variables abióticas con el componente 1, en la temporada seca.

4.2. Determinación y análisis de nematodos con el gradiente de estrés abiótico.

Para la temporada de lluvias; como se observa en la Figura 5 en el ACC la dimensión 1 explicó el 67.73% y la dimensión 2 el 18.44% de la variabilidad de datos, entre ambas explicaron el 86.17%, por ello, fueron las 2 dimensiones consideradas para el análisis. El ACC mostró que existen correlaciones significativas entre: el nematodo del género *Globodera* con los metales pesados plomo y titanio ($r = 0.96$ y 0.97 respectivamente); el género *Tylenchus* con los metales pesados plomo y titanio ($r = 0.96$ y 0.94 respectivamente); el género *Helicotylenchus* con el metal pesado vanadio ($r = 0.99$); el género *Trichodorus* con el metal pesado cesio ($r = 0.84$); finalmente, el género *Aphelenchus* con el metal pesado cobre ($r = 0.93$).

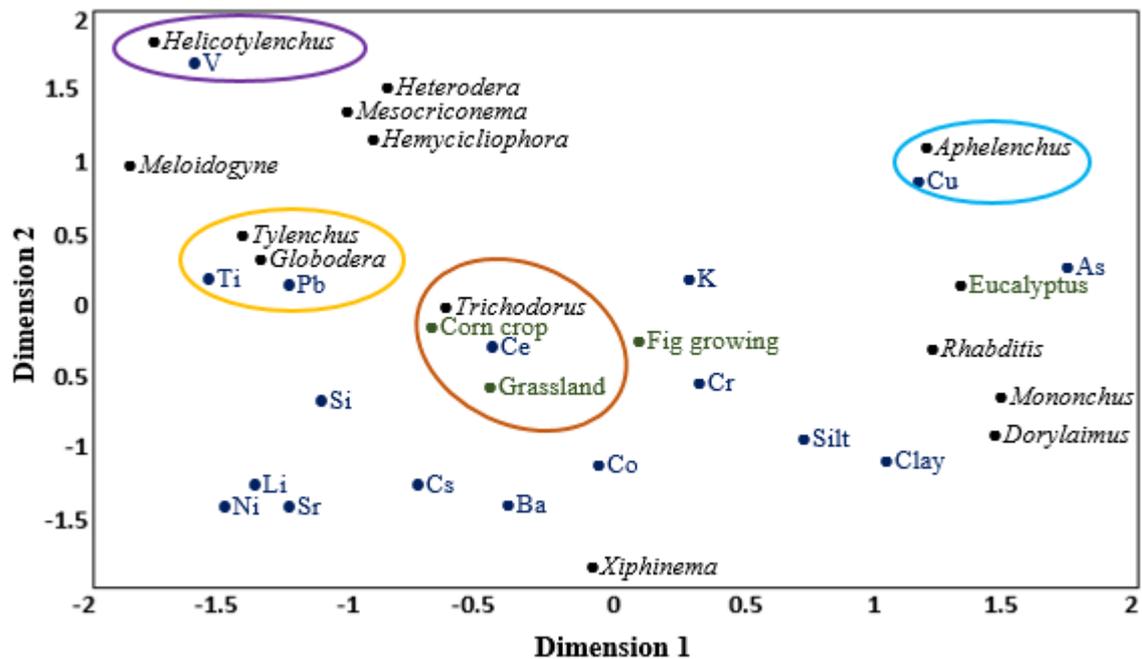


Figura 5. Relación de nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico, en la temporada de lluvias.

Para la temporada seca; como se observa en la Figura 6 en el ACC la dimensión 1 explicó el 64.93% y la dimensión 2 el 19.98% de la variabilidad de datos, entre ambas explicaron el 84.91%, por ello, fueron las 2 dimensiones consideradas para el análisis. El ACC mostró que existen correlaciones significativas entre: el género *Globodera* con los metales pesados vanadio, níquel y titanio ($r = 0.87, 0.76$ y 0.70 respectivamente); el género *Tylenchus* con los metales pesados vanadio, níquel y titanio ($r = 0.91, 0.86$ y 0.78 respectivamente); el género *Meloidogyne* con el metal pesado vanadio, níquel y titanio ($r = 0.99, 0.98$ y 0.95 respectivamente); el género *Hemycicliophora* con los metales pesados plomo y estroncio ($r = 0.91$ y 0.88 respectivamente); finalmente, los géneros *Aphelenchus* y *Rhabditis* con el metal pesado arsénico ($r = 0.40$ y 0.60 respectivamente).

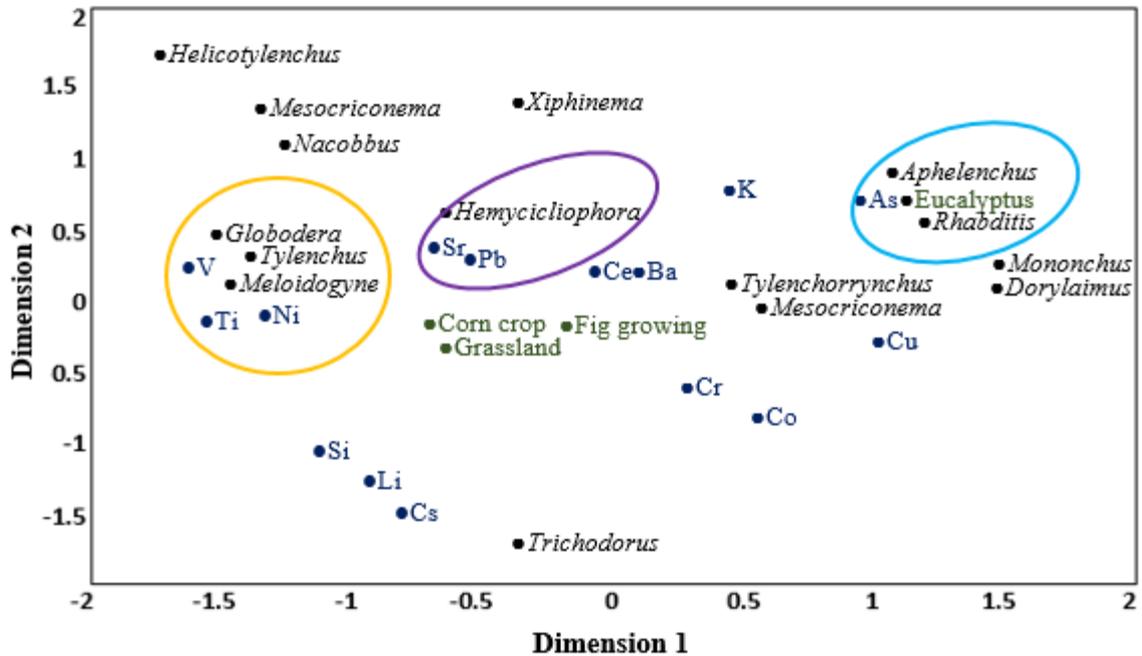


Figura 6. Relación de nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico, en la temporada seca.

