



CIENCIAS AMBIENTALES
FACULTAD DE CIENCIAS EXPERIMENTALES

UNIVERSITAS
Miguel Hernández

Utilización de Technosols basados en el uso de residuos mineros como alternativa para la resolución de problemas ambientales

Grado en Ciencias Ambientales
Facultad de Ciencias Experimentales
Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente
Área de Edafología y Química Agrícola

2019/2020

Autora: Sara Molina Bernabeu
Tutores: Ignacio Gómez Lucas y José Navarro Pedreño

Resumen:

El presente trabajo fin de grado desarrolla una profunda revisión sobre el diseño y aplicación de Technosols como herramienta de restauración ambiental, como sustitutivo de los suelos y sobre los efectos en las aguas. A través de la bibliografía, se ha podido conocer que los Technosols son una alternativa económica y viable para la resolución de problemas ambientales generados por las actividades mineras, obras civiles y procesos de contaminación derivados de los residuos generados por las actividades antropogénicas.

Palabras clave: Technosols, suelos, residuos, restauración, degradación.

Abstract:

This final degree project develops an in-depth review of the design and application of Technosols as a tool for environmental restoration, as a substitute for soils and on the effects on waters. Through the references found, it has been possible to know that Technosols are an economic and viable alternative for solving environmental problems generated by mining activities, civil works and pollution processes derived from waste generated by anthropogenic activities.

Keywords: Technosols, soils, waste, restoration, degradation.

Índice:

1. Introducción	pág.1
1.1. Problemática ambiental de los lodos de mármol	pág.1
1.2. Los Technosols	pág.4
1.3. Subproductos orgánicos e inorgánicos como enmiendas de suelos y preparación de Technosols.....	pág.4
2. Antecedentes y objetivos	pág.6
2.1. Objetivos generales.....	pág.6
2.2. Objetivos parciales	pág.6
3. Materiales y métodos.....	pág.7
4. Resultados	pág.7
4.1. Aplicación de Technosols en zonas mineras	pág.7
4.2. Aplicación de Technosols en carreteras.....	pág.12
4.3. Aplicación de Technosols en zonas degradadas	pág.13
4.4. Aplicación de Technosols en aguas residuales y ecosistemas acuáticos....	pág.15
5. Conclusiones.....	pág.18
6. Bibliografía.....	pág.19
6.1. Consultas web	pág.26

1. Introducción.

El estudio que se plantea se fundamenta en la necesidad de conocer el estado actual sobre el tema de la regeneración de zonas de vertederos y actividades extractivas mineras, mediante el uso de Technosols, nombre dado oficialmente en la clasificación mundial de suelos en versión español (IUSS Working Group, WRB, 2015), aunque se pueden encontrar con otros nombres como Technosuelos y Tecnosuelos, pero preferimos utilizar una nomenclatura internacional única. Estos suelos artificiales están generados a partir de residuos de distinta procedencia y características, presentando un elevado contenido de materiales y restos de origen antrópico. En particular, se podrían emplear como materiales los llamados genéricamente como lodos de mármol, subproducto procedente de la industria manufacturera de la piedra pulimentable, de especial importancia económica en la provincia de Alicante (Hervas-Oliver *et al.*, 2018).

La elección de los subproductos que constituyen estos suelos artificiales debe realizarse atendiendo a las necesidades de calidad del Technosol a obtener, pero también sobre la base de consideraciones ambientales y de sostenibilidad (Maliskova *et al.*, 2020). La finalidad es generar un medio edáfico artificial (Technosol) como capa superficial donde se instaure la vegetación y, no siendo viable, la reutilización del material residual como zona subsuperficial (subsuelo), por debajo de la zona de suelo natural o artificial aportado en las tareas de restauración de los actuales vertederos, escombreras y explotaciones extractivas a cielo abierto (mármol, áridos, arcillas, graveras, etc.).

1.1. Problemática ambiental de los lodos de mármol.

Según el CEDEX (2015), gran cantidad de productos derivados de la piedra natural son usados en la industria de la construcción, la cual genera volúmenes significativos de residuos, muchos de ellos en forma de lodos y fangos, estimando que representan 5 millones de toneladas al año en Europa. Por lo que se refiere a las explotaciones de mármol, España es uno de los principales productores mundiales de mármol, junto a Italia, China, Irán y Turquía, situándose las principales canteras y empresas productoras en el sureste español y más concretamente en Almería (Macael), Alicante (Pinoso, Monforte del Cid y Novelda) y Murcia (Caravaca y Cehegín). Casi el 85% del total nacional se extrae en estas tres provincias.

Esos residuos, procedentes de la preparación de las calizas marmóreas y considerados como inertes, son generalmente depositados en vertederos, como los que se observan en Novelda (Alicante), figuras 1 y 2, causando problemas ambientales, tales como un elevado impacto paisajístico, desplazamiento de material por erosión, cambios en la hidrología superficial y subterránea, pérdida de valor de suelos adyacentes, sellado de los suelos sobre los que se depositan, afección al medio natural, etc.



Figura 1. Depósito de lodo de mármol en el término municipal de Novelda. (Fuente: I. Gómez)



Figura 2. Antiguo vertedero de lodo de mármol en el término municipal de Novelda. (Fuente: I. Gómez)

Los principales problemas observados en las fábricas y talleres de corte y pulimento es el de la generación y vertido de lodos de mármol (Jordán *et al.*, 2008), derivando en su acumulación y generando problemas para una adecuada gestión.

El sector de los triturados de mármol merece especial atención, ya que genera un problema grave de producción de polvo sedimentable, especialmente en explotaciones más antiguas, que afecta a la vegetación natural, a zonas de cultivos y ocasionalmente produce molestias en zonas habitadas (Rincón, 2017).

Todo esto afecta significativamente al medio ambiente y los ecosistemas locales. El polvo de mármol también se transporta a los lechos de los ríos o ramblas, lo que provocó en los años 80 una alta incidencia en el río Vinalopó (Abad, 2018), llegando a anegar el pantalón de Elche donde se depositaban por sedimentación (Gracia i Vicente, 2006) y sobre los suelos agrícolas de las inmediaciones, lo que puede causar reducción de la porosidad y permeabilidad de la capa superficial del suelo y cambios en el pH.

Sin duda, uno de los impactos ambientales más destacados de la industria de la piedra natural, concretamente en el caso de Novelda, es la generación de residuos de lodos de mármol. Este residuo de fangos proviene del proceso de corte y pulido de piezas, y contiene un 20 % de humedad aproximadamente (CEDEX, 2015), dificultando su posterior gestión y tratamiento. Al tratarse de un polvo de granulometría muy fina, presenta gran dificultad para su secado. La mayor parte de bloques tratados en las industrias de mármol de Novelda son de piedra caliza, de los tipos denominados crema Marfil, rojo Alicante y Bateig.

