



Universidad César Vallejo

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

**Evaluación de los tecnosoles para la recuperación de suelos
degradados: Revisión sistemática**

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

Ingeniera Ambiental

AUTORAS:

Huaycochea Llacua, Karla Milagros (ORCID: 0000-0003-0354-687X)

Quiroz Quispe, Sheimy Yahaira (ORCID:0000-0003-4483-8262)

ASESOR:

Dr. Valdiviezo Gonzales, Lorgio Gilberto (ORCID: 0000-0002-8200-4640)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Tratamiento y gestión de los residuos

LIMA-PERÚ

2021

Dedicatoria

El presente proyecto de investigación es dedicado a nuestras familias, ya que, ellos son la motivación que nos impulsan a continuar con nuestros propósitos de vida, así mismo, inculcándonos desde pequeñas buenos principios y valores para ser personas íntegras no sólo en el ámbito laboral, sino también social y personal.

Por último, dedicamos este trabajo de investigación a todas las personas que formaron parte de nuestras vidas, que nos enseñaron a apreciar cada momento y nos motivaron a seguir adelante.

Agradecimiento

Agradecemos de todo corazón a Dios por el apoyo incondicional que nos brinda día a día.

Agradezco a mis padres, Carlos Huaycochea y Nelly Llacua por siempre apoyarme e inculcarme buenos valores, a mis hermanas Paola y Sonia, por impulsarme a continuar con mis objetivos, además, son un gran ejemplo para mí.

También agradezco a mi familia Quiro Quispe por apoyarme en mis estudios por ser la guía y modelo de superación y perseverancia, así mismo, el sacrificio y esfuerzo que han desempeñado durante este periodo.

Por último, agradecemos a cada uno de nuestros profesores, que nos brindaron sus enseñanzas y experiencias, a nuestros compañeros por compartir momentos únicos e inolvidables y sobre todo a los “Sartas de Vagos”, que formaron parte de nuestro crecimiento en la etapa universitaria.

Índice de contenidos

Carátula.....	i
Dedicatoria	ii
Agradecimiento.....	iii
Índice de contenidos	iv
Índice de tablas	v
Índice de figuras	v
Resumen.....	vi
Abstract.....	vii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
III. METODOLOGÍA	14
3.1. Tipo y diseño de investigación	14
3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización	14
3.3. Escenario de estudio.....	16
3.4. Participantes	16
3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	16
3.6. Procedimientos	17
3.7. Rigor científico	19
3.8. Método de análisis de datos.....	19
3.9. Aspectos éticos	19
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
V. CONCLUSIONES	29
VI. RECOMENDACIONES.....	30
REFERENCIAS.....	31
ANEXOS	40

Índice de tablas

Tabla 1. Tipos de suelos antropogénicos	6
Tabla 2. Metodología para la elaboración del tecnosol	10
Tabla 3. Revisión de fuentes documentales sobre los residuos utilizados en el tecnosol.....	12
Tabla 4. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.	15
Tabla 5. Participantes.....	16
Tabla 6. Búsqueda y selección de artículos	18
Tabla 7. Residuos que se utilizan en la elaboración del Tecnosol	20
Tabla 8. Indicadores que se utilizan para la efectividad del tecnosol.....	26

Índice de figuras

Figura 1. Componentes del suelo.....	3
Figura 2. Causas de la degradación del suelo	5
Figura 3. Perfil del tecnosol.....	6
Figura 4. Metodología para elaboración del tecnosol.....	24

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo, evaluar la aplicación de los tecnosoles para la recuperación de suelos degradados. La investigación es de tipo básica, con un diseño de narrativa de tópicos, se utilizó la técnica de análisis documental y una ficha de recolección de datos, obteniéndose 80 documentos que están distribuidos en la presente investigación. Se filtraron a través de criterios de exclusión los artículos utilizados, resultando 24 artículos. Los residuos que se utilizan para la elaboración del tecnosol, son: los residuos mineros (bentonita, carbonatita, carbón y serpentinita-magnesita), residuos de biocarbón y residuos orgánicos, que fueron seleccionados por su propiedad y disponibilidad. La metodología usada en la elaboración del tecnosol se plasmó en un diagrama de flujo; así mismo, los indicadores de eficiencia del tecnosol son: crecimiento vegetal, organismos y los indicadores químicos. Es necesaria la elaboración de normativas relacionadas a la selección, preparación, aplicación y control de los tecnosoles.

Palabras clave: Tecnosol, recuperación, residuos sólidos y suelos degradados.

Abstract

The objective of this research was to evaluate the application of technosols for the recovery of degraded soils. The research is of a basic type, with a topic narrative design, the document analysis technique and a data collection sheet were used, obtaining 80 documents that are distributed in the present investigation. The articles used were filtered through exclusion criteria, resulting in 24 articles. The wastes used to make technosol are: mining waste (bentonite, carbonatite, coal and serpentinite-magnesite), biochar waste and organic waste, which were selected for their property and availability. The methodology used in the elaboration of the technosol was reflected in a flow diagram; Likewise, the technosol efficiency indicators are: plant growth, organisms and chemical indicators. The development of regulations related to the selection, preparation, application and control of technosols is necessary.

Keywords: Technosol, recovery, solid waste and degraded soils.

I. INTRODUCCIÓN

El suelo es considerado un sistema productivo debido a las diferentes funciones ecosistémicas que brinda, así mismo, un adecuado manejo del suelo está significativamente relacionado a la seguridad alimentaria (Burbano 2016). Por otro lado, debido a las actividades antropogénicas existen efectos negativos sobre las características físicas, químicas y biológicas del suelo, ya que, es uno de los recursos más utilizados y explotados, sin consideración alguna (Amaro et al. 2019).

Una de las problemáticas más conocidas en el Perú, es la degradación del suelo (Minam 2016), debido a las diferentes actividades, como: el monocultivo que es una de las causas que afecta las funciones del suelo, ya que, modifica la composición de las comunidades microbianas (Ding et al. 2021; Lu et al. 2020); también, el sobrepastoreo y sobrecarga animal son actividades que afectan negativamente al suelo, es decir, genera una compactación acelerada, disminuyendo la capacidad de drenaje y pérdida de nutrientes (Alegre et al. 2019).

Debido a las causas ya mencionadas, los países han buscado diferentes alternativas para la recuperación de áreas degradadas (MA et al. 2020). Una de ellas es el tecnosol, ya que, según Barredo et al. (2020) manifiesta que el suelo puede ser recuperado a partir de una combinación de residuos sólidos y materia orgánica, así mismo, Vanderhorst (2018) señala que el tecnosol puede ser elaborado o modificado para cumplir con un objetivo en específico.

Por ello, utilizar los residuos sólidos para la fabricación del tecnosol permitirá reducir la cantidad de desechos que se generan diariamente (Herrán Fernández et al. 2016); ya que, en la actualidad solo el 40% de desechos son reutilizados (Espinoza 2014), así mismo, entre los residuos más utilizados para la elaboración se encuentran los desechos mineros, residuos de construcción y demolición, residuos industriales, etc. (Moncada 2018; Santos et al. 2019; Pruvost et al. 2020 y Watteau et al. 2019).

Un claro ejemplo es la aplicación del tecnosol en la India, ya que, después de 16 años se realizó un estudio en el cual se demostró que hubo un gran cambio,

puesto que, se observó vegetación en el área, así mismo, indica que hubo un aumento de nutrientes de NPK (Ahirwal y Maiti 2018); por otra parte, en Polonia se elaboró un tecnosol a base de residuos industriales; cabe mencionar, que el estudio se realizó en 1970 para la recuperación del suelo mediante el tecnosol para demostrar la eficacia de esta alternativa de solución; después de 45 años tomaron muestras que indicaron el éxito de la recuperación del suelo (Uzarowicz et al. 2020; Santos et al. 2016).

Bajo los argumentos antes mencionados, se plantea el problema general: ¿Cómo influyen la aplicación de los tecnosoles en la recuperación de suelos degradados?; para luego conocer los problemas específicos: ¿Cuáles son los residuos que se utilizan en la elaboración del tecnosol?; ¿Cuál es la metodología que se emplea para la elaboración del tecnosol? y ¿Cuáles son los indicadores que se utilizan para verificar la efectividad del tecnosol?

La presente investigación se justifica desde una perspectiva teórica, ya que, el tema que se optó por investigar, es un tema poco abordado en el país, así mismo, se quiere realizar un aporte teórico con respecto a la aplicación del tecnosol para la recuperación de suelos degradados, también, queremos dar a conocer sobre el aprovechamiento de residuos de construcción, industriales y mineros en la elaboración del tecnosol y las propiedades que poseen cada uno de los residuos empleados mediante una revisión sistemática.

En tal sentido, la investigación propone el objetivo general: Evaluar la aplicación de los tecnosoles para la recuperación de suelos degradados y como objetivos específicos: Identificar los residuos que se utilizan en la elaboración del tecnosol; describir la metodología para la elaboración del tecnosol e identificar los indicadores que se utilizan para verificar la efectividad del tecnosol.

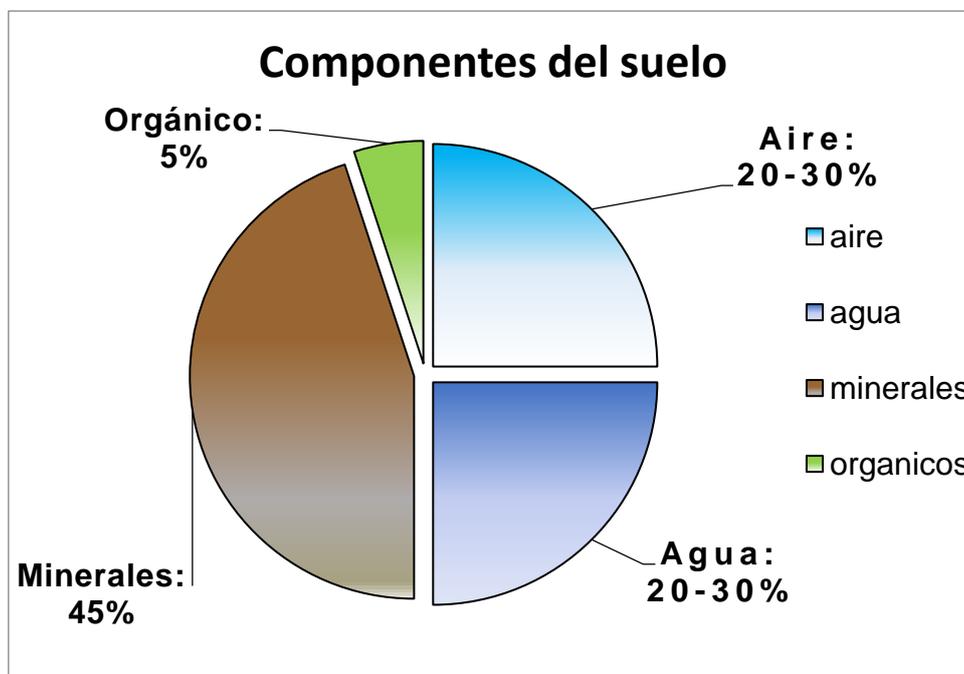
II. MARCO TEÓRICO

El suelo está conformado por materia orgánica, partículas inorgánicas, aire, agua y organismos, además, de ser un material no consolidado, el suelo comprende desde la capa superior de la superficie terrestre hasta diferentes niveles de profundidad (MINAM 2015), así mismo, el suelo es considerado un sistema natural en donde se realizan procesos físicos, químicos y biológico (Benites y Bot 2013).

