

# UTILIZACIÓN DE TECHNOSOLS EN LA RESOLUCIÓN DE PROBLEMAS AMBIENTALES: DEPURACIÓN DE AGUAS Y RESTAURACIÓN DE SUELOS



Grado Ciencias Ambientales

Facultad Ciencias experimentales

Autor: Pau Gómez Ferri

Tutor: Ignacio Gómez Lucas

Co-tutor: M<sup>a</sup> Teresa Rodríguez Espinosa

Código COIR: TFG.GCA.IGL.PGF.210222



## **RESUMEN**

Son numerosas las actividades humanas que producen impactos negativos sobre el medio ambiente, ya que generan, entre otros, efluentes como las aguas residuales que necesitan ser depuradas antes de su vertido a cauce público o su reutilización, y contaminación del medio natural como consecuencia de actividades antrópicas, como la minería. Nuestro trabajo se centra, fundamentalmente, en contribuir al conocimiento del uso de technosols en los procesos de depuración de aguas, y en la restauración de zonas contaminadas por efecto de actividades mineras, como una alternativa a la solución de los problemas ambientales.

Palabras claves: technosols, agua, depuración, filtros verdes, contaminación edáfica

## **ABSTRACT**

There are numerous human activities that produce negative impacts on the environment, since they generate, among others, effluents such as wastewater that need to be purified before being discharged into public watercourses or reused, and pollution of the natural environment as a result of activities anthropic, such as mining. Our work is fundamentally focused on contributing to the knowledge of the use of technosols in water purification processes, and in the restoration of areas contaminated by the effect of mining activities, as an alternative to solving environmental problems.

Keywords: technosols, water, purification, green filters, soil contamination

---

## ÍNDICE GENERAL

	PÁGINAS
1. INTRODUCCIÓN	3
1.1. Filtros verdes	3
1.2. Usos de los filtros verdes	4
1.3. Technosols.	5
1.4. Los suelos y sus características como componentes de los technosols	6
2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	7
2.1. Antecedentes de los procesos naturales de depuración	8
2.2. Análisis de los filtros verdes	10
2.2.1. Aspectos importantes para la implantación de un filtro verde.	11
2.2.2. Tipos de sistemas de filtros	12
2.2.3. Ventajas	14
2.2.4. Desventajas	14
2.2.5. Humedales	15
2.3. Objetivos	17
3. MATERIALES Y MÉTODOS	17
4. RESULTADOS	18
4.1. Uso de Technosols en la recuperación del medio como consecuencia de actividades mineras.	19
4.2. Uso de Technosols en la depuración de las aguas residuales.	23
4.2.1. Aguas residuales urbanas.	23
4.3. En aguas eutrofizadas.	24
4.4. En aguas contaminadas con arsénico.	25
4.5. Uso de technosols en la gestión de aguas pluviales urbanas	25
4.5.1. Jardines de lluvia	25
4.5.2. Alcorques	26
4.5.3. Biofiltros o Depósitos de Bioretención	26
4.5.4. Zanjas rodeadas de vegetación	27
4.6. Otros usos de los Technosols.	29
4.6.1. En la restauración edáfica de zonas afectadas por infraestructuras	29
4.6.1. En zonas degradadas	31
5. DISCUSIÓN	32
6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA	33
7. BIBLIOGRAFÍA	35

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1 FILTROS VERDES: FUENTE:GOOGLEHIDROBLOG.....	4
Figura 2: PROCESO DE DEPURACIÓN: FUENTE: GOOGLE /SITE/BIOINGENIERIAUV.....	13
Figura 3: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO VERDE FUENTE: IMDEA .....	14
Figura 4: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO VERDE (HUMEDALES) FUENTE: IMDEA .....	15
Figura 5:SECCIÓN TRANSVERSAL HUMEDAL ARTIFICIAL FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA .....	16
Figura 6: ESQUEMAS TIPO DE HUMEDALES FUENTE: GOOGLE.COM /SEARCH?Q =HUMEDALES.....	16
Figura 7: HUMEDAL TIPOS DE TECHNSOL EN BAMA FUENTE: (MACIAS GARCIA, ET AL. 2009).....	20
Figura 8: PROCESO DE DEPURACIÓN MINAS DE TOURO. FUENTE: MACIAS Y NIETO, 2012 .....	21
Figura 9: EVOLUCIÓN BAHIA PORMAN .....	22
Figura 10: FOTOS DE ESTRUCTURAS - FUENTE: BOLAÑOS GUERRÓN D. 2014.....	24
FIGURA 11:JARDÍN DE LLUVIA. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019).....	27
FIGURA 12: ALCORQUE (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019).....	28
FIGURA 13: BIOFILTRO. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019).....	28
FIGURA 14: ZANJAS RODEADAS DE VEGETACIÓN. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019) ....	29
Figura 15: OXIDACIÓN DE SULFUROS TALUDES VÍA SANTIAGO A ORENSE FUENTE: BOLAÑOS, 2014.....	30
Figura 16: TECHNOSOLS IMPLANTADO EN TALUD FUENTE: BOLAÑOS, 2014 .....	31

## ÍNDICE DE TABLAS

<a href="#">TABLA 1: COMPOSICIÓN CUANTITATIVA SUELOS FRANCOS</a>	6
--	---

## **1. INTRODUCCIÓN**

En la actualidad la humanidad se enfrenta a importantes retos medio ambientales, uno de ellos es la escasez de los recursos hídricos por diversos factores, entre los cuales se pueden destacar: el cambio climático, que produce extensos periodos de sequía, el crecimiento poblacional y contaminación ambiental entre otros, lo que hace necesario, por un lado, la conservación de los recursos hídricos existentes, evitando así el mal uso y la contaminación de estos y, por otro, incrementar su reutilización.

En este sentido, es imprescindible el tratamiento de las aguas residuales, para lo cual a lo largo de los años ha sido necesaria la construcción de grandes infraestructuras destinadas a la depuración de las mismas, lo que resulta una gran dificultad para algunos países, por la carencia de recursos para la inversión en este tipo de obras, por el coste asociado a su ejecución. Esta situación ha llevado a la comunidad científica y a los gobiernos a enfocarse en el desarrollo de nuevos métodos, que permiten realizar la depuración de las aguas residuales, utilizando para ello tecnologías basadas en métodos ecológicos, sostenibles y más económicos.

Por otro lado, la realización de actividades extractivas, especialmente las relacionadas con la obtención de minerales metálicos, se ha traducido en un deterioro del medio, afectando a distintos componentes del entorno (paisajístico, social, económico, bióticos y abióticos) y de forma muy especial a la contaminación del medio edáfico. Por ello se hace necesario realizar una restauración, mediante el empleo de materiales que mejoren los suelos, eviten su deterioro (Pan, D. et al., 2017) y recuperen el medio natural

### **1.1. Filtros verdes**

Se define como filtro verde, el procedimiento natural, ecológico, sostenible y económico utilizado para el tratamiento de aguas residuales. Este método aprovecha las capacidades químicas, físicas y biológicas de los suelos, el procedimiento consiste en la adecuación de una superficie de terreno en la cual se implantan una o más especies forestales, para posteriormente irrigar las aguas residuales y obtener como resultado el saneamiento del efluente, mediante la gestión del suelo en conjunto con microorganismos y plantaciones

## 1.2. Usos de los filtros verdes

En la actualidad los filtros verdes (figura 1) se utilizan como una opción natural y económica para el tratamiento de aguas residuales. Su uso es cada vez más conocido y diversificado. Entre ellos se pueden considerar los siguientes:

- Aguas residuales urbanas: se consideran dentro de este grupo las aguas residuales provenientes del uso doméstico, o la mezcla de las mismas con aguas residuales de uso industrial o con aguas de escorrentía pluvial.
- Aguas residuales domésticas: en este grupo se consideran únicamente las aguas residuales generadas en las zonas de vivienda y de servicios, resultado del metabolismo humano y las distintas actividades de la vida domésticas.
- Aguas residuales industriales: todas las aguas residuales procedentes de locales utilizados para cualquier actividad de índole industrial y/o comercial, entre las cuales se encuentran las fábricas de productos alimenticios, farmacéuticos, cartón, papel, cosméticos, bodegas entre otros.
- Lixiviado provenientes de vertederos
- Aguas drenadas por extracción minera.
- Aguas procedentes de mataderos y granjas



FIGURA 1 FILTROS VERDES: FUENTE:GOOGLEHIDROBLOG

### 1.3. Technosols.

Los technosols (tecnosoles) se definen según lo indicado en la World Reference Base for Soil Resources (2007), (Base de referencia mundial para los recursos del suelo) como aquellos suelos caracterizados por la presencia de un porcentaje superior al 30% de artefactos, una geomembrana construida o roca dura.

La base fundamental de estos son sus características y propiedades, las cuales se originan a través de procesos técnicos, que contienen una cantidad considerable de “artefactos” materiales naturales o sintéticos, producidos o dispersados mediante las distintas actividades que lleva a cabo el ser humano. Así mismo pertenecen a suelos de desechos entre los cuales se enumeran: los rellenos, escorias, lodos, escombros, cenizas, desechos de minería, pavimentos, suelos con geomembranas, inclusive aquellos elaborados con materia prima construida por el hombre.