El residuo generado contiene un alto contenido en calcita (CaCO_3) y en menor medida de dolomita ($\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$), superando el 90% en peso seco (CEDEX, 2015; Valdez *et al.*, 2011), dependiendo por tanto del tipo de material extraído, cortado y pulimentado (Santos, 2004).

Los lodos de mármol son considerados por diferentes estudios técnicos y científicos como residuos no tóxicos, inertes o asimilables a inertes (CTS, 2017). En este sentido, se podría realizar su vertido en depósitos de residuos convencionales.

En el municipio de Novelda, los fangos son depositados en vertederos que en ocasiones no se suelen encontrar bien acondicionados, dificultando su integración en el medio. Estos generan problemas diversos, pero el impacto paisajístico es muy notable debido, entre otras causas, a la predominante coloración blanca de los residuos que contrasta notablemente con el entorno en el que predominan materiales margosos y yesos, con tonalidades pardas y rojizas. Este depósito en vertedero contradice el principio establecido en la actual legislación y propuestas europeas sobre residuos, donde se prioriza su "valorización", dejando en última instancia su vertido, es la estrategia "Zero Waste" (Unión Europea, 2020). Estos vertederos han producido un cambio radical en el entorno del municipio (figuras 1 y 2).

Desde la Concejalía de Medio Ambiente de Novelda, se han detectado más de 75 puntos de vertido en el término municipal, donde se calcula que existen más de 5 millones de metros cúbicos de residuos, formados principalmente por lodos de mármol con mezcla variable de otros residuos (casquillos, bloques, etc.), lo que da idea del problema ambiental existente y que su continuo vertido ocasiona (Rincón, 2017).

1.2. Los Technosols.

Los Technosols son un grupo de suelos definidos en la Base Mundial de Referencia del Recurso Suelo, conocida por su acrónimo WRB (IUSS Working Group WRB, 2015). Se consideran Technosols aquellos suelos que cumplen alguna de estas condiciones: o bien contienen un 20 % (en volumen) o más de artefactos (algo hecho, modificado o extraído de la tierra por el hombre); o bien alguna geomembrana construida; o bien roca dura técnica (material duro creado por el hombre que tiene propiedades diferentes a la roca natural) dentro de los primeros centímetros. Incluyen también suelos de desechos tales como: rellenos, lodos, escorias, escombros, desechos de minería y cenizas.

Macías (2004, 2007) también los define como la mezcla sólida de materiales naturales o sintéticos, minerales u orgánicos que, colocados en la superficie, permiten la 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 previa.

Es decir, estos suelos pueden ser contruidos artificialmente a partir de residuos orgánicos e inorgánicos para ser empleados en la regeneración de espacios degradados o contaminados (Macía *et al.*, 2014), capaces de simular las propiedades de los suelos naturales (Macías, 2004). De manera que estos materiales ya no se consideran residuos y se genera un producto de valor agregado (Macía *et al.*, 2014).

Estos suelos están muy influenciados por la naturaleza del material o la actividad humana que los originó. En ocasiones, pueden contener sustancias tóxicas por lo que deben ser tratados con cuidado aplicando técnicas adecuadas de recuperación para su posterior utilización.

1.3. Subproductos orgánicos e inorgánicos como enmiendas de suelos y preparación de Technosols.

Materiales orgánicos e inorgánicos de distinto origen se utilizan ampliamente para mejorar los suelos degradados, para restaurarlos y recuperarlos, como es el caso de suelos y zonas de actividades mineras. El propósito de estas acciones es mejorar las propiedades de los suelos si los hubiera o crear una cubierta edáfica, de manera que se favorece la instauración de una cubierta vegetal y evita procesos de erosión que podrían derivar en

problemas de movilidad y transporte de contaminantes a través de los distintos vectores ambientales.

Los potenciales beneficios del uso de materiales orgánicos están relacionados con otros factores que se potencian y permiten el logro de objetivos relevantes como es el incremento de secuestro de carbono (Jeréz *et al.*, 2018), minimizar el impacto visual y natural y el uso como recurso de determinados subproductos orgánicos (biosólidos, como son los lodos de depuradoras de aguas residuales o los procedentes de las plantas de tratamiento de residuos sólidos urbanos, RSU). La idea de reutilizar los subproductos se basa en la necesidad de alcanzar la meta de residuos cero que ha sido establecida como prioritaria por la Unión Europea (Saveyn y Eder, 2014).

Según Bolaños (2014), uno de los objetivos para alcanzar dicha meta es la creación de Technosols, porque contribuyen a la solución de problemas en la gestión de residuos y en la eliminación o reducción de los impactos de los residuos sobre los ecosistemas más sensibles tales como el agua, aire y biota.

La preparación de Technosols puede ser un método de reutilización de residuos viable económicamente, además de una forma de devolución de los elementos que contienen a los ciclos biogeoquímicos (Pérez, 2014). La posibilidad de generar un Technosol, empleando diferentes residuos con la finalidad de crear un medio edáfico artificial que sustente la vegetación, debe basarse en las propiedades y composición de cada componente y en las características de los Technosols que potencialmente se precisan obtener para un medio determinado. En este contexto, es importante emplear subproductos generados en el entorno de la zona a restaurar, para que la recuperación de los ecosistemas sea lo más sostenible posible (Peñaranda *et al.*, 2020).

El uso de enmendantes para reducir los problemas asociados a los suelos de zonas mineras se ha llevado a cabo en los últimos años. Los efectos sobre las propiedades del suelo utilizando diferentes enmiendas como pueden ser los residuos orgánicos son los más desarrollados (González, 2014).

El trabajo que se plantea es una revisión y actualización del estado de la cuestión sobre el uso de Technosols, para conocer los materiales que habitualmente se emplean en la formación de este medio edáfico, en función de consideraciones técnicas y medioambientales, y que permitan valorar la obtención de mezclas que tengan unas propiedades físicas y fisicoquímicas deseadas que, en conjunto, se parezcan a las de determinados suelos naturales, posibilitando su sustitución y el crecimiento de vegetación adaptada a éstos.

Este objetivo, se centra fundamentalmente en las posibilidades de uso de materiales derivados de la actividad minera y la industria de la piedra natural.

2. Antecedentes y objetivos.

2.1. Objetivos generales.

El objetivo general del presente trabajo fin de grado es revisar la utilización de Technosols como alternativa para resolver problemas de degradación ambiental existentes en las zonas de vertederos o de actividades extractivas mineras, considerando las posibilidades de reutilización del material residual asociado a las propias actividades mineras y relacionadas, como es la industria del corte de piedra natural.

