



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL**

**Diseño de Técnicas Accesibles para la Restauración de Suelos
Erosionados, Revisión Sistemática 2022.**

**TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE :
INGENIERO AMBIENTAL**

AUTOR:

Ortecho Davila, Diego Alonso (ORCID: 0000-0002-1126-1519)

ASESORA:

Mg. Cabello Torres, Rita Jaqueline (ORCID: 0000-0002-9965-9678)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Calidad y Gestión de los Recursos Naturales

LIMA – PERÚ

2022

Dedicatoria

A mi abuela Eloísa, que me dio la primera chispa de inspiración a partir de una idea para iniciar este camino, pues en cada paso y con cada conocimiento adquirido he llevado sus recuerdos conmigo pues sé que siempre me acompaña.

Agradecimiento

A todas las personas que me apoyaron, orientaron y tuvieron paciencia, pues gracias a ellas pude culminar este trabajo con éxito. A mi Lucero, por acompañarme día y noche en este proceso y por su ayuda desinteresada para que pueda seguir creciendo profesionalmente.

Índice de contenidos

Dedicatoria	ii
Agradecimiento	iii
Índice de Contenidos	iv
RESUMEN	viii
ABSTRACT	ix
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO.....	4
III. MÉTODO.....	24
3.1 Tipo y diseño de investigación	24
3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística .	24
3.3 Escenario de estudio	28
3.4 Participantes.....	28
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos	28
3.6 Procedimientos	29
3.7 Rigor científico	29
3.8 Método de análisis de información	30
3.9 Aspectos éticos.....	31
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	32
V. CONCLUSIONES	52
VI. RECOMENDACIONES	53
VII. REFERENCIAS	54

Índice de tablas

Tabla 01 <i>Matriz de categorización apriorística</i>	24
Tabla 02 <i>Resumen de criterios de búsqueda</i>	30
Tabla 03 <i>Resultados OE 1</i>	32
Tabla 04 <i>Resultados OE 2</i>	38
Tabla 05 <i>Resultados OE 3</i>	45
Tabla 06 <i>Coberturas</i>	49
Tabla 07 <i>Parámetros del suelo</i>	50
Tabla 08 <i>Reproducción de microorganismos</i>	51
Tabla 09 <i>Humedal</i>	53
Tabla 10 <i>Organismos del suelo</i>	54
Tabla 11 <i>Plantas estratégicas</i>	55

Índice de figuras

<i>Figura 1</i> Factores que afectan la capacidad de suministro de carbono del suelo y su tiempo medio de residencia	4
<i>Figura 2.</i> Técnicas de secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) en la capa superficial	5
<i>Figura 3.</i> Métodos mecánicos y sistemas naturales para la inyección profunda de biomasa C en el suelo	5
<i>Figura 4.</i> Factores abióticos y bióticos que constituyen la calidad del suelo del mundo	6
<i>Figura 5.</i> Vínculos entre las amenazas del suelo, las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos basados en el suelo	6
<i>Figura 6.</i> El Marco impulsor–presión-Estado-Impacto-Respuesta aplicado al suelo	7
<i>Figura 7.</i> Frecuencia de diferentes indicadores	7
<i>Figura 8.</i> Ejemplo de ponderación de funciones del suelo e indicadores asociados	8
<i>Figura 9.</i> Principales objetivos, herramientas y enfoques de la evaluación de la calidad del suelo a lo largo de la historia	8
<i>Figura 10.</i> Pasos principales en el desarrollo de un enfoque de evaluación de la calidad del suelo	9
<i>Figura 11.</i> Distribución de hidrocarburos de petróleo en agua, aire y suelo	9
<i>Figura 12.</i> Principales mecanismos implicados en la fitorremediación de hidrocarburos de petróleo	10
<i>Figura 13.</i> Factores físicos y biológicos que afectan a la tasa de biodegradación de hidrocarburos de petróleo del ambiente contaminado	10
<i>Figura 14.</i> Marco participativo propuesto para generar e implementar una calidad del suelo	11

<i>Figura 15.</i> Esquema conceptual que relaciona los impulsores del cambio en la calidad del suelo, las propiedades del suelo y los servicios ecosistémicos	12
<i>Figura 16.</i> Insumos naturales para hacer el IMO	14
<i>Figura 17.</i> Análisis proximal de insumos fermentados	14
<i>Figura 18.</i> Ingredientes y cronograma para el desarrollo de microorganismos autóctonos (IMO)	15
<i>Figura 19.</i> Desglose de costos entre IMO y fertilizante inorgánico	15
<i>Figura 20.</i> Procedimiento utilizado para el análisis de imágenes y cuantificación de macroporos	20
<i>Figura 21.</i> Ejemplos de imágenes tridimensionales de galerías realizadas por escarabajos, termitas y lombrices aisladas manualmente de macroporos	20
<i>Figura 22.</i> Tabla de procedimientos	24

Resumen

El problema de la investigación fue que técnicas usar para la restauración de suelos erosionados. El objetivo de la investigación fue diseñar técnicas accesibles para restauración de suelos erosionados. Investigación de tipo aplicada con un enfoque cualitativo y de revisión sistemática, lo cual resultó en el diseño de técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados, se concluyó que las técnicas diseñadas son de baja complejidad y costo lo cual hace accesible la restauración de suelos para los diferentes actores civiles, públicos y privados, se recomienda la revisión de más investigaciones, medición y control de la aplicación de estas técnicas para una posible estandarización de estas.

Palabras clave: restauración de suelos, calidad de suelo y agua, biodiversidad del suelo, tierras húmicas

Abstract

The research problem was what techniques to use for the restoration of eroded soils. The objective of the research was to design accessible techniques for the restoration of eroded soils. The applied research with a qualitative approach and systematic review, which resulted in the design of accessible techniques for the restoration of eroded soils, concluded that the techniques designed are of low complexity and cost, which makes soil restoration accessible to the different and private actors, it is recommended the review of more research, measurement and control of the application of these techniques for a possible standardization of these.

Keywords: soil restoration, soil and water quality, soil biodiversity, wetlands

I. INTRODUCCIÓN

(1), se pronunció sobre la erosión como un problema global que está afectando los servicios ecosistémicos del suelo y que va en aumento por lo cual es necesario cambiar los paradigmas del manejo del suelo usando enfoques amigables con el medio ambiente y acorde con los Objetivos del Desarrollo Sostenible, especialmente en el objetivo 13 y 15, por otro lado, el (2), publicó experiencias de restauración de suelos, identificó 181 experiencias de las cuales solo 94 fueron reportadas, en las cuales el actor principal fueron las ONG con un 43%, el sector estatal con el 34%, empresas privadas 11%, universidades 6% y comunidades locales 6%, en este informe se puede apreciar factores de riesgo: económicos, de capacidades, gubernamentales, legales, sociales y ecológicos; (3) define como suelo erosionado a la pérdida de las condiciones físicas, químicas y biológicas, (4) define como un suelo saludable al suelo que actúa como un sistema vivo dinámico, que brinda múltiples servicios ecosistémicos, calidad de agua, productividad de biomasa, reciclaje, almacenamiento de nutrientes, proceso de descomposición y secuestro de carbono, (5) habla del uso de bioestructuras creadas por la macrofauna del suelo como restaurador de suelos erosionados, (6) investigó la generación de bioestructura del suelo por medio de biocarbón y extracto de algas marinas, (7) explica cómo los bosques y humedales representan una solución a la erosión del suelo y mejoran la calidad de agua; luego de revisar diferentes investigaciones se decidió diseñar 3 técnicas de restauración de suelos erosionados.

En la revisión de la literatura no se evidenció enfoques accesibles de restauración de suelos para diversos sectores de la población (factibilidad social, económica), pero sí se encontraron técnicas basadas en la naturaleza y de bajo coste y complejidad.

Para cubrir este vacío se diseñó técnicas accesibles de restauración de suelos mediante la revisión sistemática de investigaciones científicas referidas a la restauración de suelos, su baja complejidad y costo, el uso de indicadores visuales en su gran mayoría, la innovación de tecnologías y soluciones basadas en la naturaleza.

El no tener técnicas de baja complejidad y costo afecta el uso instrumentos de gestión idóneos para el manejo de suelos erosionados lo cual nos lleva a invisibilizar el problema, tanto como entidades de parte del estado que puedan administrar, controlar, evaluar y fiscalizar la degradación de suelos por la diversidad de actividades humanas, por parte del sector privado el no tener planes de acción frente a este tema y por la parte civil el no tener el poder de actuar frente a la erosión de suelo.

Esta investigación aporta el conocimiento de técnicas accesibles basada en los principios y enfoques teóricos que justifican su aplicación, para restauración de suelos erosionados y amplía la posibilidad de medidas a tomar ante problemas de erosión de suelo locales y mundiales, profundiza en técnicas de generación de tierras húmicas, aumento de la biodiversidad de ecosistemas terrestres y el tratamiento de agua, la cual está muy relacionada con el suelo ya que este es un generador de servicios ecosistémicos (MINAM), la humedad del suelo mejora las relaciones de conductividad eléctrica bajo cubiertas terrestres (8). Se usaron técnicas de innovación simples como lo son: las prácticas de agroforestería, agricultura sintrópica, técnicas de manejo de residuos orgánicos, bioestructuras, biopreparados y otros (5).

La justificación metodológica para esta investigación radica en el empleo de una metodología de tipo aplicada con enfoque cualitativo con el fin de volver accesible el actuar de manera integrada por los actores involucrados, ya que las características de las investigaciones cualitativas permiten el replanteo y mejora continua de la investigación mediante la revisión de literatura.

Esta investigación tuvo gran importancia en el ámbito medioambiental que sostiene una justificación enfocada en soluciones basadas en la naturaleza y con impactos ambientales significativos, por su bajo costo y simplicidad fueron un gran aporte económico y social; cabe resaltar que estas prácticas contribuyen con los ODS.

Se realizó una revisión de más de 50 artículos científicos de buscadores y gestores de investigación como son scopus, sciencedirect, scielo, Google académico, fuentes confiables de la FAO y los ODS.

En esta investigación se planteó el siguiente problema general:

PG: ¿Qué técnicas usar para la restauración de suelos erosionados?

Y los siguientes problemas específicos:

PE1: ¿Qué técnicas accesibles usar para la generación de tierras húmicas?

PE2: ¿Qué técnicas accesibles usar para aumentar la biodiversidad de ecosistemas terrestres?

PE3: ¿Qué técnicas accesibles usar para el tratamiento de agua para ecosistemas terrestres?

Además, se consideró como objetivo general:

OG: diseñar técnicas accesibles, de baja complejidad y costo para restaurar suelos erosionados

OE1: diseñar técnicas accesibles de generación de tierras húmicas.

OE2: diseñar técnicas accesibles de aumento de biodiversidad de ecosistemas terrestres.

OE3: diseñar técnicas accesibles de tratamiento de agua de ecosistemas terrestres.

II. MARCO TEÓRICO

La FAO es uno de los organismos que tiene mejor estudiado a los suelos y su problemática y antecedentes sobre restauración de suelos a nivel mundial, por otro lado,

en el Perú el SERFOR es uno de los organismos que tienen estudiado al suelo erosionado y su restauración, definiendo como suelos erosionados los que carecen de propiedades favorables para la aparición de vida, se caracterizan por la deficiencia de nutrientes y una escasez de agua, la restauración de suelo erosionado se puede definir como la capacidad del suelo para infiltración, almacenamiento y suministro de agua, almacenamiento, suministro y ciclado de nutrientes y mantener la actividad biológica (9)

Generación de tierras húmicas. - Coberturas. (10), el objetivo de esta investigación fue describir procesos, factores y técnicas para el secuestro de C en el suelo, usando la metodología basada en una revisión sistemática.