Estos residuos adecuadamente tratados en mezclas, producto de procesos técnicos pueden ser utilizados para subsanar procesos contaminantes, por sus propiedades, de absorción superficial, agente reductor o su capacidad de retención de agua, produciendo al mismo tiempo un ambiente adecuado para realizar actividades biológicas que permitan la regeneración de suelos degradados en corto plazo.

Sin duda los technosols son una herramienta fundamental para la implantación de los filtros verdes, la mezcla adecuada de residuos permite neutralizar los efectos tóxicos de los efluentes y la regularización del sistema permitiendo la actividad biológica necesaria para la sostenibilidad del ecosistema.

Entre las propiedades o características se pueden resaltar las siguientes:

- El uso de las propiedades bioquímicas que poseen algunos residuos de naturaleza orgánica e inorgánica mediante el uso de las técnicas de la Edafología permite conseguir suelos que desempeñan adecuadamente las funciones requeridas para la producción y la sostenibilidad del ambiente.
- El aprovechamiento de los elementos enalantes y nutrientes que se encuentran en los residuos, permiten subsanar los problemas de toxicidad y acidificación de los suelos y por ende del agua, lo que estimula la recuperación de la biótica (comunidades bióticas) tanto de los sistemas acuáticos como de los terrestres.
- Se ha comprobado que las aguas tratadas mediante el uso de humedales con Tecnoles elevan el pH hasta la neutralidad, sin la necesidad de aditivos,



electricidad ni mantenimiento, eliminando las sustancias tóxicas y permitiendo el desarrollo de comunidades acuáticas.

#### 1.4. Los suelos y sus características como componentes de los technosols

Los suelos son un factor fundamental para la preservación del ecosistema, funcionan como depósito temporal en el ciclo natural del agua, facilita su infiltración y permite su depuración en su trayecto hacia los acuíferos.

La calidad de los mismos juega un factor importante para determinar la posibilidad de desarrollar de manera idónea algunas de sus funciones, entre ellas podemos resaltar las nuevas técnicas de filtros verdes.

Para la implantación y buen funcionamiento de los filtros verdes se requieren una serie de características y propiedades del suelo, del agua y del clima de la zona. Factores que se irán incorporando a lo largo del desarrollo del tema.

La depuración de agua residual se efectúa por la reacción conjunta del suelo, los microorganismos (bacterias) y la vegetación (plantas), mediante sus componentes físicos, biológicos y químicos.

Los suelos más interesantes para ser constituyentes de los technosols son los de textura franca. Se consideran como suelos francos, aquellos cuya composición cuantitativa es muy cercana a la óptima, se pueden considerar suelos mixtos, por estar formados por proporciones de arena, limo y arcilla, ideal para la producción agrícola.

Su textura suele ser suelta por la arena, de gran fertilidad por la existencia de limos, adecuada conservación de humedad por la arcilla, lo ideal es que tenga niveles de materia orgánica alrededor del 2%, de lo contrario, se debe incorporar algún tipo de enmienda para mejorar su contenido en carbono orgánico, al preparar al technosol.

Los terrenos franco arenosos y franco arcillosos, poseen las proporciones ideales de arena, limo y arcilla que resultan idóneas para la mayoría de los cultivos.

Tipos de suelo	Textura	Relación arena-limo-arcilla (%)
Medios	Franco arenoso	65 – 25 – 10
Pesados	Franco arcilloso	35 – 30 – 35

TABLA 1: COMPOSICIÓN CUANTITATIVA SUELOS FRANCOS

#### Características de suelos

- Granulometría: El filtrado se encuentra directamente ligado con el tipo de suelo y el tamaño de las partículas.  
Suelo Arcilloso: Diámetro partículas <1/16mm. Lenta y efectiva.-  
Suelo de Grava: Tamaño de Grano >2mm. Rápida y poco efectiva.-  
Suelo Franco: Intermedio (ideal)
- Permeabilidad: entre 5 y 50 mm/h
- Nivel piezométrico: profundidad superior a 1.50 metros
- Área o superficie: recomendable en el orden de 30 a 40 m<sup>2</sup>/habitantes (Variable las condiciones climáticas y las características hidrológicas y geológicas de la zona.)
- Efluentes: las aguas residuales no deben poseer sustancias nocivas para cultivos.
- Se requieren terrenos planos para evitar la escorrentía superficial.
- No son recomendables en zonas de alta pluviometría.

Además de suelos, en la generación de los technosols se emplean subproductos (orgánicos e inorgánicos) que permiten obtener beneficios complementarios a los fines principales, como aumentar el secuestro de carbono, fijar metales en suelos contaminados, valorizar residuos, et. (Bolaños et al., 2014). La idea de reutilizar los subproductos para alcanzar la meta de residuos cero ha sido establecida como prioritaria por la Unión Europea (Saveyn et al., 2014).

## 2. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS

El agua es esencial para la preservación de la vida, por ello desde sus orígenes la humanidad utilizó métodos y técnicas muy rudimentarias para su recolección, almacenaje, y distribución. Los primeros asentamientos fueron creados en las cercanías de ríos y lagos, por ser fuentes de agua dulce, a medida que sus pobladores fueron evolucionando y sus comunidades creciendo se generó la necesidad de encontrar nuevas fuentes de agua, en esa búsqueda se desarrollan nuevos métodos que le permitieron extraer las aguas subterráneas, y la construcción de los primeros pozos.

## 2.1. Antecedentes de los procesos naturales de depuración

Los primeros antecedentes sobre agua almacenada en pozos, se encuentran en Jericó, por la necesidad de ser distribuida a distintas zonas para su utilización, se desarrollaron los primeros sistemas de distribución. El primer método puesto en práctica fueron los canales excavados en la superficie. Estos sistemas se fueron perfeccionando y se inició el uso de conductos huecos, como troncos de bambú y palmeras.

Los egipcios fueron los primeros en poner en práctica un método para el tratamiento de agua. La metodología más común que utilizaron para su depuración era hervir el agua sobre fuego, calentarla colocándola al sol o introduciendo una pieza de hierro caliente en el interior del envase, igualmente utilizaron los métodos de filtrado a través de gravas después de ser hervida, dejándola enfriar para su consumo.

En la denominada antigua Grecia, desde épocas tempranas utilizaron aguas provenientes de lluvia, de pozo y de escorrentía. Por su alto crecimiento poblacional necesitaban nuevos métodos para un mejor aprovechamiento de los recursos, lo que hizo necesario el uso de materiales de mejor calidad, como cerámica, hierro y la madera. Así mismo fueron los primeros en demostrar interés por la calidad del agua para su consumo, por ello iniciaron la separación de las aguas residuales.

Hasta llegar al Imperio Romano, que se personifican como grandes arquitectos, en la construcción de redes para distribuir el agua. Igualmente el agua se trasladaba a presas que permitían grandes volúmenes de almacenamiento, para ser distribuida a la comunidad por medio de conductos, fabricados con cemento, bronce roca, plata, plomo y madera. Logrando así la distribución a grandes distancias. En lo que respecta al método de tratamiento utilizaban la aireación, y técnicas para evitar la contaminación por agentes externos.

Tras la caída del imperio Romano, existió poco desarrollo en esta área, lo cual unido al crecimiento poblacional, trajo como consecuencia la generación de enfermedades que se convirtieron en epidemias. (año 500 al 1500 d.C).

Durante la edad media surgieron múltiples inconvenientes por la calidad del agua y por los sistemas de conducción de plomo. Uno de los más frecuentes era verter aguas residuales de manera directa al agua destinada al consumo, lo cual generaba enfermedades y hasta la muerte del que la consumía.

Al finalizar esta prolongada época de atraso, en el transcurso de los siglos XVI y XVII llega una nueva época en la cual se logran dar algunos pasos para alcanzar nuevos avances. Es a partir de mediados del siglo XVIII con la revolución industrial, que se logran un conjunto de mejoras en lo económico, social, tecnológico y cultural que permiten dar un gran salto en lo que respecta a la Historia de la humanidad.

Ya en el siglo XIX, en 1804 el científico escocés Robert Thom, logra el diseño del primer sistema para purificación de agua, que contenía filtros de arena, en Paisley, Escocia.

Posteriormente en 1806 se pone en funcionamiento en París una planta de tratamiento de agua, la más grande conocida en la época. El sistema consistía tener el agua 12 horas de reposo para que se sedimentaran antes del proceso de filtrado, los filtros estaban compuestos por arena y carbón.

Pero no es hasta 1827, cuando el inglés James Simplón inventa el primer filtro de arena, para la purificación de agua, que aun en nuestros días se considera el mejor sistema para lograr su potabilización para la preservación de la salud pública. Este método fue replicado rápidamente por las compañías dedicadas al tratamiento de agua, por el gran potencial que observaron en el mismo. Este invento logró la creación de un sistema de purificación efectivo, que permitió disminuir las enfermedades contagiosas como el cólera que configuraban un peligro para la humanidad.

El crecimiento poblacional continúa en ascenso y la demanda de recursos hídricos es cada vez mayor lo que genera la necesidad de cuidar y preservar las fuentes de suministro.