2.2. Objetivos parciales.

Para conseguir la finalidad de este estudio, es necesario proceder de forma sistemática, estableciendo una serie de objetivos a conseguir.

- Búsqueda de información e introducción al concepto de Technosol.
- Revisión y estudio de casos donde se hayan utilizado Technosols para la mejora de los problemas ambientales en las zonas degradadas por actividades antropogénicas.
- Valoración de los resultados obtenidos y las posibles aplicaciones en otros lugares.
- Exposición de conclusiones, partiendo de la información analizada.

3. Materiales y métodos.

En este trabajo se ha realizado una revisión bibliográfica del concepto, características y usos de los Technosols, buscando como caso particular el empleo como constituyente de estos la piedra caliza o derivados de la misma. Se ha procurado que los documentos consultados fueran lo más recientes posibles para proporcionar una información actualizada y en la búsqueda bibliográfica se han empleado diferentes fuentes que presentan información veraz tales como:

- Bases de datos de revistas científicas, mediante el uso de los buscadores Scopus y ScienceDirect.
- Repositorios institucionales de universidades españolas.
- Repositorios y bases de datos del CSIC.
- Bases de datos de Tesis Doctorales (Teseo y TDX).
- Bases de datos en abierto tales como Dialnet, Researchgate y Google Académico.

Las principales palabras clave empleadas para la búsqueda de información han sido: “Technosols”, “Aplicación de Technosols” y “Recuperación de zonas degradadas mediante el uso de Technosols”, tanto en español como en inglés.

A partir de los datos obtenidos, se hace una exposición de los casos y proyectos donde se han aplicado este medio edáfico artificial y se valoran los resultados obtenidos de los más relevantes, asociados a la gestión de áreas afectadas por actividades extractivas.

4. Resultados.

La aplicación de Technosols para la restauración ambiental ha resultado ser eficiente en los casos que han sido estudiados, permitiendo la generación de una cubierta edáfica. En muchos de ellos, se analizan los efectos sobre las aguas afectados por actividades mineras y otras actividades antropogénicas.

4.1. Aplicación de Technosols en zonas mineras.

La creación de Technosols mediante el uso de diferentes materiales puede ser una estrategia sostenible para recuperar las zonas mineras. Es evidente que estas actividades repercuten negativamente en la calidad ambiental (Arán *et al.*, 2020) y por ello, es una labor necesaria la recuperación durante y tras el cese de la actividad extractiva.

Uno de los ejemplos más importantes que podemos encontrar a nivel global, es el de la restauración de la Mina de Touro (Galicia). Después del cese de las actividades, el abandono de la mina provocó un deterioro ambiental, sobre todo en las zonas de explotación a cielo abierto, quedándose la superficie rocosa desnuda, sin suelo y, por tanto, sin posibilidad de desarrollar una cubierta vegetal. Esta circunstancia facilitó la oxidación de sulfuros metálicos y la movilidad de contaminantes, los cuales acidificaron las aguas y en los suelos del entorno generaron la movilización de metales pesados, afectando así a los ecosistemas acuáticos (Bolaños *et al.*, 2014; Macías *et al.* 2012, 2009a, 2009b).

Para la restauración ambiental de esta mina, se diseñaron y elaboraron diferentes Technosols de acuerdo con la naturaleza del problema y el entorno. Es decir, la estrategia se basó en el conocimiento previo del medio ambiente, su estudio y posteriormente, el diseño de suelos que permitieran minimizar y evitar los problemas ambientales causados por la explotación, tanto los asociados con los impactos paisajísticos como con los problemas de contaminación.

Esta evolución, se puede apreciar en la figura 3. Destaca la vegetación natural que va colonizando el medio y la mejora ambiental paisajística.



Figura 3. Evolución de la Mina de Touro mediante el uso de Technosols (Fuente: Macías y Nieto, 2012).

Para la elaboración de los suelos artificiales, no se utilizaron residuos peligrosos, sino, materiales destinados al abandono, vertido o incineración, tales como, cenizas de combustión de biomasa, conchas de mejillón con y sin vianda, lodos de depuradora, etc. (Arranz *et al.*, 2017), que, mediante el proceso de formación de los Technosols, son valorizados y reincorporados a los ciclos biogeoquímicos (Macías y Nieto, 2012).

El agua procedente de lluvia o escorrentía circulaba por diferentes Technosols en el humedal artificial para mejorar su calidad (Figura 4). Estos Technosols se crearon a partir de los materiales mencionados anteriormente. El primero fue un Technosol reductor, cuya función era reducir la oxidación mediante la reducción de los sulfatos a sulfuros, consumiéndose así la acidez de la reacción y consiguiendo un pH neutro. El segundo fue un Technosol alcalino, que elevaba el pH a valores neutros (Bolaños *et al.*, 2014; Macías *et al.*, 2009a, 2009b), produciendo la precipitación del hierro como sulfuro ferroso y la del aluminio como hidróxido, absorbiéndose en estos compuestos gran parte de los elementos metálicos y sulfatos disueltos en las aguas muy ácidas. Después, el agua pasaba por el tercer Technosol de baja permeabilidad, en el que se desarrollaba la vegetación y servía de freno para las aguas efluentes, dejando pasar solo la capa más superficial del agua del humedal artificial (Arranz *et al.*, 2017).

Finalmente, para favorecer el proceso y con los objetivos de neutralizar los efectos tóxicos de los contaminantes, mejorar las deficiencias nutritivas, potenciar la actividad biológica y mejorar la calidad de las aguas, se introdujeron plantas acuáticas, fundamentalmente enneas y juncos, mediante la adición de Technosols fertilizantes, capaces de aportar nutrientes en los bordes y dentro del humedal (Arranz *et al.*, 2017).