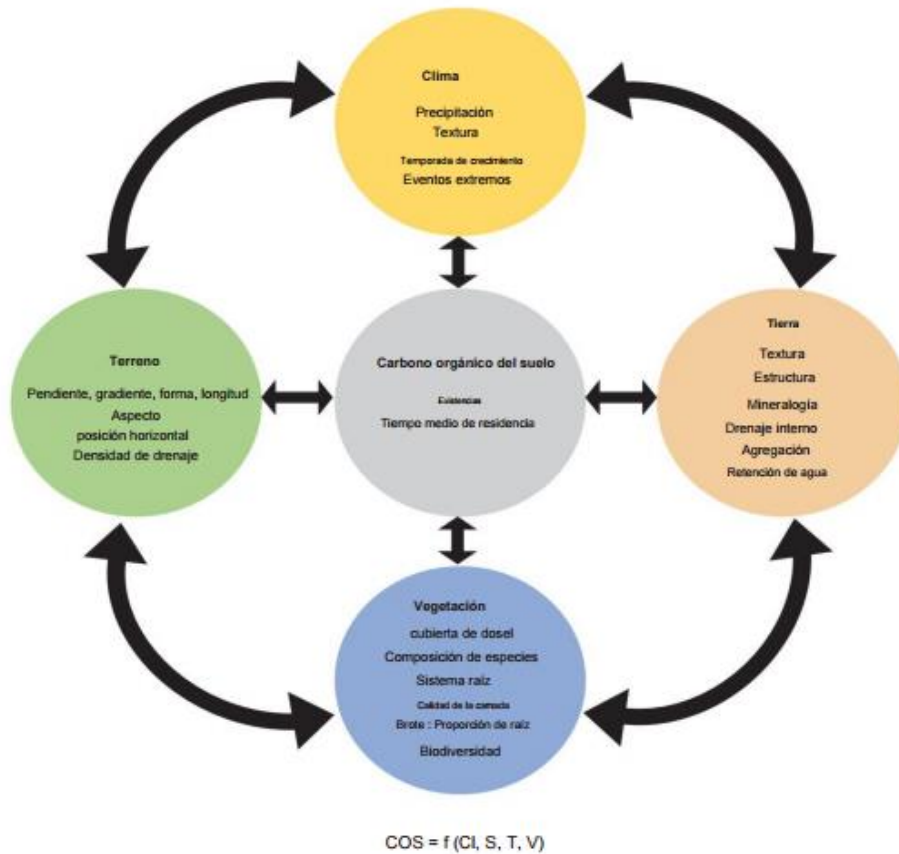


Figura 1. Factores que afectan la capacidad de sumidero de carbono del suelo y su tiempo medio de residencia. Fuente: (10)

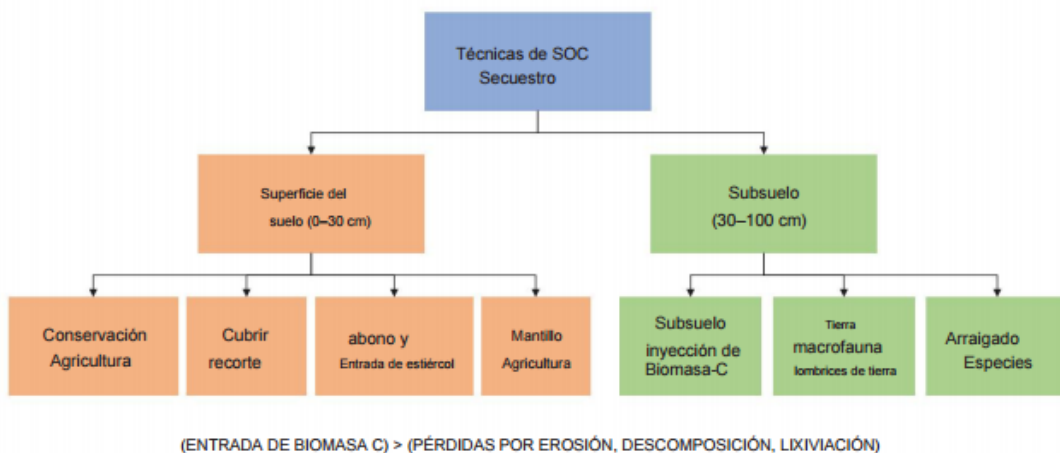


Figura 2. Técnicas de secuestro de carbono orgánico del suelo (COS) en la capa superficial (profundidad de 0-30 cm) y subsuelo (profundidad >30 cm) Fuente: (10)

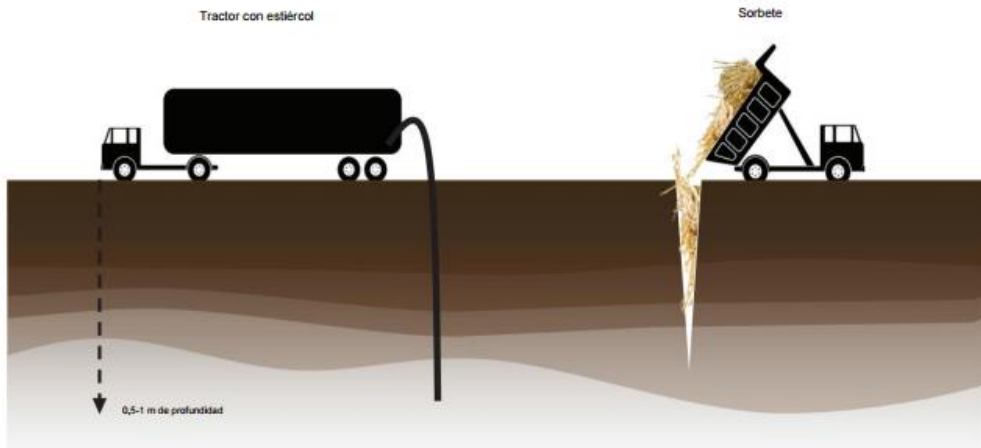


Figura 3. Métodos mecánicos y sistemas naturales para la inyección profunda de biomasa-C en el suelo. Fuente: (10)

Conclusión, el secuestro de C por el suelo tiene una capacidad finita y numerosos beneficios como son: la restauración de la calidad del suelo, en esta investigación se identificó criterios básicos y sostenibles para la agricultura.

Parámetros del suelo. (9) revisó la calidad del suelo y los conceptos relacionados, enfoques de evaluación y selección e interpretación de indicadores, en cuanto a la metodología, hizo una revisión de enfoques para el análisis de calidad del suelo, seleccionando indicadores del suelo más usados en la agricultura y una evaluación con respecto a los servicios ecosistémicos incluyendo métodos visuales, herramientas y nuevos enfoques.

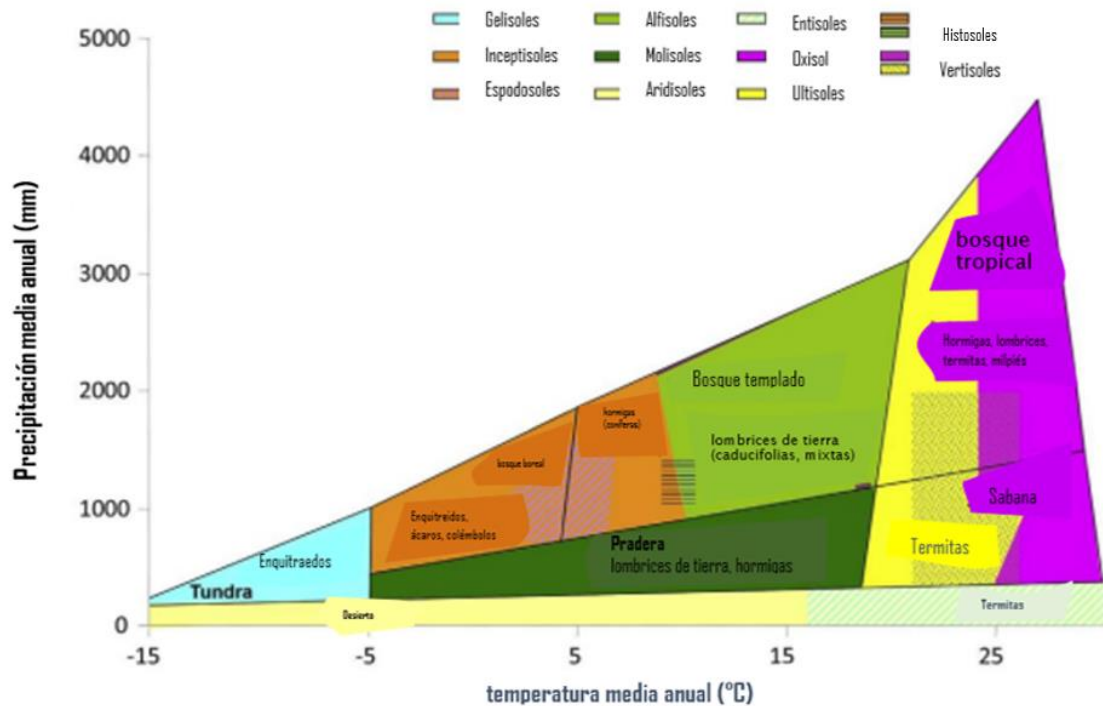


Figura 4. Factores abióticos y bióticos que constituyen la calidad del suelo en el mundo. Fuente: (9)

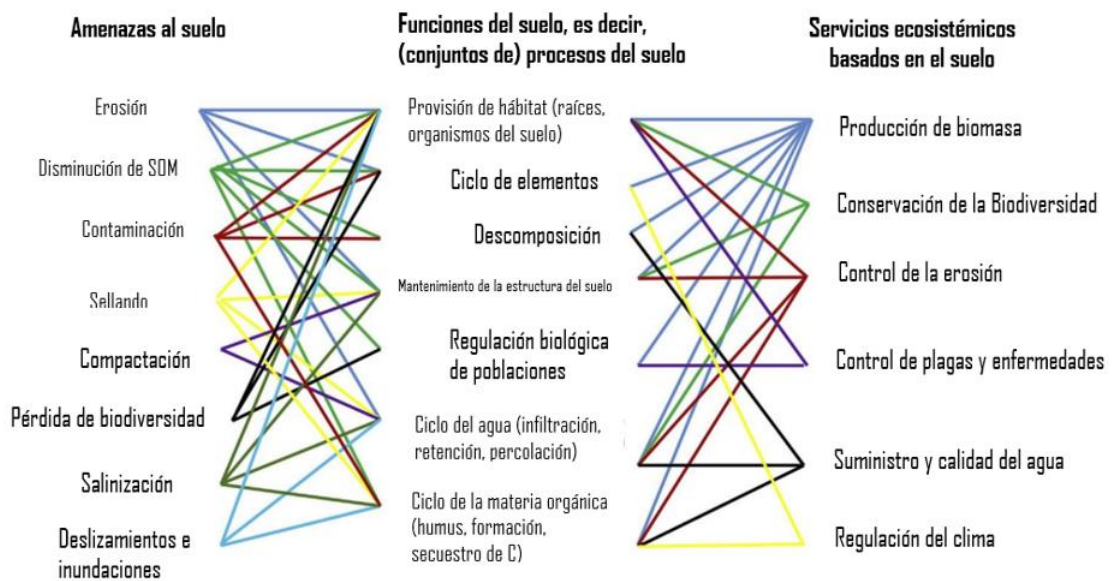


Figura 5. Vínculos entre las amenazas al suelo, las funciones del suelo y los servicios ecosistémicos. Fuente: (9)

