



**FACULTAD DE FARMACIA
UNIVERSIDAD COMPLUTENSE**

**TRABAJO FIN DE GRADO:
LOS TECNOSOLES COMO ALTERNATIVA
PARA LA GESTIÓN DE PROBLEMAS DE
DEGRADACIÓN AMBIENTAL.**

Autor: Irene Villaverde Rico

Tutor: María Teresa de la Cruz Caravaca

Convocatoria: Febrero 2018

Índice	Página
1. Resumen.	3
2. Introducción y antecedentes.	3
2.1. Suelo como recurso natural y dimensión ecológica.	3
2.2. Degradación ambiental y medidas correctoras.	5
3. Objetivos.	7
4. Material y Métodos.	8
5. Resultados y discusión.	8
5.1 Concepto de Tecnosol.	8
5.2. Aplicaciones de los Tecnosoles para mejorar problemas ambientales.	10
5.2.1 Recuperación de la Bahía de Portmán.	11
5.2.2. Recuperación del paisaje en la Mina de Touro.	12
5.2.3. Recuperación de áreas urbanas en Vitoria-Gasteiz.	13
5.3. Nuevas propuestas ambientales mediante la utilización de Tecnosoles.	13
5.3.1. Empleo de Tecnosoles como complemento para el tratamiento de aguas residuales.	13
5.3.2 Empleo de Tecnosoles en el tratamiento de sistemas acuáticos eutrofizados.	14
5.3.3. 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.	15
5.3.4. Modelo de retención de arsénico por medio de la aplicación de Tecnosoles en conjunto con nanopartículas en aguas provenientes de minería.	16
6. Conclusiones.	16
7. Referencias bibliográficas.	17
8. Documentos gráficos.	18

1. RESUMEN.

Los suelos representan una parte importante del ecosistema ya que tiene múltiples funciones tanto para el ser humano como para el resto de organismos vivos. Es utilizado por el hombre con fines agrícolas, forestales, pastoreo, asentamiento de infraestructuras y para satisfacer la demanda de producción de energía, alimentos, y extracción de materias primas. Pero se trata de un recurso limitado muy afectado por el cambio climático y por la mala utilización que hace el hombre de los mismos, por ello se están desarrollando nuevas tecnologías para intentar frenar su degradación y mantener sus funciones.

Nuestro objetivo va a ser estudiar una técnica relativamente novedosa para la recuperación de suelos como es el uso de Tecnosoles o suelos "a la carta". Para lo cual hemos realizado una revisión bibliográfica a través de distintas fuentes contrastadas.

Como resultado a 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, extarcción de áridos y procesos de contaminación derivados de los residuos generados por las actividades antropogénicas.

2. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES.

2.1- Suelo como recurso natural y dimensión ecológica.

Según la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), el suelo es un cuerpo natural formado por capas (u horizontes) compuestas de minerales meteorizados, materia orgánica, aire y agua. El suelo es el producto final de la influencia del tiempo; combinado con el clima, topografía, organismos (flora, fauna y ser humano), y de materiales parentales (rocas y minerales originarios). El suelo es un componente esencial de la "Tierra" y "Ecosistemas"⁽¹⁾.

Los componentes minerales constituyen entre el 50-60% del volumen total del suelo, mientras que el agua y el aire ocupan el espacio poroso (entre un 25% a 50% del volumen total). El material orgánico ocupa entre 3% y 6% del volumen promedio, mientras que los organismos vivos constituyen menos del 1%⁽²⁾.



Imagen 1. Estratos u horizontes del suelo.

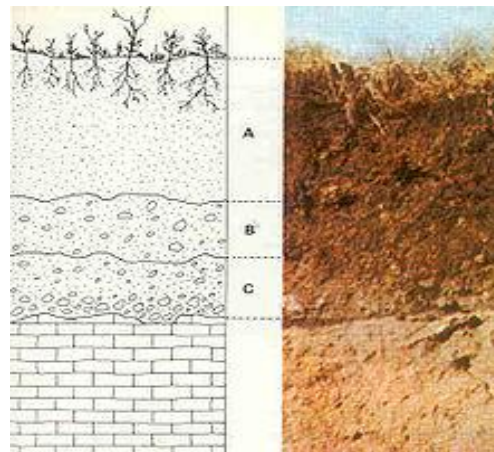


Imagen 2. Estratos u horizontes del suelo.

