

EVALUACIÓN DEL ESTADO ACTUAL DEL MEDIO FÍSICO EN LA RESTAURACIÓN REALIZADA EN UNA ZONA AFECTADA POR ACTIVIDADES MINERAS, AGOSTO (ALICANTE)



Trabajo Fin de Grado

2020/2021

Autor:

Alejandro Carpena López

Tutores:

José Navarro Pedreño

María Pilar Torres Martínez

Gloria Costas Ruiz

Departamento:

Agroquímica y Medio Ambiente

Área:

Edafología y Química Agrícola.



AGRADECIMIENTOS

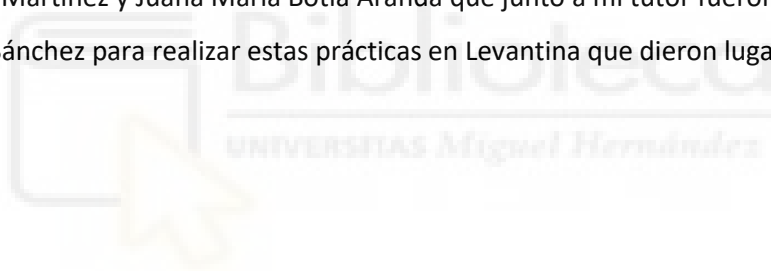
En primer lugar, agradecer a mi familia por todo su apoyo y ánimo brindados durante la realización de este trabajo y a lo largo de estos años.

Agradecer gratamente a mi tutor José Navarro Pedreño por la paciencia, esfuerzo, exigencia, dedicación y ayuda ofrecida para resolver todas mis dudas y estar a mi disposición para explicarme todo detalladamente, corregirme una y otra vez y animarme continuamente para que este trabajo saliera adelante.

A mi compañera María Sánchez Díaz, con la que inicié estas prácticas que derivaron en la realización de este TFG y con la que he podido contar en todo momento y me he podido apoyar siempre que me ha hecho falta.

También agradecer a Aida Moya Montes y Abdelraouf Benslama por su ayuda durante el trabajo de campo y de laboratorio para el análisis de las muestras de campo.

Por último, agradecer también a Teresa Rodríguez Espinosa, Gloria Costas Ruiz, Yolanda Llinares Calbo, María Pilar Torres Martínez y Juana María Botía Aranda que junto a mi tutor fueron los que confiaron en mí y en María Sánchez para realizar estas prácticas en Levantina que dieron lugar a este TFG.



RESUMEN

Las explotaciones mineras son necesarias por la gran cantidad de recursos que nos aporta, a pesar de los impactos negativos que genera. Por ello es obligatorio llevar a cabo planes de restauración de zonas afectadas por esta actividad, para reducir estos impactos lo máximo posible. En este caso, el método utilizado en la zona de estudio (Agost), ha sido el empleo de residuos inertes principalmente de la industria del mármol junto a una última capa de tierra vegetal.

A lo largo de este trabajo se analiza el estado actual del medio edáfico cinco años después de la finalización de las tareas de restauración edáfica. Para ello, se estudian varias propiedades del suelo, la topografía y microrrelieve y la hidrología superficial con su correspondiente erosión hídrica. Mediante este estudio, se determinó que, el suelo formado no presenta rasgos homogéneos y no dispone de una alta calidad para generar una zona con una cobertura vegetal importante, aunque se puede prever que la tendencia con el tiempo será la de su integración con el entorno.

Palabras clave: restauración, erosión, residuos inertes, huecos mineros.

ABSTRACT:

Mining operations are necessary because of the large amount of resources they provide, despite the negative impacts they generate. Therefore it is mandatory to carry out restoration plans for affected areas by this activity, in order to reduce these impacts as much as possible. In this case, the method used in the studied area (Agost) has been the use of inert waste, mainly from the marble industry, together with a final layer of topsoil.

Throughout this work, the current state of the soil environment is analysed five years after the completion of the soil restoration work. For this purpose, several soil properties, topography and micro-relief and surface hydrology with its corresponding water erosion are studied. Through this study, it was determined that the soil formed does not present homogeneous features and does not have a high quality to generate an area with a significant vegetation cover, although it can be foreseen that the trend over time will be towards its integration with the environment.