Las aguas residuales se han convertido en un problema para la preservación de las fuentes naturales de agua, lo que ha generado la implementación de nuevas tecnologías ecológicas, que no requieren instalaciones sofisticadas, que permiten su tratamiento de manera económica y adicionalmente se pueden utilizar para otros usos no humanos, permitiendo así una mayor gestión de los recursos para consumo humano.

Estas nuevas técnicas son conocidas como filtros verdes y se han venido estudiando y analizando en distintos países, desde el siglo XX hasta la década de los 80, no obstante se ya en los años 70 se realizaron algunos trabajos y algunas experiencias en la materia. En España las primeras instalaciones de aplicación al terreno, datan de la segunda mitad del siglo XX, las primeras experiencias fueron ubicadas en la región de Andalucía en las

localidades de Almería y Granada y en el municipio de Lorca de la región de Murcia al suroriente de España.

## **2.2. Análisis de los filtros verdes**

En este punto realizaremos un análisis de los filtros verdes, ventajas y desventajas que se pueden obtener con su implementación.

Los filtros verdes son una tecnología emergente, considerada una solución innovadora, natural, sostenible y económica para el tratamiento de las aguas residuales, que beneficia a la población y al medio ambiente.

Las poblaciones pequeñas, requieren sistemas para el tratamiento de las aguas residuales, que les permitan cumplir con requisitos exigidos para la depuración de las mismas, mediante el uso de procesos simples que no representen grandes costes y que no necesiten trabajos complejos para su mantenimiento y a su vez ayuden en la preservación del ambiente. Los filtros verdes les permiten obtener estas facilidades.

Por otra parte la demanda creciente de agua destinada al consumo humano por el constante crecimiento de la población, genera que la reutilización de las aguas tratadas se consideren una alternativa importante para el riego de cultivos, y si se hace por el uso de filtros verdes proporciona algunas ventajas adicionales, entre las cuales podemos mencionar: el agua de efluentes depurada constituye una fuente constante y segura, incluso en periodos de sequía, provee de manera continua nutrientes y otros micro-elementos que actúan como fertilizantes de floras, constituyendo al ahorro en la comprar de materiales y en el resguarda el medio ambiente; ayudan en la preservación de los recursos hídricos existentes al colaborar con uso más eficiente del agua para consumo humano y disminuye las posibles fuentes de contaminación del aguas consiguiendo salvaguarda la salud.

Así mismo este sistema de filtros verdes, puede ser utilizado como un complemento de los medios tradicionales en las localidades que producen grandes volúmenes de efluentes y por consiguiente se requiere grandes extensiones de terreno, y no disponen de ellos para lograr una implantación que consuma el total de caudal producido.

Los sistemas de filtros verdes destinados al tratamiento de efluentes de tipo industrial, requieren una atención especial por tratarse de sustancias que resultan de la combinación de residuos de procedencia humana con las sustancias derivadas del

proceso industrial, que en algunos casos resultan sustancias nocivas tanto para el ambiente como para la salud. Este tipo de sistemas debe ser previamente analizado para determinar su factibilidad, antes de la implantación del sistema, o si es el caso tomar las medidas necesarias para contrarrestar la acción de las mismas.

### **2.2.1. Aspectos importantes para la implantación de un filtro verde.**

Resulta muy importante de resaltar y analizar la elección y evaluación del terreno en el cual será instalado, es fundamental examinar la permeabilidad del suelo en la zona, la profundidad del nivel freático, pendiente del terreno, conductividad y tipo de suelo entre otras características para garantizar su correcto funcionamiento.

Otro aspecto que resulta esencial es la selección de las diferentes especies que serán colocadas en el terreno, las cuales forman parte integral del diseño. Las plantas más apropiadas para este tipo de sistema, son las que requieren un alto consumo de agua, son altamente resistentes a la humedad, poseen una alta capacidad para asimilar nutrientes, y requieren poco mantenimiento y no presenten sensibilidad frente a los contaminantes que se encuentran disueltos en el agua. Así mismo resulta importante analizar las especies propias de la región, para facilitar la obtención de las mismas, entre ellas se encuentran los árboles ornamentales, cultivos agrícolas, arbustos, frutales, etc. Antes de depurar el agua, es necesario instalar etapas previas que eliminen determinados componentes indeseables. Estos procedimientos incluyen el desbaste, eliminación de partículas de gran tamaño, la eliminación o disminución de las grasas y desechos tóxicos que comprometan el buen funcionamiento del proceso.

El procedimiento destinado a la distribución del agua residual debe ser seleccionado en la etapa de conceptualización del diseño, ya que el sistema de riego constituye un factor importante para el vertido del efluente. Entre los métodos de riego más utilizados se encuentran: el riego por aspersión, el riego superficial y por goteo, considerando para el método más adecuado de acuerdo a las características propias del diseño y de la eficiencia de implementación.

El proceso de mantenimiento de un sistema de filtrado verde, es un procedimiento bastante sencillo y de fácil ejecución, entre las actividades a desarrollar se encuentran, la limpieza de la superficie de penetración lo cual consiste en la supresión de la capa dura que se forma en la parte superior de la superficie, velar por la preservación y calidad de la vegetación, realizar si es necesario la poda de los árboles, rotación de los

lotes de riego, inspección de la flora para evitar la presencia de plagas, exclusión de las arbusto y hierbas para conservar las especies principales y evitar la competencia interespecífica.

Existen distintos tipos de filtros verdes, lo que permite una amplia gama de alternativas a la hora de realizar el diseño del mismo, para ello se deben analizar todas las variables que se han descrito anteriormente y verificar cual se adapta mejor a las necesidades propias y del entorno.

Uno de los factores determinantes en el diseño de un filtro verde es la calidad y propiedades del suelo, en la actualidad se cuentan con nuevas tecnologías que permiten obtener suelos apropiados mediante procedimientos técnicos, fabricados por el hombre de acuerdo a las necesidades del proyecto en el cual formarán parte. Se les denomina como “suelos a la carta” (tecnosoles), que permiten obtener mediante la mezcla de residuos, las propiedades necesarias para acondicionar o regenerar un terreno, con la finalidad de lograr las propiedades que se requieren para el desarrollo óptimo de un proyecto. Esta técnica resulta un avance significativo para la implantación de este tipo de proyectos destinados al saneamiento de las aguas y la conservación y regeneración del medio ambiente, en el cual se incluye la flora y la fauna.

### **2.2.2. Tipos de sistemas de filtros**

Como se ha descrito anteriormente los filtros verdes son un sistema natural para la purificación de las aguas residuales, logrado a través del vertido de las mismas sobre un área de terreno, en la cual previamente se adecúa el terreno y se siembra una o varias especies de plantas, logrando así la depuración del efluente, el desarrollo de las plantas, la recuperación de los niveles de agua subterránea, evitando la contaminación de las mismas.

El proceso se efectúa por la actuación en conjunto del suelo, microorganismos y plantas (figura 2).

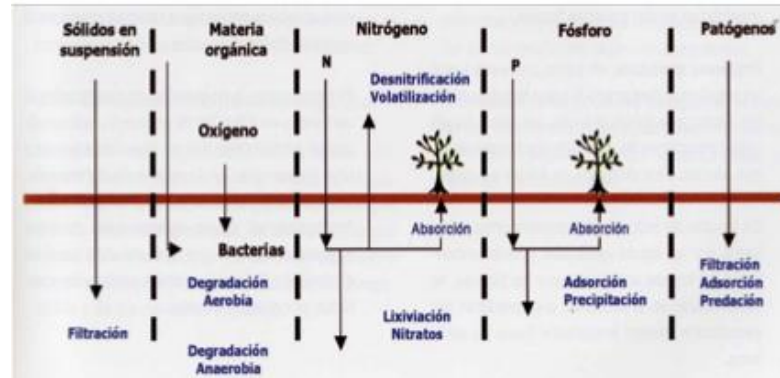


Figura 2: PROCESO DE DEPURACIÓN: FUENTE: GOOGLE /SITE/BIOINGENIERIAUV

De acuerdo a la tecnología aplicada se pueden diferenciar dos tipos de filtros verdes.

- Tipo I: Proceso de infiltración lenta, su principal objetivo es el tratamiento de los efluentes. Se caracteriza por el uso de cargas hidráulicas comúnmente altas, no están limitadas por la demanda de las especies implantadas en el terreno. El parámetro determinante para el diseño es la permeabilidad del suelo y las sustancias presentes en el efluente que deben cumplir con lo establecido en la normativa vigente.
- Tipo II: Proceso de cultivos vegetales, el principal objetivo es la utilización del volumen de agua del efluente y las sustancias que en algunos casos actúan como fertilizante de las especies vegetales plantadas. Se caracteriza por el uso de cargas hidráulicas controladas, por estar condicionadas a los requerimientos específicos de las especies utilizadas en la plantación.

Este tipo de filtro (figura 3) no permite la reutilización inmediata del agua, ya que la misma es consumida a través de las raíces de la plantación, un porcentaje se evapora retornando a la atmósfera en forma de vapor, y un porcentaje se filtra al suelo alimentando los acuíferos.



