



FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería de Minas

“APLICACIÓN DE TECNOSOLES PARA EL
CIERRE DE MINAS DE LA UNIDAD MINERA
COLQUIRRUMI, HUALGAYOC - CAJAMARCA
2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero de Minas

Autor:

Jherson Rogger Vasquez Alva

Asesor:

Mg. Ing. Oscar Arturo Vásquez Mendoza

Cajamarca - Perú

2021

DEDICATORIA

A mi madre, por su amor, trabajo, sacrificio y apoyo incondicional en todos estos años. Es para mí un orgullo ser su hijo, eres la mejor madre.

Rogger Vásquez

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi madre: Luz Marina Alva Tirado, por confiar y creer en mí en todo momento, por ser mi pilar fundamental pese a las adversidades e inconvenientes que se presentaron en todos estos años.

Rogger Vásquez

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	5
ÍNDICE DE FIGURAS	6
RESUMEN.....	7
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN	8
CAPÍTULO II. METODOLOGÍA	22
CAPÍTULO III. RESULTADOS	25
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	33
REFERENCIAS.....	36
ANEXOS.....	37

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Densidad por tipo de residuo.....	13
Tabla 2. Tipos de Abonos Orgánicos.....	14
Tabla 3. Factores que afectan al compostaje.....	14

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Evolución de la bahía de Portman hasta llegar a su colmatación.....	26
Figura 2: Evolución de la recuperación de la mina Tauro con Tecnosoles reactivos y un humedal de condiciones subóxicas	27
Figura 3: Colocación de Tecnosoles en Canal.....	30

RESUMEN

La presente tesis titulada. Aplicación de tecnosoles para el cierre de mina de la unidad minera Colquirrumi, Hualgayoc – Cajamarca, tiene como objetivo Aplicar el tecnosoles en el cierre de minas en la Unidad Minera Colquirrumi Hualgayoc – Cajamarca 2021. Para lo cual se tuvo como población a todos los tipos de tecnosoles existentes y una muestra de 100 m² de terreno con influencia de pasivos ambientales para realizar la prueba mediante el uso de tecnosoles, ya que la técnica de viene a ser la observación directa para ver la evolución de la recuperación de los terrenos de influencia.

Como resultado de la investigación en los casos donde se han utilizado los Tecnosoles para mejorar problemas ambientales se demuestraron los siguientes, Bahía de Portman, Mina de Touro, Vitoria-Gasteiz. Nuevas propuestas mediante el uso de Tecnosoles, Tratamiento de aguas residuales Tecnosoles en el tratamiento de sistemas acuáticos eutrofizados, Tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua, Retención de arsénico por medio de la aplicación de Tecnosoles. nuestra investigación hemos podido averiguar que los Tecnosoles son un recurso económico, capaz de regenerar suelos que, en un periodo relativamente corto de tiempo, se adapten a las necesidades que tengamos, pudiendo emplearse esta técnica para mejorar la calidad de otros recursos naturales.

Esta revisión ha puesto de manifiesto que la utilización de los Tecnosoles supone una alternativa viable para resolver problemas ocasionados por la explotación de minas, extracción de áridos y procesos de contaminación derivados de los residuos generados por las actividades antropogénicas.

Palabras clave: Aplicación de tecnosoles, cierre de minas, unidad minera.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

En la presente tesis indicamos las razones de la elección del campo de estudio desde un punto de vista estricto, es decir, cuál es la razón técnica para centrarnos en el estudio de los tecnosoles aplicados en el cierre de minas.

Tanto las actividades mineras metálicas y no metálicas a nivel mundial, deben lidiar con el impacto ambiental que generan a la comunidad, al realizar voladuras, utilizar explosivos y al realizar movimiento de tierras, genera impactos al medio ambiente, los cuales son vistos negativamente por parte de la humanidad.

En Perú se ven muchas protestas por parte de los pobladores contra la actividad minera, las cuales van dejando a su paso los llamados pasivos ambientales, quienes sustentan que dichas actividades afectan directamente a su agricultura y ganadería, ante esta realidad es que surge la necesidad de realizar el cierre de minas en la unidad minera para minimizar el impacto negativo hacia las comunidades aledañas. El presente trabajo de investigación se centra en la necesidad de la aplicación de suelos nuevos elaborados a partir de residuos orgánicos e inorgánicos.

Según De la Rosa, (2008) Se considera contaminante a cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en un medio. Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o combinación de agentes en concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o que impidan el uso normal del medio. Según el medio afectado la contaminación puede ser

atmosférica, hídrica, o del suelo. En este último aspecto se basará la presente memoria de tesis. Un suelo se puede degradar al acumularse en él sustancias a niveles tales que alteren negativamente su comportamiento, originando su degradación química que provoca la pérdida parcial o total de su productividad y un daño o alteración de los organismos que habiten en él. Además, hay que tener en cuenta que el suelo actúa como barrera protectora de otros medios más sensibles, como son los hidrológicos y los biológicos. El conjunto de propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, lo convierten en un sistema clave en los ciclos biogeoquímicos superficiales, capaz de realizar funciones de filtración, descomposición, neutralización, inactivación, almacenamiento de los contaminantes, lo que constituye la capacidad de depuración del suelo.