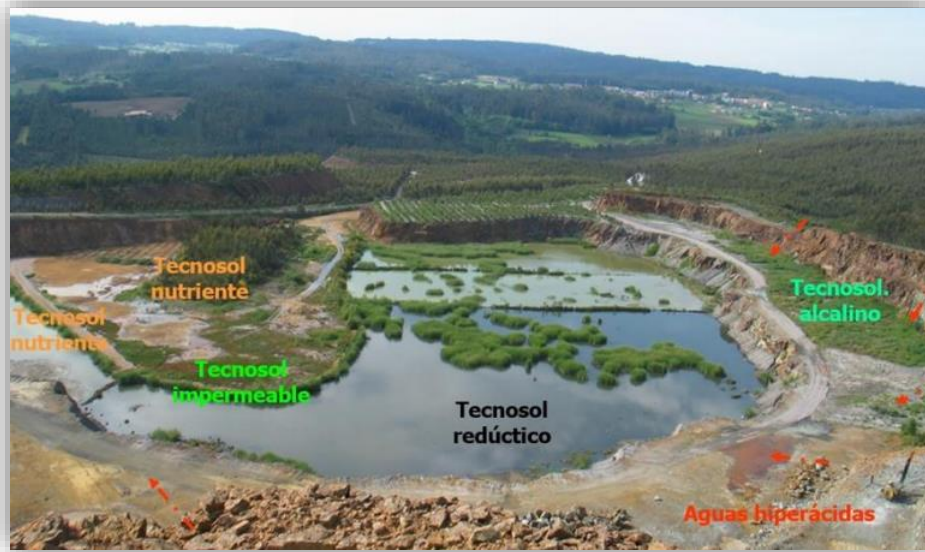


Figura 4. Uso de distintos tipos de Technosols en la Mina de Touro (Fuente: Macías *et al.*, 2009b)

Otra aplicación de Technosols en zonas mineras, fue la realizada en la Bahía de Portmán (Murcia). Las actividades mineras provocaron un gran desastre ecológico debido a los grandes vertidos, en especial de la empresa Peñarroya, y contaminación en la zona (González, 2014). Durante más de 30 años se han vertido al mar 60 millones de toneladas de estériles (Figura 5), provocando la colmatación de la bahía (Cesar *et al.*, 2009).

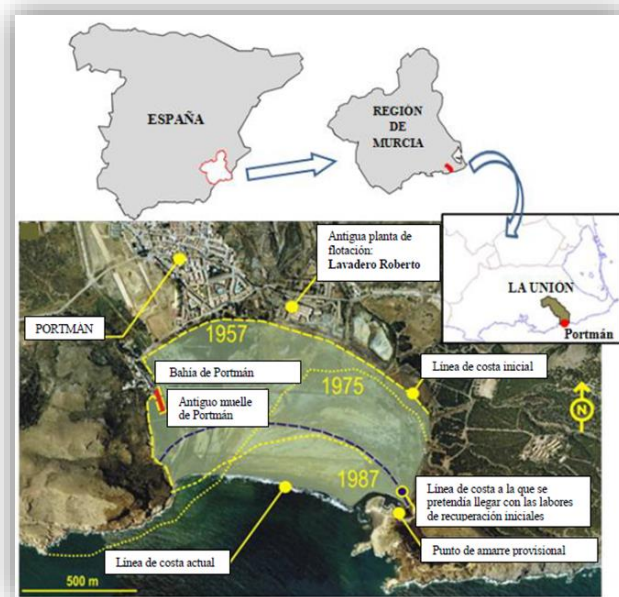


Figura 5. Vista aérea de la Bahía de Portmán (Fuente: Oyarzun *et al.*, 2013).

Para la construcción de Technosols se seleccionaron varios suelos contaminados (con sedimentos mineros diferentes) más representativos de la bahía y se mezclaron con materiales calizos como rellenos. La mezcla consiguió la neutralización de la acidez e inmovilización de los metales pesados o elementos tóxicos porque actúa generando formas más estables, evitando así la posible transferencia a otros medios (González, 2014).

Los Technosols también han sido empleados 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 principal objetivo de todas ellas fue la prevención de la posible generación de lixiviados ácidos y liberación de metales a las aguas de infiltración y superficiales, evitando así la necesidad de tratamiento de los drenajes, de forma que se minimiza el mantenimiento de las operaciones de clausura de las minas.

Existen otras técnicas en la aplicación de Technosols para la restauración de zonas mineras, que buscan la rápida activación biológica del medio edáfico, como son las que utilizan bioaumentación (adición de cultivos microbianos) junto con la incorporación de lodo de mármol. Este último es utilizado para la inmovilización de metales pesados (Zornoza *et al.*, 2017) y para fomentar el desarrollo de raíces debido a su alta capacidad de retención de agua (Simón *et al.*, 2018).

Por tanto, una de las consecuencias más relevantes del uso de materiales calizos, como el polvo de mármol, es la capacidad para regular el pH, reduciendo la acidez y favoreciendo la inmovilización de los metales pesados.

La utilización de residuos inorgánicos junto a residuos orgánicos permite además aumentar el carbono, nitrógeno, potasio y fósforo inorgánico y orgánico del suelo, contribuyendo al secuestro de carbono orgánico y a la mejora de la fertilidad del suelo, la cual está relacionada con una mayor actividad microbiana que permite el crecimiento de la vegetación (Zornoza *et al.*, 2017).

4.2. Aplicación de Technosols en carreteras.

En Galicia, cuando se ejecutan obras civiles como la construcción de carreteras, al excavar se exponen a la intemperie materiales ricos en sulfuros metálicos, los cuales experimentan rápidos procesos de oxidación, generando aguas de escorrentía ácidas y la movilización de elementos tóxicos. Al principio, aparentemente estos efectos no se aprecian, pero conforme va pasando el tiempo se pueden observar en los taludes de las carreteras, como en la figura 6 (Bolaños, 2014).

Estas aguas de escorrentía que transportan estos materiales y son ácidas deben ser eliminadas rápidamente de los sistemas superficiales, ya que producen graves daños en las estructuras de las carreteras que se encuentran en contacto con ellas, como los taludes, y, además, pueden afectar a la salud humana a través de la ingesta de organismos acuáticos que presentan acumulación de arsénico (Bolaños, 2014).



Figura 6. Oxidación de sulfuros en taludes de la autovía de Santiago a Orense (Fuente: Bolaños, 2014).

Por ello, para corregir este problema se ha demostrado que la aplicación de Technosols en los taludes corrige y previene los procesos de oxidación. En este caso, es fijado sobre la superficie del talud un Technosol alu-ándico, el cual presenta complejos formados por aluminio y materia orgánica (Área de Edafología y Química Agrícola, 2005), con capacidad de neutralizar los procesos de acidificación, reducir la oxidación e inmovilizar los elementos tóxicos, en

conjunto con semillas y un sistema de sostenimiento como son las mallas realizadas con diversos materiales, habitualmente de cuerdas biodegradables, que permiten la sujeción del Technosol (Figura 7) (Bolaños, 2014).



Figura 7. Technosol proyectado en talud (Fuente: Bolaños, 2014).

4.3. Aplicación de Technosols en zonas degradadas.

Uno de los ejemplos en la aplicación de Technosols en zonas degradadas lo podemos encontrar en el municipio de Vitoria-Gasteiz (Álava). Numerosas parcelas urbanizadas se encontraban sin suelo vegetal con riesgo de degradación, lo que hacía imposible su acondicionamiento. Para ello, se utilizaron diferentes tipos de Technosols mediante la combinación de diferentes subproductos de las plantas de tratamiento de residuos. Esto permitió una mejora en la gestión de residuos y la posibilidad de recuperar parcelas degradadas (Herrán *et al.*, 2016).