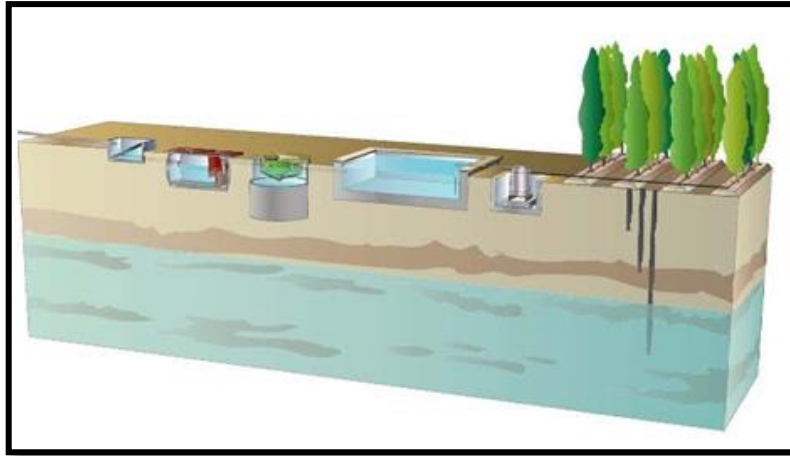


Figura 3: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO VERDE FUENTE: IMDEA

### 2.2.3. Ventajas

Entre las ventajas podemos resaltar:

- Método sencillo de construcción y de operación.
- Labores de mantenimiento de fácil ejecución y bajo coste.
- No requiere la colocación de equipos mecánicos.
- No requiere energía eléctrica.
- Se complementa y forma parte de medio ambiente natural
- Posibilidad de obtener beneficios económicos por la venta de madera y/o especies vegetales.

### 2.2.4. Desventajas

- Puede verse afectado por el clima reinante de la zona. En época de invierno las especies vegetales no poseen el mismo rendimiento que en época de verano, lo que afecta el crecimiento de los pies, disminuyendo la absorción del agua lo que afecta la eliminación de las sustancias contaminantes.
- Por efecto de la reducción de los procesos de evaporación y de transpiración se pone en riesgo la calidad de las aguas subterráneas.
- No es recomendable zonas de alta pluviosidad.
- Se requieren grandes extensiones de terreno para su implantación.
- No funciona o funciona de manera precaria en ciertos tipos de tipo suelos.
- No es recomendable en zonas de alto nivel profundidad del nivel freático
- No se recomienda en zonas de altas pendientes, por la escorrentía superficial.

- No es recomendado para los cultivos de vegetales, cuando se trata de sustancias tóxicas o peligrosas. (En este caso funcionan para especies arbóreas para producción de madera)

### 2.2.5. Humedales

Unidad funcional que crea una anomalía hídrica positiva en el paisaje, puede ser de origen natural o artificial, en la que no se incluyen los ríos ni los lagos y las cuales se caracterizan por poseer comunidades biológicas o destinadas a un uso particular que los distinguen de su entorno. (Gonzalez \*Bermudez, 1989)

Podemos considerar que los humedales (figura 4) son superficies de terrenos inundadas que poseen poca profundidad, los mismos pueden ser de origen naturales o artificiales (creados por el hombre), poseen vegetación, es una tecnología innovadora implementada para el tratamiento de los efluentes generados principalmente en pequeños grupos poblacionales.

La depuración tiene efecto debido a los procesos físicos, químicos y biológicos, que se producen de forma simultánea y conducen a disminución de los contaminantes

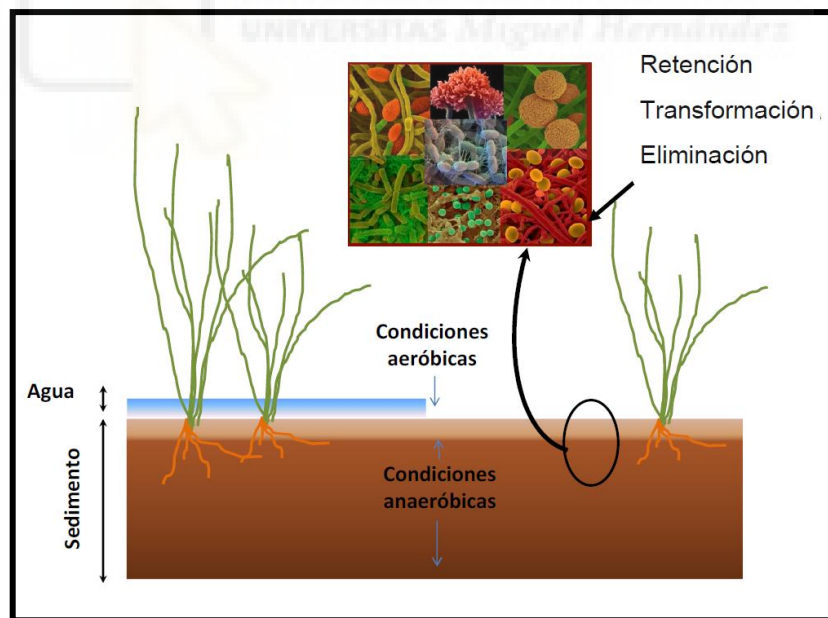


Figura 4: ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO FILTRO VERDE (HUMEDALES) FUENTE: IMDEA

Los humedales de origen natural como su nombre indica se componen de elementos naturales sin la intervención de la mano del hombre.

Los humedales de origen artificial (figuras 5 y 6) permiten reproducir los procesos naturales de un humedal natural, la estructura del sistema requiere una base impermeable, sobre la cual se colocará una capa de suelos natural o grava, la que servirá de asiento a las raíces de las plantas que se desarrollaran en el sistema. La vegetación que se utiliza en este es la misma que se crece en los humedales de origen natural, como plantas acuáticas, carrizos, aneas y juncos entre otros.

Entre sus aportes al medio ambiente se pueden distinguir los siguientes: permiten regular el flujo de agua, creando fuentes de abastecimiento y disminuyendo las probabilidades de inundaciones, igualmente se constituyen en un hábitat ideal para distintas especies de la flora y la fauna, y proveen de materias primas para distintos usos en la industria de la construcción, farmacia y medicina entre otros.

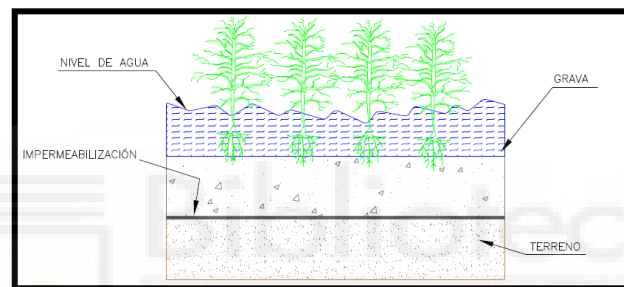


Figura 5:SECCIÓN TRANSVERSAL HUMEDAL ARTIFICIAL FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA

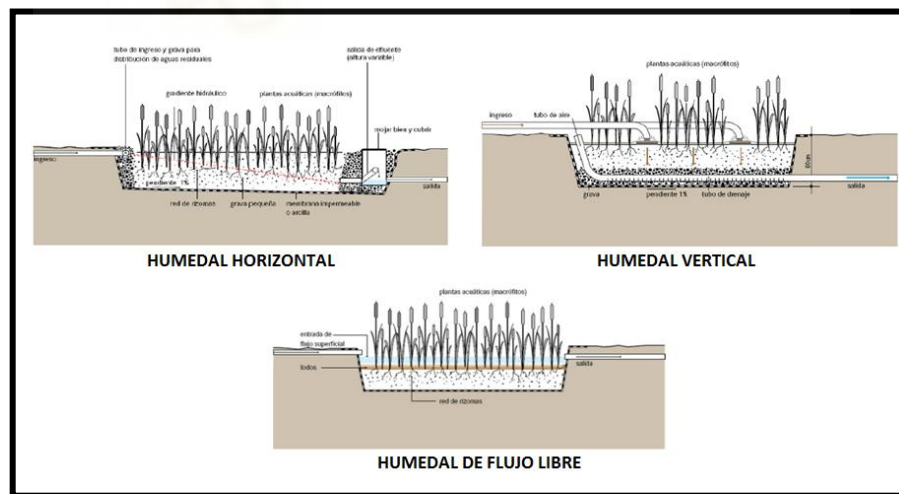


Figura 6: ESQUEMAS TIPO DE HUMEDALES FUENTE: GOOGLE.COM /SEARCH?Q =HUMEDALES

### 2.3. Objetivos

El objetivo central del trabajo se basa en investigar y analizar de manera amplia y detallada, la información existente sobre el tema de technosols como filtros verdes y en la restauración de suelos contaminados, haciendo énfasis, por un lado, en la utilización de los technosols como elemento de filtrado y, en otro, para mejorar el medio edáfico, ayudando a sustentar un ecosistema sostenible.

### 3. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la elaboración del presente trabajo, se ha seleccionado y analizado la información disponible sobre:

1. las tecnologías emergentes no convencionales para el tratamiento de aguas pluviales y residuales, entre las que se destacan los filtros verdes, estrategia dirigida a la simulación de mecanismos tradicionales para la depuración del agua de manera natural, preservando el ambiente y permitiendo el aprovechamiento de sustancias para su uso en fertilización y mejoramiento de las propiedades del suelo entre otros.
2. Aprovechamiento de technosols en la restauración de zonas afectadas por actividades mineras.
3. Empleo de technosols como material edáfico en otras actividades antrópicas.