Para Liedekerke V. (2014) en su estudio realizado para la Unión Europea, la contaminación por metales es una de las más importantes en la actualidad. Este tipo de contaminación afecta de manera importante a la calidad del suelo y amenaza seriamente todo el ecosistema circundante, ya que los recursos de aguas superficiales y subterráneas, la flora, la fauna, la salud humana e incluso la calidad del aire pueden verse afectados. Las fuentes más importantes de este tipo de contaminación son la minería, la generación de energía a partir de combustibles fósiles, la metalúrgica, la electrónica, las industrias químicas, las actividades agrícolas y el vertido/incineración de residuos. Entre estas actividades, la minería es una fuente muy contaminante, liberando altos niveles de metales. En tales circunstancias, los suelos resultan altamente degradados en sus funciones ecológicas (ciclo de nutrientes, almacenamiento de agua, hábitat microbiano, apoyo al crecimiento de las plantas, etc.)

Johnson y Hallberg (2015). La industria minera es la mayor productora de este tipo de efluentes, en particular las minas abandonadas. Estas aguas suponen un riesgo para el medioambiente ya que suelen contener concentraciones elevadas de EPTs. El drenaje ácido de mina se forma a causa de la oxidación acelerada de pirita de hierro (FeS_2) y otros minerales sulfurosos resultantes de la exposición de estos minerales al oxígeno y agua, como consecuencia de la extracción y tratamiento de minerales metálicos.

Gonsales Rivera, M. L., & Salas Luévano, M. (2018- 06-07). ESTABILIZACIÓN DE METALES PESADOS EN JALES MEDIANTE. *Biotecnología y Sustentabilidad*, volumen 2 N° 1 Año 2017. El objetivo de este estudio fue identificar las especies de plantas que crecen en los relaves mineros y su capacidad para acumular y estabilizar As y Pb con el propósito de valorar la aplicación en programas de fitorremediación. Muestras de suelo y plantas recolectadas conjuntamente en una mina reforestada hace aproximadamente 15 años y localizada en Fresnillo, Zac. fueron recolectadas conforme a la norma oficial mexicana: NMXAA-132-SCFI-2006. El análisis del contenido de As y Pb se realizó mediante Espectrometría de Absorción Atómica. Las familias mejor representadas fueron Asteraceae, Poaceae y Chenopodiaceae. as concentraciones de As en los brotes de las plantas, promediaron 499 ppm, y para Pb fueron 7.2 ppm. Con base en el factor de bioconcentración (FBC), únicamente *Bouteloua gracilis* (FBC=1.0) tiene atributos para fitoextracción de As. Asimismo, *Amaranthus hybridus*, *Arundo donax*, *Pennisetum clandestinum* y *Botriochloa barbinodis* mostraron valores de FBC= 0.8. Los árboles reforestados después de 15 años que muestran atributos para contener As y Pb, son *Schinus molle* y *Fraxinus*

uhdei, los cuales pueden ser considerados para programas de fitoestabilización en el Estado y las regiones semiáridas.

Coberturas Mediante Tecnosoles

Los Tecnosoles, según la Base Mundial de Referencia de los Recursos de Suelo del Mundo (WRB, 2007), comprenden suelos cuyas propiedades y edafogénesis (proceso y formación de los suelos) están dominadas por su origen técnico. Por definición este tipo de coberturas contienen una cantidad significativa de artefactos (algo en el suelo reconociblemente hecho o fuertemente alterado por el hombre), o están sellados por material duro técnico (material duro creado por los seres humanos que tiene propiedades diferentes de la roca natural) o contienen una geomembrana. Incluyen suelos originados sobre desechos (vertederos, lodos, escorias, desechos o escombros de minas y cenizas), pavimentos con sus materiales subyacentes no consolidados, suelos con geomembrana y suelos contruidos artificialmente. Los Tecnosoles se denominan a menudo de modo vulgar como suelos urbanos o suelos de minas. Santos, Arán, Abreu y Varennes, (2018) consideraron que las actividades mineras y de canteras se han llevado a cabo desde la antigüedad. Aunque en diferentes niveles, tanto las minas abandonadas como las activas tienen varios problemas ambientales asociados con la excavación del suelo y las características físico-químicas de los desechos de la mina y sus lixiviados. Los impactos ambientales son muy variables, pero, en general, conducen a la degradación de suelos y aguas (por ejemplo, pérdida de la estructura y fertilidad del suelo, acidificación / alcalinización, contaminación por elementos potencialmente peligrosos y disminución de la biodiversidad). La rehabilitación de las áreas mineras es esencial para disminuir los impactos ambientales

y debe incluir enfoques ecológicos y consideraciones económicas y para este caso de estudio teniendo como principal alternativa el uso de Tecnosoles que demuestra que efectivamente cumplen funciones a nivel físico, permitiendo una mejor estabilización del depósito Turmalina.

Manejo de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes.

Los residuos del mantenimiento de áreas verdes públicas están formados por residuos vegetales provenientes de corte de césped, poda de árboles, zonas verdes, jardines, bermascentrales, bermas laterales y parques, estos residuos son recolectados por lo general por el servicio municipal (Lund, 2014), en una frecuencia diaria o según sea el programa de mantenimiento y servicios que se realizan a las áreas verdes públicas.