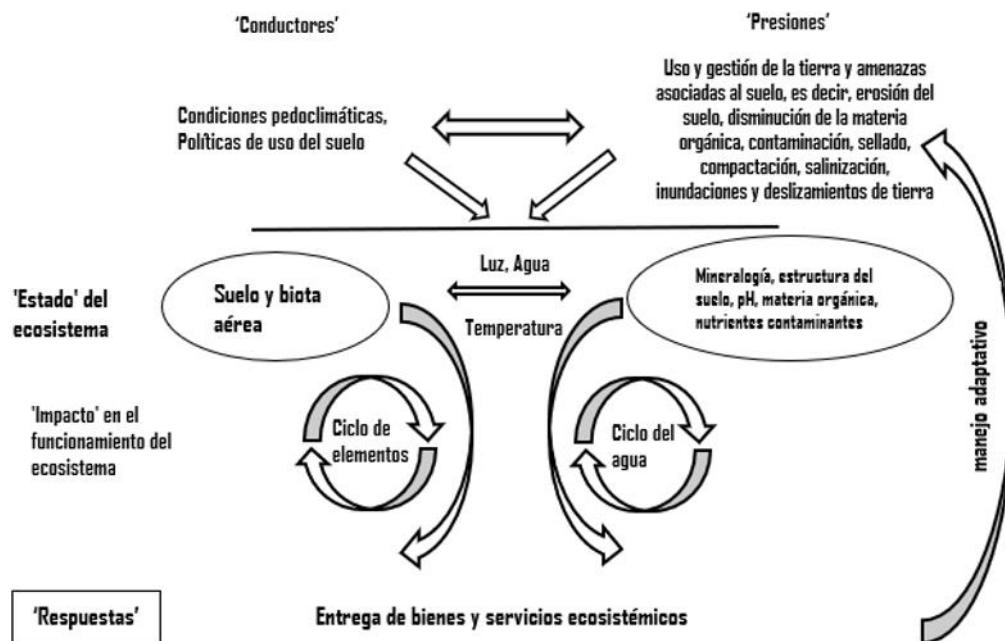


Figura 6. El marco Impulsor-Presión-Estado-Impacto-Respuesta aplicado al suelo. Fuente: (9)

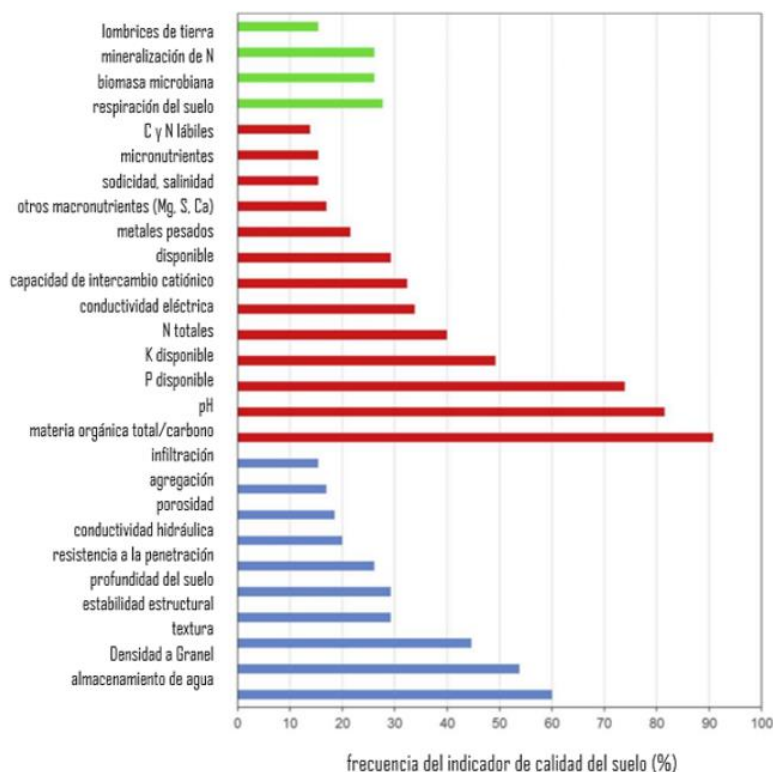


Figura 7. Frecuencia de diferentes indicadores (min. 10%) en todos los enfoques de evaluación de la calidad del suelo revisados (n=65). Indicadores biológicos,

químicos y físicos del suelo mostrados en verde, rojo y azul, respectivamente.
(9)

Figura 8. Ejemplo de ponderación de funciones del suelo e indicadores asociados Fuente: (9)

función del suelo	Peso	Nivel de indicador 1	Peso	Nivel de indicador 2	Peso
Infiltración, almacenamiento y suministro de agua	0.33	Agua disponible	0.25	Materia orgánica del suelo Densidad a Granel	0.50
		Diámetro de peso medio lombrices de tierra	0.25		
		Indicadores correlacionados	0.25		
Almacenamiento, suministro y ciclado de nutrientes.	0.33	Agua disponible	0.25	Manganeso Cobre zinc	0.33 0.33 0.33
		lombrices de tierra	0.25		
		Materia orgánica del suelo micronutrientes	0.25		
Mantener la actividad biológica	0.33	Materia orgánica del suelo	0.50		
		lombrices de tierra	0.50		

Conclusiones, el enfoque para la calidad del suelo, debe de tener diferentes grados, no tener antigüedad mayor a las 3 últimas décadas y sobre todo estar basado en sus servicios ecosistémicos.

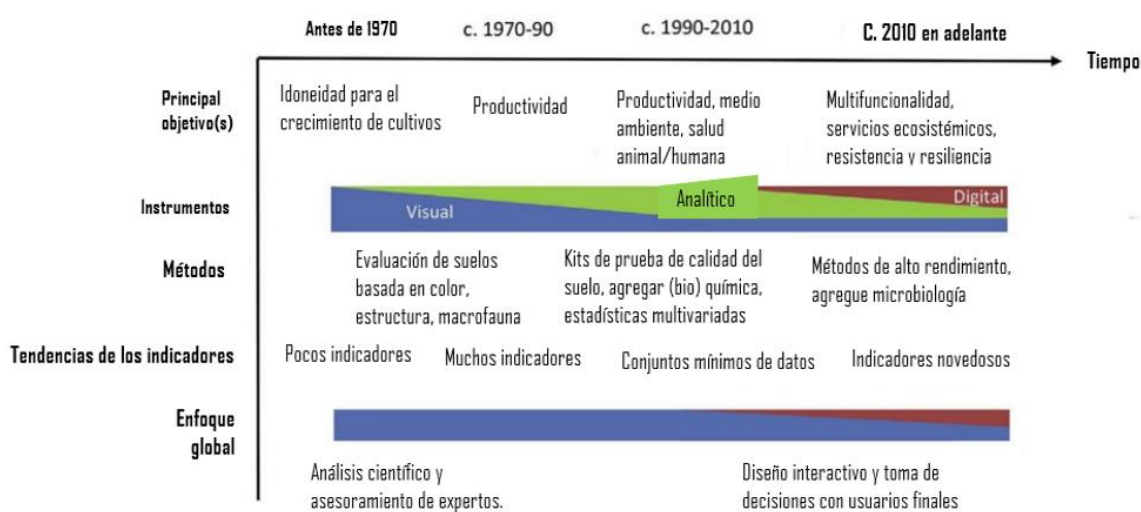


Figura 9. Principales objetivos, herramientas y enfoques de la evaluación de la calidad del suelo a lo largo de la historia. Fuente: (9)



Figura 10. Pasos principales en el desarrollo de un enfoque de evaluación de la calidad del suelo. Fuente: (9)

(11) analiza el origen y el fin de los hidrocarburos de petróleo en el medio ambiente y las estrategias de remediación y restauración para su reutilización en la agricultura, en la metodología, hizo una revisión sobre métodos y estrategias para la eliminación de los hidrocarburos de petróleo en el suelo, mediante enfoques físicos, químicos y biológicos, tanto en laboratorio como en campo.

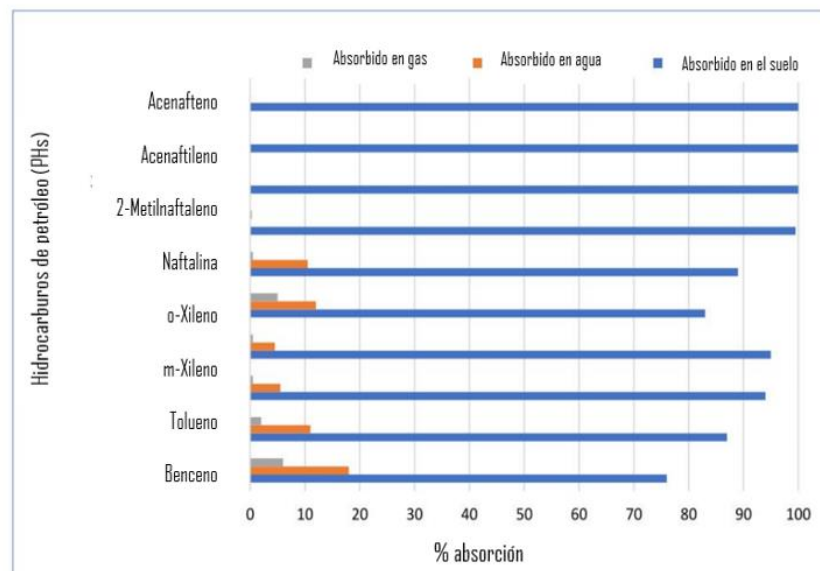


Figura 11. Distribución de hidrocarburos de petróleo en agua, aire y suelo.

Fuente: Adaptado del Instituto Colegiado de Salud Ambiental. (11)

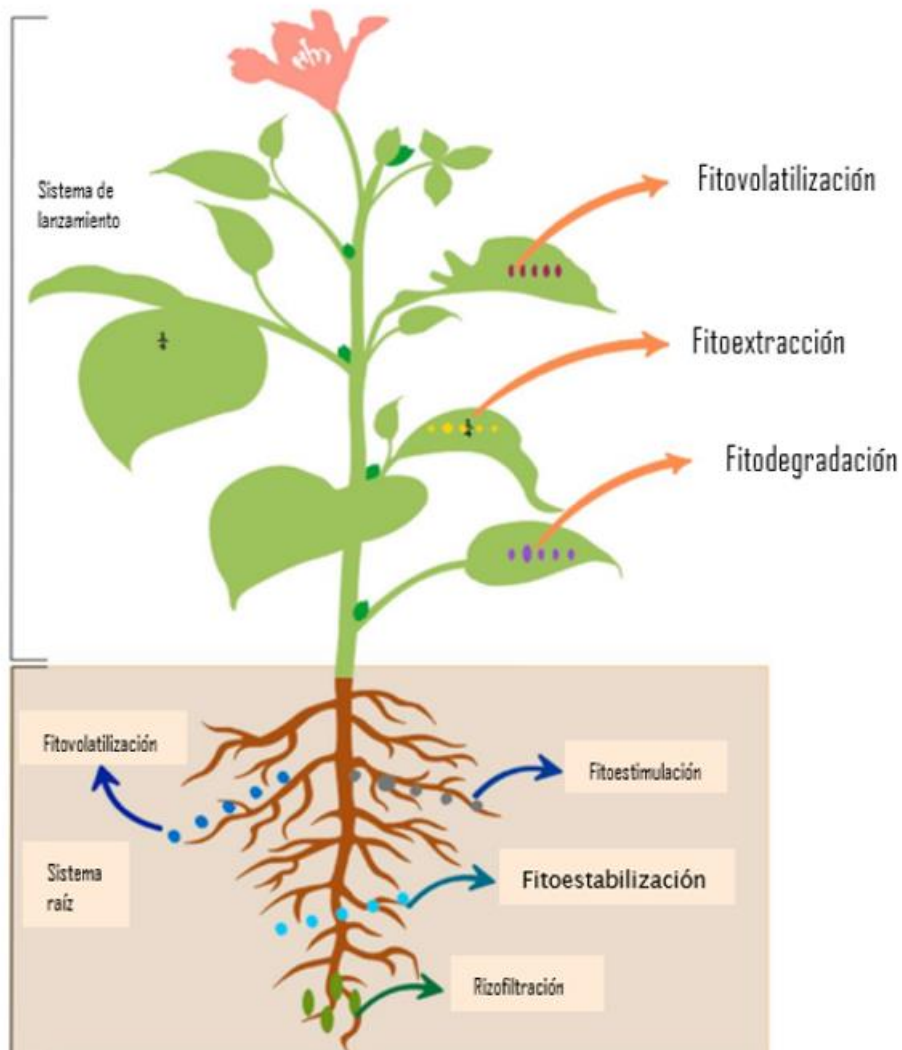


Figura 12. Principales mecanismos implicados en la fitorremediación de hidrocarburos de petróleo. Fuente: (11)