Para ello se ha examinado los conceptos básicos, características, propiedades, usos, y tipologías relacionados con los filtros verdes y de los technosols, con énfasis en los procesos destinados a la depuración de las aguas residuales y los beneficios que estos procesos aportan a la conservación del medio ambiente y en la recuperación de zonas degradadas por actividades mineras a cielo abierto.

Se han analizado diferentes proyectos ejecutados mediante la aplicación de la técnica de filtros verdes, para la depuración de aguas residuales y restauraciones de espacios contaminados.

Así mismo se han consultado documentos recientes sobre publicaciones de estudios y experiencias obtenidas con la implantación de filtros verdes, con la siembra de distintas especies y los resultados obtenidos.

Entre las fuentes y material utilizado para la elaboración trabajo del trabajo se encuentran:

- Proyectos realizados para la depuración de aguas residuales mediante el uso del suelo como depurador natural.
- Proyectos realizados con la utilización de tecnosoles.
- Datos de revistas y papers científicos.
- Datos de Tesis Doctorales sobre la materia.
- Repositorios Institucionales de universidades.
- Repositorios y datos de informes realizados por el Consejo Superior de Investigaciones Científicas CSIC
- Documentos y datos en abierto obtenidos de Google Académico, Researchgate y Dialnet.

En base a la información obtenida durante el trabajo de investigación, se expresan y evalúan los resultados y experiencias alcanzadas, durante la implementación de los proyectos y procesos más relevantes en los cuales se han utilizado los filtros verdes y los Tecnosoles, para la gestión de aguas residuales y otras actividades conexas al uso de los mismos, en actividades que permitan la resolución de problemas de índole ambiental.

Palabras claves utilizadas en la búsqueda de información son: Usos de los Technosols, filtros verdes y depuración de aguas residuales.

#### **4. RESULTADOS**

Como resultado de nuestra investigación podemos aseverar que los Technosols se han convertido en un recurso natural y económico, que posee la capacidad necesaria para la rehabilitación de suelos degradados o contaminados, en un lapso de tiempo bastante corto, así mismo permiten realizar asociaciones destinadas a la solución de un problema específico, y de igual forma permiten de manera efectiva la restitución del medio ambiente.

Por tratarse de suelos diseñados mediante procesos tecnológicos, se pueden lograr materiales que permitan reforzar la capacidad natural del suelo y ayudan en la mitigación de los efectos contaminantes de los sistemas, agua, suelo que se encuentren afectados (Tedoldi et al. 2016).

Si analizamos a fondo la génesis del suelo, su evolución a través del tiempo sus propiedades geomorfológicas y los mecanismos idóneos para lograr su estabilización, se pueden confeccionar suelos mediante mezclas de materiales naturales o de origen entrópico, orgánicos o inorgánicos, que semejen las características naturales, que se conocen como Technosols (Macías, 2004).

En base a estos referentes, antes citados se han realizado diferentes pruebas piloto, y proyectos en los cuales se analizó los resultados después de la colocación de Technosols para el tratamiento de aguas residuales, recuperación de suelos y mitigación de daños ocasionados al medio ambiente.

A continuación, mostramos algunos ejemplos prácticos, llevados a cabo en distintos escenarios, utilizando la tecnología de los Technosols y las experiencias obtenidas por el uso de los mismos.

#### **4.1. Uso de Technosols en la recuperación del medio como consecuencia de actividades mineras.**

Un caso muy importante que amerita resaltar son los trabajos de recuperación realizados, en la superficie donde antiguamente funcionó Mina de Touro en Galicia, al cesar de actividades de explotación de sulfuro metálico, la zona fue abandonada, generando un alto nivel de deterioro ambiental en el sector. La superficie rocosa quedó expuesta sin vegetación, ni suelo, por lo que perdió la capacidad natural para regenerar una capa vegetal. Estas condiciones del terreno propiciaban la oxidación de sulfuros metálicos, afectando la calidad del agua y generando el desplazamiento de minerales y sustancias contaminantes, que generan la contaminación de la cuenca del río Ulla (Bolaños et al., 2014; Macías García et al. 2009).

Para la recuperación del área afectada de la mina, se diseñaron diferentes procesos de acuerdo a las características específicas de cada problema. La metodología de diseño para la elaboración del proyecto fue la siguiente; se realizó una inspección del área afectada y su entorno, se identificaron y analizaron cada uno de los puntos críticos a tratar y posteriormente se procedió diseño de las características y propiedades de los materiales necesarios para la elaboración de los suelos (Technosols), requeridos para mitigar los daños y lograr la recuperación del ambiente (agua – suelo).

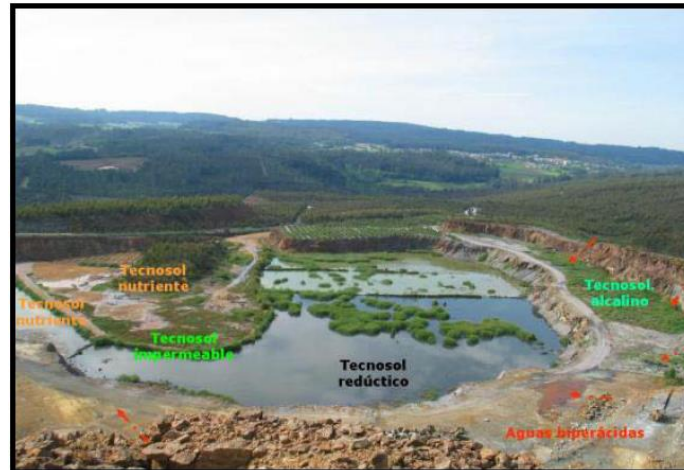


Figura 7: HUMEDAL TIPOS DE TECHNOSOL EN BAMA FUENTE: (MACIAS GARCIA, ET AL. 2009)

Para la depuración del área se constituyó un humedal, en el cual se incorporaron diferentes tipos de suelos (Technosols) capaces de revertir la afectación del ambiente, los cuales generan la reactividad necesaria, gracias a las características, composición y propiedades de los componentes utilizados para lograr la mezcla del suelo. Simultáneamente se implantó vegetación de tipo acuática (Typha), sobre una capa de Technosols auríferos, con alto contenido de nutrientes. (ver figura 7)

Características de los Technosols utilizados en el proyecto:

- Technosols con baja permeabilidad, con el objetivo de retener el agua, controlar la velocidad y flujo del caudal, generando el desarrollo de vegetación natural. (Macías García et al. 2009).
- Technosols alcalino, reacción ácido base, esta cualidad logra que el agua al pasar a través del suelo con propiedades alcalinas, logre valores altos de pH (neutro), haciendo que precipiten las de hierro y aluminio solubles, lo que permite la absorción de los elementos de esta manera la acidez
- Technosols reductor o reductor, el cual se coloca con el objetivo de eliminar oxidantes y lograr que alcance condiciones sulfato reductoras. (Macías Garcia et al. 2009).



Figura 8: PROCESO DE DEPURACIÓN MINAS DE TOURO. FUENTE: MACIAS Y NIETO, 2012

El tratamiento ha logrado que se reduzca de manera importante los elementos y sustancias contaminantes se encontraban en la superficie, logrando que el pH de las aguas ácidas alcancen un pH neutro cercano a 7, permitiendo el desarrollo de una cadena trófica compleja. A través de los resultados obtenidos se puede decir los Technosols representan una opción para la recuperación y preservación ambiental. han logrando grandes avances (ver figura. 8)

Otro ejemplo de la utilización de Technosols en un área minera, la encontramos en la Bahía de Portmán, Murcia. La explotación minera que se realizó en la zona ocasionó un desastre ecológico de gran magnitud a consecuencia de los vertidos, de Empresas radicadas en el sector, contaminando la zona (González, 2014),

Otros caso de uso de Technosol, en área minera se encuentra en el Mediterráneo, en la Bahía de Portmán en Murcia (España), considerado un gran desastre ecológico la extracción de minerales a gran escala como plomo y zinc a generan la contaminación ambiental del ecosistema (suelo, agua, aire y organismos vivos)

Durante más de 60 años se han vertido al mar 60 millones de toneladas de estériles originarias por la minería lo que ha generado la colmatación de la bahía en un 80% (González. 2014.)



Los suelos de la bahía están compuestos en la actualidad por materiales estériles, metales solubles, sedimentos mineros y sustancias arrastradas por la escorrentía y aguas de otras ramblas que desembocan en la bahía y que aportan materiales de atenuación natural (González. 2014.)

Para el tratamiento de las zonas se realizó el diseño de Technosols, contruidos con la selección de algunos suelos contaminados (con sedimentos mineros) localizados en la bahía y se realizó la mezcla con materiales calcáreos como rellenos (figura 9).

En la mezcla logró neutralizar la acidez y sujeción de los metales o elementos tóxicos, porque su actuación genera formas más estables, evitando así la posible transferencia a otros medios (González, 2014).