La densidad de los residuos vegetales provenientes del mantenimiento de las áreas verdes públicas es un factor importante en el desarrollo del plan de gestión de las gerencias de servicios públicos de cada gobierno local. Las medidas para determinar el recojo de residuos y los camiones a utilizar se determinan en base al peso y el espacio que utilizan.

Tabla 1.

Densidad por tipo de residuo

Material	Condición	Densidad (kg / m³)
Hojas	Sueltas y secas	60 – 155
Hojas	Trituradas	148 – 207
Hojas	Compactadas y húmedas	237 – 300
Hierba Verde	Sueltas	178 – 237
Hierba Verde	Compactadas	300 – 480
Residuos de maleza	Como se recolectan	200 – 550
Residuos de maleza	Trituradas	270 – 355
Matorral y hojas	Sueltas y secas	60 – 178

Fuente: Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M., (1996).

Los abonos orgánicos más comunes son el bokashi, el compost, las tierras fermentadas, el vermicompost, y los extractos vegetales; los cuales requieren un proceso de elaboración. Otros como los abonos verdes y rastrojos, simplemente se incorporan al suelo. Adicionalmente, a su uso como fertilizante, los abonos orgánicos pueden ser utilizados para otros fines, como es el caso de la tierra fermentada, cuyo uso principal es como sustrato para semilleros y almacigales (López, 2014, Soto et al., 2002, citados por Durán y Henríquez, 2017). En el siguiente cuadro se muestra los tipos de abonos orgánicos según la fuente de nutrientes y el grado de procesamiento.

Tabla 2.

Tipos de Abonos Orgánicos

Fuente de Nutrientes	Grado de procesamiento	Sólidos	Líquidos
Materia Orgánica	Sin procesar	Desechos vegetales Desechos animales: gallinaza, estiércol fresco de vacuno, cerdo y cuy	Efluentes: pulpa de café
	Procesados	Compost Lombricompost Bokashi Ácidos húmicos	Biofermentos Té de compost Ácidos húmicos Té de estiércol Extracto de algas
Microorganismos		Biofertilizantes inoculante en turba de <i>Rhizobium</i> para leguminosas, micorrizas, <i>Bacillus subtilis</i>	Biofertilizantes líquidos EM* o microorganismos benéficos, etc.

Fuente: Abramson, L.W., Lee T.S., Sharma S., Boyce G.M., (1996).

Factores que afectan el compostaje.

Los factores que intervienen en el proceso biológico del compostaje son muchos y muy complejos (Cuadro 3), estando a su vez influenciados por las condiciones ambientales, tipo de residuo a tratar y el tipo de técnica de compostaje empleada (Pajuelo, 2016).

Tabla 3.

Factores que afectan al compostaje

Factores que afectan al compostaje	
Abióticos	Bióticos
Oxígeno Tamaño de partícula Composición del sustrato y balance de nutrientes Relación C/N equilibrada Humedad Temperatura Ph	Microorganismos como bacterias capaces de metabolizar compuestos orgánicos complejos menos biodegradables tales como los hongos y actinomicetos que son característicos de la fase de maduración.

Residuos mineros

Macías y Nieto (2012). “Didáctica de la mina de Touro: procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos” plantea la restauración ambiental de una zona afectada por alteración ambiental a través de la aplicación de suelos artificiales (Tecnosoles) que presentan como característica capacidad de tampón y retención de agua, estos suelos son obtenidos por valorización biogeoquímica de residuos ofreciendo excelentes recursos demostrativos de los procesos de recuperación sostenible de suelos contaminados.

Santos, Arán, Abreu y Varennes, (2018). “Bio-Geotecnologías para la rehabilitación de sitios mineros” trata con los enfoques biológicos, físicos, químicos y de ingeniería necesarios para la recuperación de desechos mineros. Se plantean estrategias y enfoques rentables para sitios contaminados, junto con métodos de remediación y rehabilitación para suelos contaminados y botaderos de desechos.

Como ya ha sido comentado, los procesos mineros a menudo generan grandes cantidades de residuos. Estos residuos se depositan generalmente en el suelo y ocupan una gran superficie. En muchos casos, los residuos mineros se caracterizan por una alta concentración de metales y semimetales, ser sustratos muy deficientemente estructurados, poseer un bajo contenido de nutrientes y baja capacidad de retención de agua entre otros factores limitantes para la producción vegetal. Estas propiedades hacen que los residuos mineros sean susceptibles a la erosión del viento y del agua y

que actúen como un foco continuo de contaminación ambiental para el entorno terrestre y los ecosistemas acuáticos. Zhou J (2015).

La industria minera es la mayor productora de este tipo de efluentes, en particular las minas abandonadas. Estas aguas suponen un riesgo para el medioambiente ya que suelen contener concentraciones elevadas de EPTs. El drenaje ácido de mina se forma a causa de la oxidación acelerada de pirita de hierro (FeS_2) y otros minerales sulfurosos resultantes de la exposición de estos minerales al oxígeno y agua, como consecuencia de la extracción y tratamiento de minerales metálico. Johnson y Hallberg (2005).