El suelo presenta **múltiples funciones**; como son el mantenimiento y mejora de la calidad de las aguas, la producción de biomasa, atenuar los contaminantes ambientales y patógenos, fija gases (secuestro de carbono), constituye un hábitat biológico y reserva energética (reserva de biodiversidad), regular el ciclo hidrológico, sirve de soporte físico, y es fuente de materias primas, entre otras⁽³⁾. Constituye una **superficie natural limitada (no renovable)** sometida a una creciente presión debido a la intensificación de su uso para satisfacer la demanda de producción de energía, alimentos y extracción de materias primas⁽⁴⁾, lo que ha provocado una disminución de su capacidad en las múltiples y vitales funciones que realiza. Es un sistema dinámico y, por tanto, las actuaciones que se lleven a cabo sobre los mismos se verán afectadas por este dinamismo⁽⁵⁾.

Una de las principales funciones del suelo ha sido la transformación de la materia orgánica, incorporando una parte de la misma al conjunto de las moléculas que constituyen el humus y descomponiendo el resto hasta formas elementales que son liberadas a la atmósfera o eliminadas en forma disuelta en las aguas de drenaje participando, de esta manera en los ciclos biogeoquímicos⁽⁶⁾.

Hay más de 300 grandes tipos de suelos en el mundo. Cada uno tiene sus propios mecanismos de estabilización de la materia orgánica. Para cada condición climática y material de partida existen distintos tipos de suelos con un contenido de materia orgánica y de estabilidad variable. Por tanto los suelos pueden servir de modelo para aprender a estabilizar la materia orgánica de los residuos, solo tenemos que aprender sus mecanismos de estabilización del carbono y aplicarlos en su gestión⁽⁷⁾.

El carbono orgánico del suelo (COS) favorece la agregación e interviene en la distribución del espacio poroso del mismo, afectando a diversas propiedades físicas como la capacidad de almacenamiento y movimiento del agua y la distribución del aire y gases en el suelo. Además

el COS, interviene en las propiedades químicas del suelo y su capacidad tampón sobre la reacción del suelo. La materia orgánica del suelo (MOS), libera múltiples nutrientes para las plantas, algunos de los cuales pueden ser aportados por los minerales del suelo. Asimismo, el COS interviene en las propiedades biológicas, actuando como fuente energética para los organismos heterótrofos del suelo. Por tanto, los efectos en las propiedades químicas, físicas, y biológicas hacen del COS, el principal determinante de su productividad⁽⁸⁾.

La pérdida de materia orgánica del suelo es uno de los principales factores desencadenantes de los procesos de erosión del suelo. Por otra parte, existen grandes carencias de carbono en suelos que han sufrido procesos de degradación por incendios repetidos, o destrucción de los horizontes superficiales por actividades agrícolas, mineras, construcción de infraestructuras, procesos de contaminación, etc⁽⁶⁾.

2.2- Degradación ambiental y medidas correctoras

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⁽⁵⁾.

Existe consenso en que los factores tales como la topografía, el clima, el estado de la vegetación y la actividad humana, son decisivos en la degradación del suelo y de los ecosistemas que soporta⁽⁵⁾.