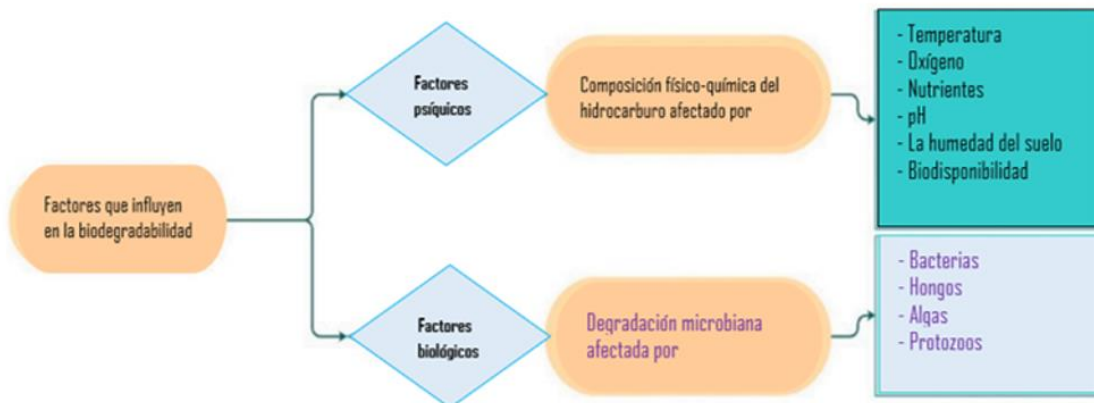


Figura 13. Factores físicos y biológicos que afectan la tasa de biodegradación de hidrocarburos de petróleo del ambiente contaminado. Fuente: (11)

Concluyó que la revisión dio una mejor comprensión del proceso de origen a fin de hidrocarburos de petróleo en el medio ambiente; también concluyó que el uso de nuevos mecanismos de remediación biológicos es mucho más económicos y sostenibles.

(12), identificó y seleccionó indicadores para la aptitud del suelo para la evaluación visual del suelo accesible para los agricultores, se centró principalmente en agua, examen de la erosión, la fecundidad del suelo, el beneficio de cultivos y servicios ecosistémicos, para la metodología, se usó un proceso experimental, se utilizaron indicadores tecnológicos e indicadores locales en 12 granjas, se concluyó que la investigación puede guiar la caracterización y elección de indicadores para determinar la eficacia del suelo, además, herramientas fáciles de ser usadas.

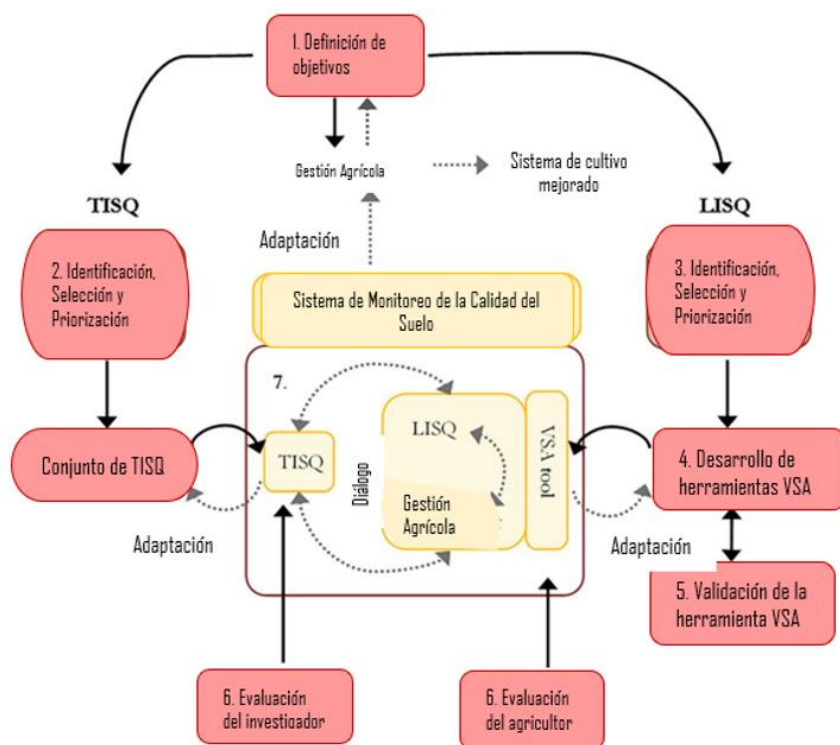


Figura 14. Marco participativo propuesto para generar e implementar una calidad del suelo, sistema de seguimiento entre investigadores y agricultores, donde TISQ: indicadores técnicos de la calidad del suelo y LISQ: indicadores locales de la calidad del suelo. Los glóbulos rojo granate identifican las fases metodológicas

alimentadas con diferente materia orgánica y medir el potencial de estas bioestructuras como inocuo; se usó un método experimental que consistió en 2 experimentos, la densidad y el potencial de inocuo de HMA, concluyó que las bioestructuras hechas por hormigas y lombrices tienen la capacidad de aumentar el número total de esporas; la densidad se relacionó positivamente con P y negativamente con la relación C/N.

(6), investigó el efecto de mezclar biocarbón y extracto de algas marinas y analizar su efecto en el cultivo de arroz, se utilizó metodología de laboratorio de biodiversidad para ver el efecto del extracto de algas sobre lombrices y esporas de hongos benéficos en la bioestructura del suelo, para medir el efecto de bioestructura del suelo sobre el incremento y beneficio de arroz se hizo una comparación cuantitativa visual del crecimiento de hojas, raíz, longitud, espiguillas; se hizo un análisis estadístico de ambos efectos, en el cual se concluyó el aumento de lombrices de tierra y de hongos micorrízicos.

(13) investigó técnicas de la agricultura natural coreana donde analiza el cultivo y la crianza de microorganismos autóctonos y describe el protocolo, los materiales y los métodos utilizados, Los objetivos logrados 1) Identifica los recursos de cada lugar, 2) demostrar desarrollo cronológico del IMO y 3) Estimaciones de costos. También describe los 4 pasos para producción de IMO: recolectar, multiplicar el IMO y su inoculación en el suelo.

Figura 16. Insumos naturales para hacer el IMO Fuente: (13)

Entradas de la OMI	Características	Cantidad añadida por 22,68 kg de trigo molido
ácido láctico bacterias	Abundante en el suero de la elaboración de yogur y queso, o se puede cultivar con agua de lavado de arroz (guardada del primer enjuague del arroz en preparación para cocinar) y leche sin pasteurizar.	30ml
Hierbas orientales Nutritivo	El regaliz, la angélica, el jengibre, el ajo y la canela son los ingredientes utilizados en la preparación de OHN.	30ml
fermentado jugo de plantas	El FPJ se elabora tomando las puntas de crecimiento de plantas sanas (vegetales, hierbas o malezas), mezclándolas con azúcar morena y dejándolas fermentar.	30ml
Aminoácido de pescado	Líquido elaborado a partir de desechos de pescado. Similar a la salsa de pescado asiática que se usa en la preparación de alimentos, pero sin la sal añadida, se prepara mezclando partes de pescado con azúcar morena y dejando que la mezcla fermente durante unos meses.	15ml
Agua soluble Calcio	Hecho de cáscaras de huevo tostadas empapadas en BRV (vinagre de arroz integral).	15ml
Agua de mar	Diluido con agua dulce; se usa para agregar minerales, para el tratamiento del suelo antes de la siembra y para mejorar la maduración de la fruta.	1L
Biocarbón	Carbón vegetal altamente poroso. Proporciona un almacén para todos los nutrientes y microbios.	Cubo de 10L

Figura 17. Análisis proximal de insumos fermentados. Fuente: (13)

Nutriente (mg/kg)	Fruta Fermentada Jugo	Planta Fermentada Jugo	Aminoácidos de pescado	Nutriente de hierbas orientales
Nitrógeno (N)	429.47	855.06	1166.34	405.16
Fósforo (P)	61.87	122.72	193.44	74.84
Potasio (K)	12017	3934.2	314.6	522.3
Calcio (Ca)	307.23	913.03	377.92	181.03
Magnesio (Mg)	119.55	333.64	80.58	111.58
Sodio (Na)	51.15	128.19	426.4	78.58
Hierro (Fe)	15.07	52.24	19.73	87.19
Cobre (Cu)	0.75	0.87	0,94	0.81
Manganeso (Mn)	2.19	4.54	1.45	4.13
Cinc (Zn)	1.97	3.74	5.84	2.04

Figura 18. Ingredientes y cronograma para el desarrollo de microorganismos autóctonos (IMO). Fuente: (13)

Aporte	Ingredientes	Periodo de cultivo/propagación (días)	
		Proceso inicial	Proceso Adicional (Usando IMO 2 Foundation Stock)
OMI 1	- 340 g de arroz	4-5	n / A
OMI 2*	- 570 g de azúcar moreno	7	n / A
OMI 3	- 22,68 kg de trigo molido - 20L de agua de estanque - Insumos naturales* - 15 ml de OMI #2	7-10	7-10
OMI 4	- Cubo de 10L de biocarbón	4-5	4-5
Tiempo total de preparación		22-26	11-15

* El stock de base IMO 2 se puede almacenar (1-15 °C) para uso futuro
 Los insumos naturales agregados incluyen bacterias del ácido láctico, nutrientes herbales orientales, frutas jugo de plantas, jugo de frutas fermentadas, aminoácido de pescado y calcio soluble en agua

Figura 19. Desglose de costos entre IMO y fertilizante inorgánico. Fuente: (13)

Comparación de Costos entre Fertilizante IMO y Convencional (Inorgánico)					
Ingrediente	Costo por Total Unidad comprada	Cantidad utilizada para 1 lote	Costo ajustado	Solicitud Velocidad	Costo por m2
OMI					
Saco de 6,8 kg de arroz Calrose	\$11.16	340 gramos	\$0.56	0,15 kg/m2	
C&H azúcar moreno dorado 907 g	\$3.19	570 gramos	\$1.99		
Saco de 22,68 kg de trigo molido	\$41.76	22,68 kg	\$41.76		
Cantidad de IMO hecha por lote		~45kg			
Coste total	\$56.11		\$44.31		
Fertilizante inorgánico					
Gaviota 16-16-16 9.07 kg	\$23.82	n / A	n / A	0,05 kg/m2	\$0.13

*Cuesta \$0.14/m2 hacer el primer lote, luego \$0.13/m2 a partir de entonces (usando el material base IMO 2)

Aumentar la Biodiversidad. - Humedal. (14), hizo una revisión de la ecología de las turberas en el sudeste asiático relacionadas con su gestión y restauración, en cuanto a la metodología, se hizo una revisión sistemática comparativa entre turberas intactas y degradadas, examinando detenidamente su biodiversidad, almacenamiento de carbono, hidrología y nutrición, concluyó que las turberas cumplen con servicios ecosistémicos, como lo son el aumento de biodiversidad, la mejora de calidad de agua y el secuestro de carbono en el suelo.