Los Tecnosoles se definen de acuerdo con la World Reference Base for Soil Resources (2007) como aquel suelo caracterizado por la presencia de más de un 30% de artefactos, una geomembrana construida o roca dura. La base fundamental de un Tecnosol es que sus propiedades están originadas por un proceso técnico, contiene una cantidad significativa de "artefactos" (algo hecho, modificado o extraído de la tierra por el hombre). Forman parte también los suelos de desechos tales como: rellenos, lodos, escorias, escombros, desechos de minería, cenizas, pavimentos con su estructura no consolidada, suelos con geomembranas e incluso los suelos construidos con materiales elaborados por el hombre.

Macías, J (2014) los define como la mezcla sólida de materiales naturales o sintéticos, minerales u orgánicos que, colocado en superficie, permite la rápida integración de los componentes residuales antropogeomórficos en los ciclos biogeoquímicos, así como

el cumplimiento de las funciones ambientales y productivas del suelo, mejorando la situación ambiental precedente. Estos Tecnosoles, o suelos elaborados "a la carta", se pueden utilizar como sustitutivos de suelos naturales, degradados y/o contaminados por la acción del hombre, con la finalidad de mejorar el estado ambiental.

La valorización de residuos es un concepto que está en auge. Como la generación de residuos es inevitable, se les debe pasar a ver como una alternativa de material reutilizable que dependiendo de su tipo y su origen se le puede utilizar como materia prima, energía limpia como la biomasa o como aportación de nutrientes, asimismo, se los puede tratar de una manera técnica y devolverlos al mercado haciendo que sean económicamente interesantes Ibáñez & Mario (2002).

Estos residuos pueden ser adecuadamente gestionados construyendo a partir de ellos mezclas, más o menos complejas, que pueden corregir procesos contaminantes por medio de sus características (ácido-base, su poder reductor o complejante, sus propiedades de adsorción superficial o su capacidad de retención de agua), al tiempo que originan un medio adecuado para el desarrollo de la actividad biológica que conduce a la formación de un nuevo suelo, y de sus principales funciones en el ambiente, de forma mucho más rápida que los procesos naturales. Ibáñez & Mario (2002).

Ibáñez & Mario (2002). La recuperación ecológica surge con un suelo que neutralice efectos tóxicos, deficiencias nutritivas y de organización del sistema, permitiendo la actividad biológica de forma sostenible. La valorización biogeoquímica de algunos residuos orgánicos e inorgánicos no peligrosos y la aplicación de la Edafología permite

obtener suelos que cumplen con las funciones productivas y ambientales de los suelos naturales. Además, eliminan o reducen significativamente efectos tóxicos y limitantes, al tiempo que evolucionan hacia los suelos naturales siguiendo los procesos de edafogénesis propios del entorno climático. Su uso plantea diferentes ventajas: se parte de materiales desechados y baratos, cuyo destino sería producción de gases de efecto invernadero (CO₂, CH₄, Nox), y pérdida del valor de los elementos nutritivos que contienen, como P, K, Mg, Ca, S, etc. La elaboración de los Tecnosoles permite recuperar un porcentaje muy elevado del C y del N de los residuos (>80%), secuestrando gases de efecto invernadero en suelos. Se valorizan los elementos enalantes y los nutrientes presentes en los residuos, lo que permite la corrección de los problemas de acidificación y toxicidad de los suelos y aguas y, como consecuencia, produce la recuperación de las comunidades bióticas de los sistemas acuáticos y terrestres. Hay Tecnosoles que permiten el desarrollo de una importante biodiversidad de flora que evoluciona en el tiempo favoreciendo la aparición de fauna espontánea. Las aguas tratadas en humedales reactivos con Tecnosoles remontan su pH a la neutralidad sin adición de productos, gastos de electricidad o mantenimiento, pierden las especies tóxicas y desarrollan una comunidad acuática.

Tecnosol

Tecnosol es: "Un suelo caracterizado por la presencia de un porcentaje significativo (>30%) de artefactos, una geomembrana construida o roca dura técnica" de acuerdo con la World Reference Base for Soil Resources (2007), (Bolaños, 2015).

La base fundamental de un Tecnosol es que sus propiedades están originadas por un proceso técnico, contiene una cantidad significativa de "artefactos" (algo hecho

modificado o extraído de la tierra por el hombre). Forman parte también los suelos de desechos tales como: rellenos, lodos, escorias, escombros, desechos de minería, cenizas, pavimentos con su estructura no consolidada, suelos con geo membranas e incluso los suelos construidos con materiales elaborados por el hombre (Bolaños, 2015).

La preparación de Tecnosoles puede ser un método de reutilización de residuos viable económicamente, además de una forma de devolución de los elementos que contienen a los ciclos biogeoquímicos (Pérez, 2014).

Medio Ambiente

El medio ambiente está constituido por la atmósfera, hidrósfera y litósfera, en la cual están localizados los recursos que hacen la vida sustentable. La relación entre los diferentes compartimentos biogeoquímicos debe estar planteada por equilibrios, debido a que una acción sobre una, puede tener consecuencias en otra. La relación manifiesta como un sistema revela que existen grandes variaciones temporales en el contenido de los diferentes sistemas biogeoquímicos, atmósfera, biosfera, edafósfera, hidrósfera y litósfera, como consecuencia de las transferencias causadas por los ciclos naturales o las actividades antrópicas (Macías, y otros, 2009).