En esta investigación hubo tanto interacciones generalistas y específicas respecto al tipo de suelo; en cuanto a las interacciones generalistas, los nematodos y las variables del gradiente de estrés abiótico se mostraron indiferentes al tipo de suelo, ya que las correlaciones con los tipos de suelo no fueron significativas; y ello permitió generalizar las interacciones al margen del tipo de suelo; en cuanto a las interacciones específicas, hubo correlaciones significativas tanto en la temporada de lluvias con la interacción *Trichodorus* – cerio en los suelos pastizal y cultivo de maíz, y en la temporada de seca con la interacción *Aphelenchus* – *Rhabditis* – arsénico en el suelo de eucalipto; de acuerdo a Papa et al. (2020) y Petrovskaia et al. (2021) haber obtenido ambos tipos de interacciones permite inferir que el número de muestras y las temporalidades utilizadas fueron óptimas.

Las interacciones de los nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico fueron con mayor frecuencia de correlaciones positivas significativas (tolerancia), por el contrario, no hubo correlaciones negativas significativas (sensibilidad); este resultado concuerda con Ekschmitt y Korthals (2006) que menciona que la bioindicación de tóxicos específicos del suelo debería basarse preferentemente en los nematodos tolerantes y no en los sensibles.

Los efectos de la temporalidad en la estructura y función de la red alimentaria de los nematodos pueden influir en las interacciones de los nematodos frente a las variables de impacto (da Silva et al., 2021), tal como se observa con las interacciones de los nematodos frente a las variables del gradiente de estrés abiótico en la temporada de lluvias y seca, ya que estas interacciones fueron diferenciales; esto debido principalmente a que las precipitaciones son consideradas una de las variables ambientales que más afectan a la diversidad y actividad metabólica de los nematodos (Song et al., 2017); principalmente porque los nematodos dependen de las películas de agua del suelo para desplazarse y capturar su alimento (Nielsen et al., 2014).

Si bien los nematodos fungívoros son sensibles a las perturbaciones (Sánchez-Moreno & Talavera, 2013), algunos nematodos de este grupo funcional pueden ser tolerantes y por tanto indicadores de perturbaciones relacionadas con la minería (Martinez et al., 2018), tal como se observó con *Aphelenchus* frente al cobre en la temporada de lluvias y arsénico en la temporada de seca, ello debido a que se alimentan de hongos que infectan vainas de las hojas y córtex de algunas raíces con concentraciones de metales pesados (Seijas, 2004).

Nematodos con estrategia de supervivencia “r” son resistentes a perturbaciones específicas en el suelo (Gutiérrez et al., 2016), del mismo modo que se observa con *Rhabditis* frente al arsénico, éste nematodo al presentar una estrategia de supervivencia “r” tiene una capacidad alta de tolerancia a los contaminantes (Park et al., 2011); ya que, al presentar ciclos de vida corto (Losi et al., 2021), ser oportunistas de enriquecimiento del suelo (da Silva et al., 2021) y primeros colonizadores de en la sucesión ecológica (du Preez et al., 2018), los convierte en excelentes indicadores de la calidad de suelos frente a metales pesados (Han et al., 2009).

La presencia de organismos de los diferentes grupos tróficos disminuye significativamente en suelos radiactivos (Garnier-Laplace et al., 2013); nematodos bacteriívoros y fungívoros pueden ser más resistentes a suelos con presencia de este tipo de elementos (Lecomte-Pradines et al., 2014); sin embargo, se observó que *Trichodorus* que es un nematodo herbívoro, presenta una alta asociación con el elemento radiactivo cerio; ello demostraría que éste tipo de nematodo podría



presentar características estructurales y funcionales que los hace tolerantes a condiciones estresantes (Kabir et al., 2018).

Algunos nematodos pueden presentar tolerancia diferencial hacia algunos metales pesados (Gutiérrez et al., 2016); tal como en los casos de *Tylenchus* y *Globodera* frente al titanio y plomo, en la temporada de lluvias; *Tylenchus*, *Globodera* y *Meloidogyne* frente al níquel, titanio y vanadio, en la temporada de seca; parece probable que la tolerancia a los metales pesados por parte de estos nematodos es un potencial de adaptación selectiva ya que esta capacidad no se observa en todos los nematodos herbívoros (Ekschmitt & Korthals, 2006).

Ciertos nematodos pueden ser tolerantes a tóxicos estresantes del suelo (Hou et al., 2022); tal como se observa en esta investigación con *Helicotylenchus* frente al vanadio en la temporada de lluvias; esto debido a que las formas intercambiables de los metales pesados favorecen las tasas de absorción de plantas de las que se alimentan este tipo de nematodos (Park et al., 2011).

CONCLUSIONES

Tanto en la temporada de lluvias como en la temporada de seca, el gradiente de estrés abiótico presenta alta correlación a géneros de nematodos de tipo bacteriovoros, fungívoros y fitoparásitos; y baja correlación a los nematodos omnívoros y predadores, demostrándose la capacidad bioindicadora que tienen los nematodos frente a parámetros estresantes que impactan en la calidad del suelo.

- En temporada de lluvia, las relaciones de nematodos frente al gradiente de estrés abiótico, mostraron una interacción específica del género *Helicotylenchus* con el metal pesado vanadio ($r = 0.99$) y *Aphelenchus* con el metal pesado cobre ($r = 0.93$); adicionalmente, se encontró interacciones generalistas como *Globodera* con los metales pesados plomo y titanio ($r = 0.96$ y 0.97 respectivamente).
- En temporada de seca, las relaciones de nematodos frente al gradiente de estrés abiótico, mostraron interacciones generalistas, como *Globodera* con los metales pesados vanadio, níquel y titanio ($r = 0.87$, 0.76 y 0.70 respectivamente); el género *Tylenchus* con los metales pesados vanadio, níquel y titanio ($r = 0.91$, 0.86 y 0.78 respectivamente); el género *Meloidogyne* con el metal pesado vanadio, níquel y titanio ($r = 0.99$, 0.98 y 0.95 respectivamente); y los géneros *Aphelenchus* y *Rhabditis* con el metal pesado arsénico ($r = 0.40$ y 0.60 respectivamente).

RECOMENDACIONES

En esta investigación encontramos relaciones específicas y generales de nematodos con metales pesados; por ello, se recomienda la validación de estas relaciones en otros tipos de suelo con influencia minera; ello con el propósito de aumentar la robustez y efectividad en la evaluación de la calidad del suelo.