Organismos del suelo. (15) midió mediante tomografía computarizada de rayos x la retención de agua en los macroporos y galerías hechas por la macrofauna del suelo en un área de 46ha, usó el método TSBF para medir la diversidad del suelo y el método beerkan in situ para medir la conductividad hidráulica saturada, una conclusión de este estudio es que la mayor parte de la macroporosidad la dejan otros invertebrados del suelo, como las hormigas o las lombrices de tierra endógeas, Confirmando el impacto positivo, de la fauna del suelo en la infiltración del agua (escarabajos y termitas y lombrices de tierra), y confirmando que la macroporosidad medida por rayos X CT proporciona una predicción de conductividad hidráulica saturada.

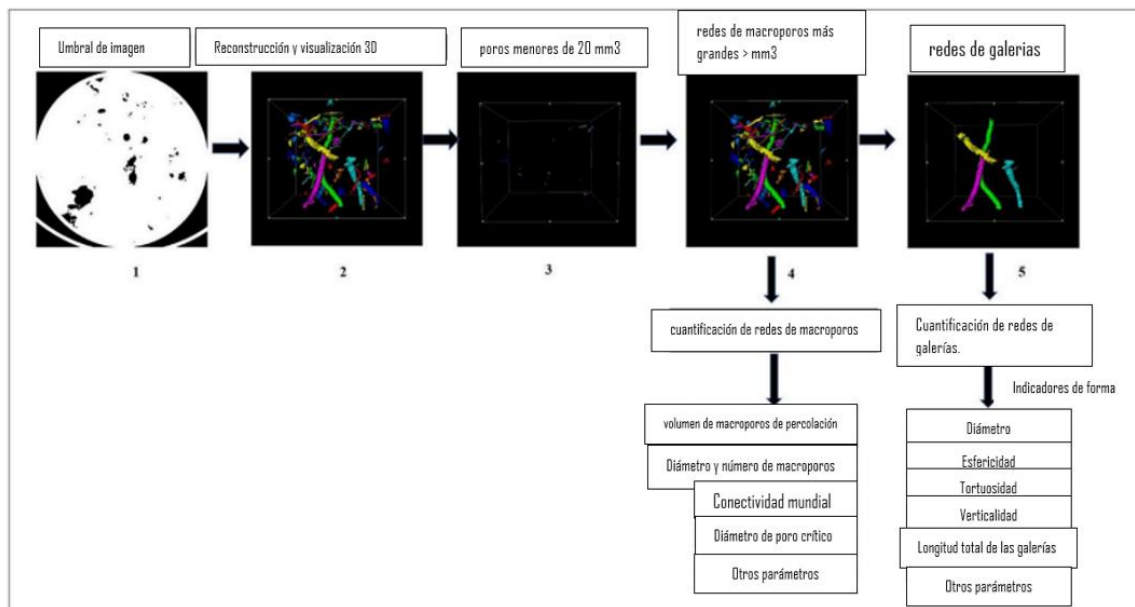


Figura 20. Procedimiento utilizado para el análisis de imágenes y cuantificación de macroporos debajo de bioestructuras de macrofauna del suelo y la diferenciación de macroporos y galerías. (1) Segmentación de la imagen. (2) Reconstrucción y visualización de la macroporosidad total. (3) Representación de los poros <20 mm³ que fueron descartados para reducir el ruido (4) Representación de macroporos >20 mm³. (5) Galerías aisladas manualmente de macroporos. (15)

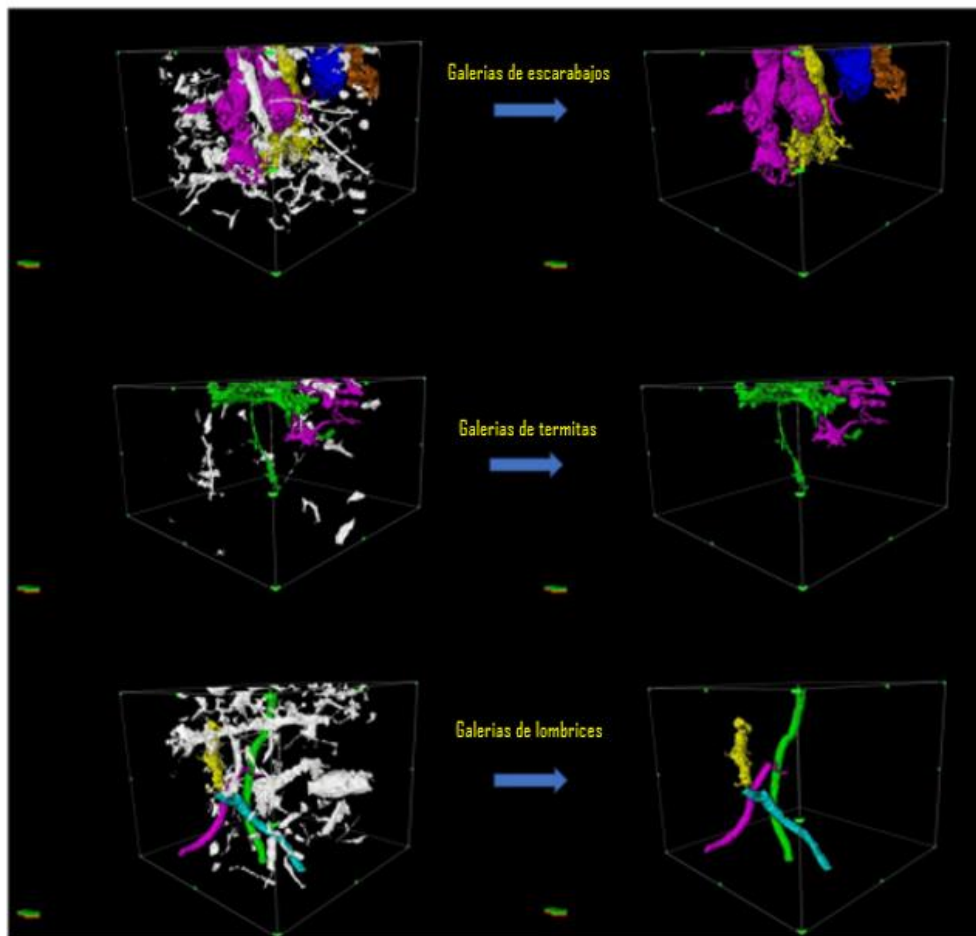


Figura 21. Ejemplos de imágenes tridimensionales de galerías realizadas por escarabajos, termitas y lombrices (Derecha) aisladas manualmente de macroporos (en blanco: izquierda). (15)

(16) esta revisión analiza información de lombrices de tierra como biorremediadores de suelos contaminados con elementos potencialmente tóxicos y su relación con estos, además evaluó la viabilidad técnica, en cuanto a la metodología, basada en estudios anteriores, sobre la existencia de lombrices en suelos contaminados, acumulación de elementos potencialmente tóxicos en lombrices de tierra, factores que afectan la bioacumulación de elementos potencialmente tóxicos en lombrices y el impacto de lombrices en suelos contaminados, concluyó, en base de estudios revisados, que las lombrices combinadas con técnicas de biorremediación de suelos podrían ser una solución alternativa y viable para la remediación de elementos potencialmente tóxicos del

suelo, demostrando un alto potencial de remediación siempre y cuando se garantice el hábitat para las lombrices.

(17), estudió el papel de las hormigas en los pastizales, tanto como ingenieros del ecosistema y cómo la reintegración de pastizales puede aumentar la biodiversidad y proporcionar servicios ecosistémicos, usó la metodología de revisión de investigaciones sobre las hormigas y la relación con otros organismos del suelo, como polinizadores, manejo de semillas, relación con las plantas, relación con microbios, con el PH, nutrientes y retención de agua en el suelo, concluyó que en general las hormigas desempeñan un papel positivo en los pastizales y en la regulación de sus servicios ecosistémicos como lo son: la regulación de biodiversidad y restauración de suelos.

Plantas estratégicas. (18), evaluó la retención de carbono y la aportación de nutrientes de coberturas vegetales con gramíneas, crucíferas y leguminosas en el cultivo de olivos, usó una metodología experimental comparativa que constó en dos campos: uno con plantas estratégicas y otro sin ellas, en el cual evaluó parámetros físico-químicos y biológicos; concluyó que el uso de estas plantas estratégicas mejoraron la calidad el suelo y obtuvo mejores resultados en el desempeño de sus olivares, además es una opción viable y accesible para los agricultores.

(19), investigó sobre el transporte y metabolismo del malato en la fijación de nitrógeno en los nódulos de la leguminosa, en cuanto a la metodología se hizo una revisión del metabolismo de nódulos y suministro de carbono a los bacteroides, el papel del as mitocondrias en los nódulos, metabolismo del malato en bacteroides y el transporte de malato, concluyó que la distribución espacial de enzimas de carbohidratos, ácidos orgánicos y proteínas en los nódulos es incierta

Para la **calidad de agua**, se identificó **humedales** (20), identificó estrategias potenciales para mejorar el rendimiento del biorreactor mediante el estudio de la comunidad microbiana y su papel en la producción de subproductos dañinos como gases de efecto invernadero, observo que el metabolismo microbiano de la celulosa es una función importante para el rendimiento y la gestión del biorreactor, llegó a la conclusión que las comunidades microbianas cumplen un

papel importante en la condición del suelo y agua, por lo tanto recomienda investigar más sobre tratamiento de agua en humedales y la ecología del suelo.

(7), realizaron una revisión sistemática de más de 10000 publicaciones basadas en la naturaleza para resolver los problemas del agua en África y se llegó a la conclusión que estas publicaciones proporcionan colectivamente una base para evaluar la eficacia probable de diferentes soluciones basadas en la naturaleza, a los problemas de riesgo del agua que pueden respaldar las decisiones políticas y guiar la planificación

(21), sintetizó perspectivas para detallar los pasos generales y específicos para mejorar el manejo de los humedales invadidos por plantas y vincularlos con las limitaciones que abordan, hizo una revisión en la que se identificó soluciones que se aplicaran en la restauración de ecosistemas, conclusión, se aboga por la consideración de todas las posibles soluciones, en lugar de prescribir una, las soluciones más adecuadas surgirán con una evaluación honesta de las restricciones más relevantes para un escenario particular.

Entre otras teorías se encontraron las siguientes: (22), su objetivo fue compartir, comunicar y posteriormente discutir el concepto de desarrollar un enfoque agroforestal sintrópico para restaurar una cantera de piedra en zonas templadas, el diseño metodológico con enfoque cuantitativo, presenta todos los pasos de la preparación del ensayo de campo, desde la selección de la ubicación de las parcelas demostrativas, la caracterización básica del sitio en términos de condiciones climáticas, características edafológicas y biodiversidad floral, la selección e instalación de la infraestructura básica. En conclusión, el presente estudio describe la etapa inicial del desarrollo de un concepto de permacultura sintrópica en la zona templada de Europa Central y los primeros pasos de su establecimiento con nativos.

(23), revisó los enfoques y el potencial para la fijación y el reciclaje de N en los sistemas de soporte vital regenerativo. Las estimaciones iniciales indican que casi todo el N de los flujos de desechos humanos y vegetales se puede recuperar en formas utilizables para las plantas, diseño metodológico, se hizo un estudio cuantitativo, haciendo una descripción del reciclaje de N, conclusión, el reciclaje

de N es esencial para un soporte vital eficiente, es complejo y requiere muchos pasos, pero se puede lograr con una alta eficiencia.

(24), estudió la literatura sobre el comportamiento de los ortópteros comestibles cuando se crían sobre malezas, subproductos agrícolas y de la industria alimentaria, diseño metodológico, se trata de un estudio cuantitativo, se hizo una búsqueda sistemática con palabras claves, conclusión, este artículo revisa la literatura sobre el desempeño de ortópteros comestibles criados en dietas de malezas, subproductos agrícolas y de la industria alimentaria.