Como ingredientes base se emplearon residuos de construcción y demolición de pequeño tamaño, material bioestabilizado de una planta de residuos sólidos urbanos con poda triturada como fuente de materia orgánica, bentonitas recicladas y tierra vegetal (Vilela, 2014).

Los resultados mostraron que el uso de Technosols es una opción viable para la restauración de zonas degradadas y para el soporte de infraestructuras verdes, ya que todos los parámetros controlados en el suelo estaban dentro de los umbrales que marca 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).

Otro de los ejemplos lo encontramos en el sureste de España. Aquí se encuentran grandes extensiones de espacios degradados, siendo necesario llevar a cabo estrategias de restauración y rehabilitación. Para ello, se pueden utilizar desechos y enmiendas (orgánicas e inorgánicas), dependiendo de los requisitos físicos y químicos, como son el compost de lodos de aguas residuales y residuos de palmeras para cuando se necesita materia orgánica y nutrientes, ya que mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas de los suelos pobres (Iovieno *et al.*, 2009; Peñaranda *et al.*, 2020) y promueven el restablecimiento de procesos relacionados con el ciclo de nutrientes, esencial para la restauración del ecosistema.

Pero, si se necesita materia inorgánica o un material con comportamiento similar al de un material inerte, se pueden emplear residuos de afloramientos de piedra caliza triturada (Pérez-Gimeno *et al.*, 2019). El uso de materiales inorgánicos e inertes cambian la estructura de los suelos, el pH (Zornoza *et al.*, 2013) y mejoran la disponibilidad de nutrientes en suelos ácidos, ayudando a las plantas a mantener el sistema radicular anclado al suelo (BRGM, 2001).

Sin embargo, hay que tener en cuenta las características y la posible contaminación ambiental asociada al uso de compost, por la presencia de metales pesados y salinidad (Eldridge *et al.*, 2009; Navarro-Pedreño *et al.*, 2004). Para ello, antes de la aplicación es necesario hacer un pretratamiento de los residuos (Pérez-Gimeno *et al.*, 2019).

4.4. Aplicación de Technosols en aguas residuales y ecosistemas acuáticos.

Finalmente, conviene hacer una mención sobre el tratamiento de aguas residuales y naturales.

El primer ejemplo es su uso en bodegas vitivinícolas, con Technosols y plantas como *Typha Latifolia*, dónde han sido aplicados en los humedales durante la fase final del procesado de las aguas residuales para mejorar la calidad del efluente.

Por un lado, la principal función de la vegetación es que sus raíces y rizomas crean una superficie adecuada para el crecimiento de las bio-películas, las cuales participan en la depuración al crear microambientes aeróbicos donde tiene lugar la degradación aeróbica de la materia orgánica y la nitrificación. También, cuando las plantas han crecido, estas reducen la intensidad de la luz que incide sobre el medio granular, evitando así el incremento de temperatura que afecte al proceso de depuración y, además, asimilan nutrientes (García y Corzo, 2008). Por otro lado, la principal función del Technosol empleado con carácter reductor es la eliminación de oxidantes, evitando así los cambios de pH (Bolaños, 2014).

También, los Technosols han sido empleados para el tratamiento de aguas eutrofizadas, mediante la captación de fosfatos (principales causantes de la eutrofización debido al exceso de nutrientes en el agua (Sewervac Ibérica, 2018)) con el objetivo de prevenir o reducir la intensidad de las afloraciones de cianobacterias y sus efectos nocivos. La principal forma de captación de fosfatos por parte del Technosol se debe a la adsorción, gracias a que los compuestos de aluminio y hierro actúan como los complejos organometálicos de éstos y de otros elementos formando un enlace fuerte, impidiendo su posterior liberación (Bolaños, 2014).

En Galicia, mediante un proyecto piloto para el tratamiento de la eutrofización en un río, se diseñó un Technosol que actuó como medio filtrante y adsorbente (Figura 8), con propiedades específicas para la adsorción de fosfatos, y fue colocado en bolsas permeables para permitir el flujo de agua y en una estructura de acero. Estos suelos mejoraron los parámetros de calidad del agua, disminuyendo el crecimiento de cianobacterias, debido a la retención de fosfatos, la eutrofización y sus efectos (Bolaños, 2014).



Figura 8. Colocación de bolsas con Technosol en el cauce de un río (Fuente: Bolaños, 2014).

Otro ejemplo para el tratamiento de la eutrofización en ecosistemas acuáticos lo encontramos en Ecuador, en la Presa Propósito Múltiple Chone (PPMCH). La zona de estudio presenta agua en estado eutrófico por el exceso de nutrientes, causado por las actividades agropecuarias realizadas en la zona (Calvopiña y Vilela, 2017) y por una formación geológica en la zona que presenta rocas fosfóricas (Burbano *et al.*, 2015).

Debido a la eutrofización de las aguas, se diseñaron y pusieron a prueba varios Technosols en el laboratorio con diferentes suelos de la zona, aserrín y cáscara de arroz como materiales adsorbentes capaces de interactuar con algunos compuestos contaminantes (Jiménez y Padilla, 2012) y sulfato de aluminio para eliminar el fósforo (Calvopiña y Vilela, 2017). El principal objetivo de dicho estudio fue disminuir la eutrofización y con esto limitar el crecimiento de las plantas acuáticas que dificultan la posterior potabilización del agua (Palma, 2011).

Además, los Technosols son empleados en ecosistemas acuáticos contaminados con arsénico proveniente de la minería. En este caso, el Technosol está compuesto por suelo férrico del área minera y nanopartículas de hierro u óxidos metálicos con activos de cáscara de naranja, ya que son considerados buenos adsorbentes para la eliminación e inmovilización de metales pesados y otros contaminantes en suelos y aguas, debido a la gran superficie específica que presentan.

Ambas tecnologías, Technosols y nanopartículas, han permitido obtener muy buenos resultados en la descontaminación y remediación ambiental para la retención de arsénico (Sánchez, 2017).

Por otro lado, en las regiones mediterráneas, los recursos naturales son limitados, es decir, suelo y agua, mientras que sus demandas aumentan constantemente (Klay *et al.*, 2010). La escasez de agua dulce de buena calidad empleada para la agricultura está afectando a estas regiones agravadas por el uso de agua de riego salino (Ahmad *et al.*, 2008). Una de las posibles soluciones es la aplicación de desechos para la restauración del suelo, pero es importante el desarrollo de métodos experimentales para verificar las posibles fuentes de salinización y contaminación por oligoelementos antes de usarlos. Para ello, se aplicó agua salina y no salina a compost de lodos de depuradora y residuos de afloramientos de piedra caliza para evaluar la lixiviación de formas inorgánicas solubles relacionadas con la salinidad y la contaminación de oligoelementos (Fe, Mn, Cu, Zn, Cd, Cr, Ni y Pb) del compost de lodos de depuradora y de los residuos de piedra caliza, determinando así los posibles efectos sobre la calidad del agua y la vegetación (Pérez-Gimeno *et al.*, 2016a).