Debido a la presencia de metales pesados en los suelos pastizal, cultivo de maíz y cultivo de higo, se recomienda la remediación mediante microorganismos que cuentan con amplias capacidades metabólicas que les permiten utilizar diferentes tipos de sustratos para obtener energía y transformarlos; en este caso los metales pesados son sustratos que pueden ser inmovilizados y transformados por organismos utilizando diversas estrategias. Esta situación permitiría que se puedan implementar técnicas de biorremediación que involucren el uso de microorganismos con el fin de reducir la carga contaminante en los diferentes tipos de suelo en especial el de cultivo de maíz e higo ya que son alimentos de consumo humano.

BIBLIOGRAFÍA

- Achicanoy, J., Navia, J. y Betancourth, C. (2012). Dinámica poblacional de nematodos de vida libre en diferentes usos y manejos del suelo. *Revistas de Ciencias Agrícolas*, 29(2), 26–38.
- Atandi, J., Adamtey, N., Kiriga, A., Karanja, E., Musyoka, M., Matheri, F., Tanga, C., Coyne, D., Fiaboe, K., Bautze, D. y Haukeland, S. (2022). Organic maize and bean farming enhances free-living nematode dynamics in sub-Saharan Africa. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 327, 107846.
- Aujoulat, F., Pages, S., Masnou, A., Emboulé, L., Teyssier, C., Marchandin, H., Gaudriault, S., Givaudan, A. y Jumas-Bilak, E. (2019). The population structure of *Ochrobactrum* isolated from entomopathogenic nematodes indicates interactions with the symbiotic system. *Infection, Genetics and Evolution*, 70, 131–139.
- Bal, H., Acosta, N., Cheng, Z., Grewal, P. y Hoy, C. (2017). Effect of habitat and soil management on dispersal and distribution patterns of entomopathogenic nematodes. *Applied Soil Ecology*, 121, 48–59.
- Bell, C., Namaganda, J., Urwin, P. y Atkinson, H. (2021). Next-generation sequencing of the soil nematode community enables the sustainability of banana plantations to be monitored. *Applied Soil Ecology*, 166, 103999.
- Bongers, T. y Esquivel, A. (2015). Manual morfología de los nematodos. *Universidad Nacional de Costa Rica. Editorial UNA*, 43, 1-42.
- Boughattas, I., Hattab, S., Zitouni, N., Mkhinini, M., Missawi, O., Bousserhine, N. y Banni, M. (2021). Assessing the presence of microplastic particles in Tunisian agriculture soils and their potential toxicity effects using *Eisenia andrei* as bioindicator. *Science of The Total Environment*, 796, 148959.
- Calvão, T., Duarte, C. y Pimentel, C. (2019). Climate and landscape patterns of pine forest decline after invasion by the pinewood nematode. *Forest Ecology and Management*, 433, 43–51.
- Campos-Herrera, R., El-Borai, F., Rodríguez Martín, J. y Duncan, L. (2016). Entomopathogenic nematode food web assemblages in Florida natural areas. *Soil*

Biology and Biochemistry, 93, 105–114.

- Campos-Herrera, R., Palomares-Ruis, J., Blanco-Pérez, R., Rodríguez-Martín, J., Landa, B. y Castillo, P. (2022). Irrigation modulates entomopathogenic nematode community and its soil food web in olive groves under different agricultural managements. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 337, 108070.
- Chaplygin, V., Dudnikova, T., Chernikova, N., Fedorenko, A., Mandzhieva, S., Fedorenko, G., Sushkova, S., Nevidomskaya, D., Minkina, T., Sathishkumar, P. y Rajput, V. D. (2022). Phragmites australis cav. As a bioindicator of hydromorphic soils pollution with heavy metals and polyaromatic hydrocarbons. *Chemosphere*, 308, 136409.
- Chen, Y., Zhang, Y., Nielsen, U., Ma, Q., Zhang, X., Huang, X., Pan, D., Yue, X., Liu, J. y Wang, D. (2021). Cattle grazing mitigates the negative impacts of nitrogen addition on soil nematode communities. *Ecological Indicators*, 129, 107876.
- Chen, X., Zhang, X., Wei, Y., Zhang, S., Cai, C., Guo, Z. y Wang, J. (2023). Assessment of soil quality in a heavily fragmented micro-landscape induced by gully erosion. *Geoderma*, 431, 116369.
- Ciobanu, M., Eisenhauer, N., Stoica, I. y Cesarz, S. (2019). Natura 2000 priority and non-priority habitats do not differ in soil nematode diversity. *Applied Soil Ecology*, 135, 166–173.
- Coyne, D., Nicol, J. y Claudius-Cole, B. (2007). *Practical plant nematology: a field and laboratory guide*. SP-IPM Secretariat, International Institute of Tropical Agriculture (IITA), Cotonou, Benin. Existe.
- Cui, S., Han, X., Xiao, Y., Wu, P., Zhang, S., Abid, A. y Zheng, G. (2022). Increase in rainfall intensity promotes soil nematode diversity but offset by nitrogen addition in a temperate grassland. *Science of The Total Environment*, 825, 154039.
- da Silva, J., Ferris, H., Cares, J. y Esteves, A. (2021). Effect of land use and seasonality on nematode faunal structure and ecosystem functions in the Caatinga dry forest. *European Journal of Soil Biology*, 103, 103296.
- Darré, E., Cadenazzi, M., Mazzilli, S., Rosas, J. y Picasso, V. (2019). Environmental

- impacts on water resources from summer crops in rainfed and irrigated systems. *Journal of Environmental Management*, 232, 514–522.
- Di Montanara, A., Baldrighi, E., Franzo, A., Catani, L., Grassi, E., Sandulli, R. y Semprucci, F. (2022). Free-living nematodes research: State of the art, prospects, and future directions. A bibliometric analysis approach. *Ecological Informatics*, 72.
- Di Rienzo, J., Guzmán, A. y Casanoves, F. (2002). A multiple-comparisons method based on the distribution of the root node distance of a binary tree. *Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics*, 7(2), 129–142.
- du Preez, G., Daneel, M., Wepener, V. y Fourie, H. (2018). Beneficial nematodes as bioindicators of ecosystem health in irrigated soils. *Applied Soil Ecology*, 132, 155–168.
- Egea, I., Estrada, Y., Flores, F. B. y Bolarín, M. (2022). Improving production and fruit quality of tomato under abiotic stress: Genes for the future of tomato breeding for a sustainable agriculture. *Environmental and Experimental Botany*, 204, 105086.
- Ekschmitt, K. y Korthals, G. (2006). Nematodes as sentinels of heavy metals and organic toxicants in the soil. *Journal of Nematology*, 38(1), 13–19.
- Elie, F., Vincenot, L., Berthe, T., Quibel, E., Zeller, B., Saint-André, L., Normand, M., Chauvat, M. y Aubert, M. (2018). Soil fauna as bioindicators of organic matter export in temperate forests. *Forest Ecology and Management*, 429, 549–557.
- Ezenne, G., Jupp, L., Mantel, S. y Tanner, J. (2019). Current and potential capabilities of UAS for crop water productivity in precision agriculture. *Agricultural Water Management*, 218, 158–164.
- Fernando, A., Costa, J., Barbosa, B., Monti, A. y Rettenmaier, N. (2018). Environmental impact assessment of perennial crops cultivation on marginal soils in the Mediterranean Region. *Biomass and Bioenergy*, 111, 174–186.
- Fierro, P., Valdovinos, C., Arismendi, I., Díaz, G., Ruiz, M. y Arriagada, L. (2019). Assessment of anthropogenic threats to Chilean Mediterranean freshwater