Gracias a estos procesos, se mantiene la vida de ecosistemas, también, el suelo forma parte de los ciclos de nutrientes y del ciclo del agua (Montiel e Ibrahim 2016); por otro lado, el suelo tiene la capacidad de inmovilizar contaminantes mediante su sistema de depuración y actúa como barrera protectora de las aguas subterráneas (Tena y Hernández 2014).

En la **Figura 1** se muestran los diferentes componentes y porcentajes que conforman el suelo.

Figura 1. Componentes del suelo



Fuente: Elaboración propia adaptado del Ministerio de Agricultura, 2011

Así mismo, aproximadamente el 33% del suelo se encuentra degradado por factores como: la compactación, salinización, erosión, etc. Además, debido a las diferentes actividades que realiza el ser humano, este influye significativamente en el suelo, principalmente en las funciones que realiza este sistema (FAO 2016).

La degradación del suelo es considerada como la alteración o transformación de forma negativa en el suelo, así mismo, disminuye su capacidad de producción (Encina Rojas e Ibarra 2003). Con respecto a las causas que generan la degradación, la compactación es uno de los aspectos que se da por el sobrepastoreo y la utilización de maquinarias pesadas en áreas agrícolas, a su vez, esto provoca cambios en las condiciones físicas y en la disminución de la tasa de infiltración del suelo (Espinosa et al. 2011).

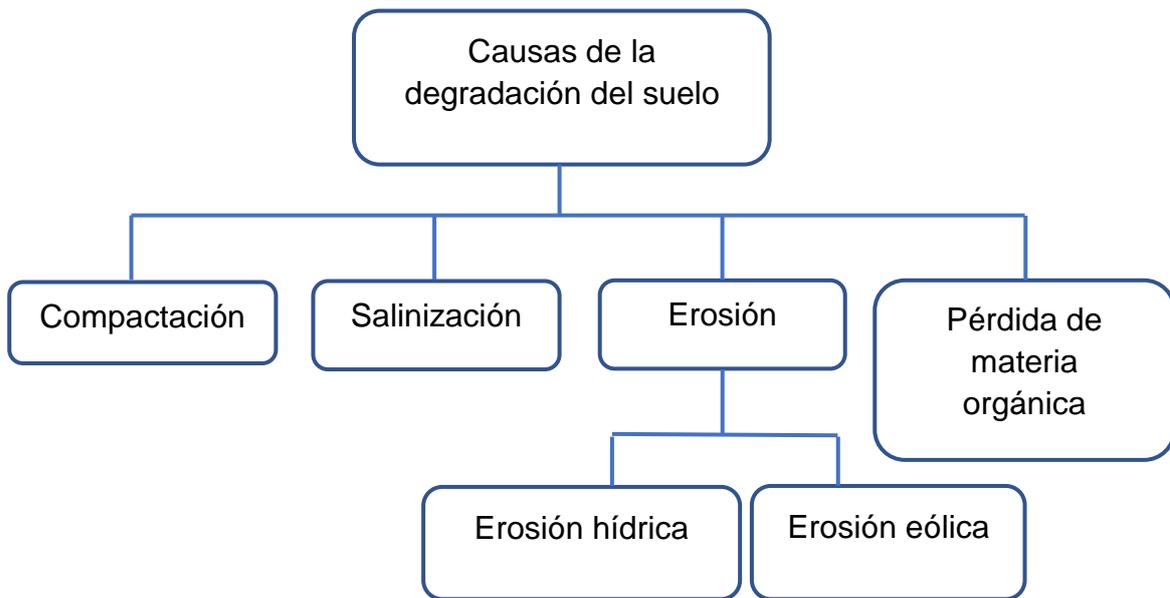
Con respecto a la salinización, es otro de los factores por el cual existe la degradación, las actividades que realiza el ser humano genera varios impactos en el suelo como: el riego con aguas salinas, el riego excesivo, entre otros, generando que las capas freáticas salinas asciendan a la superficie, así mismo, la salinización también se puede dar de forma natural, como la meteorización del material original (roca madre) (Courel 2019).

Continuando con las causas, la erosión influye en la pérdida de nutrientes, ya que, es causada principalmente por la acción directa de los factores erosivos, agua y viento sobre el suelo, así mismo, cuando el suelo no tiene vegetación tiende a aumentar los riesgos por erosión, debido, a que las plantas forman una barrera y también estabiliza el suelo (Álvarez y Rimski-Korsokov 2016).

Por último, la pérdida de materia orgánica se da por las diferentes actividades agrícolas, teniendo como resultado un suelo con poca capacidad de captación de carbono, ya que, los suelos reciben menos insumos orgánicos debido a las actividades que se realizan en campo (Sánchez 2016).

En la **Figura 2** se menciona específicamente las causas que generan la degradación del suelo.

Figura 2. Causas de la degradación del suelo



Fuente: Elaboración propia adaptada de Espinosa et al. 2011; Courel 2019; Álvarez y Rimski 2016.

La base referencial mundial del recurso suelo (WRB) es un sistema de clasificación de suelo que colabora con la FAO (Organización de las Naciones Unidas de la Alimentación y la Agricultura), en donde, indica que los tecnosoles y 31 suelos más se encuentra dentro del Grupo de suelos de referencia, mostrando la descripción, distribución, uso y manejo del tecnosol de forma resumida (FAO 2016).

Los tecnosoles son denominados suelos, cuyas propiedades y procesos son determinados por la naturaleza y especialmente por las actividades antropogénicas, así mismo, contienen diferentes tipos de artefactos (cenizas de carbón, escombros de minas, relaves o sedimentos dragados, entre otros) que son elaborados o alterados por las diversas actividades del ser humano, también, los tecnosoles son denominados como suelos urbanos o suelos de minas (FAO 2016).

Si bien es cierto, los tecnosoles son suelos formados por diferentes factores y se identifica por los artefactos que contiene y por su origen técnico, así mismo, existen tecnosoles que son construidos o modificados con la finalidad de cumplir

ciertas funciones como: recuperación de suelos, regulación del agua, entre otros (Watteau et al. 2018).

En la **Figura 3**, se muestra un perfil del tecnosol con material de construcción (ladrillos, hormigón, etc.), con una profundidad de más de 1m aproximadamente.

Figura 3. Perfil del tecnosol



Fuente: FAO 2015

En la **Tabla 1** se muestra los tipos de tecnosoles o también llamados suelos antropogénicos, indicando la descripción y sus respectivos ejemplos.

Tabla 1. Tipos de suelos antropogénicos

Tipos de suelos antropogénicos	Descripción	Ejemplos
Suelos urbanos	Suelos elaborados o alterados por las actividades antropogénicas, que contienen cantidades de artefactos que indican la presencia humana.	<ul style="list-style-type: none"> ● Utensilios ● Residuos urbanos ● Artículos domésticos, etc.

Tecnosol	Suelos elaborados o alterados por las actividades antropogénicas, que contienen cantidades de artefactos indicativos de industrias.	<ul style="list-style-type: none"> ● Carbón no gastado ● cenizas de carbón ● escorias ferruginosas y de vidrio, etc.
Suelos industriales	Suelos elaborados o alterados por las actividades antropogénicas, que contienen cantidades de artefactos indicativos de operaciones modernas de minería y dragado.	<ul style="list-style-type: none"> ● Escombros de minas ● relaves ● sedimentos dragados, etc.

Fuente: Elaboración propia adaptada de Howard 2020.

Otro punto, que se debe resaltar son los residuos sólidos, ya que, como se ha mencionado en anteriores párrafos, el tecnosol está elaborado a base de residuos. Entre los residuos utilizados para la fabricación del tecnosol, se encuentran: los residuos de construcción y demolición (RCD), como: el concreto, roturas cerámicas, etc. (Chica y Beltrán 2018); los residuos industriales son desechos generados debido a las actividades industriales como, por ejemplo: cenizas, lodos, vidrios, escorias, plástico, fibras, cartón, papel, maderas, etc. (Román 2017). Cabe mencionar que estos desechos contienen sustancias alcalinas o ácidas, aceites pesados, etc. (Barton 2016).

Los residuos urbanos son producidos en su mayoría por diferentes actividades domésticas, que está compuesta de resto de alimentos, residuos de poda y huerto (Weiler et al. 2020), cenizas de cáscara de arroz (Ruiz et al. 2020) etc. Por otro lado, los residuos mineros son generados en el proceso de “preparación del depósito, extracción y el procesamiento de carbón duro” (Pactwa, Woźniak y Dudek 2020), además, se tiene que resaltar que estos desechos contienen altas

concentraciones tóxicas como el Cd, As, Hg y Pb, pero en cantidades considerables favorecen al crecimiento de la vegetación (Capasso et al. 2019).

A continuación, se mencionan de forma general las propiedades que poseen los tecnosoles, como: porosidad, aireación, capacidad de sorción etc. Con respecto a la porosidad, se puede definir como el volumen que no es ocupado por partículas sólidas (espacios vacíos), así mismo, la porosidad del tecnosol contribuye en los servicios ambientales hidrológicos, ya que, el agua se puede almacenar y transportar mediante estos espacios, también, se alojan gases y se realizan actividad biológica en el suelo (González et al. 2012), en cuanto a la aireación, la estructura y textura del suelo influyen mucho en esta propiedad, ya que, si el suelo contiene una textura arcillosa, habrá un déficit de aireación y drenaje (Vistoso y Martínez 2019).