Los resultados obtenidos fueron que, aunque los compost de lodos de aguas residuales contienen nutrientes y pueden mejorar la calidad de los suelos, presentan sales como el cloruro de sodio, por lo que, si además aplicamos un régimen de agua salino, estas pueden impedir el establecimiento de plántulas de vegetales debido al estrés salino (Cai *et al.*, 2010; Lag *et al.*, 2013) y puede considerarse una fuente de contaminación por fosfato (Pérez-Gimeno *et al.*, 2016a) y nitrógeno (Pérez-Gimeno *et al.*, 2016b). Además, la influencia de la salinidad puede aumentar el contenido de metales pesados (Jordão *et al.*, 2003; Almendro-Candel *et al.*, 2014), debido al desplazamiento de varias especies químicas (Veeresh *et al.*, 2003; Reddy y Crohn, 2012; Valdez-González *et al.*, 2014), provocando la contaminación del suelo y agua (Dolgen *et al.*, 2007; Speir *et al.*, 2007; Soriano *et al.*, 2010). Por lo tanto, la combinación de agua salina para riego con el compost debe considerarse seriamente como una fuente de contaminación para las aguas superficiales y subterráneas (Pérez-Gimeno *et al.*, 2016a, 2016b).

5. Conclusiones.

Las principales conclusiones obtenidas en este trabajo a través de las investigaciones y ejemplos estudiados en los últimos años son las siguientes:

- Los residuos generados por actividades antropogénicas y no gestionados son un verdadero problema ambiental para el presente y futuro.
- La creación de Technosols utilizando diferentes componentes, es una estrategia sostenible para la recuperación de suelos y mejorar la calidad de las aguas.
- Principalmente, los Technosols han sido empleados para crear y sustituir a los suelos naturales, acondicionando propiedades físicas, químicas y biológicas.
- Los residuos calizos y en particular polvo de mármol, tienen la capacidad para regular el pH, la acidez y favorecer la inmovilización de los metales pesados.
- El uso de residuos orgánicos con los inorgánicos, potencia la actividad biológica, adsorber fosfatos para evitar la eutrofización y minimizar el mantenimiento de la zona restaurada al favorecer el desarrollo de la cubierta vegetal.
- También, su aplicación favorece la gestión de residuos, ya que por un lado minimiza los costes y gastos al poder utilizar materiales residuales producidos *in situ*. Además, los residuos son aprovechados y los elementos que los constituyen reincorporados a los ciclos biogeoquímicos.
- Los Technosols se encuentran en constante estudio y actualización. Una de las últimas aplicaciones novedosas ha sido en la recuperación de aguas residuales urbanas y ecosistemas acuáticos eutrofizados.
- Continuar con el estudio de los Technosols va a permitir ampliar su aplicación en diferentes ámbitos, abriendo posibilidades para restaurar más ambientes degradados, permitiendo mejorar los ecosistemas y el paisaje.

6. Bibliografía.

- Abad Coloma, R. (2018). El sector del mármol en el Medio Vinalopó: Análisis de las últimas décadas y sus impactos económicos, sociales, territoriales y paisajísticos. Trabajo Fin de Grado de la Universidad de Alicante. Grado en Geografía y Ordenación del Territorio. Departamento de Análisis Geográfico Regional y Geografía Física.
- Ahmad, Z., Yamamoto, S., & Honna, T. (2008). Leachability and phytoavailability of nitrogen, phosphorus, and potassium from different bio-composts under chloride- and sulfate-dominated irrigation water. *Journal of Environmental Quality*. 37(3):1288–1298.
- Almendo-Candel, M.B., Navarro-Pedreño, J., Jordán, M.M., Gómez, I., & Meléndez Pastor, I. (2014). Use of municipal waste compost to reclaim limestone quarries mine spoils as soil amendments: effects on Cd and Ni. *Journal of Geochemical Exploration*. 144:363-366
- Alonso Rodríguez, M., y Macías, F. (2012). Contribución al estudio de procesos de adsorción de fosfatos mediante Technosols. Aplicación a la recuperación de embalses y aguas eutrofizadas. Proyecto fin de Máster de la Universidad Santiago de Compostela en Ingeniería Ambiental.
- Arán, D., Verde, J.R., Antelo, J., y Macías, F. (2020). Calidad ambiental de suelos y aguas de la Mina Fé. *Spanish Journal of Soil Science*. 10(1):81-100.
- Arranz González, J.C., Rodríguez Gómez, V., Alberruche del Campo, E., Fernández Naranjo, F.J., y Rodríguez Pacheco, R. (2017). Actividad 2. Revisión de técnicas y medidas correctoras realizadas para la recuperación ambiental de las instalaciones de residuos mineros. Instituto Geológico y Minero de España. Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente.
- 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. Departamento de Edafología y Química Agrícola Facultad de Biología.

- Bolaños, D., Verde, R., Macías-García, F., y Macías, F. (2014). Diseño y empleo de Technosols "a la carta". XX Congreso Latinoamericano y XVI Congreso Peruano de la Ciencia del Suelo.
- BRGM (2001). Management of mining, quarrying and ore-processing waste in the European Union. Study made for DG Environment, European Commission.
- Cai, H., Chen, T., Liu, H., Gao, D., Zheng, G., & Zhang, J. (2010). The effect of salinity and porosity of sewage sludge compost on the growth of vegetable seedlings. *Scientia Horticulturae*. 124(3):381–386.
- Calvopiña Enríquez, K.D., y Vilela Carrillo, 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.
- CEDEX. Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas. (2015). Lodos procedentes del corte y tratamiento de la piedra ornamental.
- Cesar, A., Marín, A., Marín-Guirao, L., Vita, R., Lloret, J., & Del Valls, T.A. (2009). Integrative ecotoxicological assessment of sediment in Portmán Bay (southeast Spain). *Ecotoxicology and Environmental Safety*. 72(7):1832–1841.
- CTS. España Productos y equipos para la restauración S.L. (2017). Ficha datos de seguridad "01141025 – Polvo de Mármol".
- Departamento de Medio Ambiente y Política Territorial del País Vasco (2015). Ley 4/2015, de 25 de junio, para la prevención y corrección de la contaminación del suelo. BOPV nº 123.
- Dolgen, D., Necdet Alpaslan, M., & Delen, N. (2007). Agricultural recycling of treatment-plant sludge: A case study for a vegetable-processing factory. *Journal of Environmental Management*. 84(3):274–281