- ecosystems: Literature review and expert opinions. *Environmental Impact Assessment Review*, 77, 114–121.
- Formulario informativo anual, F. (2017). *Informe Técnico "Proyecto de Oro Ollachea, Perú, 2012* (1st ed., Vol. 1). Ministerio de energía y minas.
- Fournier, B., Steiner, M., Brochet, X., Degruene, F., Mammeri, J., Carvalho, D., Siliceo, S., Bacher, S., Peña-Reyes, C. y Heger, T. (2022). Toward the use of protists as bioindicators of multiple stresses in agricultural soils: A case study in vineyard ecosystems. *Ecological Indicators*, 139, 108955.
- Franzo, A. y Del Negro, P. (2019). Functional diversity of free-living nematodes in river lagoons: can biological traits analysis (BTA) integrate traditional taxonomic-based approaches as a monitoring tool? *Marine Environmental Research*, 145, 164–176.
- Fraschetti, S., Guarnieri, G., Gambi, C., Bevilacqua, S., Terlizzi, A. y Danovaro, R. (2016). Impact of offshore gas platforms on the structural and functional biodiversity of nematodes. *Marine Environmental Research*, 115, 56–64.
- Fusaro, S., Gavinelli, F., Lazzarini, F. y Paoletti, M. (2018). Soil Biological Quality Index based on earthworms (QBS-e). A new way to use earthworms as bioindicators in agroecosystems. *Ecological Indicators*, 93, 1276–1292.
- Gabilondo, R., Blanco, S., Fernández-Montiel, I., García, D. y Bécares, E. (2018). Ciliates as bioindicators of CO₂ in soil. *Ecological Indicators*, 85, 1192–1203.
- Gabilondo, R., Blanco, S., Fernández-Montiel, I., García, D. y Bécares, E. (2018). Ciliates as bioindicators of CO₂ in soil. *Ecological Indicators*, 85, 1192–1203.
- Garnier-Laplace, J., Geraskin, S., Della-Vedova, C., Beaugelin-Seiller, K., Hinton, T., Real, A. y Oudalova, A. (2013). Are radiosensitivity data derived from natural field conditions consistent with data from controlled exposures? A case study of Chernobyl wildlife chronically exposed to low dose rates. *Journal of Environmental Radioactivity*, 121, 12–21.
- Gautam, M., Mishra, S. y Agrawal, M. (2022). Bioindicators of soil contaminated with organic and inorganic pollutants. *New Paradigms in Environmental Biomonitoring*

Using Plants, 271–298.

- Gu, Y., Han, C., Fan, J., Shi, X., Kong, M., Shi, X., Siddique, K., Zhao, Y. y Li, F. (2018). Alfalfa forage yield, soil water and P availability in response to plastic film mulch and P fertilization in a semiarid environment. *Field Crops Research*, 215, 94–103.
- Guerrero, R. (2017). Manual de nematodos fitoparásitos identificados de especies cuarentanarias. *Agrocalidad. Ecuador: Quito*, 136(1), 1–42.
- Guo, X., Endler, A., Poll, C., Marhan, S. y Ruess, L. (2021). Independent effects of warming and altered precipitation pattern on nematode community structure in an arable field. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 316, 107467.
- Gutiérrez, C., Fernández, C., Escuer, M., Campos-Herrera, R., Beltrán Rodríguez, M., Carbonell, G. y Rodríguez Martín, J. (2016). Effect of soil properties, heavy metals and emerging contaminants in the soil nematodes diversity. *Environmental Pollution*, 213, 184–194.
- Han, D., Zhang, X., Tomar, V., Li, Q., Wen, D. y Liang, W. (2009). Effects of heavy metal pollution of highway origin on soil nematode guilds in North Shenyang, China. *Journal of Environmental Sciences*, 21(2), 193–198.
- Hassani, Y., Hashemy, S., Maestre, J., Zahraie, B., Ghorbani, M., Henneberry, S. y Kulshreshtha, S. (2019). An economic-operational framework for optimum agricultural water distribution in irrigation districts without water marketing. *Agricultural Water Management*, 221, 348–361.
- Hatanaka, T., Ogura, T., Matsuyama, S. y Hobara, S. (2022). Variation in soil chemical properties in relation to vegetation characteristics in a serpentine area of Hokkaido, Japan. *Geoderma Regional*, 31, e00589.
- Hernández-Ochandia, D., Rodríguez, M., Miranda, I. y Holgado, R. (2016). Métodos para la extracción de nematodos presentes en suelos del agrupamiento Ferralítico en Cuba. *Revista Protección Vegetal*, 31 N° 3, 228–232.
- Hou, J., Hu, C., Li, P. y Lin, D. (2022). Multidimensional bioresponses in nematodes

- contribute to the antagonistic toxic interaction between pentachlorophenol and TiO₂ nanoparticles in soil. *Journal of Hazardous Materials*, 424, 127587.
- Kooch, Y. y Ghaderi, E. (2023). The effect of Crataegus and Berberis canopy types on bioindicators of soil quality in a semi-arid climate. *Journal of Arid Environments*, 208, 104862.
- Ikoyi, I., Heuvelink, G. y De Goede, R. (2021). Geostatistical modelling and mapping of nematode-based soil ecological quality indices in a polluted nature reserve. *Pedosphere*, 31(5), 670–682.
- Kabir, M., Mwamula, A., Lee, J., Jeong, M., Lee, D. y Park, J. (2018). Spatial distribution of *Heterodera trifolii* in Chinese cabbage fields. *Journal of Asia-Pacific Entomology*, 21(2), 688–694.
- Karuri, H. (2021). Nematode community structure and functional guilds differ in tea fields and tropical forest. *Geoderma*, 392, 115006.
- Kaya, C., Yazar, A. y Sezen, S. (2015). SALTMED Model Performance on Simulation of Soil Moisture and Crop Yield for Quinoa Irrigated Using Different Irrigation Systems, Irrigation Strategies and Water Qualities in Turkey. *Agriculture and Agricultural Science Procedia*, 4, 108–118.
- Lecomte-Pradines, C., Bonzom, J., Della-Vedova, C., Beaugelin-Seiller, K., Villenave, C., Gaschak, S., Coppin, F., Dubourg, N., Maksimenko, A., Adam-Guillermin, C. y Garnier-Laplace, J. (2014). Soil nematode assemblages as bioindicators of radiation impact in the Chernobyl Exclusion Zone. *Science of the Total Environment*, 490(April 1986), 161–170.
- Lei, Y., Zhou, J., Xiao, H., Duan, B., Wu, Y., Korpelainen, H. y Li, C. (2015). Soil nematode assemblages as bioindicators of primary succession along a 120-year-old chronosequence on the Hailuoguo Glacier forefield, SW China. *Soil Biology and Biochemistry*, 88, 362–371.
- Leul, Y., Assen, M., Damene, S. y Legass, A. (2023). Effects of land use types on soil quality dynamics in a tropical sub-humid ecosystem, western Ethiopia. *Ecological Indicators*, 147, 110024.