Basado en las investigaciones revisadas, se identificó técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados, las cuales formaron 3 categorías: Generación de Tierras Húmicas con sus subcategorías: parámetros del suelo, coberturas y reproducción de microorganismos; Aumento de biodiversidad de ecosistemas terrestres con sus subcategorías: humedal, organismos del suelo y plantas estratégicas y Calidad de Agua con su subcategoría humedal artificial.

Las tierras húmicas cumplen la función de retener nutrientes, retención de agua y hábitat para la macrofauna del suelo, he ahí su importancia en la restauración de suelos erosionados (25).

Para la generación de tierras húmicas se trató de buscar técnicas cualitativas de baja complejidad y costo utilizando materias primas del entorno, en lo cual se identificó tres subcategorías fundamentales: Habiendo revisado antecedentes de diversas investigaciones sobre restauración de suelo, se identificó **parámetros** importantes para la restauración de suelos y sus metodologías para medir y regular, esto mediante indicadores del suelo físicos, químicos y biológicos, por ejemplo: para la medición de PH, se identificó un indicador mediante el uso de agua destilada, bicarbonato y vinagre para determinar si el PH es ácido o alcalino, para la humedad se identificó la prueba del puño, para la temperatura se usó un termómetro de suelo, para textura del suelo se usó pruebas rápidas de laboratorio, para materia orgánica se usó agua oxigenada, presencia de actinomicetos por medio del olor a geosmina, tierras húmicas mediante la tonalidad oscura de la tierra, también se determinó la relación entre mayor cantidad de

hongos en suelos ácidos y mayor cantidad de bacterias en suelos alcalinos. Según estos indicadores se pudo determinar su relación con las funciones y condiciones del suelo, como son: retención de agua, intercambio catiónico y actividad microbiana. La regulación de todos estos parámetros se da de manera natural mediante la elaboración del compost o el uso de coberturas, la presencia de biodiversidad en el suelo, regula los parámetros del mismo (12). Para **coberturas** se usó tres tipos: **Coberturas vivas o verdes**; que consiste en cubrir el suelo con especies nativas de la zona para que permitan la conservación de la humedad del suelo y sirvan de hábitat para la macrofauna de este. **Coberturas secas**. Se usó materiales de la zona y/o desperdicios orgánicos, logrando una relación de carbono-nitrógeno que favorezca a la macrofauna del suelo. **Técnica Chop And Drop**. Consiste en cortar o podar y dejar caer todo esto para favorecer a formas la bioestructura del suelo o coberturas (22). Para la **reproducción de microorganismos** se usaron: **Microorganismos de montaña**. Para la reproducción de microorganismos de montaña se usó cascarilla de arroz, melaza y compost maduro, **Bacterias ácido lácticas**. Para su reproducción se usó agua de arroz rica en almidón, leche y bocachi, **Actinomicetos**. Para su reproducción se agregó materiales ricos en quitina y celulosa al compost, regulando la temperatura de 30° a 60°y otros (5).

El **aumento de la biodiversidad** es indispensable para el equilibrio ecológico de los ecosistemas terrestres, ya que estos pueden regular la aptitud del suelo, el agua y el aire, también se encargan del mantenimiento de este ecosistema.

En los **Humedales**, la presencia de un humedal atrae organismos benéficos para la funcionalidad de un ecosistema, es por eso su importancia; en el humedal se agregaron plantas acuáticas, anfibios, peces y algunas aves nativas u organismos que favorecen la biodiversidad del ecosistema y sus cadenas tróficas (26).

Para los **Organismos del suelo**, se encontró la importancia en la bioestructura del suelo, la presencia de mega, macro, meso y microorganismos del ecosistema terrestre, en los cuales se identificó en microorganismos bacterias (actinomicetes,

rizobium), hongos (micorrízicos arbusculares); en meso-organismos (colém-bolo); en macroorganismos (hormigas, termitas) y mega-organismos (lombrices, cochinillas, ciempiés, escarabajo) (5).

En cuanto a **plantas para la regeneración y restauración del suelo**, se identificó la combinación de 3 familias de plantas, las leguminosas que son capaces de hacer simbiosis con el rizobium para fijar nitrógeno, las gramíneas que son capaces de estructurar el suelo y las brassicáceas o crucíferas que mejoran la infiltración de agua y la extracción de nutrientes o minerales profundos del suelo, estas plantas en combinación mejoran la regeneración del suelo (18).

Luego de la revisión de artículos de investigación se identificó dos parámetros importantes en la **calidad de agua** para riego de ecosistemas terrestres los cuales son: la conductividad eléctrica, la cual está relacionada con el PH del agua y la materia orgánica disponible en el agua; por otro lado, la relación de absorción de sodio (RAS), este parámetro se vio regulado en **humedales** (21).

III. MÉTODO

3.1 Tipo y diseño de investigación

La investigación es aplicada, teniendo en cuenta que se realiza un diseño de técnicas accesibles de restauración de suelos, que llegue a las grandes mayorías, para contribuir a la solución del problema de suelos erosionados.

El presente estudio es, no experimental, siendo el enfoque cualitativo y de revisión sistemática.

3.2 Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística

Son tres las categorías: generación de tierras húmicas, aumentar la biodiversidad del ecosistema terrestre y mejorar la calidad de agua.

Diseño de técnicas accesibles para restauración de suelos erosionados revisión sistemática 2022

Tabla 01. Matriz de categorización apriorística.

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Sub categorías	criterios	Unidad de análisis
Diseño de técnicas accesibles para la generación de tierras húmicas	¿Qué técnicas accesibles diseñar para la generación de tierras húmicas?	Generación de tierras húmicas	Parámetros del suelo	Ph, temperatura, humedad, oxígeno, materia orgánica	Ricardo M. (2020), Sougueh C. (2019), Kiolwasid LMH (2022), Laode H.
			Cobertura	Cobertura verde, cobertura seca, drop and chop	

			Reproducción de microorganismos	Microrganismos de montaña, melaza, cascarilla de arroz	(2021), Ana W. (2021) Ratán L (2021), Else B. (2018), Teklit G (2022), Raquel L. (2020), María M. (2021),
Diseño de técnicas accesibles para aumentar la biodiversidad del suelo	¿Qué técnicas accesibles diseñar para aumentar la biodiversidad del suelo?	Aumentar la biodiversidad del ecosistema terrestre	Plantas estratégicas	Leguminosas, gramíneas y brasicáceas	Shailendra M. (2021), Julia M. (2021), Corrió X. (2022), B.
			Mega, macro, meso y	Lombrices, bichos bola, hormigas, termitas,	

			micro organismos del suelo	otras especies nativas	D. Wills (2018), Miguel R. (2018), Nicolás B. (2021)
			Humedal artificial como atractivo	Aves, peces, plantas acuáticas	
Diseño de técnicas accesibles para mejorar la calidad de agua	¿Qué técnicas accesibles diseñar para mejorar la calidad de agua?	Tratamiento de agua	Humedal artificial	Plantas acuáticas, decantación, oxigenación, biodiversidad	Lindsey H. (2021), M. Acreman (2021), Carrie R. (2021), Lindsey H. (2021)

Fuente: Elaboración propia

3.3 Escenario de estudio

El campo del estudio sobre los que se hicieron las investigaciones es global, pues la revisión bibliográfica comprende la revisión internacional y nacional, literatura referida a la aplicación de las categorías de generación de tierras húmicas, aumentar la biodiversidad del suelo y mejorar la calidad del agua, por lo que se debió de revisar una base de datos global.

3.4 Participantes

Los artículos que fueron revisados provienen de los siguientes buscadores: Scopus, Elsevier, Scielo.org, Google académico, Proquest, FAO, OMM, SERFOR.

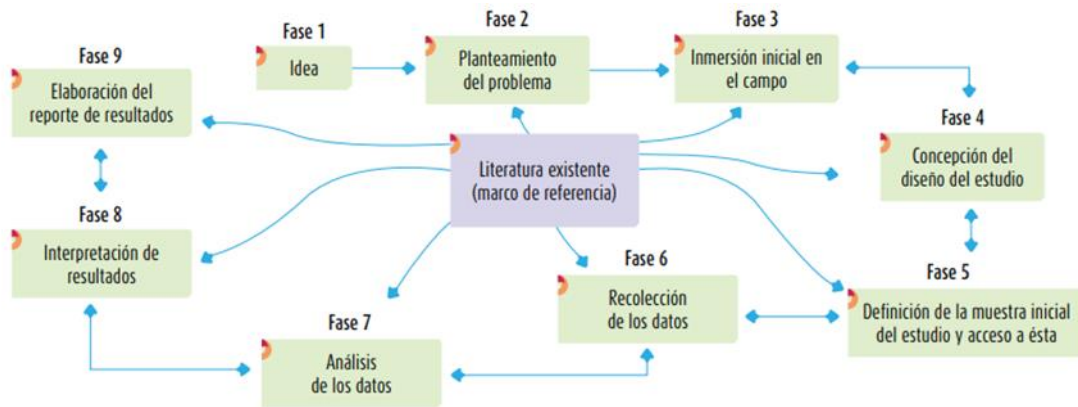
3.5 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

La recolección de datos se basó en la búsqueda y revisión documental que sirvió de base a la investigación, cuyo tema central está en la regeneración de tierras con las palabras clave: restauración de suelos, calidad de suelo y agua, biodiversidad del suelo, tierras húmicas.

Se han analizado 50 artículos, los mismos que se han organizado de una manera sistemática en función a las categorías y subcategorías.

3.6 Procedimientos

Figura 22. El procedimiento se basó en la siguiente tabla



FUENTE: (27)

3.7 Rigor científico

Se ha conceptualizado en cada uno de los ítems, con la debida cita bibliográfica, para darle validez y confiabilidad, de tal manera que pueda servir de base para los diversos estudios referidos al tema de regeneración de suelos.

3.8 Método de análisis de información

Tabla 02. Resumen de criterio de búsqueda

Resumen de criterio de búsqueda					
Tipo de documento	Documentos referidos a	Cantidad (%)	Palabras clave de búsqueda	Criterios de inclusión	Criterios de exclusión
Revisión	Generación de tierras húmicas, aumento de biodiversidad, tratamiento de agua	90	Restauración	acceso abierto, antigüedad no	acceso de paga, antigüedad antes del
Artículo científico		8	suelo, tierras húmicas, biodiversidad	antes del 2018, por el tipo revisión, artículos, libros	antes del 2018, revisión de artículos, conferencias, congreso y otros
Libro		2	suelo, calidad suelo y agua,		

		sostenibi- lidad sue- los		
--	--	---------------------------------	--	--

Fuente: Elaboración propia

3.9 Aspectos éticos

Realizamos el presente estudio descriptivo con enfoque cualitativo, que me permitirá describir con precisión la regeneración de suelos, por lo que se apelará a la teoría de utilidad del conocimiento humano y al pensamiento de la ciencia y la técnica como ideología, (28) y que contribuirá al conocimiento que pueda beneficiar a la sociedad entera.

Como refiere (29), la conducta ética fomentara la colaboración, cooperación y confianza entre estudiosos para avanzar en los objetivos de la investigación y cumplir con la responsabilidad social.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Se determinó que el actor principal en la restauración de suelos erosionados son las organizaciones no gubernamentales, , por otro lado la actividad que produce mayor erosión es la agricultura, (1) ,en ambos casos carecen de dinero y especialización realizar restauración de suelos erosionados por lo cual una buena opción es el diseño de una técnica de restauración de suelos .

OG: El resultado fue el diseño de técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados.

se determinó que la mayor causa de la erosión del suelo es por la pérdida de bioestructura (factores físicos, químicos y bióticos), la mala calidad de agua y la poca diversidad de organismos en el suelo.