Restauración ambiental

De acuerdo a la Real Academia de la Lengua (2016) restaurar es: "reparar, renovar o volver a poner algo en el estado o estimación que antes tenía". Es inviable devolver totalmente las características iniciales de un terreno modificado; sin embargo, recuperar, rehabilitar o reacondicionar el estado ambiental teniendo como meta

devolver un estado de normalidad o condición de calidad, se acerca mucho más a la realidad (Gobierno de Aragón, 2013). Recuperar, rehabilitar es con lo que nos quedamos en sistemas ambientales. Las medidas correctoras no son necesariamente transferibles de un lugar hacia otro, puesto que sus características específicas de producción, explotación o construcción requieren de un análisis multidisciplinario que desarrolle una solución efectiva, técnica y económicamente viable adecuado a las condiciones específicas del problema.

Degradación ambiental

Según. Juárez, P. (2017) La degradación del suelo es la pérdida total o parcial de su productividad, ya sea cualitativa o cuantitativa, como resultado de procesos tales como la erosión, salinización, contaminación, deterioro de su estructura, inundación encostramiento, pérdida de elementos nutritivos, desertificación, etc. En todo el mundo, la intensidad y velocidad de estos procesos es alarmante, poniendo en evidencia la necesidad de realizar evaluaciones de la capacidad de uso y de los procesos de degradación.

1.2. Formulación del problema

¿Cómo influye el uso de tecnosoles en cierre de mina en la unidad Minera
Culquirrumi?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Aplicar el tecnosoles en el cierre de minas en la Unidad Minera Colquirrumi
Hualgayoc – Cajamarca 2021

1.3.2. Objetivos específicos

- ✓ Revisar casos donde se han utilizado los Tecnosoles para mejorar problemas ambientales.
- ✓ Sugerir nuevas propuestas mediante el uso de Tecnosoles.

1.4. Hipótesis

1.4.1. Hipótesis general

Mediante el uso del tecnosoles se logrará el cierre de minas en la Unidad Minera
Colquirrumi Hualgayoc – Cajamarca 2021.

CAPÍTULO II. METODOLOGÍA

2.1. Tipo de investigación

El presente proyecto corresponde a una investigación no experimental - Aplicada con diseño cuasi experimental, debido a que trata de una estrategia que permite incidir positivamente en el cierre de la unidad minera Culquirrumi.

Vargas (2009), docente de la maestría en Orientación de la Universidad de Costa Rica, el tipo de investigación aplicada se centra en el análisis y solución de problemas de varias índoles de la vida real, así como también se nutre de avances científicos y se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos. Indica que el tipo de investigación Aplicada es una forma de conocer las realidades con una prueba científica; requiere obligatoriamente de un marco teórico, sobre el cual se basará para generar una solución al problema específico que se quiera resolver.

Según Palella y Martins, (2012) El diseño experimental de tipo cualitativo es aquel según el cual el investigador manipula una variable experimental no comprobada, bajo condiciones estrictamente controladas. Su objetivo es describir de qué modo y porque causa se produce o puede producirse un fenómeno. Busca predecir el futuro, elaborar pronósticos que una vez confirmados, se convierten en leyes y generalizaciones tendentes a incrementar el cúmulo de conocimientos pedagógicos y el mejoramiento de la acción educativa” (p.86). Asimismo, es con diseño Cuasi experimental debido a que

se pretende manipular la variable dependiente que en este caso es la aplicación de los tecnosoles en el cierre de minas en la unidad minera Culquirrumi.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

2.2.1. Población: Se tomará como población a todos los tipos de tecnosoles existentes.

2.2.2. Muestra: 100 m² de la unidad minera Colquirrumi

2.3. Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Observación Directa: Se realizó la observación directa en campo, lo cual permitió ver las partes que tienen problemas de contaminación por consecuencia de la actividad minera para luego ser remediados aplicando la tecnología de tecnosoles.

2.3.2. Análisis documental: Se investigó antecedentes previos de trabajos de investigación relacionados a problemas aplicación de tecnosoles para el proceso de cierre de minas para lo cual se utilizó los buscadores y bibliotecas virtuales. También se recolectó información relacionada a las tecnologías de tecnosoles correspondientes de este trabajo de investigación.

2.3.3. Recolección de datos:

Se tomó los datos de campo relacionados al tema en investigación utilizando formatos para la toma de datos, así como total de material a utilizar como son tecnosoles.

2.4. Procedimiento

2.4.1. Gabinete

Inicialmente se procede a la revisión de antecedentes, estudios previos, realizados respecto al tema, en los diferentes ámbitos, tanto local, nacional como internacional, para lo cual se recurrió a los repositorios virtuales de varias universidades.

2.4.2. Campo

Se realiza la toma de datos en campo, principalmente de aplicación de tecnosoles para el cierre de minas, actividades previas que se tienen que realizar antes de la aplicación del Tecnosol y luego analizarlos para determinar qué valores representan en cuanto al cambio de los suelos y así tener un correcto cierre de minas.

2.4.3. Gabinete:

Luego de recolectar toda información necesaria en campo se procedió a procesar y tabular de forma digital los datos obtenidos en campo, con ayuda del programa Excel, así mismo se elaboraron cuadros de costos y gráficos de los análisis de los resultados obtenidos en la aplicación de tecnosoles, en donde se pudo identificar de forma más adecuado para el uso de tecnosoles.