La mayoría de ingredientes o elementos que se encuentran en los tecnosoles, aportan minerales en el suelo, así mismo, los residuos de construcción y demolición contienen pocos nutrientes, pero ofrecen buenas condiciones de porosidad, aireación y retención de agua (Barredo et al. 2020). Por otro lado, Asensio et al. (2019) indica que el tecnosol a base de bentonita tiene una alta capacidad para inmovilizar el cobre, de hecho, estudios previos demostraron que la bentonita tiene una alta capacidad de absorción de metales.

Los indicadores se denominan herramientas de medición, que proporciona información sobre los procesos, características y propiedades del suelo, así mismo, son atributos que se pueden medir, además, permite verificar el estado en el que se encuentra y actuar mediante los requerimientos que necesita el suelo (Estrada Herrera et al. 2017).

Las plantas son consideradas indicadores, ya que, estas se encuentran en la superficie terrestre y se pueden visualizar a simple vista, así mismo, se identifica la deficiencia de nutrientes que requiere la planta a través del color de sus hojas (Sadeghian 2017). Por otro lado, los organismos también son considerados indicadores de la calidad y funciones del suelo, además, las actividades que realizan estos organismos depende las propiedades del suelo, el tipo de cobertura vegetal, estructura, entre otros (Kooch et al. 2021).

En la actualidad, existen muchos artículos relacionados a tecnosoles, los cuales fueron realizados en condiciones de mesocosmos, esto quiere decir, que mediante esta técnica se puede controlar algunos parámetros, con la finalidad de recrear escenarios en una menor escala (Alexander et al., 2016), ya que, si se logra aplicar un tecnosol sobre un área degradada sin previo estudio, puede causar graves daños si no se cumplen los requerimientos que necesita el suelo.

Del mismo modo, es importante conocer la metodología que se utiliza para la elaboración del tecnosol. A continuación, se detallará en la **Tabla 2** algunos procesos que se realizaron en anteriores estudios. Cabe resaltar que, durante la elaboración, se apoyó en algunas técnicas tal como la Norma de muestreo brasileña NBR 10007, ya que, indica las líneas básicas que se deben realizar antes de obtener la muestra como, por ejemplo, las características del residuo que se analizará (ABNT 2004), también, EPA 3050 que es una técnica para disolver los metales pesados que podrían llegar causar problemas ambientales (US EPA, 1996).

Asimismo, se realizó una revisión de artículos que estén relacionados a los objetivos del presente estudio, para una mejor ampliación de conocimientos nuevos a través de una recopilación bibliográfica de diversos autores. Cabe mencionar, que estas investigaciones están introducidas en los antecedentes que se encuentran en la **Tabla 3**, indicando el tipo de tecnosol, resultados, el autor y el año de los artículos investigados.

Tabla 2. Metodología para la elaboración del tecnosol

Autor	Tiempo	Materiales	Tipo	Metodología	
				Antes	Después
Herrán et al. (2016)	1 año	-RCD -Residuos urbanos -Bentonita -Piedra caliza	In-situ	Se realizó la maduración (1mes) y la homogeneización (cada 2 semanas) de la mezcla.	La estructura interna fue construida en 3 capas: la primera capa de 20 cm; la segunda y tercera (40 cm) con la mezcla del tecnosol.
Forjan et al. (2018)	11 meses	-Residuos de planta depuradora -Residuos aluminio -Cenizas -Residuos agrícolas	ex-situ	Para realizar el estudio se basó en 4 tipos de desechos los cuales suman un 100%, así mismo, se analizaron las concentraciones de metales pesados.	El tecnosol se elaboró en un cilindro de PVC con una profundidad de 50 cm y un diámetro de 10 cm, así mismo, se introdujo una malla porosa en el cilindro y la mezcla del tecnosol.
Moreno et al. (2017)	1 año	-Residuos de minería -Estiércol de cerdo -Residuos urbanos -Residuos de mármol	ex-situ	El residuo minero, se secó durante 7 días y se tamizó (<4 mm); el residuo urbano se secó a 60° y se tamizó (<4 mm), para luego pasar por el proceso de pirolisis durante 2 horas.	La mezcla fue colocada en una maceta de plástico mantenida en la oscuridad, a una humedad constante de 50% de la capacidad de retención de agua y temperatura de 22°C durante 90 días.
Weiler et al. (2018)	100 días	-Residuos de carbón -Residuos urbano -Cenizas de cáscara de arroz -Escorias de aceros	ex-situ	La muestra se tomó siguiendo la NBR 10007 y los materiales fueron analizados para obtener los datos de C, H, N, S en una macro vario elemental ASMT D5373-02.	Los residuos utilizados fueron triturados por separados en una trituradora de mandíbula, seguida de una trituradora de molino de rodillo para obtener tamaño (<2 mm) y la ceniza de cáscara de arroz se añadió en base del 2%.

Slukovskaya et al. (2019)	1 año	-Desechos de serpentina - Magnesita -Desechos de carbonatita	ex-situ	Se realizó un análisis mineralógico de los desechos mineros y el análisis fisicoquímico del suelo, también se determinó la textura del suelo y se tamizado en seco a través de mallas con tamaños (<0.2 mm).	La estructura interna fue construida en dos capas: capa superior es de 1 cm de profundidad (vermiculita) y la capa del tecnosol es de 5 cm de profundidad.
Firpo et al. (2020)	1 año	-Residuo de Carbón -Residuos urbanos -Cenizas de cáscara de arroz -Escoria de aceros	ex-situ	Los materiales (C, H, N, S) fueron analizados en una macro vario elemental ASMT D5373-02; se realizó un análisis al carbón y acero siguiendo el EPA 3052. El lodo de depuración se analizó siguiendo el EPA 3050.	La estructura interna fue construida en 3 capas: capa drenaje de 20 cm hecha de lastre, capa interna 40 cm residuos de construcción y capa superior de 40 cm donde se ubica la mezcla del tecnosol, todo ello sobre una lámina impermeable.
Barredo et al. (2020)	2 años	-RCD -Residuos urbanos -Bentonita reciclada	In-situ	Se realizó la maduración de la mezcla (1 meses) y la homogeneización de la mezcla se realizó cada (2 semanas).	La estructura interna fue construida en 3 capas: primera: capa de lastre; segunda residuos de construcción y tercero la mezcla del tecnosol, todo ello sobre una lámina impermeable.
Morugan et al. (2021)	9 meses	-Desechos de mármol -Relaves piriticos -Desecho de estiércol de cerdo	ex-situ	Los relaves fueron secados durante 7 días al aire libre y tamizados (<4mm) y el estiércol de cerdo fue secado a 60°C en un horno de laboratorio y tamizado (<4mm), para luego pasar por el proceso de pirolisis durante 1 hora.	Los materiales fueron mezclados, así mismo, se añadió 2 Kg de tecnosol al contenedor (2200 cm ³ de volumen).

Fuente: Elaboración propia adaptada de fuentes bibliográficas.

Tabla 3. Revisión de fuentes documentales sobre los residuos utilizados en el tecnosol.

Autor	Tecnosol	Resultados
Amaral Filho et al. 2020	Residuos de carbón y materia orgánica	Los tecnosoles tuvieron la mayor producción de biomasa después de 90 días.
Asensio et al. 2019	Abono orgánico, arena, residuos de la minería de piedra caliza y bentonita.	El control del Technosol (sin plantas) fue capaz de inmovilizar el 99% del Cu total agregado.
Bolaños et al. 2015	Residuos agrícola, forestal, industrial y construcción	En efecto, el uso de los tecnosoles mejoró el suelo, además, redujo la extensión de las zonas afectadas.
Barredo et al. 2020	Residuos de construcción y demolición, bentonita reciclada, tierra vegetal.	Se realizó un monitoreo de las muestras del tecnosol y cumplieron con los límites establecidos.
Bilibio et al. 2020	Cenizas residuos sólidos urbanos y residuos de carbón	Los tecnosoles mejoraron las tasas de evapotranspiración de los montones de relaves de potasa.
Colombini et al. 2020	Residuos de construcción y residuos orgánicos	Se demostró que el Tecnosol es una herramienta relevante para la recuperación del suelo.

Kolodziej et al. 2020	Residuos de lana de roca y residuo minero (carbón)	La aplicación del residuo de polvo de lignito y lana de roca modificó la capacidad de retención de agua, aire y la permeabilidad.
Moncada 2018	Residuos/materiales agroindustriales y del proceso minero	La evaluación del uso del Tecnosol puede permitir mejorar el manejo en los cierres de depósitos de material inadecuado.
Ruiz et al. 2020	Residuos mineros	Los tecnosoles (roca estéril de piedra caliza) son efectivos para recuperar suelos degradados.
Santos et al.2016	Residuos de gossan y sulfuros	Los residuos usados en el tecnosol contribuyeron a la disminución de las concentraciones de Cu y Pb.
Santos et al. 2019	Residuos mineros y agroindustrial	El uso de los tecnosoles mejoro algunas características químicas de la capa superficial.
Weiler et al.2020	Residuos mineros (Carbón) y residuos domésticos	Los tecnosoles que recibieron un 5% de materia orgánica permitieron un crecimiento vegetal superior

Fuente: Elaboración propia adaptada de fuentes bibliográficas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

El presente estudio es de tipo básica, ya que, busca ampliar o incrementar el conocimiento teórico, pero sin contradecir ningún aspecto práctico (Rocha 2015).

Por otro lado, el diseño es narrativo, ya que, según Azuero (2019) manifiesta que es un estudio de sucesos o datos a través de una recopilación de diversas investigaciones para luego describirlas y analizarlas, así mismo, según Lévano y Cecilia (2007), se clasifica como narrativa de tópico, ya que, se enfoca en temática y sucesos.

3.2. Categorías, Subcategorías y matriz de categorización

En la Tabla 4, se muestran los objetivos, problemas específicos, categorías y subcategorías, pero principalmente queremos hacer síntesis en las categorías y subcategorías. En las categorías, se encuentran los residuos y la metodología, así como también, las subcategorías, en donde se muestran los residuos de forma más específica y las normas (Environmental Protection Agency) que se incluyen dentro de la metodología.

Tabla 4. Categorías, subcategorías y matriz de categorización apriorística.