OE 1: El resultado fue el diseño de técnicas accesibles para la generación de tierras húmicas como indica la siguiente tabla.

Tabla 03: Resultados OE 1

Categoría	Sub categoría	Referencias	investigación	Desarrollo de investigación	Innovación para el diseño
					Enfoque basado en la naturaleza, bajo costo y complejidad
Generación de tierras húmicas	Coberturas	Rattan Lal 2021	Investigo mediante revisión sistemática los factores, procesos y técnicas para el secuestro de carbono en suelo.	Los resultados idóneos para nuestra investigación fueron: criterios de agroecosistemas resistentes al clima y sostenibles, área de tierra adecuada para el secuestro de carbono orgánico del suelo (cos), las coberturas como generadoras de tierras húmicas.	Luego de la revisión de las investigaciones se seleccionó los procesos y estrategias basadas en los enfoques pertinentes y se determinó el uso de coberturas verdes en zonas de pendiente, las coberturas secas para lugares no tan accidentados y la técnica chop and drop para aumentar la cobertura del suelo, el proceso de estos
		Kozowyk, p 2018	proyecto de investigación sobre el diseño, ejecución,	La aplicación de la técnica chop and drop mejora la salud del suelo y controla malezas.	

		<p>ción, recopilación e intercambio de datos de salud del suelo y control de malezas.</p>		<p>3 criterios debe estar basados en el uso de materiales de la zona y o residuos ricos en carbono próximos a la zona del proyecto.</p>
	<p>Davis, a. 2022</p>	<p>Investigo los efectos del e impacto del acolchado de aserrin en una plantacion de arándanos tanto en la materia orgánica del suelo como en la planta</p>	<p>Tuvo un mejor resultado cuando se agregó coberturas al suelo antes de la plantacion, también se obtuvo un aumento significativo en materia orgánica y mejor asimilación de nutrientes del suelo</p>	

Generar parámetros del suelo	Else k. 2018	Reviso la calidad del suelo y los conceptos relacionados, en términos de definición, enfoques de evaluación y selección e interpretación de indicadores.	Identifico indicadores más usados en la agricultura según los parámetros más favorables para la vida en el suelo y la funcionalidad de sus servicios ecosistémicos	Luego del análisis de la literatura se decidió la elaboración de compost en el suelo que mejora los parámetros físicos químicos y biológicos y aumenta la vida en el suelo que a su vez favorece los parámetros de este, para la medición, seguimiento y control de parámetros se usó indicadores, combinando las tecnologías y experiencias más recientes esto para la practicidad y mejorar los parámetros del suelo.
	R. Luján soto 2020	Desarrollo un marco para identificar indicadores locales y técnicos para desarrollar una herramienta visual y	Como resultado de la revisión sistemática obtuvo 2 tipos de indicadores: técnicos y locales los cuales favorecieron y enriquecieron a los partici-	

		monitorear participativamente la calidad del suelo en de 12 agricultores orgánicos en España	pantes en la toma de decisiones en cuanto a la calidad del suelo	
Reproducción de microorganismos	LMH kilowasid et al	Investigo la densidad de hongos micorrícicos arbusculares en las bioestructuras creadas por hormigas y lombrices alimentadas con	El resultado de esta investigación fue el aumento de microorganismos benéficos del suelo y la mejora de la salud del suelo y sus funciones ecosistémicas	de ingenieros del ecosistema puede mejorar significativamente la calidad del suelo incluyendo la diversidad de microorganismos q desintoxican, descomponen y regulan, por otro, lado el uso de bioinoculantes cumple la misma función, se seleccionó ambos

		diferente materia orgánica		procesos debido al enfoque basado en la naturaleza, su bajo costo y baja complejidad, se recomienda evitar el uso de microorganismos eficientes que no sean autóctonos o nativos de la zona.
	Maitra, s. 2021	Realizo una revisión sistemática sobre el papel de los bioinoculantes en el suelo	Luego de revisar los análisis de laboratorio y otros se concluyó que el uso de bioinoculantes mejoran la salud del suelo tanto en desintoxicación como en regulación de patógenos	
	Keliikuli a. 2019	Esta investigación estudia y analiza la captura, cultivo y preservación	Comparo resultados con fertilizantes sintéticos en cuanto a efectividad y costo y llego a la conclusión fue que	

			de microrganismos autóctonos en 4 pasos los cuales llamo imo 1, imo 2, imo 3, imo 4	usando herramientas y equipos disponibles o de fácil acceso es posible realizar estos bioinsumos.	
--	--	--	---	---	--

Fuente: Elaboración propia

OE 2: El resultado fue el diseño de técnicas accesibles para aumentar la biodiversidad del suelo como indica la siguiente tabla.

Tabla 04: Resultados OE 2

Categoría	Sub categoría	Referencias	Investigación	Desarrollo de investigación	Innovación para el diseño
					enfoque basado en la naturaleza, bajo costo y complejidad

Aumento de biodiversidad	Humedal	Mishra et al 2021	Hizo una revisión de la ecología de las turberas al sudeste asiático comparando turberas intactas y degradadas en las cuales analizo su biodiversidad, retención de carbono, hidrología y nutrición	Luego de comparar los resultados de las mediciones de biodiversidad, retención de carbono, calidad de agua y nutrición se llegó a la conclusión de la importancia en los servicios ecosistémicos que cumplen las turberas al aumentar la biodiversidad del agua, tratamiento de agua y mejora de calidad de agua para ecosistemas terrestres	Dada la importancia que tienen los humedales en atraer organismos benéficos que regulan, controlan y mantienen los ecosistemas terrestres, se revisó investigaciones en las cuales se usaron soluciones basadas en la naturaleza, de bajo costo y complejidad para elaborar humedales artificiales.
	mega, macro, meso y micro organismos del suelo	Cheik S. 2019	midió mediante tomografía computarizada de ra-	como resultado se identificaron 4 grupos dominantes en la macrofauna (escarabajos, lombrices de tierra, hormigas y termitas), obtuvieron una	el papel de los ingenieros del ecosistema del suelo como lo son lombrices, escarabajos, hormigas y ter-

		<p>yos x la retención de agua, nutrientes y la conductividad hidráulica saturada en los macroporos del suelo hechos por la macrofauna del suelo.</p>	<p>visualización y cuantificación de la red de macroporos, confirmo el impacto positivo sobre la salud del suelo lo cual facilita la vida de más organismos en este</p>	<p>mitas mejoran significativamente el habitat para los organismos del ecosistema terrestre.</p>	
	<p>plantas estratégicas</p>	<p>Miguel A. 2018</p>	<p>esta investigación evaluó el papel de las coberturas con leguminosas, gramíneas y crucíferas en cuanto a se-</p>	<p>mediante una comparación experimental entre un campo con coberturas y otro sin coberturas pudo medir mediante observación y pruebas de laboratorio la mejora en el cultivo de olivos, además funciones benéficas que</p>	<p>se consideró el uso de plantas estratégicas como lo son las leguminosas, gramíneas y brasicáceas, todos estos procesos fueron basados en sus bajos</p>

		cuestro de carbono y aporte de nutrientes	cumplen estas plantas en el suelo.	costos y complejidad y debido a que son soluciones basadas en la naturaleza.
--	--	---	------------------------------------	--

Fuente: Elaboración propia

OE 3: El resultado fue el diseño de técnicas accesibles de tratamiento de agua para ecosistemas terrestres como indica la siguiente tabla.

Tabla 05: Resultados OE 3

Categoría	Sub categoría	Referencias	investigación	Desarrollo de investigación	Innovación para el diseño
					Enfoque basado en la naturaleza, bajo costo y complejidad
Tratamiento de agua	Humedal artificial	Lindsey m 2021	Investigo y analizo la actividad microbiana en los biorreactores en la actualidad y los procesos de desnitrificación en procesos microbianos	Luego de analizar la literatura de biorreactores tanto de reducción disimilariá de nitrato a amoníaco (dnra) y la oxidación anaeróbica de amonio (anammox) concluyo que los biorreactores de desnitrificación de astillas de madera son una práctica de conservación prometedora para la reducción de no3–n dentro	Después de la revisión de literatura en humedales se concluyó en la importancia de un humedal para enriquecer los microorganismos benéficos del agua y del suelo , de igual manera mejoro los parámetros físicos, químicos y biológicos del agua , se recolecto diseños de humedales artificiales más usados como

			del agroecosistema y recomendó q trabajos futuros deben basarse en la ecología del suelo y los humedales	son los de fitorremediación combinándolos con trampas de grasas y otros sistemas de decantación , sistemas de oxigenación del agua por medio de plantas acuáticas nativas y también con sistemas eólicos.
	M. Acreman	Realizo revisión sistemática de 10 000 publicaciones reveló 150 que contenían 492 estudios de casos cuantitativos con eficacia de soluciones basadas en la naturaleza en África.	Como resultado de esta revisión se encontró suficiente evidencia de soluciones basadas en la naturaleza para regenerar ecosistemas terrestres por medio del uso de humedales artificiales	

Fuente: Elaboración propia

Descripción de algunos resultados

Tabla 06: Coberturas

Procesos de coberturas	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Secas	Residuos orgánicos ricos en carbono	1 año	Transporte	Básica	Aporta carbono y sere de habitad para organismos del suelo
Verdes	Semillas (de preferencia gramíneas)	1 año	Mantenimiento (riego)	Básica	Evita la erosión hídrica
Chop an drop	Herramientas de poda	1 año	Mano de obra	Técnica	Agregar materia orgánica y cobertura al suelo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 07: Parámetros del suelo

Procesos para regular parámetros del suelo	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Compost en suelo	Residuos orgánicos (relación carbono nitrógeno)	1 año	Mano de obra y transporte de residuos	Técnica	Mejorar los parámetros del suelo
Medición y control	Tabla de indicadores de suelo, termómetro, otros	1 año	Mano de obra	Técnica	Medir y controlar parámetros del suelo

Fuente: Elaboración propia

Tabla 08: Reproducción de microorganismos

Procesos de reproducción de microorganismos	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Uso de macrofauna	Hormigas, lombrices, escarabajos, termitas, bichos bola, otros	Única vez	Transporte y mano de obra	Básica	Descomposición, macroporos, reproducción de microorganismos, habitad para microorganismos, otros.
Cultivo de microorganismos autóctonos					
Imo 1	Arroz	4-5 días	Mano de obra	Básica	El arroz precocinado sirve como trampa de microorganismos, siguiendo indicadores por colores se puede

					determinar si son benéficos o no.
Imo 2	Azúcar moreno	7 días			Se mezcla el imo 1 con azúcar morena equivalente al mismo peso del imo 1, se coloca tapado con un material transpirable en un lugar fresco y oscuro esto produce el imo 2
Imo 3	Materiales ricos en carbohidratos como salvados de trigo, agua de estanque, insumos naturales omi 2	7-10 días + 7-10 días			Se mezcla el imo 2 con el salvado, luego con el agua de humedal se humedece la pila mezclada hasta tener 60 % de hume-

					dad, se pueden agregar fermentados de plantas, bacterias ácido lácticas, vinagres en proporción de imo 2 1:1500 agua
Imo 4	Cubo de biocarbon, imo 2	4-5 días + 4-5 días			El imo 3 se mezcla con suelos sanos nativos en proporción 1:1

Fuente: Elaboración propia

Tabla 09: Humedal

Proceso para humedal artificial	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Oxigenación	Oxigenadores eólicos, solares	Única vez	Bajo (depende del volumen y demanda de oxígeno)	Técnica	Mejoran la calidad de agua y sus servicios ecosistémicos

Biodiversidad	Recolección de especies nativas más cercanas	Única vez	Transporte y mano de obra	Básica	
Geomembrana	Opcional dependiendo de la zona	Única vez	Medio	Técnica	
Decantación	Trampa de grasas y fitorremediación	Única vez	Mano de obra	Técnica	

Fuente: Elaboración propia

Tabla 10: Organismos del suelo

Proceso mega, macro, meso y microorganismos	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Extracción	Elaboración de compost en suelo	Única vez	Mano de obra y transporte	Básica	Mejoran la calidad del suelo y sus funciones ecosistémicas
Reproducción	Elaboración de compost en suelo	Periódicamente	Mano de obra y transporte	Básica	

Habitad	Elaboración de compost en suelo	Periódicamente	Mano de obra y transporte	Básica	
---------	---------------------------------	----------------	---------------------------	--------	--

Fuente: Elaboración propia

Tabla 11: Plantas estratégicas

Plantas estratégicas	Materiales e insumos	Tiempo	Costos	Complejidad	Función
Leguminosas	Semillas, agua, compost	1 año	Mano de obra	Básica	Fijar nitrógeno
Crucíferas	Semillas, agua, compost	1 año	Mano de obra	Básica	Infiltración de agua y extracción de nutrientes
Gramíneas	Semillas, agua, compost	1 año	Mano de obra	Básica	Estructurar el suelo

Fuente: Elaboración propia

Cabe resaltar que todos estos procesos y técnicas están relacionados entre sí para funcionar como un sistema, además están basados en criterios de bajo costo, simplicidad y con enfoques sostenibles.