- Liu, J., Zhao, W., He, H., Kou, Y. y Liu, Q. (2022). Variations in the community patterns of soil nematodes at different soil depths across successional stages of subalpine forests. *Ecological Indicators*, 136, 108624.
- Liu, L., Li, S., Wilson, G., Cobb, A., Zhou, C., Li, J., Li, J., Guo, L. y Huang, D. (2021). Nematode communities indicate anthropogenic alterations to soil dynamics across diverse grasslands. *Ecological Indicators*, 132, 108338.
- Losi, V., Grassi, E., Balsamo, M., Rocchi, M., Gaozza, L. y Semprucci, F. (2021). Changes in taxonomic structure and functional traits of nematodes as tools in the assessment of port impact. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 260(July), 107524.
- Liu, J., Zhao, W., He, H., Kou, Y. y Liu, Q. (2022). Variations in the community patterns of soil nematodes at different soil depths across successional stages of subalpine forests. *Ecological Indicators*, 136, 108624.
- Ma, J., Wei, X., Liu, S. y Wu, P. (2022). Changes in the soil nematode community among climate zones do not keep pace with changes in plant communities. *CATENA*, 215, 106319.
- Martin, T., Wade, J., Singh, P. y Springer, C. (2022). The integration of nematode communities into the soil biological health framework by factor analysis. *Ecological Indicators*, 136, 108676.
- Martinez, J., Torres, M., dos Santos, G. y Moens, T. (2018). Influence of heavy metals on nematode community structure in deteriorated soil by gold mining activities in Sibutad, southern Philippines. *Ecological Indicators*, 91, 712–721.
- Mateille, T., Tavoillot, J., Martiny, B., Dmowska, E., Winiszewska, G., Ferji, Z., Msanda, F., & Mousadik, A. El. (2016). Aridity or low temperatures: What affects the diversity of plant-parasitic nematode communities in the Moroccan argan relic forest? *Applied Soil Ecology*, 101, 64–71.
- Meehan, M., Song, Z., Lumley, L., Cobb, T. y Proctor, H. (2019). Soil mites as bioindicators of disturbance in the boreal forest in northern Alberta, Canada: Testing taxonomic sufficiency at multiple taxonomic levels. *Ecological Indicators*,

102, 349–365.

- McGraw, B. A., & Schlossberg, M. J. (2017). Fine-scale spatial analysis of soil moisture and entomopathogenic nematode distribution following release in wetting agent-treated turf. *Applied Soil Ecology*, *114*, 52–61.
- Mendoza, N. y Mercado, S. (2022). Cytogenotoxicity of fifth-generation quaternary ammonium using three plant bioindicators. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, *95*, 103972.
- Murphy, S., Hathcock, C., Espinoza, T., Fresquez, P., Berryhill, J., Stanek, J., Sutter, B. y Gaukler, S. (2023). Comparative spatially explicit approach for testing effects of soil chemicals on terrestrial wildlife bioindicator demographics. *Environmental Pollution*, *316*, 120541.
- Nielsen, U. N., Ayres, E., Wall, D. H., Li, G., Bardgett, R. D., Wu, T., & Garey, J. R. (2014). Global-scale patterns of assemblage structure of soil nematodes in relation to climate and ecosystem properties. *Global Ecology and Biogeography*, *23*(9), 968–978.
- Ovaskainen, O., Weigel, B., Potyutko, O., & Buyvolov, Y. (2019). Long-term shifts in water quality show scale-dependent bioindicator responses across Russia – Insights from 40 year-long bioindicator monitoring program. *Ecological Indicators*, *98*, 476–482.
- Papa, D. de A., Almeida, D. R. A. de, Silva, C. A., Figueiredo, E. O., Stark, S. C., Valbuena, R., Rodriguez, L. C. E., & d'Oliveira, M. V. N. (2020). Evaluating tropical forest classification and field sampling stratification from lidar to reduce effort and enable landscape monitoring. *Forest Ecology and Management*, *457*(June).
- Park, B. Y., Lee, J. K., Ro, H. M., & Kim, Y. H. (2011). Effects of heavy metal contamination from an abandoned mine on nematode community structure as an indicator of soil ecosystem health. *Applied Soil Ecology*, *51*(1), 17–24.
- Petrovskaja, A., Ryzhakov, G., & Oseledets, I. (2021). Optimal soil sampling design based on the maxvol algorithm. *Geoderma*, *402*(January), 115362.

- Peres, G., Vandenbulcke, F., Guernion, M., Hedde, M., Beguiristain, T., Douay, F., Houot, S., Piron, D., Richard, A., Bispo, A., Grand, C., Galsomies, L. y Cluzeau, D. (2011). Earthworm indicators as tools for soil monitoring, characterization and risk assessment. An example from the national Bioindicator programme (France). *Pedobiologia*, 54(SUPPL.), S77–S87.
- Piedra, R. (2015). *Guía de muestreo de nematodos fitoparásitos en cultivos agrícolas*. Instituto Nacional de Innovación y Transparencia en Tecnología Agropecuaria.
- Pinto-Poblete, A., Retamal-Salgado, J., Zapata, N., Sierra-Almeida, A. y Schoebitz, M. (2023). Impact of polyethylene microplastics and copper nanoparticles: Responses of soil microbiological properties and strawberry growth. *Applied Soil Ecology*, 184, 104773.
- R Development Core Team. 2016. Introducción a R Notas sobre R: Un entorno de programación para Análisis de Datos y Gráficos Versión 1.0.1.
- Rezaei, A., Karparvarfard, S. H., Naderi-Boldaji, M., Azimi-Nejadian, H. y Tekeste, M. Z. (2022). A new combined penetrometer-dielectric-low frequency acoustic-electrical conductivity sensor for measuring the soil physical characteristics. *Sensors and Actuators A: Physical*, 347, 113952.
- Rodríguez, L. M. S., Jaramillo, L. A. E., & Capote, P. A. (2010). Estimación de un índice de calidad ambiental urbano, a partir de imágenes de satélite. *Revista de Geografía Norte Grande*, 95(45), 77–95.
- Rosli, N., Leduc, D., Rowden, A. A., Probert, P. K., & Clark, M. R. (2018). Regional and sediment depth differences in nematode community structure greater than between habitats on the New Zealand margin: Implications for vulnerability to anthropogenic disturbance. *Progress in Oceanography*, 160, 26–52.
- Teshita, A., Feng, Y., Qian, R., Wang, X., Khan, W. y Gao, Y. (2023). Alfalfa and maize intercropping enhances soil nematode structure and food web complexity in low-nitrogen soils. *Applied Soil Ecology*, 186, 104809.
- Tu, C., Lu, Q., Zhang, Y., Tian, J., Gao, Y., Liu, Y., Yang, H., Chen, L., Zhang, J., Wang, J. y Xiao, J. (2022). The soil nematode community indicates the soil