Objetivos específicos	Problemas específicos	Categorías	Subcategorías	Unidad de análisis
Identificar los residuos que se utilizan en la elaboración de los tecnosoles.	¿Cuáles son los residuos que se utilizan en la elaboración de los tecnosoles?	Residuos Sólidos	<input type="checkbox"/> Residuos de construcción y demolición <input type="checkbox"/> Residuos industriales <input type="checkbox"/> Residuos urbanos <input type="checkbox"/> Residuos mineros	Chica y Beltrán 2018 Román 2017 Weiler et al. 2020 Pactwa, Woźniak y Dudek 2020
Describir la metodología para la elaboración del tecnosol.	¿Cuál es la metodología que se emplea para la elaboración del tecnosol?	Metodología	<input type="checkbox"/> Norma de muestra brasileña NBR 10007 <input type="checkbox"/> EPA 3050 <input type="checkbox"/> EPA 3052	Herrán et al. 2016 Forjan et al. 2017 Barriga et al. 2017 Firpo et al. 2020 Barredo et al. 2020
Identificar los indicadores que se utilizan para verificar la efectividad del tecnosol.	¿Cuáles son los indicadores que se utilizan para verificar la efectividad del tecnosol?	Indicadores	<input type="checkbox"/> Crecimiento vegetal <input type="checkbox"/> Organismos <input type="checkbox"/> Indicadores químicos	Estrada-Herrera et al. 2017 Sadeghian 2017 Kooch et al. 2021

Fuente: Elaboración propia.

3.3. Escenario de estudio

El presente proyecto de investigación no posee un escenario de estudio, ya que, esta investigación es una revisión sistemática, que obtiene información de fuentes nacionales e internacionales.

3.4. Participantes

Los participantes de esta investigación están compuestos por: libros, capítulos de libros, páginas de instituciones u organizaciones nacionales e internacionales, así mismo, se utilizaron artículos y repositorio de diferentes universidades. Por otro lado, en la **Tabla 5** se indica los documentos utilizados para la realización de la presente investigación.

Tabla 5. Participantes

Bibliografía		
Páginas web institucionales	2	<ul style="list-style-type: none">● MINAM● FAO
Libros	8	<ul style="list-style-type: none">● Guía para su elaboración (virtual)● Gestión de residuos inertes (virtual)● World reference base for soil resource, etc.
Buscadores	4	<ul style="list-style-type: none">● Sciencedirect● Scopus● Ebsco● Google Scholar

Fuente: Elaboración propia. Recopilación bibliográfica

3.5. Técnicas e instrumentos de recolección de datos

En el presente trabajo se utilizó la técnica de análisis de fuentes documentales, ya que, tiene como finalidad ampliar y profundizar datos e información de trabajos previos (Veliz 2007), es decir, consiste en la recopilación de información a través de documentos como libros y artículos científicos (Rocha 2015). Igualmente, se

aplicaron diferentes instrumentos, como punto de partida se realizó una ficha de recolección de datos donde se centra en los autores, fecha de publicación, objetivos, metodología, resultados y conclusiones, luego de la recolección de información para mayor presión se realizó una categorización, es decir una clasificación de elementos del texto, pero bajo ciertos criterios, cual contribuirá a la investigación. Por último, se ejecutó una codificación que permitirá la sistematización de la información recolectada, **Anexo 1**.

3.6. Procedimientos

En la primera etapa, se identificaron las páginas y plataformas fidedignas de donde se extrajo la información relevante para el proyecto de investigación, así mismo, la recolección de información, se realizó a través de las bases de datos como: Sciencedirect, Scopus, Ebsco, entre otros.

En la segunda etapa, se procedió a considerar los términos de inclusión y exclusión, con respecto a los términos de inclusión, se utilizaron las palabras claves para obtener artículos relacionados al tema, como: technosol, soil degradation, soil y Waste-based technosol. En los términos de exclusión, se consideraron la duplicidad de los artículos, también, se excluyeron artículos que no tenían que ver con el tema y la comparación con otro tipo de enmiendas, debido a que, nuestro tema está relacionado a los tecnosoles a base de diversos residuos.

Tabla 6. Búsqueda y selección de artículos

Base de datos	Tipo de documento	Idioma	Criterios				Documentos seleccionados	
			Inclusión		Exclusión			
			Palabras claves	Duplicidad	Comparación	No tiene relación con los objetivos		
Scopus	Artículos	Inglés	TITLE-ABS-KEY (technosol AND soils) AND (LIMIT-TO (PUBYEAR , 2021) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2020) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2019) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2018) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2017) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2016) OR LIMIT-TO (PUBYEAR , 2015)) AND (LIMIT-TO (LANGUAGE , "English"))	284	215	52	12	5
Science Direct			Waste-based technosol and soil degradation	279	197	45	25	12
Ebsco			Technosol and soils degradation	448	367	72	7	2
Google Scholar			Technosol	114	56	39	14	5
Total								24

Fuente: Elaboración Propia

Finalmente, se obtuvieron 80 documentos que se distribuyeron en toda la tesis. Adicionalmente, se utilizó los programas Mendeley y Zotero para citar y referenciar los artículos utilizados, al estilo ISO 690.

3.7. Rigor científico

Los datos e información presentados en el proyecto de investigación cumplen con criterios de validez y confiabilidad, así mismo, se les asignaron créditos a los autores que se utilizaron en el presente escrito, mediante las citas y referencias de que da libro, artículo u otros documentos utilizados (Castillo, Edelmira y Vásquez 2003).

3.8. Método de análisis de datos

Para el análisis de datos se desarrolló una tabla, la cual se dividió en categorías que permitió analizar de manera más detalla los objetivos y temas más relevantes para la investigación; así mismo, las subcategorías fueron utilizadas como base para organizar toda la información recopilada de las diferentes fuentes (Rocha 2015)

3.9. Aspectos éticos

En el presente proyecto de investigación se utilizó información proveniente de fuentes confiables y verídicas, además, se respetaron los derechos de los autores, citando de manera adecuada mediante el manual ISO-690 y gestores de referencias (Mendeley y Zotero).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los residuos que se utilizan en el Tecnosol se muestran en la **Tabla 7**, así mismo, se mencionan las propiedades o características que poseen estos residuos para la elaboración del Tecnosol.

Tabla 7. Residuos que se utilizan en la elaboración del Tecnosol

Residuos	Proporción	Propiedades o Características	Resultados	Autor
-Abono orgánico	40%	Alta capacidad para retener cobre	El Tecnosol mostró una capacidad muy alta para inmovilizar el cobre, ya que, fue fuertemente retenido principalmente por la bentonita y carbonatos.	Asensio et al. 2019
-Arena	36%	Aireación y drenaje		
-Residuos de piedra caliza	20%	Reduce la movilidad del cobre en los suelos		
-Bentonita	4%	Capacidad de sorción		
-Residuos de carbón fino	895 g	Aporta minerales y tiene capacidad de sorción	El sustrato compuesto exclusivamente por residuos de carbón casi no tenía crecimiento vegetal. Sin embargo, la adición de compost permitió el crecimiento vegetal.	Weiler, Firpo y Schneider 2020
-Compostaje de residuos sólidos urbanos	105 gr	Fuente de nutrientes y materia orgánica		

-Gossan	97% y 94%	Capacidad de sorción		
-Residuos agroindustriales	3% y 6%	Contiene materia orgánica	El cultivo en los Tecnosoles presentó un comportamiento ecológico adecuado y puede producir un rendimiento considerable de biomasa.	Santos, Abreu y Macías 2019
-Biocarbón de estiércol de cerdo y residuos sólidos urbanos	30 g C kg ⁻¹	Adsorbe contaminantes del suelo debido a su estructura microporosa	El uso de biocarbón y residuos de mármol redujo la movilidad de los metales (loides) debido al aumento del pH.	Moreno-Barriga et al. 2017
-Carbón orgánico	20 g C kg ⁻¹	Alta capacidad de intercambio catiónico.		
-Residuos de mármol	50 g kg ⁻¹	Aumenta el pH e inmoviliza metales		
-Cenizas de residuos sólidos urbanos	80-70-60%	Adsorbe contaminantes	Los tecnosoles mejoraron las tasas de evapotranspiración de los montones de relaves de potasa.	Bilibio et al. 2020
-Residuos de combustión de carbón	20-30-30%	Aporta minerales y tiene capacidad de sorción		
-Arena	10%	Aireación y drenaje		
-Lana de roca	24 o 48 mg ha ⁻¹	Porosidad y aireación	El estudio demostró que la lana de roca de posproducción de invernadero y el polvo de lignito se puede utilizar para la recuperación de la post-minería.	Kołodziej, Bryk y Otremba 2020
-Polvo de lignito	1000 mg ha ⁻¹			

-Sedimentos del fondo	180 g / kg	Presentan una alta carga de sal	Los tecnosoles a base de sedimentos podrían ser valorizados para cultivar plantas con agua salina	Cortinhas et al. 2020
-Residuos orgánicos	100 g / kg	Mejorar la fertilidad y estructura del suelo		
-Concreto Triturado	70%	Previene la compactación	Gracias a la mezcla de estos 3 componentes, se obtuvieron buenos resultados tanto de supervivencia y crecimiento de las plantas.	Pruvost et al. 2020
-Compost de Residuos Verdes	10%	Fuente principal de materia orgánica		
-Horizontes Profundos Excavados	20%	Brinda soporte a las plantas		
-Vermiculita	1cm	Aporta minerales y tiene capacidad de sorción	El desarrollo del Technosol condujo a la reducción de la migración de Ni y Cu en los ecosistemas suelo-planta debido a las propiedades de neutralización y adsorción de los desechos mineros	Slukovskaya et al. 2019
-Carbonatita serpentinita-magnesita	5 cm de profundidad			
-Residuos de fabricación de ladrillos	58%	Mejora la CIC	Es viable sustituir el suelo arable por materiales de desecho mezclados en proporciones adecuadas, para apoyar el desarrollo y la salud de las plantas.	Cannavo et al. 2018
-Compost	42%	Fuente de nutrientes y materia orgánica		

Fuente: Elaboración propia. Recopilación bibliográfica.

En la **Tabla 7** se muestran los residuos que utilizan los diferentes autores, como: los residuos mineros (bentonita, carbonatita, carbón y serpentinita-magnesita), residuos de biocarbón y residuos orgánicos, así mismo, la mayoría de los residuos utilizados fueron seleccionados por su propiedad y por su disponibilidad o accesibilidad al autor.