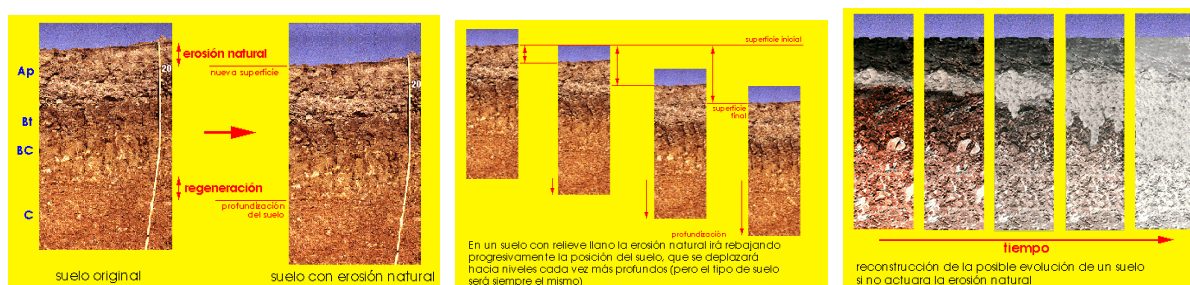


Figura 3. Evolución de la degradación del suelo.

Las principales amenazas que afectan a los suelos de Europa son: pérdida de materia orgánica, erosión, sellado, contaminación, reducción de la biodiversidad, compactación, salinización, inundaciones y deslizamientos de tierras, siendo los procesos de contaminación

y degradación los que tienen mayor relevancia tanto por los daños directos como por los indirectos que produce la disminución de la eficacia del suelo.

En España, la recuperación de suelos tiene gran importancia por la extensa superficie de suelos que han perdido total o parcialmente su “calidad” por procesos degradativos que influyen negativamente en el cumplimiento de sus funciones, donde destacan:

La **desertificación** en el sureste de España debido tanto a malos usos antrópicos como a causas climáticas, que llevan a la pérdida de los horizontes superficiales e importante disminución de materia orgánica. Las principales consecuencias son la pérdida de fertilidad y estructura, la disminución de la actividad biológica y la paulatina desaparición de la vegetación arbolada y de las posibilidades de cultivo, debiendo regenerarse mediante la aportación de una cobertura vegetal estable y autosostenible que logre alcanzar un equilibrio nuevo en el que se proteja el suelo⁽⁹⁾.

Según las estimaciones hechas por la FAO, por causa de la desertización, dejan de ser productivas entre seis y siete millones de hectáreas de suelo en el mundo al año, lo que puede provocar que en menos de 210 años se vean afectados todos los suelos productivos del planeta⁽¹⁰⁾.

La erosión es un proceso frecuente, muchas veces favorecido por las técnicas de cultivo, la gestión del agua y el sobrepastoreo. La revegetación puede mejorar la recuperación del suelo a pesar de las dificultades que implican las limitaciones climáticas⁽⁹⁾.



Imagen 4. Erosión.

Se entiende la **contaminación de suelos** como la alteración negativa de las características del suelo por la presencia de compuestos químicos de carácter peligroso de origen humano en concentración tal que comporte un riesgo inaceptable para la salud humana o el medio ambiente, y así se haya declarado mediante resolución expresa⁽⁹⁾. En España destacan las actividades industriales y las actividades extractivas así como la creación de infraestructuras, la minería y la agricultura, como las responsables de los procesos de contaminación⁽⁶⁾. La contaminación del suelo puede afectar a todos los niveles ambientales tanto al suelo, como a la atmósfera y también de forma muy significativa a las aguas, tanto superficiales como subterráneas.

Es, por tanto, necesario buscar estrategias de desarrollo sostenible que nos permitan corregir o rehabilitar los suelos que se han visto afectados por estos procesos degradativos.

En los últimos 30 años, se han desarrollado diferentes tecnologías para la recuperación de suelos contaminados, exitosamente aplicadas. Sin embargo, continúa la investigación orientada a la mejorara de la eficiencia de las técnicas innovadoras, muchas las cuales se encuentran aún en etapa de investigación⁽¹⁰⁾.