- ecological restoration of the *Pinus massoniana* plantation gap replanted with *Cinnamomum longipaniculatum*. *Ecological Indicators*, 136, 108678.
- Šalamún, P., Hanzelová, V., & Miklisová, D. (2018). Variability in responses of soil nematodes to trace element contamination. *Chemosphere*, 210, 166–174.
- Sánchez-Moreno, S., & Talavera, M. (2013). Los nematodos como indicadores ambientales en agroecosistemas. *Ecología y Medio Ambiente*, 22(1), 50–55.
- Sechi, V., De Goede, R. G. M., Rutgers, M., Brussaard, L., & Mulder, C. (2018). Functional diversity in nematode communities across terrestrial ecosystems. *Basic and Applied Ecology*, 30, 76–86.
- Seijas, I. (2004). Estudio de la nematofauna edáfica asociada a cultivos frutícolas de manzano y a biotopos forestales de roble en Galicia como base previa al control biológico de plagas de babosas con nematodos zooparásitos. *Departamento de Biología Animal, Universidad de Santiago de Compostela*.
- Song, D., Pan, K., Tariq, A., Sun, F., Li, Z., Sun, X., Zhang, L., Olusanya, O. A., & Wu, X. (2017). Large-scale patterns of distribution and diversity of terrestrial nematodes. *Applied Soil Ecology*, 114, 161–169.
- Srivastava, S. K. (2019). Assessment of groundwater quality for the suitability of irrigation and its impacts on crop yields in the Guna district, India. *Agricultural Water Management*, 216, 224–241.
- Sun, J., Li, Y. P., Suo, C., & Liu, Y. R. (2019). Impacts of irrigation efficiency on agricultural water-land nexus system management under multiple uncertainties—A case study in Amu Darya River basin, Central Asia. *Agricultural Water Management*, 216, 76–88.
- Touron-Poncet, H., Bernadet, C., Compin, A., Bargier, N., & Céréghino, R. (2014). Implementing the Water Framework Directive in overseas Europe: A multimetric macroinvertebrate index for river bioassessment in Caribbean islands. *Limnologica*, 47, 34–43.
- Upadhyay, A., Laing, T., Kumar, V., & Dora, M. (2021). Exploring barriers and drivers

- to the implementation of circular economy practices in the mining industry. *Resources Policy*, 72, 102037.
- Velásquez-Zapata, G. 2020. Problemas medioambientales de la minería aurífera ilegal en Madre de Dios (Perú). *Observatorio Medioambiental*, 23, 229-241
- Wang, Q., Lu, H., Chen, J., Jiang, Y., Williams, M. A., Wu, S., Li, J., Liu, J., Yang, G. y Yan, C. (2020). Interactions of soil metals with glomalin-related soil protein as soil pollution bioindicators in mangrove wetland ecosystems. *Science of The Total Environment*, 709, 136051.
- Wardle, D. A. y Ghani, A. (2018). A tale of two theories, a chronosequence and a bioindicator of soil quality. *Soil Biology and Biochemistry*, 121, A3–A7
- Xing, W., Lu, X., Niu, S., Chen, D., Wang, J., Liu, Y., Wang, B., Zhang, S., Li, Z., Yao, X., Yu, Q. y Tian, D. (2022). Global patterns and drivers of soil nematodes in response to nitrogen enrichment. *CATENA*, 213, 106235.
- Xue, X., Adhikari, B., Ball, B., Barrett, J., Miao, J., Perkes, A., Martin, M., Simmons, B., Wall, D. y Adams, B. (2023). Ecological stoichiometry drives the evolution of soil nematode life history traits. *Soil Biology and Biochemistry*, 177, 108891.
- Young, E. H. y Unc, A. (2023). A review of nematodes as biological indicators of sustainable functioning for northern soils undergoing land-use conversion. *Applied Soil Ecology*, 183, 104762.
- Zhang, P., Chen, S., Ai, Y., Wang, Y., Xi, D., Tian, L. y Mipam, T. (2022). Responses of soil nematode community to yak grazing intensity in an alpine meadow. *Agriculture, Ecosystems y Environment*, 339, 108134.
- Zhang, Z., Wang, H., Ding, F., Wilschut, R., Jia, Z., Zhang, X., Zhang, D., Rasmann, S., Sánchez-Moreno, S. y Li, B. (2022). Belowground plant inputs exert higher metabolic activities and carbon use efficiency of soil nematodes than aboveground inputs. *Geoderma*, 420, 115883.
- Zou, S., Adams, J., Yu, Z., Li, N., Kerfahi, D., Tripathi, B., Lee, C., Yang, T., Moroenyane, I., Chen, X., Kim, J., Kwak, H. Ogwu, M., Lee, S. y Dong, K.



(2022). Stochasticity dominates assembly processes of soil nematode metacommunities on three Asian mountains. *Pedosphere*.