En la revisión de la bibliografía, existen numerosos enfoques, teorías y estrategias que han servido para el diseño de técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados, sin embargo, muchas de ellas aún no han sido cuantificadas o evaluadas según su rendimiento de calidad y precio.

No se ha resuelto totalmente las interrogantes del estudio, pues el enfoque cualitativo del presente trabajo, permite nuevos enfoques, planteamientos y mejoras, que luego de ser aplicadas, se encontraran observaciones por los actores involucrados, que la continuidad con otros estudios podrá resolverlos.

Cierta limitación se dio en que gran parte de los artículos idóneos para la el estudio no son de libre acceso.

V. CONCLUSIONES

Luego de haber evaluado las diferentes teorías y sus resultados se determinó que las soluciones basadas en la naturaleza son completamente viables además de tener bajos costos y simple complejidad las cuales pueden ser usadas de manera sencilla por las Organizaciones No Gubernamentales, Entidades Privadas y el Estado.

OG: El diseño de técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados, debe estar enfocada a criterios de simplicidad, bajos costos y basados en la naturaleza.

OE 1: El usar coberturas, controlar los parámetros del suelo y reproducir los microorganismos, son los procesos accesibles para la generación de tierras húmicas.

OE 2: Para aumentar la biodiversidad del suelo de manera accesible es necesario el uso de plantas estratégicas, insertar macrofauna del suelo y elaborar humedales artificiales como atrayente de biodiversidad.

OE 3 La manera más accesible de tratar el agua, es mediante humedales naturales o artificiales.

El diseño de técnicas accesibles para la restauración de suelos erosionados es un gran aporte para entidades del estado que se encargan de conservar, proteger y administrar el suelo.

VI. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda ampliar la investigación para detallar los procesos, técnicas, estrategias y enfoques que demanden los actores implicados
2. Se recomienda la innovación y enfoques actuales en función a los servicios ecosistémicos

REFERENCIAS

1. **FAO, Food and Agriculture Organization.** <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>. <https://www.fao.org/fao-stories/article/es/c/1193735/>. [En línea] 2019.
2. **SERFOR, Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre.** Experiencias de restauración en el Perú: Lecciones aprendidas. 2018.
3. **WANG, Miaomiao, y otros.** Soil Aggregate Composition Difference, Stability and Organic Carbon Content between Eroded and Depositional Areas after adding exogenous organic materials. 2022.
4. **SHAHANE, Amit y SHIVAY, Yashbir .** *Soil health and its improvement through Agronomic Novel and innovative approaches.* 2021.
5. **KILOWASID, Laode, y otros.** *The use of soil biostructures created by soil fauna ecosystem engineers fed with different organic materials as a source of inoculum of arbuscular mycorrhizal fungi in cocoa seedlings.* 2021.
6. **KILOWASID, L., y otros.** El efecto de la aplicación de bioestructuras del suelo creadas con Biocarbón y extracto de algas marinas en el crecimiento de arroz de montaña. 2022.
7. **ACREMAN, M., y otros.** *Evidence for the effectiveness of nature-based solutions to water problems in Africa.* 2021.
8. **TURKELTAUB, Tuvia , y otros.** *Continuous monitoring of the physical-chemical conditions of a soil aquifer treatment system to optimize operational performance.* 2022.
9. **BÜNEMANNA, Else, y otros.** *Soil quality: a critical review.* 2018.
10. **LAL, Rattan.** *Soil management for carbon sequestration.* 2021.
11. **AMBAYE, Teklit, y otros.** *Remediation of soils contaminated with petroleum hydrocarbons and their reuse for agriculture: Recent advances, challenges and perspectives.* 2022.
12. **LUJÁN, Raquel, CUÉLLAR, Mamen y VENTEA, Joris.** *Participatory selection of soil quality indicators for monitoring the impacts of regenerative agriculture on ecosystem services.* 2020.
13. **KELIIKULI, A., y otros.** *Natural farming: The development of indigenous microorganisms using korean natural farming methods.* 2019.

14. **MISHRA, Shailendra, y otros.** *Degradation of tropical peatlands in Southeast Asia and integrated strategies for their better management and restoration.* 2021.
15. **CHEIK, Sougueh , y otros.** *Three-Dimensional Quantification of Characteristics of Macrofauna Macropores and their effects on soil hydraulic conductivity in northern Vietnam.* 2019.
16. **XIAO, Corrió , y otros.** *Earthworms as candidates for the remediation of soils contaminated with potentially toxic elements and the mitigation of environmental and human health risks: a review.* 2022.
17. **WILLS, B. y LANDIS, D.** *The role of ants in northern temperate grasslands: a review.* 2018.
18. **REPULLO, Miguel, y otros.** *Carbon sequestration by plant covers of grasses, cruciferous and legumes in olive groves.* 2018.
19. **BOOTH, Nicolás, y otros.** *Malate transport and metabolism in nitrogen fixation Legume nodules.* 2021.
20. **HARTFIEL, Lindsey, y otros.** *Bioreactor microbial denitrification: Understanding contamination exchange and the potential to improve performance.* 2021.
21. **ADAMS, Carrie , y otros.** *We can better manage ecosystems by connecting solutions to Constraints: Learning from wetlands.* 2021.
22. **COSSEL, Moritz, y otros.** *Adaptation of syntropic permaculture for the renaturalization of an old quarry area in the temperate zone.* 2020.
23. **LANGENFELD, Noah, y otros.** *Nitrogen Fixation Optimization and Recycling for Food Production in Regenerative Life Support Systems.* 2021.
24. **KUO, Camille Kuo y FISHER, Brian.** *A review of the literature on the use of Weeds and Agriculture and Food By-products of the industry to feed Farmed Crickets (Insecta; orthoptera; crickets).* 2022.
25. **DAVIS, A. y STRIK, B.** *Long-term effects of preplanting and incorporation with sawdust, sawdust mulch rate and nitrogenous fertilizer in 'Elliott' tall blueberry.* 2022.
26. **ILYAS, H., y otros.** *Comparison of the performance of different constructed wetland designs for the disposal of personal care products.* 2020.
27. **HERNÁNDEZ, Roberto .** *Metodología de la investigación.* 2014.

28. **Cf. Habermas.** *Science and technology as an ideology.* Tecnos, Madrid : s.n., 1984. págs. especialmente pp159-178.
29. **SHAMOO y RESNIK.** *Responsible Conduct of Research.* 2009.
30. **BURYAK, Z., y otros.** *Basin-Scale Approach to Integrating Agriculture and Hydroecological Monitoring for Environmental Management Sustainability: A Case Study of Belgorod Oblast, European Russia.* 2022.
31. **CHOMBA, S., y otros.** *Opportunities and Limitations for the Use of Farmer Managed Natural Regeneration for Land Restoration in Sub-Saharan Africa.* 2020.
32. **FENTA, H., y otros.** *Berken plow and pigeon pea intercropping improve degraded soils with a hardpan in the Ethiopian highlands.* 2022.
33. **GHOLKARY, M., y otros.** *Techno-economic evaluation of agricultural land remediation measures through nutrient management practices to achieve sustainable agricultural production.* 2022.
34. **JOHNSON, A., y otros.** *Influence of cover crop mixtures on soil health in southeastern, crop production systems.* 2021.
35. **KEESSTRA, S., y otros.** *The effect of nature-based solutions on land management to enhance ecosystem services.* 2018.
36. **KOCHI, L., y otros.** *Aquatic macrophytes in artificial wetlands: A fight against water pollution.* 2020.
37. **KOZOWYK, P., y otros.** *Research Protocol: Soil Health and Weed Control.* 2018.
38. **KREIGA, J., y otros.** *Design of bioenergetic landscapes to protect water quality.* 2019.
39. **KUCHER, A., y otros.** *Economics of Soil Erosion: Case Study from Ukraine.* 2021.
40. **LI, Shen.** *Integrated Landscape Soil and Water Conservation (LISWC) System for sloped landscapes in Atlantic Canada.* 2021.
41. **LÓPEZ, A., y otros.** *Microalgae-based livestock wastewater treatment (MbWT) as a circular bioeconomy approach: improvement of biomass productivity, removal of pollutants and production of high-value compounds.* 2022.
42. **MARTINEZ, J., ESTEVE, M. y ZULUAGA, P.** *Water and sustainability. Towards a water transition in the Iberian Southeast.* 2021.

43. **MASSULO, R., y otros.** *Afforestation of road surveillance and land occupation parameters: qualitative and quantitative data collection method.* 2020.
44. **MELÉNDEZ, M., y otros.** *Vaccinium spp.: Karyotypic and phylogenetic characteristics, nutritional composition, edaphoclimatic conditions, biotic factors and beneficial microorganisms in the rhizosphere Vaccinium spp.: Karyotypic and phylogenetic characteristics.* 2021.
45. **MAWARDAA, Panji, y otros.** *Deliberate introduction of invisible invaders: a critical evaluation of the impact of microbial inoculants on soil microbial communities.* 2020.
46. **REINHARDT, C., y otros.** *We can better manage ecosystems by connecting solutions to Constraints: Learning from wetlands.* 2021.
47. **SILVA, A., FANGUEIRO, D. y CARVALHO, M.** *Sludge acidification as a solution to minimize ammonia, Emissions from the combined application of animal manure and synthetic fertilizer in zero tillage.* 2022.
48. **SRI BUDIASTUTI, M., PURNOMO, D. y SETYANINGRUM, D.** *Agroforestry System as the Best Vegetation Management to deal with forest degradation in Indonesia.* 2022.
49. **STAVI, I., THEVS, N. y PRIORI, S.** *Soil salinity and sodicity in drylands: Review of Causes, Effects, Monitoring and Restoration Measures.* 2021.
50. **TAWIE, K., y otros.** *Chemical and biological characteristics of organics, modifications produced from selected agricultural residues with potential to maintain soil health: a laboratory evaluation.* 2021.
51. **TAWIE, K., y otros.** *Effects of organic amendments produced from agricultural residues on properties of sandy soil and morpho-physiology and yield of black pepper.* 2021.
52. **WALKIEWICZ, A., y otros.** *How can litter modify CO₂ and CH₄ fluxes from forest soils? A mini-review.* 2021.
53. **ZHANG, Y., y otros.** *Study on the dynamic changes of the microbial community and the mechanism of transformation of lignocellulose during the composting of green waste.* 2022.