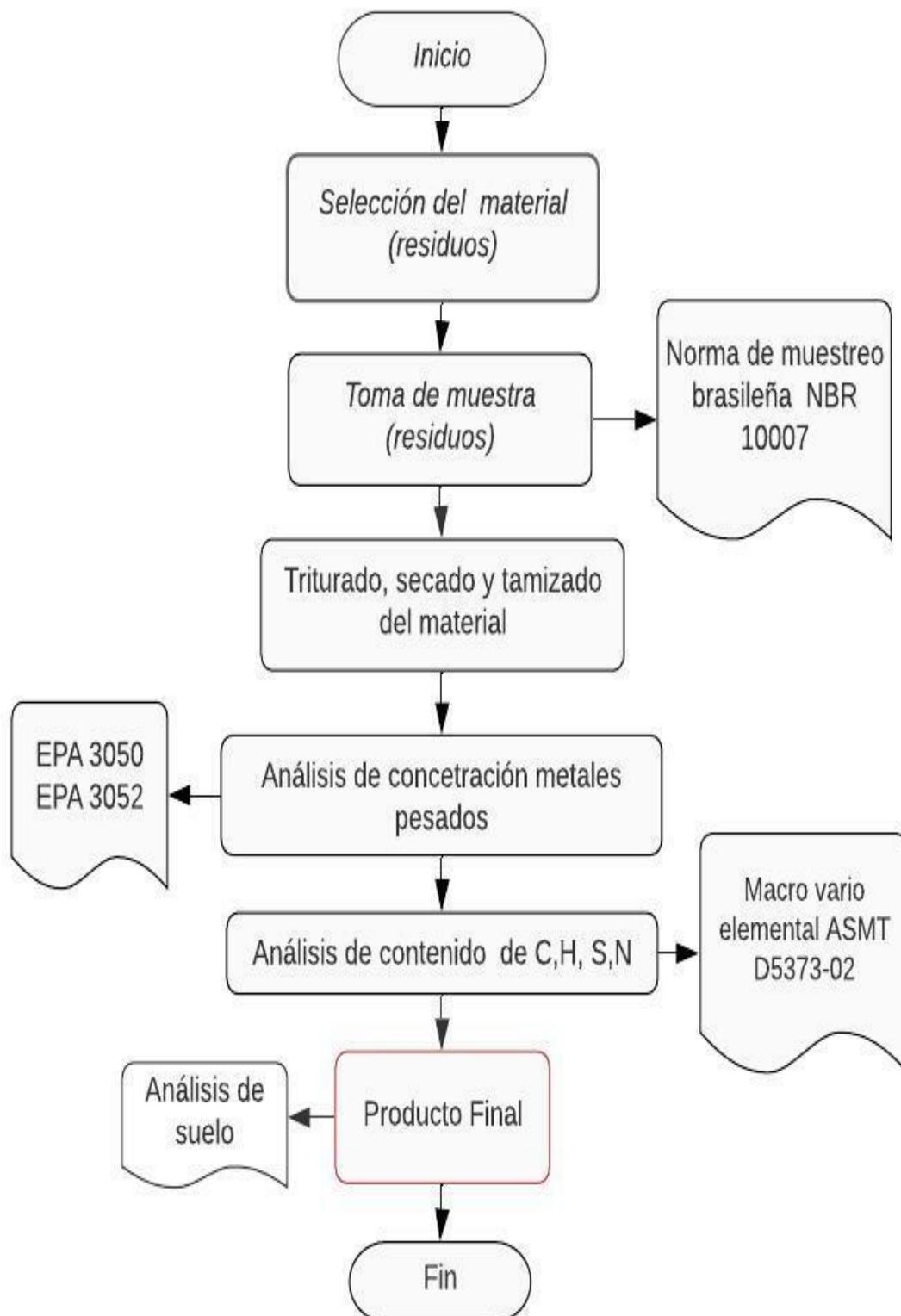
Con respecto a los residuos mineros, estos poseen la propiedad de sorción, porosidad, aireación y por su aporte de minerales en el suelo, en los que se resalta la bentonita, carbonatita y serpentinita-magnesita, además, el pH de estos componentes es considerado alcalino (7.5 a 9.2) (Asensio et al. 2019 y Slukovskaya et al. 2019), no obstante, el suelo debe tener un pH entre 6 y 7 para que exista una mayor biodisponibilidad de nutrientes (Toledo 2016).

Los residuos de carbón, son extraídos de diferentes lugares en los que se encuentran mezclados con otros residuos y que son utilizados sin un análisis previo. Ahora bien, muchos depósitos de carbón están asociados con el azufre, por ende, algunos autores utilizan un analizador para determinar el azufre (LECO SC-144DR) (Weiler, Firpo y Schneider 2020) y luego pasa por un proceso de desulfuración (Amaral et al. 2020).

Por otro lado, los Tecnosoles a base de biocarbón tienden a absorber contaminantes debido a su estructura microporosa, sin embargo, el biocarbón generalmente no contiene nutrientes para permitir el crecimiento de las plantas en el suelo (Nandillon et al. 2019), así mismo, es importante considerar dentro de la elaboración del tecnosol los residuos orgánicos, ya que, influye en el funcionamiento biológico y mejora la fertilidad del suelo (Deeb et al. 2017).

Respecto a la metodología para la elaboración del tecnosol, se realizó un diagrama de flujo basándose en 8 revisiones bibliográficas de diferentes autores.

Figura 4. Metodología para la elaboración del tecnosol



Fuente: Elaboración propia. Recopilación bibliográfica

Como se mencionó en el anterior párrafo, en la **Figura 4** se diseñó un diagrama de flujo de manera general para dar a conocer el proceso o pasos que se deben seguir para el desarrollo del tecnosol, el cual se divide en cinco fases.

Comenzando con la selección del material, luego se realiza la toma de muestra para después ejecutar un tamizado, secado y triturado del material de acuerdo como se encuentra la muestra; una vez realizado el anterior paso, cada muestra será sometida a dos tipos de análisis: Concentración de metales pesados y contenido de C, H, S, N. Finalmente, se obtendrá el tecnosol, que es la mezcla de todo los componentes o residuos, el cual se le realizará un análisis dl suelo para así tener el producto final.

Con respecto a la selección del residuo que se utilizará para la elaboración del tecnosol, este dependerá de la capacidad de sorción que posee el material, como por ejemplo, Espinoza (2014) utilizó un residuo que contiene minerales carbonatados que permiten eliminar los metales pesados, no obstante, otras investigaciones indican que la selección de residuo podría depender de la cantidad de nutrientes que posee dicho componente, como por ejemplo, Santos et al (2019) usaron desechos mineros por la cantidad de oligoelementos que contenía, ya que, el suelo necesita un pequeño porcentaje de este elemento para el crecimiento de las plantas, ya que, tendría efectos negativos como achaparramiento y marchitamiento de la planta.

Así mismo, en cuanto la toma de muestra, algunos autores se basan en la norma de muestreo brasileña NBR 10007 (Weiler et al. 2018; Firpo Beatriz et al. 2015; Firpo et al. 2020), ya que, explica la cantidad de muestra que se debe recolectar; la conservación de la muestra; además, en qué tipo de estado se podría encontrar el residuo, tal como: lodo y sólidos (puede variar polvos o granos hasta trozos grandes).

Para realizar un análisis a los componentes del tecnosol, estos deben pasar por un proceso de triturado, secado y tamizado (Firpo Beatriz et al. 2015), para poder introducirlos en el espectrofotómetro, ya que, la mayoría de los componentes se encuentran en condiciones no favorables para un análisis adecuado. Así mismo, es importante considerar el secado, debido que, en el momento de obtener la

muestra, este tiende a sudar, lo cual puede afectar la composición gaseosa y química (Mendoza y Espinoza 2017).

Por último, algunos autores realizaron dos tipos de análisis a la muestra (residuo) tal como: concentraciones metales pesados y contenido de C, H, S, N cada uno de estos análisis se basaron en las guías como: EPA 3050 y 3052; así mismo, se debe recalcar que este proceso se realizó antes de obtener la mezcla del tecnosol (Firpo et al. 2020), no obstante, Amaral et al. (2020) indica que para tener mayor información sobre las características del residuo utilizado en la elaboración del tecnosol se debe realizar un análisis de contenido de azufre y fosfato.

En la siguiente tabla, se identifican los indicadores que demuestran la efectividad del tecnosol.

Tabla 8. Indicadores que se utilizan para la efectividad del tecnosol.

Tecnosol	Especies vegetales y organismos	Indicadores					Referencias
		pH	C.E ds/m	N mg/kg	P mg/kg	K mg/kg	
Residuos orgánicos	➤ Crecimiento vegetal (Lolium perenne)						Deeb et,al 2017
	➤ Desarrollo de comunidades microbianas (Aporrectodea caliginosa)	8,1	-	0.3	-	-	
Residuos de carbón	➤ Crecimiento vegetal (Medicago sativa)	6.4	-	-	80	51	Firpo et al. 2020
Residuos de gossan	➤ Crecimiento de Cistus Ladanifer	5.8	1.99	388.2	78.1	76.8	Santos, Abreu y Macías 2019
	➤ Actividades enzimática						

Residuos de biocarbón	➤ Crecimiento vegetal (P. miliaceum)	7.76	4.21	1,02	-	-	Moreno-Barriga et al. 2017
	➤ Aumento de microorganismos						
Sedimentos	➤ Crecimiento vegetal (L. algarvense)	6.68	0.9	-	0.17	0.34	Cortinhas et al. 2020
Residuos industriales	➤ Crecimiento vegetal (Acer platanoides L)	4,07	1.55	0.23	0.02	1.43	Santos et al. 2014
Residuos de carbón	➤ Crecimiento vegetal (teff Eragrotis)	7.3	-	-	0.1	96	Amaral et al. 2019
Residuo Industrial	➤ Crecimiento vegetal	7.5	-	507	-	-	Colombi et al. 2020

Fuente: Elaboración propia. Recopilación bibliográfica

Como se visualiza en la **Tabla 8**, existen diferentes indicadores que comprueban la efectividad del tecnosol, como: el crecimiento vegetal, los organismos y los indicadores químicos.

La mayoría de los autores utilizan como complemento de su investigación especies vegetales y organismos para verificar que su trabajo es eficiente, así mismo, identifican el crecimiento de las diferentes especies (Asensio et.al 2019, Moreno-Barriga et al. 2017), sin embargo, la coloración de sus hojas también indican los nutrientes que necesita el suelo, como por ejemplo: si las hojas tienen manchas amarillas, quiere decir, que es deficiente en fósforo, también, si las hojas tienen pequeños agujeros, indica deficiencia de potasio (Sadeghian 2017).

Con respecto a los organismos, la lombriz de tierra se alimenta de materia orgánica y minerales que permite crear enlaces organominerales que originalmente no tiene el tecnosol (Deeb et al. 2017), no obstante, el cambio de uso de tierra y los factores de degradación del suelo generan un impacto en las

comunidades, así mismo, las propiedades químicas influyen en estos organismos (Kooch et al. 2021).