2.4.4. Aspectos éticos

- ✓ La presente investigación titulada “Aplicación de tecnosoles para el cierre de mina de la minera Colquirrumi, Hualgayoc - Cajamarca.” se está desarrollando de acuerdo con los protocolos de la Universidad Privada del Norte.

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Casos donde se han utilizado los Tecnosoles para mejorar problemas ambientales.

La utilización de Tecnosoles para la rehabilitación de zonas degradadas ha mostrado eficacia en suelos afectados por actividades mineras.

El suelo sometido a las actividades mineras contienen todo tipo de materiales residuales, escombros estériles, entre otros, lo que representa graves problemas para el desarrollo de la cubierta vegetal, siendo sus características más notables las siguientes: clase textural desequilibrada, ausencia o baja presencia de la estructura edáfica, propiedades químicas anómalas, disminución o desequilibrio en el contenido de nutrientes fundamentales, ruptura de los ciclos biogeoquímicos, baja profundidad efectiva, dificultad de enraizamiento, baja capacidad de cambio, baja retención de agua y presencia de compuestos tóxicos.

- **Bahía de Portmán**

Uno de los casos más críticos de contaminación por residuos mineros en el Mediterráneo se llevó a cabo en La Bahía de Portmán en Murcia (España). Desde 1957 se llevaron actividades extractivas de minerales como plomo y zinc a gran escala generando una grave contaminación a todos los niveles (agua, suelo, aire y organismos vivos) con el paso de los años. En más de 60 años se han vertido al mar 60 millones de toneladas de estériles procedentes de la minería lo que ha provocado la colmatación de la bahía en un 80%. Además, se ha producido el aterramiento de 75 hectáreas, y se ha sepultado buena parte de la plataforma marina frente a las costas de Portman. Los vertidos, a su vez, modificaron profundamente la dinámica litoral, debido al material en suspensión que interfería con la dinámica normal del placto y de los peces.

Los suelos de la bahía están constituidos hoy en día de materiales formados por: estériles, alta carga de metales solubles, sedimentos mineros y sustancias procedentes de la esorrentía y aguas de otras ramblas que desembocan en la bahía y que aportan materiales de atenuación natural.



Figura 1: Evolución de la bahía de Portman hasta llegar a su colmatación.

- **Mina de Touro.**

Para la recuperación de 600 ha de la Mina de Touro, se procedió a la utilización de distintos tipos de Tecnosoles en función del problema a tratar en el suelo y de humedales

reactivos. La recuperación ha posibilitado que se reduzca de forma significativa los contaminantes que habían sido abandonados en la mina, haciendo que las aguas hiperácidas pasen de un pH de 3 a un pH neutro de 7. Esto ha facilitado el desarrollo de una cadena trófica compleja. Gracias a los resultados obtenidos se ha podido demostrar que los Tecnosoles son una opción muy viable para la recuperación ambiental; y aunque la recuperación de la mina todavía no ha sido completa, el avance es muy significativo como podemos ver en las siguientes imágenes.



Figura 2: Evolución de la recuperación de la mina Tauro con Tecnosoles reactivos y un humedal de condiciones subóxicas.

- **Vitoria-Gasteiz.**

Otro ejemplo donde se han utilizado los Tecnosoles, ha sido en la gestión de residuos y la recuperación de parcelas degradadas de Vitoria-Gasteiz. Se realizó una evaluación previa de 6 tipos de Tecnosoles para averiguar cual se adecuaba a la zona que se quería rehabilitar.

Para llevar a cabo el proyecto se propuso la utilización de subproductos de plantas de tratamiento de residuos. Se tomaron materiales de la fracción menor de 40 mm de la planta municipal de residuos de construcción y demolición como ingrediente base, material bioestabilizado de una planta de residuos sólidos urbanos mezclado con poda triturada como aporte de materia orgánica, bentonitas recicladas y tierra vegetal de parcelas públicas de Vitoria-Gasteiz.

Los resultados del primer año muestran que el uso de Tecnosoles es una opción viable para la restauración de zonas degradadas y para el soporte de infraestructura verde. Todos los parámetros controlados en el suelo bruto están dentro de los umbrales que marca la legislación autonómica de suelos contaminados para el uso de “parque público”

3.2. Nuevas propuestas de utilización de Tecnosoles.

Donde más se están utilizando los Tecnosoles es en la recuperación de la calidad del agua.

Los problemas de calidad del agua tienen su origen en diferentes actividades como: industria, minería, agricultura o aguas residuales urbanas, entre otras. Se observa un desequilibrio producido por las actividades antrópicas, quedando generalmente abandonado a soluciones de atenuación natural. Se pueden diseñar Tecnosoles, que refuercen estos mecanismos naturales, corregir las disfunciones existentes y aumentar

la capacidad de amortiguación y la carga crítica de contaminantes del sistema suelo-agua afectado.

- **Tecnosoles como complemento para el tratamiento de aguas residuales.**

Para establecer los procesos que se han de llevar a cabo para tratar este tipo de aguas resulta imprescindible conocer las propiedades físicas (diferentes tipos de sólidos, temperatura, color y olor), químicas (interacciones entre los componentes sólidos, orgánicos e inorgánicos, y gases) y biológicas que caracterizan las aguas residuales urbanas.