Figura 9: EVOLUCIÓN BAHIA PORMAN

FUENTE: [HTTPS://WWW.GOOGLE.COM/SEARCH?Q=BAHIA+PORTMAN&TBM=ISCH&CHIPS](https://www.google.com/search?q=BAHIA+PORTMAN&TBM=ISCH&CHIPS)

Los Technosols, se han empleado en otras minas como la de Aznalcóllar (Ibáñez, 2015) y Saelices El Chico (TEKURA, 2017) en España y La Zanja en Perú (Huancaya y Carrasco, 2017).

El objetivo principal del uso en las mismas fue la prevención de la posible generación de lixiviados ácidos y liberación de metales a las aguas superficiales y de infiltración,

tratando de evitar la necesidad de tratamiento de los vertidos, de forma que se disminuir los trabajos de mantenimiento en las operaciones de cierre de las minas.

Se pueden aplicar otra tecnologías con los Technosols para la recuperación de zonas mineras, que permiten una rápida activación biológica del medio edáfico, como utilizar la bioaumentación (adición de cultivos microbianos) en conjunto con lodo de mármol. Este último es utilizado para la inmovilización de metales pesados (Zornoza et al., 2017) y para provocar el desarrollo de raíces debido a su alta capacidad de retención de agua (Simón et al., 2018).

## **4.2. Uso de Technosols en la depuración de las aguas residuales.**

Las aguas residuales tienen su origen en las distintas actividades humanas que se realizan como: aguas residuales de uso doméstico, industrial, comercial, desarrollo minero y agrícolas, entre otras. Por lo que se hace necesario revisar los diferentes escenarios en los cuales se ha utilizado esta tecnología y los resultados obtenidos en cada una de ellas.

### **4.2.1. Aguas residuales urbanas.**

Son consideradas aguas residuales urbanas, ya que las mismas proceden de aguas residuales de uso industrial mezcladas con aguas residuales de uso doméstico. (Real Decreto-Ley 11/95., 1995).

Este estudio se realizó con las aguas residuales generadas en una planta de producción vinícola durante el ciclo final de depuración, el método utilizado para culminar el proceso fue el de humedales, en los cuales se colocó una capa de Technosols e implantó vegetación de tipo tifa (*Typha Latifolia*).

Se modificó la geometría del humedal existente, para extender la distancia de recorrido y tiempo de permanencia, creando así una superficie adecuada para el crecimiento del tapiz bacteriano, que participa junto a los microorganismos del sistema en la degradación de la materia orgánica y la vitrificación.

Con la aplicación de los Technosols en el humedal de flujo horizontal, se logró reducir valores críticos, por debajo de los niveles establecidos en la ley, superando las expectativas de diseño. (Bolaños, 2014).

#### 4.3. En aguas eutrofizadas.

Los Technosols, han sido utilizados en el tratamiento de aguas eutrofizadas, como factor determinante para extraer la mayor cantidad de los fosfatos presentes en la misma, a fin de reducir de manera significativa la reproducción de cianobacterias, elementos perjudiciales para el medio ambiente.

El embalse de As Conchas localizado en Galicia, próximo a la frontera con Portugal, posee un nivel de eutrofización bastante elevado debido al aporte de nutrientes, originado por la sobreexplotación agrícola de la zona (Alonzo Rodriguez & Macias, 2012).

Para el análisis se realizó un proyecto piloto sobre dos afluentes del embalse, diseñando un Technosol con propiedades ándicas, que permitan extraer del fosfato, colocándolo en depósitos permeables, permitiendo su contacto con el agua, sobre una estructura de metal para abarcar la superficie total del cauce (figura 10).

La adsorción de fosfatos se logran por los compuestos de hierro y aluminio que actúan como los complejos organometálicos de ambos elementos, con los que logran un fuerte vínculo, que impidiera su posterior liberación. (Bolaños Guerrón D. 2014.)

La zona de ubicación de la estructuras, se seleccionó en función de la facilidad de acceso para los equipos y maquinaria. Con la colocación del Technosol se logró una mejora significativa en los parámetros de calidad del agua, disminuyendo el desarrollo de cianobacterias, producto de la retención de fosfato y sus efectos (Bolaños, 2014).



Figura 10: FOTOS DE ESTRUCTURAS – FUENTE: BOLAÑOS GUERRÓN D. 2014

#### **4.4. En aguas contaminadas con arsénico.**

En este caso se estudia los resultados obtenidos por el empleo de los Technosols en un ecosistema hídrico contaminado con sustancias tóxicas (arsénico) procedentes de la explotación minera. Para el análisis se empleó un Technosol compuesto por suelos férrico-extraídos del área minera, y nano-partículas de hierro u óxidos metálicos con activos de cáscara de naranja, ya que los mismos poseen propiedades adsorbentes que ayudan a la eliminación e inmovilización de los metales pesados y otros elementos contaminantes del de la superficie y del aguas.

El resultado obtenido en el análisis del modelo, determina que aplicando en conjunto los Technosols con las nano-partículas en aguas contaminadas por las, se ha logrado obtener excelentes resultados que configuran una alternativa para la recuperación y regeneración de ambientes contaminados, al lograr retener un porcentaje muy alto del arsénico presente en la muestra. (Sánchez, 2017).

#### **4.5. Uso de technosols en la gestión de aguas pluviales urbanas**

El uso de suelos a la carta en la construcción de determinadas infraestructuras, dentro del diseño urbano, para la gestión de aguas pluviales, se está incorporando a los desarrollos urbanos en muchas partes del mundo (Sharma et al., 2019) , ya que estas prácticas son capaces de mitigar los aspectos negativos que tienen las zonas urbanizadas, tanto en lo que respecta a la calidad como a la cantidad de las aguas pluviales. En la mayoría de los casos, es necesario implantar diversos dispositivos para aprovechar las fortalezas del sistema a implantar (Mangangka et al., 2016).

Entre las estructuras a las que se pueden incorporar los technosols se encuentran las siguientes:

##### **4.5.1. Jardines de lluvia**

Los jardines de lluvia son lechos de vegetación poco profundos, que crecen sobre medios de crecimiento adecuados, y que suelen usarse para el manejo de aguas pluviales en áreas residenciales (figura 11). Estos dispositivos mejoran la infiltración de las aguas pluviales y la recarga de aguas subterráneas, al mismo tiempo que reducen el

caudal máximo. Estos dispositivos también reciben el nombre de “sistemas de bioretención” ya que proporcionan tratamiento biológico de las aguas, utilizando plantas y microorganismos, produciéndose procesos como la adsorción, el intercambio iónico y la absorción por la planta (Jennings, 2016; Stovin et al., 2017; Yang et al., 2013).

#### **4.5.2. Alcorques**

Los alcorques, o espacios del pavimento definidos para la plantación de árboles, son un enfoque alternativo a la práctica habitual de plantar árboles, y permite, además, recoger y filtrar las aguas pluviales (figura 12). Al igual que los jardines de lluvia, estas pocetas de los árboles actúan como un sistema de bioretención, ayudando al manejo de las aguas. En estos casos es importante la elección del tipo de árbol y las características del technosol, entre otras, para obtener un buen rendimiento del alcorque, siendo necesario la retirada frecuente de los sedimentos acumulados (USEPA, 2013).

#### **4.5.3. Biofiltros o Depósitos de Bioretención**

Las cuencas de bioretención (figura 13) son dispositivos que tratan principalmente los contaminantes de las aguas pluviales, como los nutrientes, a través de la combinación de una capa superficial de vegetación y medios filtrantes (Chen et al., 2013; Mangangka et al., 2015) (Fig. 3.8). La principal función de la vegetación es mantener la porosidad y alta permeabilidad de la matriz de crecimiento (technosol) y proporcionar una fuente de carbono, para reacciones de desnitrificación. La capa superficial se utiliza como zona de retención, donde se detiene el agua de lluvia, lo que permite la infiltración y la percolación a través del medio filtrante. Las capas subyacentes a la vegetación suelen consistir en medios filtrantes (arena gruesa/grava fina), con gran capacidad de drenaje que rodea una tubería de drenaje inferior perforada. Las cuencas de bioretención también tienen el potencial de controlar la cantidad de escorrentía de aguas pluviales. Esto depende de las propiedades del medio que sustenta la vegetación y de las características de la misma, afectando, estas dos características al rendimiento del biofiltro. (Hunt et al., 2008; Parker et al., 2009).

#### 4.5.4. Zanjas rodeadas de vegetación

Las zanjas se construyen como un dispositivo de pretratamiento antes de encauza las aguas recogidas hacia otros procesos como los indicados con anterioridad. Su función es la de mejorar la calidad de las aguas pluviales, ya que la vegetación existente y la porosidad del technosol utilizado, elimina la fracción más gruesa de partículas sólidas en la escorrentía de las aguas. La capacidad de tratamiento de zanjas con vegetación/bioretencción depende de la pendiente longitudinal (controla la velocidad del flujo y evita la erosión de zanjas superficie); tipo de especie y altura de la vegetación; filtro de medios; y el área transversal de la zanja (controla el tiempo de retención) (Leroy et al., 2016). La Fig. 14 muestra un zanja o rejilla típica con vegetación/biorretencción al margen de un camino.