- Eldridge, S.M., Chan, K.Y., Barchia, I., Pengelly, P.K., Katupitiya, S., & Davis, J.M. (2009). A comparison of surface applied granulated biosolids and poultry litter in terms of risk to runoff water quality on turf farms in Western Sydney, Australia. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 134(3-4):243–250.
- García Serrano, J., y Corzo Hernández, 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.
- González Ciudad, 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.
- Gracia i Vicente, L. (2006). Indicadores ambientales y paisajísticos del Palmeral de Elche. Tesis doctoral de la Universidad Miguel Hernández de Elche. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente.
- Herrán Fernández, A., Lacalle, R.G., Iturriza Vélez del Burgo, M.J., Martínez Azkuenaga, M., & Vilela Lozano, J. (2016). First results of Technosols constructed from municipal waste in Vitoria-Gasteiz (Spain). *Spanish Journal of Soil Science*. 6(1):64-81.
- Hervas-Oliver, J.L., Boronat-Moll, C., Sempere-Ripoll, F, Estelles-Miguel, S., y Belso Martínez, J.A. (2018). Plan Sectorial del Mármol. Plan Estratégico de la Industria Valenciana (2018- 2023). Conselleria de Economía Sostenible, Sectores Productivos, Comercio y Trabajo. Dirección General de Industria y Energía. Generalitat Valenciana. Valencia.
- Ibáñez Ruiz del Portal, M. (2015). Evolución temporal del sistema suelo-planta del paisaje protegido corredor verde del Guadiamar, contaminado por elementos traza tras el vertido minero de Aznalcóllar: Revisión bibliográfica (1998-2015). Trabajo Fin de Grado de la Universidad de Sevilla. Grado en Ingeniería Agrícola. Departamento de Ciencias Agroforestales.
- Iovieno, P., Morra, L., Leone, A., Pagano, L., & Alfani, A. (2009). Effect of organic and mineral fertilizers on soil respiration and enzyme activities of two Mediterranean horticultural soils. *Biology and Fertility of Soils*. 45(5):555-561.

- IUSS Working Group WRB. (2015). World Reference Base for Soil Resources 2014. Update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports Nº 106. FAO, Rome.
- Jérez Escolano, J., Navarro-Pedreño, J., Gómez Lucas, I., Almendro-Candel, M.B., & Zorpas, A.A. (2018). Decreased organic carbon associated with land management in Mediterranean environments. *Soil Management and Climate Change*. Effects on organic carbon, nitrogen dynamics, and greenhouse gas emissions. Muñoz M.A., Zornoza, R. (eds.). Academic Press. 1-13.
- Jiménez Villadiego, M., y Padilla González, G.A. (2012). Evaluación del potencial de adsorción del aserrín para remover aceites pesados en cuerpos de agua a escala laboratorio. Trabajo Fin de Grado en la Universidad de Cartagena, Colombia. Grado en Ingeniería Química. Facultad de Ingeniería.
- Jordán, M.M., Pina, S., García-Orenes, F., Almendro-Candel, M.B., & García-Sánchez, E. (2008). Environmental risk evaluation of the use of mine spoils and treated sewage sludge in the ecological restoration of limestone quarries. *Environmental Geology*. 55(2):453-462.
- Jordão Pereira, C., Cecon, P.R., & Pereira, J. (2003). Evaluation of metal concentrations in edible vegetables grown in compost amended soil. *International Journal of Environmental Studies*. 60(6):547–562.
- Klay, S., Charef, A., Ayed, L., Houman, B., & Rezgui, F. (2010). Effect of irrigation with treated wastewater on geochemical properties (saltiness, C, N and heavy metals) of isohumic soils (Zaouit Sousse perimeter, Oriental Tunisia). *Desalination*. 253(1-3):180–187.
- Lag Brotons, A.J., Soriano Disla, J.M., Gómez, I., & Navarro-Pedreño, J. (2013). Saline irrigation effects on *Cynara cardunculus* L. plants grown in Mediterranean soils. *HortScience*. 48(6):762-767.
- 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.

- Macías Vázquez, 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, 49-56.
- Macías Vázquez, F., y Nieto Olano, 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*. 139-145.
- Macías García, F., Camps Arbestain, M., y Macías Vázquez, F. (2009a). Utilización de Technosols derivados de residuos en procesos de restauración de la mina de Touro. *Minería Sostenible: Conferencia internacional*. Cámara Oficial Mineira de Galicia. 651-662.
- Macías García, F., Fontán, L., Otera, X.L., Pérez Llaguno, C., Camps Arbestain, M., y Macías Vázquez, F. (2009b). Recuperación de aguas ácidas de la mina de Touro mediante sistemas integrados de barreras reactivas con diferentes Technosols y humedales. *Minería Sostenible: Conferencia internacional*. Cámara Oficial Mineira de Galicia. 963-973.
- Maslikova, K.P., Zhukov, O.V., & Zhukov, O. (2020). Biological diversity and ecosystem services of the Technosols of mining areas. *Agrology*. 2(4):247-257.
- Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Jordán Vidal, M.M., Gómez Lucas, I., García Sánchez, E., & Mataix-Solera, J. (2004). Risk areas in the application of sewage sludge on degraded soils in Alicante province (Spain). *WIT Press*. 293-302.
- Oyarzun, R., Manteca Martínez, J.I., López García, J.A., & Carmona, C. (2013). An account of the events that led to full bay infilling with sulfide tailings at Portman (Spain), and the search for “black swans” in a potential land reclamation scenario. *Science of the Total Environment*. 454–455: 245–249.
- Peñaranda, M.A., Alarcón, V., Gómez, I., y Navarro-Pedreño, J. (2020). Métodos de recuperación del medio edáfico en canteras de zonas áridas y semiáridas mediante el uso de residuos. *Spanish Journal of Soil Science* (aceptado, en prensa).