El objetivo de este estudio es contribuir al proceso de depuración de aguas residuales urbanas por medio de la aplicación de Tecnosoles en humedales de flujo subsuperficial horizontal, generando un "humedal reactivo" de mayor eficiencia depuradora manteniendo los volúmenes de ocupación de las infraestructuras actuales. Para lo que se aplica una capa de Tecnosol de 0,20 m. y a esto se le adiciona plantas de tipo tifa (*Typha Latifolia*). En paralelo se modifica la configuración geométrica interna del humedal, para aumentar la longitud de recorrido y tiempo de residencia. También se añadirá un oxidante en las aguas de entrada, para que ayude al rendimiento del humedal. Todo esto, con la finalidad de mejorar la calidad del agua de salida.

La aplicación de Tecnosoles en los humedales de flujo horizontal, hizo que los parámetros de medida hayan reducido sus valores críticos, incluso a niveles por debajo de los establecidos en la ley. El sistema Tecnosol con *Typha latifolia*, no afectó de forma negativa a ninguno de los índices de control de calidad de aguas que se monitorizaron a lo largo del ensayo. Por lo que el rendimiento del Tecnosol en campo superó las expectativas de diseño, razón por la cual se mantiene una monitorización periódica del comportamiento.

- **Tecnosoles en el tratamiento de sistemas acuáticos eutrofizados.**

Podemos definir la eutrofización como: "Incremento de sustancias nutritivas en aguas dulces de lagos y embalses, que provoca un exceso de fitoplancton.

El objetivo de este estudio fue evaluar la aplicación de Tecnosoles para el tratamiento de la eutrofización, mediante la captura de los fosfatos en agua eutrófica, con el objetivo de prevenir o reducir la intensidad de las floraciones de cianobacterias y sus efectos nocivos.

El Tecnosol se diseñó de forma específica (propiedades ácidas) para la adsorción de fosfato y se colocó en bolsas permeables (que permiten el contacto con el agua) sobre una estructura de acero para cubrir la mayor superficie posible del cauce. Dos afluentes del embalse de As Conchas fueron elegidos para el ensayo.



Figura 4: Colocación de Tecnosoles en Canal.

Las ubicaciones de las estructuras de tratamiento se determinaron en función de su accesibilidad a los equipos y maquinaria. El efecto del Tecnosol en la calidad del agua se controló en muestras tomadas de aguas arriba y aguas abajo del punto de contacto.

La principal forma de captación de fosfatos por parte del suelo se debe a la adsorción, gracias a que los compuestos de hierro y aluminio actúan como los complejos organometálicos de éstos y de otros elementos con los que formarán un enlace fuerte, impidiendo su liberación posterior.

Los Tecnosoles diseñados en este ensayo hicieron que disminuyera el crecimiento de cianobacterias en el medio lo que hizo mejorar significativamente los parámetros de calidad del agua. Tampoco se detectaron otros impactos negativos sobre aspectos físico-químicos del agua.

- **Tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua.**

Una vez realizaron los muestreos y análisis respectivos en los suelos del cantón y elegido el suelo más apto para el estudio, se procedió a la recolección de los materiales a emplear, en este caso sulfato de aluminio y materiales adsorbentes de tipo celulósico (cascara de arroz y aserrín), propios del cantón. Por lo que se están reciclando residuos haciendo que sea un proceso sostenible. Se concluyó que los Tecnosoles elaborados a escala de laboratorio disminuyeron la concentración de fosfatos del agua, en más de un 50% en todas las formulaciones realizadas; siendo la cascara de arroz el derivado celulósico que mejor resultado dio en las formulaciones. Por tanto, se podrían utilizar en los cauces del sistema hidrográfico del río para disminuir las condiciones de eutrofización del agua. Del estudio también se desprende que en un momento determinado el Tecnosol dejó de funcionar, no solamente por la saturación de fosfatos, sino también por una posible desorción forzada en las columnas del experimento; hecho

que podría suponer un problema en vez de una solución si se llegara a implantar este tipo de Tecnosol. Por lo que es necesario seguir investigando.

- **Retención de arsénico por medio de la aplicación de Tecnosoles**

Este trabajo es parte de un proyecto de investigación aprobado por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE: “Empleo de Tecnosoles, elaborados con residuos no peligrosos en contaminación con nanopartículas para recuperar suelos y aguas contaminados por actividades de explotación minera”. Durante la ejecución del proyecto macro, se determinó que era necesario este proyecto puesto que no existen referencias previas de esta aplicación. La importancia de realizar la modelización radica en que se prevé el comportamiento antes de pasar de ensayos de laboratorio hacia su aplicación en campo, minimizando los riesgos y costos.

Para determinar la adsorción de arsénico (As), se realizaron ensayos de laboratorio para lo que se prepararon 6 muestras de 50 mg de adsorbente (suelo/tecnosol), posteriormente se añadió 10 ml de agua dopada de As en distintas concentraciones. Se agitaron las muestras durante 24 horas, y posteriormente se centrifugaron y filtraron. Las medidas realizadas de las muestras se realizaron con un equipo de Adsorción Atómica.