FIGURA 11: JARDÍN DE LLUVIA. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019)



FIGURA 12: ALCORQUE (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019)



FIGURA 13: BIOFILTRO. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019)



FIGURA 14: ZANJAS RODEADAS DE VEGETACIÓN. (FUENTE: SHARMA ET AL., 2019)

#### 4.6. Otros usos de los Technosols.

##### 4.6.1. En la restauración edáfica de zonas afectadas por infraestructuras

Es natural que al ejecutar obras civiles, destinadas a la construcción de carreteras, sea necesario realizar excavaciones en los taludes contiguos, y al realizar las mismas y remover la capa superior del terreno queden expuestos, algunos materiales ricos en sulfuros, los cuales son atacados rápidamente como resultado del proceso de oxidación, al ocurrir este fenómeno natural, las aguas superficiales por efecto de la



escorrentía se pueden convertir en ácidas y arrastre de materiales tóxicos, que afectan negativamente al ambiente.

En Galicia se puede apreciar en varias zonas donde se han realizado trabajos de ampliación de las carreteras entre la que podemos mencionar la carretera a Viveiro, la A-9, la A-6 o la autovía Villalba – As Pontes, en las que se han expuesto por efecto de la excavación materiales ricos en sulfuros. Los efectos no se detectan con facilidad en su inicio, se hacen más evidentes con el paso del tiempo. (ver Figura 15)



Figura 15: OXIDACIÓN DE SULFUROS TALUDES VÍA SANTIAGO A ORENSE FUENTE: BOLAÑOS, 2014

Las aguas de escorrentía, que han tenido contacto con estas superficies, que han sufrido oxidación, se transforman en ácidas y conducen estos materiales, deben ser rápidamente retiradas de la superficie, ya que los mismos afectan la estructura de la carretera al ponerse en contacto con ellas. Adicionalmente pueden poner en peligro la salud del ser humano, debido a la ingesta de organismo acuáticos, que se encuentren contaminados por la alta concentración de arsénico. (Bolaños, 2014).

Para corregir este problema se utilizó la técnica de los Technosols, colocando sobre la superficie del talud para prevenir y corregir el proceso de oxidación. Los Technosols aplicados se encuentran formados por una aleación de aluminio con materia orgánica, (alu-ándico, siendo capaces de neutralizar el proceso de acidificación, disminuir la oxidación y retener los elementos tóxicos, complementado con semillas y elementos

para su sostenimiento, entre los que se encuentran las mallas que se pueden elaborar con diversos materiales, usualmente con cuerdas biodegradables, que permiten la contención del Technosol (Figura 16) (Bolaños, 2014).



Figura 16: TECHNOSOLS IMPLANTADO EN TALUD FUENTE: BOLAÑOS, 2014

#### 4.6.1. En zonas degradadas

Entre los diversos usos que se les pueden dar a los Technosols, resalta la aplicación de los mismos en zonas degradadas, encontramos algunos ejemplos en el municipio de Vitoria-Gasteiz (Álava), en la recuperación de parcelas sin presencia de capa vegetal con alto riesgo de degradación. Se analizaron varios tipos de suelos para seleccionar el que más se ajustaba a las características y propiedades requeridas. El uso de materiales permitió el aprovechamiento de los residuos y la factibilidad de recuperar la superficie de las parcelas degradadas (Herrán et al., 2016).

Los componentes que se utilizaron para realizar el Technosols, empleado para la recuperación, consistieron en materiales recolectados en la planta de residuos de la construcción, residuos generados en la planta de desechos sólidos urbanos (bioestabilizado), con poda trituradas como contribución de materia orgánica, bentonita reciclada y tierra vegetal de parcelas del entorno. (Vilela, 2014).

Los resultados determinaron que el uso de los Technosols es una alternativa confiable para la regeneración de terrenos degradados y como soporte de para el ambiente, ya que los parámetros logrados con su aplicación en el suelo están dentro de los umbrales que establece la legislación autonómica vasca (Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del País Vasco, 2015) de suelos contaminados para el uso de “parque público” (Herrán et al., 2016).

Se encontró otro caso en el sureste de España. Aquí se ubican grandes extensiones de parcelas degradadas, donde se requiere implementar procesos técnicos para lograr la recuperación de los mismos. Para el proceso se pueden emplear desechos y enmiendas (orgánicas e inorgánicas), de acuerdo a las necesidades del diseño, como son el compost de lodos de aguas residuales y residuos de palmeras para cuando se requiere materia orgánica y nutrientes, ya que los mismos permiten optimizar las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos pobres (Iovieno et al., 2009; Peñaranda et al., 2020) y originan el restablecimiento de procesos relacionados con el ciclo de nutrientes, fundamental para la regeneración del ecosistema.

De requerir materia inorgánica o un material equivalente al de un material inerte, se pueden utilizar residuos de afloramientos de piedra caliza triturada (Pérez-Gimeno et al., 2019). El uso de materiales inorgánicos e inertes modifican la configuración de los suelos, el pH (Zornoza et al., 2013) y optimizan la aparición de nutrientes en suelos ácidos, apoyando a mantener el sistema radicular de las plantas firme en el suelo (BRGM, 2001).

Así mismo se debe considerar las características y las posibilidades de afectación ambiental que se puede originar por el uso de compost, con presencia de metales pesados y salinidad (Eldridge et al., 2009; Navarro-Pedreño et al., 2004). Para garantizar la calidad, antes de su aplicación es preciso hacer un pre-tratamiento de los residuos a utilizar. (Pérez-Gimeno et al., 2019).

## **5. DISCUSIÓN**

Los filtros verdes se presentan como método natural y económico para la depuración de los efluentes, son de mucha utilidad para pequeños centros poblados, que no poseen una planta de tratamiento mecanizada o que la misma no satisface la demanda

necesaria, y que dispongan de una extensión de terreno utilizable para su implantación. Este sistema adicionalmente les puede representar una posible fuente de ingreso por la comercialización de los productos derivados.

Con el crecimiento continuo de la población, se incrementa el consumo de agua, disminuyen las reservas de agua existente y así mismo aumenta el volumen de efluentes a depurar, para preservar el ambiente se hace necesario que los sistemas de tratamiento sean confiables, que disminuya las sustancias contaminantes de manera segura y permitan la reutilización del agua purificada como alternativa de riego sin contaminar el ambiente ni representar un peligro para la salud.

Con la tecnología de los Technosols suelos a la carta, se logra acondicionar y mejorar los suelos existentes, se generan nuevas y mejores condiciones para el tratamiento y depuración de las aguas residuales, y simultáneamente permite su reutilización y riego, sin afectar el medio ambiente.

Existen diferentes opiniones acerca la utilidad o no de los Filtros verdes. Si bien es considerada una alternativa económica, de simple ejecución y mínimo mantenimiento, la conceptualización, diseño y análisis previo resulta la fase más importante, porque cualquier error u omisión en su implantación puede evitar que los resultados no sean los que se esperan. La tecnología ha demostrado que es eficiente, lo que puede fallar es la construcción del mismo de manera no adecuada.

## 6. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

Tras revisar y analizar la información obtenida, mediante el trabajo de investigación realizado y observar los resultados obtenidos en los distintos en los casos implantados y analizado en los últimos años se puede llegar a las siguientes conclusiones:

- Los Tecnosoles se han convertido en una excelente tecnología para la gestión de residuos, y una alternativa altamente sostenible para la restitución de las características y propiedades naturales del suelo y depuración de las aguas residuales.
- El principal uso que se le ha dado a los Technosols, es en la mejora y sustitución de suelos naturales, que requieren ser mejorados o restaurados, debido al deterioro de los mismos o las necesidades técnicas de un proyecto específico.

- Los estudios y ensayos realizados sobre la implantación de Tecnosoles, para la recuperación de zonas degradadas como consecuencia de actividad minera, han demostrado su alta capacidad para revertir los daños causados en la superficie afectada de la mina.
- La gestión de los residuos tanto de origen orgánico como los de origen inorgánico, intensifican la acción biológica, captan los fosfatos para impedir la eutrofización y disminuir el mantenimiento de la zona recuperada al permitir el desarrollo de la capa vegetal.
- Para mejorar y eliminar las posibles inconvenientes que limitan el proceso, la mejor estrategia a considerar es el control y seguimiento continuo del área destinada para implementar el filtro verde, sin descuidar su funcionamiento y las tareas de mantenimiento en los mismos.
- Se ha determinado que la utilización de residuos de origen calizo, tienen la facultad para regular la acidez del agua así mismo su pH, y ayudar la sujeción de los metales pesados, que afectan al ambiente.
- La utilización de Los Tecnosoles, en áreas medio ambientalmente afectadas, representan la posibilidad para frenar la erosión de taludes y mejorar el paisaje.
- La implantación de los Tecnosoles, facilita la gestión de residuos, minimizando los costes y reduciendo los gastos por la posibilidad de utilizar los elementos producidos in situ, y permiten ser reincorporados a los ciclos biogeoquímicos.
- El análisis y estudio de la tecnología de los Tecnosoles, aún es incipiente, por lo tanto su aplicación aún requiere un constante monitoreo y una evaluación continua de los resultados obtenidos en cada caso, persistir en las labores de investigación y realizar estudios para ampliar su ámbito de aplicación.
- Los residuos generados por acciones antropogénicas, requieren ser tratados de manera eficiente para evitar ser factor de contaminación ambiental.
- Podemos concluir que el uso de Tecnosoles, tanto en el tratamiento de aguas residuales como en la regeneración y reparación de zonas afectadas representa un avance significativo de la ciencia, logrando minimizar y recuperar los efectos negativos causados por el hombre y los fenómenos naturales adversos, y convirtiéndose en un elemento fundamental en la actualidad para la preservación del medio ambiente y resulta una esperanza aun mayor para el futuro.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