Existen múltiples estrategias para la mejora de suelos como la adición de tensoactivos, fertilizantes, agentes de volumen, inóculos especializados, compuestos de liberación de oxígeno, entre otros⁽¹¹⁾. Otra estrategia es la biorremediación o utilización de organismos vivos (plantas, hongos, bacterias, entre otros), para biodegradar, remover o biotransformar compuestos orgánicos tóxicos en productos metabólicos menos tóxicos. Asimismo cuenta con ventajas como: ser una tecnología simple y de fácil aplicación, bajos precios de instalación y operación; segura y de bajo riesgos para la salud, además de ser bastante efectiva. Los procesos de biorremediación se han usado con éxito para tratar suelos, lodos y sedimentos contaminados por hidrocarburos totales del petróleo, solventes, explosivos, clorofenoles, pesticidas e hidrocarburos aromáticos policíclicos⁽¹²⁾.

Los suelos más contaminados o degradados y los espacios sin o con escaso suelo son los que ofrecen mayores perspectivas de mejora y corrección basadas en la utilización de residuos realizando así una doble e importante función ambiental: la recuperación de suelos y la gestión de residuos⁽⁶⁾. La producción de **suelos derivados de residuos** es una buena alternativa, eficaz cuando se conocen adecuadamente tanto las características de los materiales residuales utilizados y su evolución en el tiempo como las condiciones del medio inicial⁽⁶⁾.

Los **Tecnosoles** elaborados a partir de residuos orgánicos e inorgánicos, procedentes de cualquier actividad⁽⁹⁾, pueden ser una estrategia eficaz como alternativa para la recuperación de los suelos.

3. OBJETIVOS.

Objetivo principal:

-Revisar si la utilización de los Tecnosoles puede resultar una alternativa para dar respuesta a los problemas de degradación ambiental.

Objetivos específicos:

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

4. MATERIAL Y METODOS.

Se ha realizado una revisión bibliográfica respecto a las características y usos de los Tecnosoles, utilizando artículos y libros sobre la investigación publicada en revistas indexadas, buscadores científicos, asociaciones y páginas web oficiales, que aportan garantía y veracidad a la información mostrada; como Google académico, Scielo, Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), Recursos Rurais (IBADER), Edafología. Uso y protección de suelos.

Se ha procurado que los documentos consultados fueran recientes (con una antigüedad máxima de 10 años) para proporcionar una información lo más actualizada posible.

Las palabras clave empleadas para la búsqueda han sido: “Tecnosoles”, “valorización biogeoquímica de residuos”, “características de los Tecnosoles”, “uso de Tecnosoles”, “nuevas actuaciones de los Tecnosoles”.

5. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

5.1. Concepto de Tecnosol

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⁽¹³⁾.

Macías (2004; 2007) 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⁽¹⁴⁾.

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 previo⁽¹³⁾.

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)⁽¹⁵⁾.

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⁽⁶⁾.

Con diferentes residuos, mediante formulaciones adecuadas basadas en la imitación de los componentes y propiedades de algunos suelos naturales, se elaboran suelos apropiados a la resolución, o a la mitigación, de cada tipo de contaminante o limitación ambiental⁽¹⁶⁾.

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⁽¹⁶⁾.

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⁽¹⁶⁾.

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⁽¹⁷⁾.

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⁽¹⁶⁾.

A lo largo de 15 años de investigación se han “formulado” más de 200 Tecnosoles ofreciendo grandes ventajas frente a la restauración convencional de espacios degradados y con un menor tiempo de respuesta⁽¹⁸⁾.

5.2. Casos donde se han utilizado los Tecnosoles par mejorar problemas ambientales

La utilización de Tecnosoles para la rehabilitación de zonas degradadas ha mostrato 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⁽¹⁷⁾.

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%⁽¹⁷⁾. Además se ha producido el aterramiento de 75 hectarias, y se ha sepultado buena parte de la plataforma marina frente a las costas de Portmán. 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⁽²⁰⁾.