Por otro lado, los indicadores químicos que se consideró en la **Tabla 8** son: pH, C.E y los micronutrientes (N P K). Con respecto al pH, se visualiza en la tabla un rango de 5.8 a 7.76, esto indica que se encuentran dentro del parámetro ($\text{pH} < 5.6$) de la norma ISO 103900, no obstante, el pH de cada tecnosol, varía dependiendo a los residuos que se utilizaran para su elaboración, por lo que, si el material base es un biocarbón (Moreno Barriga et al 2017) se obtuvo un pH (7.76) porque según Paz-Ferreiro et al. (2014) indica que es un residuo altamente alcalino. Por lo contrario, Santos, Abreu y Macías (2019) tuvieron un pH (5.8), debido que, trabajaron con desechos mineros, compuestos principalmente de gossan, esto quiere decir que son ligeramente ácidos a básicos.

V. CONCLUSIONES

En el presente trabajo de investigación se identificó los residuos que se utilizan para la elaboración del tecnosol, como los residuos mineros (bentonita, carbonatita, carbón y serpentinita-magnesita), residuos de biocarbón y residuos orgánicos, así mismo, la mayoría de los residuos que han sido seleccionados son por su propiedad de sorción, porosidad, aireación, por su aporte de nutrientes y de minerales, que son fundamentales para el crecimiento de las especies (planta u organismos) a utilizar.

Se describió la metodología para la elaboración del tecnosol, la cual consta básicamente de 5 etapas, comenzando con la selección del residuo, recolección del desecho, triturado, secado, tamizado para cada uno de los residuos para la elaboración del tecnosol, luego, se realiza un análisis de concentración de metales y contenido de C, H, S, N. Sin embargo, otros autores indican que se pueden realizar otros análisis para tener datos más detallados de los residuos como: el contenido de fósforo y azufre.

Finalmente, se identificó los indicadores biológicos y químicos la cual se evidenciaría la efectividad del tecnosol, se debe mencionar que la mayoría de los autores manifiestan que utilizaron especies arbóreas, lombriz de tierra y análisis químicos para identificar los valores de pH, C.E y los micronutrientes (N P K) en sus investigaciones.

VI. RECOMENDACIONES

Considerando la calidad de la investigación y en función a los objetivos se recomienda a los futuros investigadores lo siguiente:

Se recomienda investigar a mayor profundidad los residuos aptos que se pueden utilizar en la elaboración del tecnosol, así mismo, se sugiere buscar normativas que estén relacionadas a los tecnosoles, ya que, el Perú no cuenta con una normativa establecida para los residuos que se pueden utilizar, sin embargo, los autores utilizados en la presente investigación usaron normativas, debido a que la mayoría son artículos internacionales.

Se recomienda realizar un análisis más detallado en la etapa de triturado, secado y tamizado del material, ya que, se notó una deficiencia en cuanto a los datos encontrados en las distintas investigaciones para realizar estos procesos.

Para otros investigadores interesados en el presente tema, realizar una comparación entre tecnosoles, ya que, algunos autores utilizan los mismo o similares residuos para la elaboración, además, considerar los indicadores que se emplea para verificar la efectividad del tecnosol.

REFERENCIAS

- AHIRWAL, J. y MAITI, S.K., 2018. Development of Technosol properties and recovery of carbon stock after 16 years of revegetation on coal mine degraded lands, India. *CATENA*, vol. 166, pp. 114-123. ISSN 0341-8162. DOI 10.1016/j.catena.2018.03.026.
- ALEGRE, J., SÁNCHEZ, Y., PIZARRO, D. y GÓMEZ, C., 2019. Manejo de los suelos con sistemas silvopastoriles en las regiones de Amazonas Y San Martín. Perú: La Universidad Nacional Agraria La Molina, no. 500. pp.25 ISSN 9786124387258
- ALEXANDER, A.C., LUIKER, E., FINLEY, M. y CULP, J.M., 2016. *Mesocosm and Field Toxicity Testing in the Marine Context* [en línea]. S.l.: Elsevier Inc. ISBN 9780128033715. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/B978-0-12-803371-5.00008-4>.
- ÁLVAREZ, C.R. y RIMSKI-KORSOKOV, H., 2016. Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos. *Manejo de la fertilidad del suelo en planteos orgánicos*, pp. 47-49.
- AMARAL FILHO, J.R., FIRPO, B.A., BROADHURST, J.L. y HARRISON, S.T.L., 2020. On the feasibility of South African coal waste for production of 'FabSoil', a Technosol. *Minerals Engineering* [en línea], vol. 146, no. August 2018, pp. 106059. ISSN 08926875. DOI 10.1016/j.mineng.2019.106059. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106059>.
- AMARO AROCHE, E.J., MÁRQUEZ REINA, E., LLANES HERNÁNDEZ, J.M., y AVANCES, 2019. Diagnóstico inicial de la evolución de un suelo degradado. *Avances*, ISSN 1562-3297, Vol. 21, No. 1, 2019, pags. 129-138 [en línea], [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edsbas&AN=edsbas.8EC5E942&lang=es&site=eds-live>.
- ASENSIO, V., FLÓRIDO, F.G., RUIZ, F., PERLATTI, F., OTERO, X.L., OLIVEIRA, D.P. y FERREIRA, T.O., 2019. The potential of a Technosol and tropical native trees for reclamation of copper-polluted soils. *Chemosphere*, vol. 220, pp. 892-899. ISSN 18791298. DOI 10.1016/j.chemosphere.2018.12.190.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2004. NBR 10007
- AZUERO, Á.E.A., 2019. Significatividad del marco metodológico en el desarrollo de proyectos de investigación. *Revista Arbitrada Interdisciplinaria Koinonía*, vol. 4, no. 8 (Julio-Diciembre), pp. 110-127. ISSN 2542-3088.
- BARREDO, O., VILELA, J., GARBISU, C., BESGA, G., ALKORTA, I. y EPELDE, L., 2020. Technosols made from urban and industrial wastes are a good option for the reclamation of abandoned city plots. *Geoderma* [en línea], vol. 377, no. June, pp. 114563. ISSN 00167061. DOI

10.1016/j.geoderma.2020.114563. Disponible en:
<https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2020.114563>.

BARTON, S.N., 2016. *Industrial Waste: Management, Assessment and Environmental Issues* [en línea]. Hauppauge, New York: Nova Science Publishers, Inc. [Consulta: 26 abril 2021]. Waste and Waste Management. ISBN 978-1-63485-600-3. Disponible en:
<http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=nlebk&AN=1356703&lang=es&site=eds-live>.

BENITES, J. y BOT, A., 2013. Agricultura de conservación. Una práctica innovadora con beneficios económicos y medioambientales. , pp. 1-344. Disponible en:
<https://centroderecursos.cultura.pe/es/registrobibliografico/agricultura-de-conservaci%C3%B3n-una-pr%C3%A1ctica-innovadora-con-beneficios-econ%C3%B3micos>

BILIBIO, C., RETZ, S., SCHELLERT, C. y HENSEL, O., 2021. Drainage properties of technosols made of municipal solid waste incineration bottom ash and coal combustion residues on potash-tailings piles: A lysimeter study. *Journal of Cleaner Production*, vol. 279, pp. 123442. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2020.123442.

BOLAÑOS DR, ROMERO N, MACÍAS-GARCÍA F, ET AL., 2015. Recuperación de la mina de Touro con aplicación de Tecnosoles y humedales reactivos. In *Proceedings XX Congreso Latinoamericano/XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo*. https://www.researchgate.net/publication/274314476_RECUPERACION_DE_LA_MINA_DE_TOURO_CON_APLICACION_DE_TECNOSOLES_Y_HUMEDALES_REACTIVOS

BURBANO-ORJUELA, H., 2016. El suelo y su relación con los servicios ecosistémicos y la seguridad alimentaria. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 33, no. 2, pp. 117-124. ISSN 0120-0135. DOI 10.22267/rcia.163302.58

CANNAVO, P., GUÉNON, R., GALOPIN, G. y VIDAL-BEAUDET, L., 2018. Technosols made with various urban wastes showed contrasted performance for tree development during a 3-year experiment. *Environmental Earth Sciences* [en línea], vol. 77, no. 18, pp. 0. ISSN 18666299. DOI 10.1007/s12665-018-7848-x. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1007/s12665-018-7848-x>.

CAPASSO, I., LIRER, S., FLORA, A., FERONE, C., CIOFFI, R., CAPUTO, D. y LIGUORI, B., 2019. Reuse of mining waste as aggregates in fly ash-based geopolymers. *Journal of Cleaner Production*, vol. 220, pp. 65-73. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2019.02.164.

CASTILLO, EDELMIRA; VÁSQUEZ, M. L., 2003. El rigor metodológico en la investigación cualitativa. *Colômbia Médica*, 2003. n. 34. pp.164-167. ISSN: 0120-8322,164–167. Disponible: <http://hdl.handle.net/11592/7268>