1. Alonso, M, F., 2012. Contribución al estudio de procesos de absorción de fosfatos mediante Tecnosoles, Proyecto Fin de Master de Ingeniería Ambiental. U. Santiago de Compostela.
2. Bolaños, D. 2014. Aplicación de Technosols para la recuperación de suelos y aguas afectados por actividades de obras civiles, urbanas y minería. Tesis doctoral de la Universidad de Santiago de Compostela.
3. Bolaños, D., Verde, R., Macías-García, F., Macías, F. 2014. Diseño y empleo de Technosols "a la carta". XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo.
4. Caballero, E. 2017. Eliminación de nutrientes mediante el uso de filtros verdes en el río Choluteca (Tegucigalpa). Proyecto Fin Máster Ingeniería Ambiental. U. Sevilla.
5. Calvopiña, K.D., Vilela, A.P. 2017. Diseño de Technosols 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. Trabajo de titulación en la Universidad de las Fuerzas Armadas en Ecuador. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción.
6. Chen, X., Peltier, E., Sturm, B.S., Young, C.B., 2013. Nitrogen removal and nitrifying and denitrifying bacteria quantification in a stormwater bioretention system. *Water Research* 47 (4), 1691e1700.
7. García, J., Corzo, A. 2008. Depuración con humedales construidos. Guía práctica de diseño, construcción y explotación de sistemas de humedales de flujo subsuperficial. Universitat Politècnica de Catalunya. Departament d'Enginyeria Hidràulica, Marítima i Ambiental.
8. González, E. 2014. Evaluación en nave cerrada de los riesgos para la salud en Technosols procedentes de residuos de minería polimetálica. Tesis doctoral de la Universidad de Murcia. Departamento de Ingeniería Química.

9. Hunt, W., Smith, J., Jadlocki, S., Hathaway, J., Eubanks, P., 2008. Pollutant removal and peak flow mitigation by a bioretention cell in urban Charlotte, NC. *Journal of Environmental Engineering* 134 (5), 403e408.
10. Jennings, A.A., 2016. Residential rain garden performance in the climate zones of the contiguous United States. *Journal of Environmental Engineering* 142 (12), 04016066.
11. Leroy, M-c., Portet-Koltalo, F., Legras, M., Lederf, F., Moncond'huy, V., Polaert, I., Marcotte, S., 2016. Performance of vegetated swales for improving road runoff quality in a moderate traffic urban area. *Science of the Total Environment* 566, 113e121.
12. Macía, P., Fernández-Costas, C., Rodríguez, E., Sieiro, P., Pazos, M., Sanromán, M.A. 2014. Technosols as a novel valorization strategy for an ecological management of dredged marine sediments. *Ecological Engineering*, 67:182-189.
13. Macías, F. 2015. El papel del suelo en el reciclaje:tecnosoles. Ciclo de conferencias 2015. Año Internacional de los Suelos, 23 febrero, U. Granada..
14. Macías, F., Camps, M., Macías, F. 2009. Utilización de Technosols derivados de residuos en procesos de restauración de la mina de Touro. *Minería Sostenible: Conferencia internacional 09*. Ed. Cámara Oficial Mineira de Galicia.
15. Macías, F., Fontán, L., Otera, X.L., Pérez, C., Camps, M., Macías, F. 2009. Recuperación de aguas ácidas de la mina de Touro mediante sistemas integrados de barreras reactivas con diferentes Technosols y humedales. *Minería Sostenible: Conferencia internacional 09*. Ed. Cámara Oficial Mineira de Galicia.
16. Macías, F. 2004. Recuperación de suelos degradados, reutilización de residuos y secuestro de carbono. Una alternativa integral de mejora de la calidad ambiental. *Recursos Rurais*, 1 (1).
17. Macías, F., Nieto, C. 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. *Comunicaciones del XVII Simposio sobre Enseñanza de la Geología*, 9-14 julio, Huelva.
18. Mangangka, I.R., Liu, A., Egodawatta, P., Goonetilleke, A., 2015. Performance characterisation of a stormwater treatment bioretention basin. *Journal of Environmental Management* 150, 173e178.

19. Mangangka, I.R., Liu, A., Goonetilleke, A., Egodawatta, P., 2016. Enhancing the Storm Water Treatment Performance of Constructed Wetlands and Bioretention Basins. Springer Briefs in Water Science and Technology.
20. Pan, D., Gao, X., Dyck, M., Song, Y., Wu, P., Zhao, X. 2017. Dynamics of runoff and sediment trapping performance of vegetative filter strips: Run-on experiments and modeling. *Sci of Total Env.* 5933–594, 54–64.
21. Parker, N., Gardner, T., Goonetilleke, A., Egodawatta, P., Giglio, D., 2009. Effectiveness of WSUD in the “real world”. Paper Presented at the the 6th International Water Sensitive Urban Design Conference and the 3rd Hydropolis: Towards Water Sensitive Cities and Citizens, Perth, Australia.
22. Pérez, V. 2014. Inmovilización de elementos potencialmente tóxicos en zonas mineras abandonadas mediante la construcción de Technosols y barreras reactivas permeables. Tesis doctoral en la Universidad de Murcia. Facultad de Química.
23. Sánchez, V.P. 2017. Modelamiento de la retención de arsénico por medio de la aplicación de Technosols en conjunto con nanopartículas en aguas provenientes de minería. Trabajo Fin de Grado en la Universidad de las Fuerzas Armadas, Ecuador. Grado en Ingeniería Geográfica y del Medio Ambiente. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción.
24. Saveyn, H., Eder, P. 2014. (European Commission. Joint Research Centre. Institute for Prospective Technological Studies). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. Ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
25. Sharma, A.K., Gardner, T., Begbie, D. 2019. Approaches to Water Sensitive Urban Design Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions. Ed. Elsevier.
26. Stovin, V., Dunnett, N., Yuan, J., 2017. The influence of vegetation on rain garden hydrological performance. *Urban Water Journal* 14 (10), 1083e1089



27. Tedolhi, D., Chebbo, G., Pierlot, D., Kovacs, Y., Gromaire, MC. 2016. Impact of runoff infiltration on contaminant accumulation and transport in the soil/filter media of Sustainable Urban Drainage Systems: A literature review. *Sci. Total Env*, 569-570, 904-926.
  28. USEPA, 2013. Stormwater to Street Tress. Office of Wetlands, Oceans and Watersheds, U.S. Environmental Protection Agency, Washington, DC.
  29. World Reference Base for Soil Resources. 2014. Ed. FAO.
  30. Yang, H., Dick, W.A., McCoy, E.L., Phelan, P.L., Grewal, P.S., 2013. Field evaluation of a new biphasic rain garden for stormwater flow management and pollutant removal. *Ecological Engineering* 54, 22e31.
- 
8. PÁGINAS WEB.
    1. <http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/> (FAO. Portal de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura)
    2. <https://www.tecpa.es/filtro-verde-depuracion-aguas-residuales/> (Filtros verdes para aguas residuales)
    3. <https://app.mapfire.com.fundacion/html/resvistas/seguridad/n117/articulo3.html> (La importancia de la caracterización del medio geológico como buenas prácticas en la regeneración de aguas mediante tecnologías extensivas)
    4. <https://sites.google.com/site/bioingenieriauv15/unidad-1-sistemas-de-depuracion-de-agua/1-3-filtros-verdes> (Filtros verdes en la depuración de aguas)
    5. <https://www.iagua.es/blogs/eugenio-martin/filtros-verdes-%C2%BFsolucion-o-problema> (Filtros verdes: ¿solución o problema)
    6. <http://siegua.com/filtros-verdes/> (Filtros verdes)
    7. [https://www.miteco.gob.es/es/agua/formacion/soluciones-basadas-en-la-naturaleza\\_tcm30-496389.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/agua/formacion/soluciones-basadas-en-la-naturaleza_tcm30-496389.pdf) (Soluciones Basadas en la Naturaleza para la gestión del agua en España.)

8. <https://www.iagua.es/noticias/dicyt/plantaciones-forestales-sirven-como%20filtros-verdes-depurar-aguas-residuales>. (Las plantaciones forestales como filtros verdes para depurar aguas residuales.)
9. [https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta\\_tecnologica\\_filtros\\_verdes](https://www.agua.imdea.org/sites/default/files/pdf/publicity/fichas/ESP/oferta_tecnologica_filtros_verdes) (Filtros Verdes para el tratamiento de aguas residuales urbanas de pequeños municipios)
10. <https://www.caracteristicas.co/suelo/> (Características del suelo)
11. <https://blacktogreen.com/2015/01/tecnosuelos-suelos-la-carta/> (Tecnosuelos: suelos a la carta)