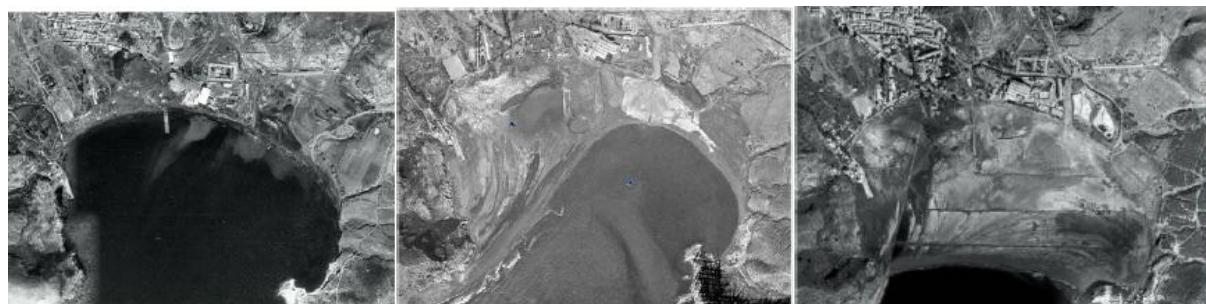


Figura 5. Evolución de la bahía de Portman hasta llegar a su colmatación.

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 escorrentía y aguas de otras ramblas que desembocan en la bahía y que aportan materiales de atenuación natural⁽²⁰⁾.

Otro caso en el que se utilizaron Tecnosoles para mejorar la degradación ambiental fue en la **mina de Touro** situada en Santiago Compostela, es un yacimiento de sulfuros metálicos de 600 hectáreas, explotado durante 14 años (1974-1988) para la obtención de cobre, provocando una alteración ambiental extrema con cortas profundas, paredes verticales, escombreras de estériles y una extensa balsa de decantación de lodos. Los materiales a la intemperie, sin vegetación ni suelo, soportan oxidación de los sulfuros metálicos, generan aguas de drenaje hiperácidas y, contaminan ríos de la cuenca del Ulla⁽¹⁶⁾.

5.2.1. Recuperación de la Bahía de Portmán.

En función del estudio “ Caracterización y análisis de riesgos de los materiales de la Bahía de Portman” (Martinez y perez 2008) se seleccionaron cuatro de los materiales más representativos de la bahía (sedimentos A, B, C, D). Estos materiales se mezclaron con distintas proporciones de filler calizo (carbonato cálcico), haciendo que se neutralizara la acidez y se inmovilizaran los metales pesados⁽²⁰⁾.

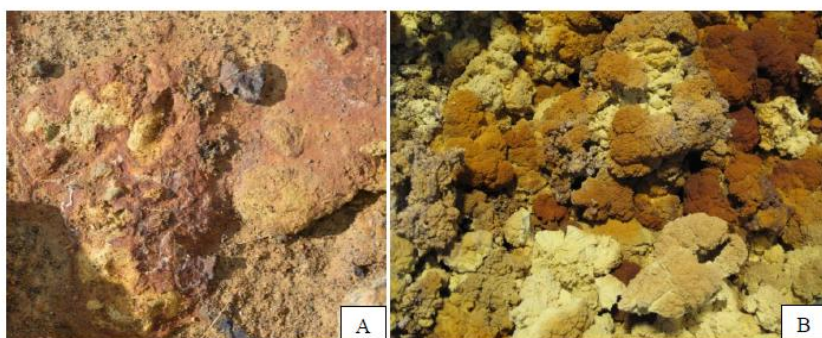


Figura 7. Suelo en el momento de toma de muestras (a) y en la actualidad (b).

Los resultados derivados de la formación de Tecnosoles con este tipo de sedimentos, es la formación de un aumento de calcita en las fracciones más finas, además de neutralizar hidrosulfatos, desapareciendo del suelo. Esto nos indica que, la mezcla de carbonato cálcico-suelo contaminado, precipitan las sales solubles y por tanto, evita la formación de eflorescencias por lavado ascendente⁽²⁰⁾.

5.2.2. Recuperación del terreno en la Mina de Touro

Para la recuperación de 600ha 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⁽¹⁵⁾.