- Pérez Espinosa, 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.
- Pérez-Gimeno, A., Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Gómez, I., & Jordán, M.M. (2016a). Environmental consequences of the use of sewage sludge compost and limestone outcrop residue for soil restoration: salinity and trace elements pollution. *Journal of Soils and Sediments*. 16(3): 1012–1021.
- Pérez-Gimeno, A., Navarro-Pedreño, J., & Almendro-Candel, M.B. (2016b). Nitrogen compound pollution associated with the use of sewage sludge compost and limestone outcrop residue under saline irrigation. *Journal of Soils and Sediments*. 16(1012), 1345–1351.
- Pérez-Gimeno, A., Navarro-Pedreño, J., Almendro-Candel, M.B., Gómez, I., & Zorpas, A.A. (2019). The use of wastes (organic and inorganic) in land restoration in relation to their characteristics and cost. *Waste Management & Research*. 37(5): 502-507.
- Reddy, N., & Crohn, D.M. (2012). Compost induced soil salinity: a new prediction method and its effect on plant growth. *Compost Science & Utilization*. 20(3):133–140.
- Rincón Mora, B. (2017). Sinterización y vitrificación de residuos enriquecidos en Li, Ca, Mn y Cr procedentes de procesos industriales. Tesis doctoral en la Universidad Miguel Hernández de Elche. Departamento de Agroquímica y Medio Ambiente.
- Sánchez Gómez, 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.
- Santos Ruiz, J. (2004). Estudio para tratar de identificar posibles aplicaciones industriales para los residuos generados en el proceso de corte y elaboración de piedra natural, en concreto del mármol, analizando su viabilidad técnica y económica. Proyecto Final de Carrera en la Universitat Politècnica de Catalunya. Carrera de Ingeniería Técnica de Minas. Departamento de Ingeniería Minera y Recursos Naturales.

- Saveyn, H., & Eder, P. (2014). End-of-waste criteria for biodegradable waste subjected to biological treatment (compost & digestate): Technical proposals. European Commission. JRC Scientific and Policy Reports. Ed. Luxembourg: Publications Office of the European Union.
- Simón, M., García, I., Sánchez, J.A., & González, V. (2018). Atypical morphology of technosols developed in quarry dumps restored with marble sludge: Implications for carbon sequestration. *Catena*. 160, 50-56.
- Soriano Disla, J.M., Speir, T.W., Gómez, I., Clucas, L.M., McLaren, R.G., & Navarro-Pedreño, J. (2010). Evaluation of Different Extraction Methods for the Assessment of Heavy Metal Bioavailability in Various Soils. *Water, Air & Soil Pollution*. 213(1–4):471–483.
- Speir, T.W., van Schaik, A.P., Hunter, L.C., Ryburn, J.L., & Percival, H.J. (2007). Attempts to derive EC₅₀ values for heavy metals from land-applied Cu-, Ni-, and Zn-spiked sewage sludge. *Soil Biology and Biochemistry*. 39(2):539–549.
- Valdez, P., Barragán, B., Girbes, I., Shuttleworth, N., & Cockburn, A. (2011). Uso de residuos de la industria del mármol como filler para la producción de hormigones autocompactantes. *Materiales de Construcción*. 61(301):61-76.
- Valdez-González, J., Lopez-Chuken, U., Guzman-Mar, J., Flores Banda, F., Hernández Ramírez, A., & Hinojosa Reyes, L. (2014). Saline irrigation and Zn amendment effect on Cd phytoavailability to Swiss chard (*Beta vulgaris* L.) grown on a long-term amended agricultural soil: a human risk assessment. *Environmental Science and Pollution Research*. 21(9):5909–5916.
- Veeresh, H., Tripathy, S., Chaudhuri, D., Ghosh, B.C., Hart, B.R., & Powell, M.A. (2003). Changes in physical and chemical properties of three soil types in India as a result of amendment with fly ash and sewage sludge. *Environmental Geology*. 43, 513–520.
- Vilela Lozano, J. (2014). Elaboración de Technosols como soporte de infraestructura verde en Vitoria-Gasteiz a partir de subproductos de plantas municipales de residuos. Congreso Nacional del Medio Ambiente (CONAMA 2014). Ayuntamiento de Vitoria-Gasteiz.

Zornoza, R., Faz, A., & Martínez Martínez, S. (2013). Marble waste and pig slurry increment soil quality and reduce metal availability in a tailing pond. *Terra Latinoamericana*. 31(2):105–114.

Zornoza, R., Gómez-Garrido, M., Martínez-Martínez, S., Gómez-Lopez, M., & Faz, A. (2017). Bioaugmentation in Technosols created in abandoned pyritic tailings can contribute to enhance soil C sequestration and plant colonization. *Science of The Total Environment*. 593-594: 357-367.

6.1. Consultas web.

Área de Edafología y Química Agrícola. (2005). Lección 8 Tipología de suelos. Rasgos de diagnóstico del suelo. Horizontes de diagnóstico. Horizontes sobre materiales piroclásticos. Departamento de Biología y Producción de los Vegetales. Universidad de Extremadura. Recuperado el 16 de mayo de 2020, de <https://www.eweb.unex.es/eweb/edafo/ECAP/ECAL8HorDiagHorPirocl.htm>

Burbano, N., Becerra, S., y Pasquel, E. (2015). Introducción a la hidrogeología del Ecuador. *Instituto Nacional de Hidrología y Meteorología*. Recuperado el 12 de abril de 2020, de http://www.serviciometeorologico.gob.ec/Publicaciones/Hidrologia/HIDROGEOLOGIA_2%20EDICION_2014.pdf

Huancaya, R., y Carrasco, C. (2017). Investigación en Cierre de Minas. Instituto de Ingenieros de Minas del Perú. *Buenaventura*. Recuperado el 15 de abril de 2020, de <http://iimp.org.pe/pptjm/jm16022017-Investigaciones-en-Cierre-de-Minas-la-zanja.pdf>

Macías, F. (2004, 2007). Technosols. Suelos a la carta. Departamento de Edafología y Química Agrícola. Universidad de Santiago de Compostela. Recuperado el 29 de marzo de 2020, de <http://edafologia.ugr.es/gestionsuelos/grupoa/tema15tecnosuelos.pdf>

Palma, N. (2011). Lechuguines se sacarán a mano en represa manabita. *El Universo*. Recuperado el 25 de abril de 2020, de <https://www.eluniverso.com/2011/05/16/1/1447/lechuguines-sacaran-mano-represa-manabita.html>

Sewervac Ibérica (2018). Eutrofización: causas, consecuencias y soluciones. *iAgua*. Recuperado el 5 de mayo de 2020, de <https://www.iagua.es/noticias/sewervac-iberica/eutrofizacion-causas-consecuencias-y-soluciones>

TEKURA (2017). Proyecto TEKURA para rehabilitación de antiguas explotaciones mineras. *Emgrisa*. Recuperado el 8 de mayo de 2020, de <https://www.emgrisa.es/proyectos/proyecto-tekura-para-rehabilitacion-de-antiguas-explotaciones-mineras/>

Unión Europea (2020). What is zero waste. *Zero Waste Europe*. Recuperado el 28 de mayo de 2020, de <https://zerowasteeurope.eu/what-is-zero-waste/>