- CHICA-OSORIO, L.M. y BELTRÁN-MONTOYA, J.M., 2018. Demolition and construction waste characterization for potential reuse identification. *DYNA* (Colombia), vol. 85, no. 206, pp. 338-347. DOI 10.15446/dyna.v85n206.68824. Scopus
- COLOMBINI, G., AUCLERC, A. y WATTEAU, F., 2020. Techno-moder: A proposal for a new morpho-functional humus form developing on Technosols revealed by micromorphology. *Geoderma*, vol. 375, pp. 114526. ISSN 0016-7061. DOI 10.1016/j.geoderma.2020.114526.
- CORTINHAS, A., CAPERTA, A.D., TEIXEIRA, G., CARVALHO, L. y ABREU, M.M., 2020. Harnessing sediments of coastal aquaculture ponds through technosols construction for halophyte cultivation using saline water irrigation. *Journal of Environmental Management* [en línea], vol. 261, no. March 2019, pp. 109907. ISSN 10958630. DOI 10.1016/j.jenvman.2019.109907. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109907>.
- COUREL, G., 2019. *Guía de estudio. Suelos Salinos y Sódicos* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9788578110796. Disponible en: file:///C:/Users/User/Downloads/Suelos Salinos y sódicos 2019 (2).pdf.
- DING, S., ZHOU, D., WEI, H., WU, S. y XIE, B., 2021. Alleviating soil degradation caused by watermelon continuous cropping obstacle: Application of urban waste compost. *Chemosphere*, vol. 262, pp. 128387. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.128387.
- DEEB, M., DESJARDINS, T., PODWOJEWSKI, P., PANDO, A., BLOUIN, M. y LERCH, T.Z., 2017. Interactive effects of compost, plants and earthworms on the aggregations of constructed Technosols. *Geoderma* [en línea], vol. 305, no. February, pp. 305-313. ISSN 00167061. DOI 10.1016/j.geoderma.2017.06.014. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.06.014>.
- El Peruano—Decreto Supremo que modifica el Reglamento para la Gestión y Manejo de los Residuos de las Actividades de la Construcción y Demolición, aprobado por Decreto Supremo N° 003-2013-VIVIENDA - DECRETO SUPREMO - N° 019-2016-VIVIENDA - PODER EJECUTIVO - VIVIENDA, CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO, 2020. Recuperado: [https://cc.bingj.com/cache.aspx?q=DECRETO+Supremo+019-2016 VIVIENDA+&d=4782742499956675&mkt=es-XL&setlang=es-ES&w=MpDs89XilkF-8ObLO-PxDJtVyqta-r1u](https://cc.bingj.com/cache.aspx?q=DECRETO+Supremo+019-2016+VIVIENDA+&d=4782742499956675&mkt=es-XL&setlang=es-ES&w=MpDs89XilkF-8ObLO-PxDJtVyqta-r1u)
- ENCINA ROJAS, A. y IBARRA, J., 2003. La degradación del suelo y sus efectos sobre la población. *Población y Desarrollo*, no. 25, pp. 5-10. ISSN 2076-054X.
- ESPINOZA, M. y DANIEL, J., 2018. Análisis comparativo de uso de tecnosol y top soil para la estabilidad física del depósito de material inadecuado (DMI) turmalina en la unidad minera La Zanja. En: Accepted: 2018-11-24T02:40:41Z, *Universidad Privada del Norte* [en línea], [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14190>.

- ESPINOSA, V.P., 2014. Inmovilización de elementos potencialmente tóxicos en zonas mineras abandonadas mediante la construcción de tecnosoles y barreras reactivas permeables [en línea]. <http://purl.org/dc/dcmitype/Text>. S.l.: Universidad de Murcia. [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <s://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=97090>.
- ESPINOSA RAMÍREZ, M., ANDRADE LIMAS, E., RIVERA ORTIZ, P. y ROMERO DÍAZ, M., 2011. Degradación de suelos por actividades antrópicas en el norte de Tamaulipas, México. *Papeles de geografía*, no. 53, pp. 77-88. ISSN 1989-4627.
- ESTRADA-HERRERA, I.R., HIDALGO-MORENO, C., GUZMÁN-PLAZOLA, R., ALMARAZ SUÁREZ, J.J., NAVARRO-GARZA, H. y ETCHEVERS-BARRA, J.D., 2017. Soil quality indicators to evaluate soil fertility. *Agrociencia*, vol. 51, no. 8, pp. 813-831. ISSN 14053195.
- FAO, 2015. World reference base for soil resources 2014: international soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. Rome: FAO. ISBN 9789251083697
- FAO, 2016. Base referencial mundial del recurso suelo 2014. Sistema internacional de clasificación de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. S.l.: s.n. ISBN FHWA-IF-02-034.
- FEIJÓ DE ALMEIDA, G.G., ESPINDOLA DA SILVEIRA, R.C. y ENGEL, V., 2020. Coleta E Reciclagem de Resíduos Sólidos Urbanos: Contribuição Ao Debate Da Sustentabilidade Ambiental. *COLLECTION AND RECYCLING OF SOLID URBAN WASTE: CONTRIBUTION TO DEBATE AMBIENTAL SUSTENTABILITY.*, vol. 12, no. 2, pp. 289-310. ISSN 21755825. DOI 10.24023/FutureJournal/2175-5825/2020.v12i2.445.
- FIRPO, B.A., AMARAL FILHO, J.R. do y SCHNEIDER, I.A.H., 2015. A brief procedure to fabricate soils from coal mine wastes based on mineral processing, agricultural, and environmental concepts. *Minerals Engineering*, vol. 76, pp. 81-86. ISSN 0892-6875. DOI 10.1016/j.mineng.2014.11.005.
- FIRPO, B.A., WEILER, J. y SCHNEIDER, I.A.H., 2020. Technosol made from coal waste as a strategy to grow plants and protect environment. *Energy Geoscience* [en línea], [Consulta: 5 octubre 2020]. ISSN 2666-7592. DOI 10.1016/j.engeos.2020.09.006. Disponible en: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2666759220300676>.
- FORJÁN, R., RODRÍGUEZ-VILA, A. y COVELO, E.F., 2019. Increasing the Nutrient Content in a Mine Soil through the Application of Technosol and Biochar and Grown with Brassica juncea L. *Waste and Biomass Valorization*, vol. 10, no. 1, pp. 103-119. DOI 10.1007/s12649-017-0027-6. Scopus
- FORJÁN, R., RODRÍGUEZ-VILA, A., CERQUEIRA, B. y COVELO, E.F., 2018. Comparison of compost with biochar versus technosol with biochar in the reduction of metal pore water concentrations in a mine soil. *Journal of*

Geochemical Exploration, vol. 192, pp. 103-111. ISSN 0375-6742. DOI 10.1016/j.gexplo.2018.06.007.

GONZÁLEZ-BARRIOS, J.L., GONZÁLEZ-CERVANTES, G. y CHÁVEZ-RAMÍREZ, E., 2012. Porosidad del suelo en tres superficies típicas de la cuenca alta del río Nazas. *Tecnología y Ciencias del Agua*, vol. 3, no. 1, pp. 21-32. ISSN 20072422.

HERRÁN FERNÁNDEZ, Á., LACALLE, R. G., ITURRITXA VÉLEZ DEL BURGO, M. J., MARTÍNEZ AZKUENAGA, M., & VILELA LOZANO, J. 2016. *Primeiros resultados da produção de Tecnosolos a partir de resíduos urbanos em Vitoria-Gasteiz (Espanha)*. *Spanish Journal of Soil Science*, 6(1), 64–81. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2016.V6.N1.06>

HOWARD, J.L., 2020. Urban anthropogenic soils—A review [en línea]. 1. S.I.: Elsevier Inc. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/bs.agron.2020.08.001>.

HUOT, H., SIMONNOT, M.-O. y MOREL, J.L., 2015. Pedogenetic Trends in Soils Formed in Technogenic Parent Materials. *Soil Science*, vol. 180, no. 4/5, pp. 182-192. ISSN 0038-075X. DOI 10.1097/SS.000000000000135.

KOŁODZIEJ, B., BRY, M. y OTREMBA, K., 2020. Effect of rockwool and lignite dust on physical state of rehabilitated post-mining soil. *Soil and Tillage Research*, vol. 199, pp. 104603. ISSN 0167-1987. DOI 10.1016/j.still.2020.104603.

KOOCH, Y., GHORBANZADEH, N., WIRTH, S., NOVARA, A. y SHAH PIRI, A., 2021. Soil functional indicators in a mountain forest-rangeland mosaic of northern Iran. *Ecological Indicators* [en línea], vol. 126, no. July 2020, pp. 107672. ISSN 1470160X. DOI 10.1016/j.ecolind.2021.107672. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107672>.

LÉVANO, S. y CECILIA, A., 2007. Investigación cualitativa: diseños, evaluación del rigor metodológico y retos. *Liberabit*, vol. 13, no. 13, pp. 71-78. ISSN 1729-4827.

LU, Q., ZHANG, J. y CHEN, L., 2020. Impact of monoculture of poplar on rhizosphere microbial communities over time. *Pedosphere*, vol. 30, no. 4, pp. 487-495. ISSN 1002-0160. DOI 10.1016/S1002-0160(17)60416-8.

MA, X., ASANO, M., TAMURA, K., ZHAO, R., NAKATSUKA, H., WUYUNNA y WANG, T., 2020. Physicochemical properties and micromorphology of degraded alpine meadow soils in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau. *CATENA*, vol. 194, pp. 104649. ISSN 0341-8162. DOI 10.1016/j.catena.2020.104649.

MENDOZA, R. y ESPINOZA, A., 2017. Guía Técnica para muestreo de suelos. *Universidad Nacional Agraria* [en línea], pp. 1-56. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/151729876.pdf> <http://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>.

- MINISTERIO DEL AMBIENTE, 2015. Instrumentos Básicos. PARA LA FISCALIZACIÓN AMBIENTAL. Organismo de Evaluación Fiscalización Ambiental, 29. https://www.oefa.gob.pe/?wpfb_dl=13978
- MINISTERIO de Agricultura, 2011. Manejo y fertilidad de suelos. Cadena agroproductiva de papa. *Guía Técnica Orientada al Productor*, 5–30. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- MINISTERIO DEL AMBIENTE Y ENERGÍA, & SISTEMA NACIONAL DE ÁREA DE CONSERVACIÓN. (2016). Guía para Plan de Manejo de Residuos Sólidos y Aguas Residuales. <https://costaricaporsiempre.org/portfolio/guia-para-plan-de-manejo-de-residuos-solidos-y-aguas-residuales-2/>
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, 2011. Manejo y fertilidad de suelos. Cadena agroproductiva de papa. *Guía Técnica Orientada al Productor*, 5–30. <http://agroaldia.minag.gob.pe/biblioteca/download/pdf/manuales-boletines/papa/manejoyfertilidaddesuelos.pdf>
- MONCADA, 2018. Análisis comparativo de uso de tecnosol y top soil para la estabilidad física del depósito de material inadecuado (DMI) turmalina en la unidad minera La Zanja. En: Accepted: 2018-11-24T02:40:41Z, *Universidad Privada del Norte* [en línea], [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.upn.edu.pe/handle/11537/14190>.
- MONTIEL, K. y IBRAHIM, M., 2016. Manejo integrado de suelos para una agricultura resiliente al cambio climático. Sistematización del ciclo de foros virtuales. Año Internacional de los Suelos (AIS) 2015 [en línea], pp. 29. Disponible en: <http://repiica.iica.int/docs/B3982E/B3982E.PDF>.
- MORENO-BARRIGA, F., DÍAZ, V., ACOSTA, J.A., MUÑOZ, M.Á., FAZ, Á. y ZORNOZA, R., 2017. Organic matter dynamics, soil aggregation and microbial biomass and activity in Technosols created with metalliferous mine residues, biochar and marble waste. *Geoderma*, vol. 301, pp. 19-29. ISSN 0016-7061. DOI 10.1016/j.geoderma.2017.04.017.
- MORUGÁN-CORONADO, A., SORIANO-DISLA, M., MORENO-BARRIGA, F., LINARES, C., FAZ, Á., GARCÍA-ORENES, F., GÓMEZ-LÓPEZ, M.D. y ZORNOZA, R., 2021. Use of *Piptatherum miliaceum* to enable the establishment success of *Salvia rosmarinus* in Technosols developed from pyritic tailings. *Chemosphere* [en línea], vol. 267. [Consulta: 6 mayo 2021]. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2020.129281. **Disponible en:** <http://search.ebscohost.com/login.aspx?direct=true&db=edselp&AN=S0045653520334780&lang=es&site=eds-live>.
- NANDILLON, R., LAHWEGUE, O., MIARD, F., LEBRUN, M., GAILLARD, M., SABATIER, S., BATTAGLIA-BRUNET, F., MORABITO, D. y BOURGERIE, S., 2019. Potential use of biochar, compost and iron grit associated with *Trifolium repens* to stabilize Pb and As on a multi-contaminated technosol.