Figura 5. Evolución de la corta de Bama donde se ha instalado un sistema de depuración de aguas ácidas de mina (AMD) con Tecnosoles reactivos y un humedal de condiciones subóxicas.

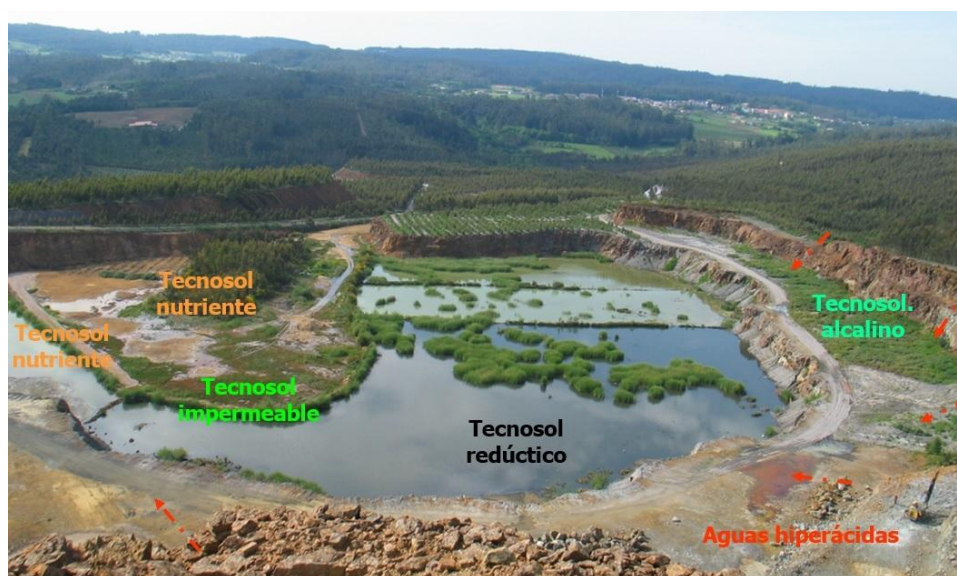


Figura 6. Tipos de Tecnosol en la corta de Bama a 2004 (Macías-García, y otros, 2009b)

5.2.3. Recuperación de áreas degradadas 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⁽²¹⁾.

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⁽²¹⁾.

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”⁽²¹⁾.

5.3. 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 refuerzen estos mecanismos naturales, corregir las disfunciones existentes y aumentar la capacidad de amortiguación y la carga crítica de contaminantes del sistema suelo-agua afectado⁽²²⁾.

5.3.1. Empleo de Tecnosoles como complemento para el tratamiento de aguas residuales.

Las aguas residuales domésticas, o la mezcla de éstas con aguas residuales industriales o con aguas de escorrentía pluvial, quedan definidas como aguas residuales urbanas (Real Decreto-Ley 11/95., 1995).

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⁽¹³⁾.

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⁽¹³⁾.

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⁽¹³⁾.

5.3.2. Empleo de 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"⁽¹³⁾.

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⁽¹³⁾.



Imagen 9. 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⁽¹³⁾.

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⁽¹³⁾.

Los Tecnosoles diseñados en este ensayo hicieron que disminuyera el crecimiento de cianobacterias en el medio lo que hizo mejorar significativamente los parametros de calidad del agua. Tampoco se detectaron otros impactos negativos sobre aspectos fisico-químicos del agua⁽¹³⁾.

5.3.3. 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.

El diseño y elaboración de Tecnosoles fue de tipo experimental ya que no existe una metodología oficial; debido a que sus creadores no han hecho público la metodología⁽¹⁵⁾.

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⁽¹⁵⁾.

5.3.4. Modelo de retención de arsénico por medio de la aplicación de Tecnosoles en conjunto con nanopartículas en aguas provenientes de minería.

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⁽²³⁾.

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⁽²³⁾.

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⁽²³⁾.

7. 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. Producen un incremento del aprovechamiento de nutrientes existentes en estos residuos, incorporandolos 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 sistemas acuáticos eutrofizados).