ANEXOS

Anexo 1. Procedimiento R script para análisis de componentes principales en la temporada de lluvias.

```
1 <#####3#Análisis de Componentes Principales para temporada de lluvias#####
2 ##Primer paso: Exportamos el archivo en CSV ó Excel
3 data<-ejercicios
4 data1<-data.frame(data)
5 data1
6 #SEGUNDO PASO
7 #A los nombres de las filas de data1 le asignamos los
8 #nombres de tipos de suelo
9 rownames(data1)<-data1$tipos_de_suelo
10 data1
11 #TERCER PASO
12
13 #Excluimos la primera columna dado que es cualitativa
14 #cor=TRUE #se usará la matriz de correlaciones, dado que son unidades diferentes
15 data2<-princomp(data1[,c(-1,-2)],cor=TRUE)
16
17
18 #Para ver los eigenvalúes: Número componentes se escoge en función
19 #a los eigenvalúes: # Componentes = #eigenvalúes mayores a 1
20 data2$sd^2
21
22 #CUARTO PASO Tabla de resultados
23 summary(data2,loadings=TRUE)
24 biplot(data2)
25
26 #QUINTO PASO
27
28 #De los resultados, colocamos los datos de las CP1
29 #main,xlab
30 biplot(data2, xlim=c(-0.2,0.9)
31         main="Análisis de componentes Principales",
32         xlab="Componente 1. (94.35%)",
33
34 <#####
35 library(devtools)
36 #install_github("vqv/ggbiplot")
37 # Dar vacío al preguntar, No compilar
38 library(ggbiplot)
39 library(ggforce)
40 data1
41 DATOS<-data1[, -c(1,2)] # quitamos los datos
42 DATOS
43 DATOS.pca <- prcomp(DATOS, center = TRUE, scale. = TRUE)
44 site.groups1<-data1$species
45
46 ggbiplot(DATOS.pca, labels=rownames(DATOS),
47          groups = site.groups1, ellipse = TRUE, circle = FALSE)
48
49 ggbiplot(DATOS.pca, labels=rownames(DATOS),
50          groups = site.groups1, ellipse = TRUE, circle = FALSE,
51          labels.size=5,varname.size = 5) +
52          scale_color_discrete(name = 'Clases') +
53          theme(legend.direction = 'vertical', legend.position = 'right')+
54          theme (text = element_text(size=15))
55
56 par(mfrow=c(3,2))
57
58 boxplot(data1$TM50~data1$tipo_suelo)
59 boxplot(data1$TM ~data1$tipo_suelo)
60 boxplot(data1$K~data1$tipo_suelo)
61 boxplot(data1$EM~data1$tipo_suelo)
62 boxplot(data1$TH~data1$tipo_suelo)
63
64
65 #Relación entre variables
66 data4<-data.frame(data)
67 attach(data4)
68 cor.test(EM,K)
69
70 plot(K,EM)
```

Anexo 2. Procedimiento R script para análisis de componentes principales en la temporada de seca.

```
1  #####3#Análisis de Componentes Principales para temporada de seca#####
2  ##Primer paso: Exportamos el archivo en CSV ó Excel
3  data<-ejercicios
4  data1<-data.frame(data)
5  data1
6  #SEGUNDO PASO
7  #A los nombres de las filas de data1 le asignamos los
8  #nombres de tipos de suelo
9  rownames(data1)<-data1$tipos_de_suelo
10 data1
11 #TERCER PASO
12
13 #Excluimos la primera columna dado que es cualitativa
14 #cor=TRUE #se usará la matriz de correlaciones, dado que son unidades diferentes
15 data2<-princomp(data1[,c(-1,-2)],cor=TRUE)
16
17
18 #Para ver los eigenvalúes: Número componentes se escoge en función
19 #a los eigenvalúes: # Componentes = #eigenvalúes mayores a 1
20 data2$sd^2
21
22 #CUARTO PASO Tabla de resultados
23 summary(data2,loadings=TRUE)
24 biplot(data2)
25
26 #QUINTO PASO
27
28 #De los resultados, colocamos los datos de las CP1
29 #main,xlab
30 biplot(data2, xlim=c(-0.2,0.9)
31         main="Análisis de componentes Principales",
32         xlab="Componente 1. (97.77%)",
33
34 #####
35 library(devtools)
36 #install_github("vqv/ggbiplot")
37 # Dar vacío al preguntar, No compilar
38 library(ggbiplot)
39 library(ggforce)
40 data1
41 DATOS<-data1[, -c(1,2)] # quitamos los datos
42 DATOS
43 DATOS.pca <- prcomp(DATOS, center = TRUE, scale. = TRUE)
44 site.groups1<-data1$species
45
46 ggbiplot(DATOS.pca, labels=rownames(DATOS),
47          groups = site.groups1, ellipse = TRUE, circle = FALSE)
48
49 ggbiplot(DATOS.pca, labels=rownames(DATOS),
50          groups = site.groups1, ellipse = TRUE, circle = FALSE,
51          labels.size=5,varname.size = 5) +
52          scale_color_discrete(name = 'Clases') +
53          theme(legend.direction = 'vertical', legend.position = 'right')+
54          theme (text = element_text(size=15))
55
56 par (mfrow=c(3,2))
57
58 boxplot(data1$TM50~data1$tipo_suelo)
59 boxplot(data1$TM ~data1$tipo_suelo)
60 boxplot(data1$K~data1$tipo_suelo)
61 boxplot(data1$EM~data1$tipo_suelo)
62 boxplot(data1$TH~data1$tipo_suelo)
63
64
65 #Relación entre variables|
66 data4<-data.frame(data)
67 attach(data4)
68 cor.test(EM,K)
69
70 plot(K,EM)
```

Anexo 3. Procedimiento R script para análisis de correlación canónica en la temporada de lluvias.

```
1 CCA para temporada de lluvias
2 #####
3
4
5 datos1<-ejercicios
6 datos<-data.frame(datos1)
7 datos
8 row.names(datos)<-datos$site.no
9 datos
10 library(ca)
11 ca(datos[,-1])
12 plot(ca(datos[,-1]))
13
14 library(vegan)
15 decorana.dca <- decorana(datos[,2:100])
16 #Debe acotarse por la cantidad de parametros del gradiente de estres
17 decorana.dca
18 summary(decorana.dca)
19 plot(decorana.dca)
20 ## Para gráficos con muchos datos
21 ordina<-decorana(datos[,2:141])
22 tmp<-ordiplot(ordina)
23 identify(tmp,"spec")
24 #####
25 library("FactoMineR")
26 library(factoextra)
27 data(housetasks)
28 housetasks
29 res.ca <- CA(housetasks, graph=FALSE)
30 fviz_ca_row(res.ca)
31 fviz_ca_biplot(res.ca,
32               select.row = list(contrib = 13), #Filas
33               select.col = list(contrib = 4)) #Columnas
34
35 ### CORRELACION CANONICA
36 datos1<-ejercicios
37 datos<-data.frame(datos1)
38 datos
39 row.names(datos)<-datos$site.no
40 library("FactoMineR")
41 res.ca <- CA(datos[,-1], graph=FALSE)
42 fviz_ca_row(res.ca)
43
44 fviz_ca_biplot(res.ca,
45               select.row = list(contrib = 19), #Filas
46               select.col = list(contrib = 141)) #Columnas
```

Anexo 4. Procedimiento R script para análisis de correlación canónica en la temporada de seca.

```
2 CCA para temporada de seca
3 #####
4
5 datos1<-ejercicios
6 datos<-data.frame(datos1)
7 datos
8 row.names(datos)<-datos$site.no
9 datos
10 library(ca)
11 ca(datos[,-1])
12 plot(ca(datos[,-1]))
13
14 library(vegan)
15 decorana.dca <- decorana(datos[,2:100])
16 #Debe acotarse por la cantidad de parametros del gradiente de estres
17 decorana.dca
18 summary(decorana.dca)
19 plot(decorana.dca)
20 ### Para gráficos con muchos datos
21 ordina<-decorana(datos[,2:141])
22 tmp<-ordiplot(ordina)
23 identify(tmp,"spec")
24 #####
25 library("FactoMineR")
26 library(factoextra)
27 data(housetasks)
28 housetasks
29 res.ca <- CA(housetasks, graph=FALSE)
30 fviz_ca_row(res.ca)
31 fviz_ca_biplot(res.ca,
32               select.row = list(contrib = 13), #Filas
33               select.col = list(contrib = 4)) #Columnas
34
35 ### CORRELACION CANONICA
36 datos1<-ejercicios
37 datos<-data.frame(datos1)
38 datos
39 row.names(datos)<-datos$site.no
40 library("FactoMineR")
41 res.ca <- CA(datos[,-1], graph=FALSE)
42 fviz_ca_row(res.ca)
43
44 fviz_ca_biplot(res.ca,
45               select.row = list(contrib = 19), #Filas
46               select.col = list(contrib = 141)) #Columnas
```

Anexo 5. Relación de los parámetros con los componentes en la temporada de lluvias.