Ecotoxicology and Environmental Safety [en línea], vol. 182, no. July, pp. 109432. ISSN 10902414. DOI 10.1016/j.ecoenv.2019.109432. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2019.109432>.

PACTWA, K., WOŹNIAK, J. y DUDEK, M., 2020. Coal mining waste in Poland in reference to circular economy principles. *Fuel*, vol. 270, pp. 117493. ISSN 0016-2361. DOI 10.1016/j.fuel.2020.117493

PRUVOST, C., MATHIEU, J., NUNAN, N., GIGON, A., PANDO, A., LERCH, T.Z. y BLOUIN, M., 2020. Tree growth and macrofauna colonization in Technosols constructed from recycled urban wastes. *Ecological Engineering* [en línea], vol. 153, no. May, pp. 105886. ISSN 09258574. DOI 10.1016/j.ecoleng.2020.105886. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2020.105886>.

ROCHA, C.M., 2015. Metodología de la investigación. S.I.: Oxford University Press. ISBN 978-607-426-542-2.

ROMÁN RODAS, E., 2017. Análisis del Comportamiento de los Materiales Reciclados de Escombros para Sub-base en Pavimentos Flexibles en la Av. Nazca, SJL, Lima. En: Accepted: 2018-10-31T14:24:44Z, Universidad César Vallejo [en línea], [Consulta: 13 mayo 2021]. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/22392>.

RUIZ, F., CHERUBIN, M. R., & FERREIRA, T. O, 2020. Soil quality assessment of constructed Technosols: Towards the validation of a promising strategy for land reclamation, waste management and the recovery of soil functions. *Journal of Environmental Management*, 276, 111344. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2020.111344>

SADEGHIAN, S., 2017. Síntomas visuales de deficiencias nutricionales en café. *Cenicafe* [en línea], no. Tabla 1, pp. 12. Disponible en: www.cenicafe.org.

SANTINI, T.C. y FEY, M. V., 2016. Assessment of Technosol formation and in situ remediation in capped alkaline tailings. *Catena* [en línea], vol. 136, pp. 17-29. ISSN 03418162. DOI 10.1016/j.catena.2015.08.006. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2015.08.006>.

SANTOS, E.S., ABREU, M.M. y MACÍAS, F., 2019. Rehabilitation of mining areas through integrated biotechnological approach: Technosols derived from organic/inorganic wastes and autochthonous plant development. *Chemosphere*, vol. 224, pp. 765-775. ISSN 0045-6535. DOI 10.1016/j.chemosphere.2019.02.17

SANTOS, E.S., ABREU, M.M., MACÍAS, F. y DE VARENNES, A., 2016. Chemical quality of leachates and enzymatic activities in Technosols with gossan and sulfide wastes from the São Domingos mine. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 147, no. 4, pp. 173-181. ISSN 1614-7480. DOI 10.1007/s11368-015-1068-8.

- SANTOS, E.S., ABREU, M.M., MACÍAS, F. y DE VARENNES, A., 2014. Improvement of chemical and biological properties of gossan mine wastes following application of amendments and growth of *Cistus ladanifer* L. *Journal of Soils and Sediments*, vol. 16, no. 4, pp. 1366-1382. ISSN 0375-6742. DOI <https://doi.org/10.1016/j.gexplo.2014.07.007>.
- SÁNCHEZ, P., 2016. Manejo de la materia orgánica para la producción sostenible. Instituto Interamericano de cooperación para la Agricultura, pp. 8-9.
- SILLA, 2015. Síntesis de la evolución del conocimiento en Edafología. *Eubacteria*. 1697-0454, Vol. 21, No. 34 [en línea], [Consulta: 12 mayo 2021]. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5370380>
- SINAC. 2016. Guía metodológica para la elaboración del plan de manejo de residuos sólidos y aguas residuales para las áreas silvestres de Costa Rica. San José, Costa Rica. pp.44 ISBN: 9789977501284
- SLUKOVSKAYA, M.V., VASENEV, V.I., IVASHCHENKO, K.V., MOREV, D.V., DROGOBUZHSKAYA, S.V., IVANOVA, L.A. y KREMENETSKAYA, I.P., 2019. Technosols on mining wastes in the subarctic: Efficiency of remediation under Cu-Ni atmospheric pollution. *International Soil and Water Conservation Research*, vol. 7, no. 3, pp. 297-307. ISSN 2095-6339. DOI 10.1016/j.iswcr.2019.04.002.
- TENA, E. del M. y HERNÁNDEZ, A.J., 2014. *Nuestro Medio Ambiente* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789993424987. Disponible en: http://limpialauis.wordpress.com/%0Ahttp://209.177.156.169/libreria_cm/archivos/pdf_697.pdf.
- TOLEDO, M., 2016. *Manejo de suelos ácidos de las zonas altas de Honduras* [en línea]. S.l.: s.n. ISBN 9789292486631. Disponible en: <http://repositorio.iica.int/bitstream/handle/11324/3108/BVE17069071e.pdf;jsessionid=68AA33758D465CDA44B4E285E7A2D031?sequence=1>.
- U.S. EPA. 1996. "Method 3050B: Acid Digestion of Sediments, Sludges, and Soils," Revision 2. Washington, DC.
- UZAROWICZ, Ł., WOLIŃSKA, A., BŁOŃSKA, E., SZAFRANEK-NAKONIECZNA, A., KUŹNIAR, A., SŁODCZYK, Z. y KWASOWSKI, W., 2020. Technogenic soils (Technosols) developed from mine spoils containing Fe sulphides: Microbiological activity as an indicator of soil development following land reclamation. *Applied Soil Ecology*, vol. 156, pp. 103699. ISSN 0929-1393. DOI 10.1016/j.apsoil.2020.103699.
- VANDERHORST, R. 2018. Technosol evaluation for mine site reclamation in the Boreal Shield. Tesis (Maestría en Ciencia y Biología). Canada: Universidad Laurentian. 209 pp. Vistoso G., Erika y Martínez L., Josué (2019) *Propiedades físicas del suelo* [en línea]. Osorno: Ficha Técnica INIA Remehue. no. 14. Disponible

en: <https://biblioteca.inia.cl/handle/123456789/66895> (Consultado: 14 mayo 2021).

VELIZ, A, 2007. *Cómo hacer y defender una tesis*. 7. Ed. Venezuela: Editorial texto, c. a. ISBN: 980-12-08902

WATTEAU, F., JANGORZO, N.S., SCHWARTZ, C., WATTEAU, F., JANGORZO, N.S. y SCHWARTZ, C., 2019. A micromorphological analysis for quantifying structure descriptors in a young constructed technosol. *Boletín de la Sociedad Geológica Mexicana*, vol. 71, no. 1, pp. 11-20. ISSN 1405-3322. DOI 10.18268/bsgm2019v71n1a2.

WATTEAU, F., HUOT, H., SÉRÉ, G., BEGIN, J.C., REES, F., SCHWARTZ, C. y MOREL, J.L., 2018. Micropedology to reveal pedogenetic processes in Technosols. *Spanish Journal of Soil Science: SJSS*, vol. 8, no. 2, pp. 148-163. ISSN 2253-6574.

WEILER, J., FIRPO, B.A. y SCHNEIDER, I.A.H., 2018. Coal waste derived soil-like substrate: An opportunity for coal waste in a sustainable mineral scenario. *Journal of Cleaner Production*, vol. 174, pp. 739-745. ISSN 0959-6526. DOI 10.1016/j.jclepro.2017.10.341.

WEILER, J., FIRPO, B.A. y SCHNEIDER, I.A.H., 2020. Technosol as an integrated management tool for turning urban and coal mining waste into a resource. *Minerals Engineering* [en línea], vol. 147, no. December 2019, pp. 106179. ISSN 08926875. DOI 10.1016/j.mineng.2019.106179. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.mineng.2019.106179>.

ANEXOS

Anexo 1. Ficha de recolección de datos

FICHA DE RECOLECCIÓN DE DATOS	
Autor (es)	
Fecha de publicación	
Objetivos	
Metodología	
Resultados	Conclusiones
Observación personales e interpretación	

Anexo 2. Codificación de investigaciones recopiladas

Código	Título	Autor y Año	Tipo Material
INV01	Impact of monoculture of poplar on rhizosphere microbial communities over time	Lu et al,2020	Artículo científico
INV02	Manejo de los suelos con sistemas silvopastoriles en las regiones Amazónicas y San Martín	Alegre et al, 2019	Artículo científico
INV03	Physicochemical properties and micromorphology of degraded alpine meadow soils in the Eastern Qinghai-Tibet Plateau	Ma et al,2020	Artículo científico
INV04	Chemical quality of leachates and enzymatic activities in Technosols with gossan and sulfide wastes from the São Domingos mine	Santos et al,2016	Artículo científico
INV05	Technogenic soils (Technosols) developed from mine spoils containing Fe sulphides: Microbiological activity as an indicator of soil development following land reclamation	Uzarowicz et al,2020	Artículo científico
INV06	Technosols made from urban and industrial wastes are a good option for the reclamation of abandoned city plots	Barredo et al,2020	Artículo científico
INV07	Micropedology to reveal pedogenetic processes in Technosols	Watteau et al,2018	Artículo científico
INV08	Development of Technosol properties and recovery of carbon stock after 16 years of revegetation on coal mine degraded lands, India	Ahirwal & Maiti,2018	Artículo científico
INV9	Assessment of Technosol formation and in situ remediation	Santini y fey,2016	Artículo científico

	in capped alkaline tailings		
INV10	Mutielemental concentration and physiological responses of <i>Lavandula pedunculata</i> growing in soils developed on different mine wastes	Santos et al,2016	Artículo científico