- Es necesario profundizar en el estudio de los Tecnosoles, su utilización abre posibilidades para estabilizar taludes, frenar la erosión y mejorar el paisaje. Es un campo donde queda mucho por descubrir.

7. BIBLIOGRAFÍA.

1. FAO. Portal de suelos de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

<http://www.fao.org/soils-portal/about/definiciones/es/>

2. Volke T.& Velasco J.A. 2002. Tecnologías de remediación para suelos contaminados. INE-SEMARNAT, 64 pp.

3. Lopez-Acevedo M., Porta J. & Poch MR. 2013. Edafología. Uso y protección de suelos. Mundi-Prensa 608pp

4. FAO. 2015. El suelo es un recurso no renovable su conservación es esencial para la seguridad alimentaria y nuestro futuro sostenible

<http://www.fao.org/3/a-i4373s.pdf>

5. López Bermúdez F. 1994. Degradación del suelo ¿Fatalidad climática o mala gestión humana? Hacia una gestión sostenible del recurso en el contexto mediterráneo. Papeles de geografía. N.20: 49-64

6. 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 Serie Cursos 1: 49-56 IBADER: Instituto de Biodiversidade Agraria e Desenvolvimento Rural.

7. Macías F., Macías-García F., Bao M. & Camps M. 2016. Tecnosoles, biocarbones y humedales reactivos diseñados, formulados y elaborados “a la carta y a imagen de suelos naturales” para la recuperación de suelos, aguas y ecosistemas degradados o contaminados. Laboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. USC. Dpto. Ingeniería Química. USC. Centro de Valorización Ambiental del Norte. Massey University. Palmerston. New Zealand.

http://www.phytosudoe.eu/wp-content/uploads/2016/11/3_Felipe-Mac%C3%ADas_1st-summer-course-PhytoSUDOE-July-2016.pdf

8. Martínez E., Fuentes J.P & Acevedo E. 2008. Carbono orgánico y propiedades del suelo. J. Soil Sc. Plant Nutr. 8 (1): 68-96.

9. González Huecas C., López Lafuente A. 2015. El suelo: un reto de salud. Revista salud ambiental; 15 (2): 76-79.

10. Ramirez-Islas M., De la Rosa-Pérez D., Teutli-León M. 2007. Electrorremediación de suelos contaminados, una técnica para su aplicación en el campo. *Revista Internacional Contaminación Ambiental* 23 (3): 129-138.
11. Ferrera-Cerrato R., Rojas N.G., Poggi H.M., Alarcón A & Cañizares R.O. 2006. Procesos de biorremediación de suelo y agua contaminados por hidrocarburos del petróleo. *Revista Latinoamericana Microbiología*; 48 (2): 179-187
12. Velasco J.A. y Volke T.L. 2003. El composteo: una alternativa tecnológica para la biorremediación de suelos en México. *Gaceta Ecológica*, N° 66, enero-marzo: 41-53
13. Bolaños Guerrón D. 2014. Aplicación de Tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectados por actividades de obras civiles, urbanas y minería. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola Facultad de Biología. Santiago de Compostela.
14. Macías F. 2013. Tecnosoles. Suelos a la carta.
<https://issuu.com/hugarrio/docs/tecnosoles>
15. 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.
16. 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. *Boletín das ciencias*, ISSN 0214-7807, Año 25, N°. 76, págs. 65-66.
17. Benedicto J. B., Martínez-Gómez C., Guerrero J., Jornet A. & Rodríguez C. 2008. Contaminación por metales en la bahía de Portmán (Murcia, España) 15 años después del cese de las actividades mineras. *Ciencias Marinas*, 34(3): 389–398.
18. Hernandez L. 2015. Tecnosoles: suelos a la carta.
<https://www.blacktogreen.com/2015/01/tecnosoles-suelos-la-carta/>
19. Puga1 S., Sosa M. Lebgue T. Quintana C & Campos A. 2006. Contaminación por metales pesados en el suelo provocada por la industria minera. *Ecología Aplicada*, Vol. 5 N° 1 y 2, pp. 149-155.
20. González Ciudad E. 2014. Evaluación en Nave Cerrada de los riesgos para la salud en tecnosoles procedentes de residuos de minería polimetálica. Tesis doctoral. Facultad de Químicas. Universidad de Murcia.