	PC 1	PC 2	PC 3
pH	-0.0016698	-0.0028774	-0.018583
C.E.	3.28E-05	0.00016397	3.31E-05
CaCO ₃	3.17E-20	-9.23E-17	4.32E-17
M.O.	-0.00030451	-0.0052595	0.084925
P	-0.00071827	-0.0019444	0.020631
K	0.042657	0.085346	0.79277
Arena	-0.0035518	-0.018352	0.076269
Limo	0.0084916	0.033533	0.023831
Arcilla	-0.0049183	-0.015152	-0.10018
C.I.C.	0.0018565	0.018142	0.03777
Ca ⁺²	0.00056673	-0.0020119	0.010708
Mg ⁺²	0.00017475	0.00032184	0.0030114
K ⁺	0.00011242	0.00036105	0.0023515
Na ⁺	3.39E-05	6.31E-05	-2.16E-05
Al ⁺³ +H ⁺	7.90E-05	0.00026193	6.99E-05
B	4.57E-05	-1.45E-05	0.00045941
Mn	0.0012973	0.0019875	0.02034
Zn	0.0019652	0.0040021	0.011665
Ag	0.00033655	0.001977	0.00055398
As	0.021894	0.17099	0.041689
Ba	0.10499	0.28747	0.47564
Be	0.0020952	0.015656	0.00020473
Bi	0.00019101	0.00034402	-0.00018811
Cd	0.00099898	0.0015563	-0.0075874
Ce	0.019332	0.053677	0.079507
Co	0.011437	0.031346	-0.011699
Cr	0.022072	0.040054	0.017154
Cs	0.019436	0.0054796	-0.078039
Cu	0.014094	0.028892	0.026767
Hg	0.00070703	-0.0011634	-0.0033752
Li	0.077013	0.11872	-0.073821
Mo	0.0026039	0.0065496	-0.010985
Ni	0.033965	-0.049165	0.088426
Pb	0.01268	0.011279	0.083985
Sb	0.00023928	0.00025831	0.00089076
Se	0.00084103	0.004555	0.0052383
Si	0.95242	0.19991	-0.14364
Sn	0.00029992	0.00053325	0.0012376
Sr	0.016207	0.019262	0.083378
Ti	0.26371	-0.89661	0.18214
Tl	6.6068E-05	-0.00021121	0.0012246
U	0.00048503	-0.0021629	-0.00023613
V	0.02719	-0.10548	0.13718
W	0.0087843	0.010151	-0.057778
Respiración	3.22E-05	-0.00027435	0.0012462
Biomasa	0.0001397	-0.00029212	0.0046687

Anexo 6. Relación de los parámetros con los componentes en la temporada de seca.

	PC 1	PC 2	PC 3
pH	-0.0035154	-0.0019726	0.0017821
C.E.	4.50E-05	-0.00011539	0.00027154
CaCO3	-1.75E-18	6.09E-17	-2.34E-17
M.O.	0.00526	-0.0010355	-0.074879
P	0.0011348	0.00051444	-0.025527
K	0.10493	-0.047267	-0.33032
Arena	0.0010035	0.021257	-0.091676
Limo	0.012709	-0.012219	0.068629
Arcilla	-0.013717	-0.0089274	0.023263
C.I.C.	0.005337	-0.02988	-0.044385
Ca+2	0.0013602	-0.00029167	-0.011232
Mg+2	0.00039616	0.00017721	-0.00097398
K+	0.00026805	-0.00042238	-0.00093976
Na+	4.00E-05	-2.12E-05	0.00030608
Al+3+H+	-0.00020845	-0.00025504	-0.0027843
B	8.61E-05	4.68E-05	-0.00016293
Mn	0.0021641	-0.0024588	-0.013712
Zn	0.002602	-2.22E-05	0.004559
Ag	0.00024927	-0.0015898	0.001725
As	-0.017107	-0.063789	-0.31263
Ba	0.12168	-0.31504	0.68393
Be	0.0024041	-0.0071523	0.024402
Bi	0.00017556	-0.0003512	0.001302
Cd	0.00038553	-0.0017916	0.0077161
Ce	0.026364	-0.047867	-0.030581
Co	0.012463	-0.024872	0.096713
Cr	0.025193	-0.030375	0.012097
Cs	0.015239	0.01688	0.08189
Cu	0.013205	-0.081217	-0.1602
Hg	0.00045485	0.00085395	-0.00020441
Li	0.077557	0.015883	0.19006
Mo	0.0022766	-0.0033804	0.017744
Ni	0.037845	0.072097	0.16731
Pb	0.017164	0.018596	-0.046915
Sb	0.00020983	0.00023126	0.00074001
Se	0.0011772	-0.00092777	0.0048655
Si	0.93958	-0.22991	-0.12487
Sn	0.00043062	-0.00049854	-0.0013971
Sr	0.021183	-0.0058602	0.045827
Ti	0.28187	0.90065	0.16878
Tl	9.82E-05	0.00043229	-0.00040939
U	0.00043594	0.0019398	-0.0015281
V	0.032907	0.10978	-0.19896
W	0.0044112	-0.012695	0.32751
Respiración	9.36E-05	0.00016825	-0.0005754
Biomasa	0.0004914	0.00069608	-0.0032118



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo Michael Obrian Niño de Guzman Tito,
identificado con DNI 45587144 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“ **Nematodos bioindicadores frente al estrés abiótico en suelos con influencia minera** ”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 24 de julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella



Universidad Nacional
del Altiplano Puno



Vicerrectorado
de Investigación



Repositorio
Institucional

AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo Michael Obrian Niño de Guzman Tito,
identificado con DNI 45587144 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
Ciencia, Tecnología y Medio Ambiente,

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
" Nematodos bioindicadores frente al estrés abiótico en suelos con influencia minera "

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia:

Creative Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 24 de julio del 2023

FIRMA (obligatoria)



Huella