Los resultados obtenidos al aplicar el suelo solo, la capacidad de adsorción fue de 200 mg de As en 500 horas. Con la aplicación del modelo se prevé que el Tecnosol aumente su retención hasta 2500 mg de As en 500 horas, aplicando las condiciones del peor escenario. Lo que confirma que la capacidad de retención de As del suelo y de las nanopartículas se potenciará al actuar en conjunto.

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

De la Rosa, (2008) Se considera contaminante a cualquier sustancia o forma de energía con potencial para provocar daños, irreversibles o no, en un medio. Se denomina contaminación ambiental a la presencia en el ambiente de cualquier agente (físico, químico o biológico) o combinación de agentes en concentraciones tales que sean o puedan ser nocivos para la salud, la seguridad o para el bienestar de la población, o que puedan ser perjudiciales para la vida vegetal o animal, o que impidan el uso normal del medio. En la presente investigación se tiene los tecnosoles como una alternativa de remediación el cual se define como la mezcla sólida de materiales naturales o sintéticos, minerales u orgánicos que, colocado en superficie, permite la rápida integración de los componentes residuales antropogeomórficos en los ciclos biogeoquímicos, así como el cumplimiento de las funciones ambientales y productivas del suelo, mejorando la situación ambiental precedente. Asimismo, Liedekerke, V. (2014) en su estudio realizado para la Unión Europea, la contaminación por metales es una de las más importantes en la actualidad. Este tipo de contaminación afecta de manera importante a la calidad del suelo y amenaza seriamente todo el ecosistema circundante, ya que los recursos de aguas superficiales y subterráneas, la flora, la fauna, la salud humana e incluso la calidad del aire pueden verse afectados por lo que en la presente investigación se logró investigar y sugerir nuevas acciones mediante el uso de Tecnosoles como son: Tecnosoles como complemento para el tratamiento de aguas residuales, Tecnosoles tratamiento de

sistemas acuáticos eutrofizados, Tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua y retención de arsénico por medio de la aplicación de Tecnosoles.

Johnson y Hallberg (2015). La industria minera es la mayor productora de este tipo de efluentes, en particular las minas abandonadas. Estas aguas suponen un riesgo para el medioambiente ya que suelen contener concentraciones elevadas de EPTs. El drenaje ácido de mina se forma a causa de la oxidación acelerada de pirita de hierro (FeS_2) y otros minerales sulfurosos resultantes de la exposición de estos minerales al oxígeno y agua, como consecuencia de la extracción y tratamiento de minerales metálicos en la presente investigación estudiamos casos donde se han utilizado los Tecnosoles para mejorar problemas ambientales como son la Bahía de Portmán, Mina de Tauro, parcelas degradadas de Vitoria-Gasteiz.

4.2 Conclusiones

Los Tecnosoles son una buena técnica para la recuperación de suelos degradados. Favorecen la reducción de los costes de gestión de residuos, minimizando gastos energéticos y de almacenamiento de residuos. Por lo cual se concluye que producen un incremento del aprovechamiento de nutrientes existentes en estos residuos, incorporándolos a la cadena trófica. Un hecho importante es que no producen nuevos residuos como las otras técnicas de gestión de suelos; por lo que se considera un proceso integral.

La utilización de Tecnosoles para la rehabilitación de zonas degradadas ha mostrado eficacia en suelos afectados por actividades mineras y en la recuperación de áreas recreativas.

El estudio de los Tecnosoles está en constante actualización y se han conseguido aplicar a la recuperación de otros recursos naturales como el agua (tratamiento de aguas residuales y sistema acuáticos eutrofizados).

4.3. Limitaciones

La baja información con respecto al tema de investigación.

El complicado y limitado acceso a la zona de estudio donde se ha planteado el tema de investigación.

REFERENCIAS

- Benedicto J. B., Martínez, Gómez C., Guerrero J., Jornet A. & Rodríguez C. (2008).
Contaminación por metales en la bahía de Portmán (Murcia, España)
- Carrera Villacrés. D.V. (2017). *Diseño de Tecnosoles para la retención de fosfatos en el agua, de la presa propósito múltiple chone (PPMCH), a partir de muestras de suelos del cantón Chone Manabí, Ecuador*. Tesis doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.
- González Ciudad E. (2014). *Evaluación en Nave Cerrada del riesgo para la salud en tecnosoles procedentes de residuos de minería polimetálica*. Tesis doctoral. Facultad de Químicas. Universidad de Murcia.
- Herrán Fernández A., Lacalle R. G., Iturritxa Vélez del Burgo M. J., Martínez Azkuenaga M., & Vilela Lozano J. (2016). *Primeros resultados de la elaboración de Tecnosoles a partir de residuos municipales en Vitoria-Gasteiz* (España).
- Macías García F., Macías-Vázquez F & Nieto O. (2012). *Didáctica de la mina de touro: procesos de recuperación de suelos y aguas hiperácidas de minas de sulfuros metálicos mediante la valorización biogeoquímica de residuos*. Universidad de Murcia.
- Macías-García, F., (2006). *Elaboración de Suelos derivados de residuos con diferentes aplicaciones ambientales*. DEA. Medio Ambiente y Recursos Naturales. Universidad de Santiago de Compostela. Santiago de Compostela.
- Masías Vázquez, F. (2015). *Aplicación de tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectados por actividades de obras civiles, urbanas y minería*. España.

ANEXOS

Anexo 01: Preparacion de tecnosoles.