21. 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). Spanish Journal of soil science. Vol 6. ISSUE 1.

22. Bolaños D.R., Verce-Vilanova R. 2014. Diseño y empleo de Tecnosoles “a la carta” para la recuperación de la calidad del agua.

<https://www.researchgate.net/publication/274314614>

23. Sánchez Gómez V. P. 2017. Modelamiento de la retención de arsénico por medio de la aplicación de tecnosoles en conjunto con nanopartículas en aguas provenientes de minería. Tesis Doctoral. Departamento de Ciencias de la Tierra y la Construcción. Universidad de las Fuerzas Armadas. Ecuador.

8. Documentos gráficos

Imagen 1. Estratos u horizontes del suelo.

<https://sites.google.com/site/tiposdesuelosoff/home/horizontes-del-suelo>

Imagen 2. Estratos u horizontes del suelo.

<http://e->

[ducativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2631/html/4_perfil_del_suelo.html](http://educativa.catedu.es/44700165/aula/archivos/repositorio/2500/2631/html/4_perfil_del_suelo.html)

Imagen 3. Evolución de la degradación del suelo.

https://www.google.es/search?rlz=1C1AOHY_esES772ES772&biw=1024&bih=679&tbm=isch&sa=1&ei=3VRoWp5Ji9GABtmViOAH&q=Evoluci%C3%B3n+de+la+degradaci%C3%B3n+del+suelo&oq=Evoluci%C3%B3n+de+la+degradaci%C3%B3n+del+suelo&gs_l=psy-ab.3...2501.2501.0.3194.1.1.0.0.0.99.99.1.1.0....0...1c.1.64.psy-ab..0.0.0....0.a5q6ch91VX4#imgrc=kNjqfgLm51-fHM:

Imagen 4. Erosión.

<http://www.losandes.com.ar/article/el-37-5-de-los-suelos-esta-afectado-por-erosion>

Imagen 5. Evolución de la bahía de Portman hasta llegar a su colmatación

https://www.google.es/search?q=portman+murcia+fotos&sa=X&rlz=1C1AOHY_esES772ES772&tbm=isch&tbo=u&source=univ&ved=0ahUKEwjvg8v1qvDYAhXID8AKHXAlAVUQsAQILQ&biw=1024&bih=679#imgrc=N-ZQaXDytY2j8M:

Imagen 6. Suelo en el momento de toma de muestras (a) y en la actualidad (b).

González Ciudad E. 2014. Evaluación en Nave Cerrada de los riesgos para la salud en tecnosoles procedentes de residuos de minería polimetálica. Tesis doctoral. Facultad de Químicas. Universidad de Murcia.

Imagen 7 & 8. Evolución de la corta de Bama donde se ha instalado un sistema de depuración de aguas ácidas de mina (AMD) con Tecnosoles reactivos y un humedal de condiciones subóxicas.

Macías F., Macías-García F., Bao M. & Camps M. 2016. Tecnosoles, biocarbones y humedales reactivos diseñados, formulados y elaborados “a la carta y a imagen de suelos naturales” para la recuperación de suelos, aguas y ecosistemas degradados o contaminados. Laboratorio de Tecnología Ambiental. Instituto de Investigaciones Tecnológicas. USC. Dpto. Ingeniería Química. USC. Centro de Valorización Ambiental del Norte. Massey University. Palmerston. New Zealand.

Imagen 9. Colocación de Tecnosol en el canal.

Bolaños Guerrón D. 2014. Aplicación de Tecnosoles para la recuperación de suelos y aguas afectados por actividades de obras civiles, urbanas y minería. Tesis doctoral. Departamento de Edafología y Química Agrícola Facultad de Biología. Santiago de Compostela.