Keywords: restoration, erosion, inert waste, mining quarries.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN.....	4
2.	JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS	8
3.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1.	Descripción del área de estudio	9
3.1.1.	Localización	12
3.1.2.	Litología.....	12
3.1.3.	Geomorfología	13
3.1.4.	Edafología.....	14
3.1.5.	Hidrología.....	14
3.1.5.1.	Hidrología superficial.....	14
3.1.5.2.	Hidrología subterránea.....	15
3.1.6.	Climatología	15
3.1.7.	Biodiversidad	17
3.1.7.1.	Flora y vegetación.....	17
3.1.7.2.	Fauna	18
3.1.8.	Paisaje	18
3.1.9.	Medio socioeconómico y cultural	19
3.2.	Métodos de análisis de suelos	19
3.3.	Análisis del relieve	23
3.4.	Software y estadística	24
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	25
4.1.	Resultados análisis de suelos	25
4.1.1.	pH	25
4.1.2.	Conductividad eléctrica	26
4.1.3.	Materia orgánica.....	27
4.1.4.	Densidad aparente.....	28
4.2.	Resultados análisis relieve e hidrología.....	29
5.	CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA.....	34
6.	BIBLIOGRAFÍA	35
7.	ANEXOS	40
7.1.	Anexo 1 – Acuíferos de la Comunidad Valenciana	40

1. INTRODUCCIÓN

La minería es una actividad muy importante ya que, los minerales y rocas que se extraen, nos proporcionan muchos de los elementos y materiales que necesitamos, por ejemplo, para la construcción de viviendas y fabricación de herramientas entre otros. Representan un beneficio social y económico para las regiones productoras y mejoran la calidad de vida de sus habitantes asociada a dicha actividad. Según Antoni (2019), la minería tiene una gran importancia económica en la Comunidad Valenciana, dado que, además de ofrecer productos a diferentes sectores de la industria, también nos aporta gran cantidad de productos de uso cotidiano.

No obstante, la explotación de los recursos obtenidos en canteras, junto a otras obras relacionadas con el sector minero, generan grandes impactos negativos sobre el medio y con ello fuertes cambios en estos ecosistemas (Sheoran et al. 2010; Sort y Alcañiz, 1996).

Cabe destacar que, la minería a cielo abierto, genera un gran impacto ambiental negativo dado que causa alteraciones sobre la morfología de la corteza terrestre, contamina el aire, las aguas superficiales y subterráneas, elimina la flora y destruye el biotopo. Como resultado de todo ello, al provocarse estas modificaciones, se generan en el paisaje impactos visuales y fuertes cambios ambientales. Esta actividad, también puede afectar a la salud de las personas que habitan en el entorno próximo a la zona de explotación (Peñaranda et al., 2020).

Entre los impactos negativos que se les atribuyen a estas actividades, caben destacar los siguientes según Luna (2015):

- Afección negativa y desaparición de la vegetación, fauna, suelo y degradación del medio.
- Cambios microclimáticos y de las funciones ecosistémicas.
- Cambios en la calidad del aire y aumento de material particulado en el aire.
- Pérdida del recurso agua debido a la degradación de acuíferos, desvío de corrientes subterráneas, cambios en el nivel freático y contaminación del agua mediante materiales ácidos.
- Contaminación de ríos, dado que el efecto de la erosión por las corrientes de agua lluvia y el viento arrastran materiales ácidos que acaba acumulándose en las corrientes de los ríos generando una pérdida total de los ecosistemas y degradación del recurso agua.
- Producción de grandes volúmenes de residuos contaminantes, alteración del paisaje, contaminación visual debido a las escombreras y degradación de grandes áreas que necesitarán mucho tiempo para restaurarse.
- Conflicto de uso del suelo.

Por ello, es vital la identificación de los impactos y su evaluación con el fin de diseñar las estrategias oportunas para evitar, mitigar y compensar los impactos generados (Luna, 2015).

La zona de estudio seleccionada en este Trabajo Fin de Grado (TFG), situada en las proximidades de la localidad de Agost (Alicante), tras el periodo de explotación y extracción de material, fue abandonada sin ningún tipo de restauración, al igual que ocurre en gran parte de las canteras que se encuentran fuera de uso desde hace muchos años, en las que no se ha llevado a cabo ningún plan de restauración al ser antiguas y no verse afectadas por la legislación más reciente (Peñaranda et al., 2020).

En tiempos pasados, la explotación de canteras de arcilla sin autorizaciones y regulación estricta en el entorno de Agost, era realmente importante por el gran desarrollo del sector cerámico en la zona. Muchas de estas explotaciones tenían habitualmente carácter familiar y ocasionaron huecos mineros con sus respectivos impactos negativos, quedando muchos de ellos actualmente en desuso.

Algunos de estos huecos mineros, dada la topografía resultante tras su abandono, han desarrollado un comportamiento similar al de pequeñas cuencas endorreicas, favoreciéndose la acumulación de agua en estas depresiones a partir de las escorrentías superficiales, retenidas estas por los materiales impermeables del sustrato geológico presente en la zona.



Figura 1: Hueco minero con acumulación de agua en el fondo, dado a su funcionamiento similar al de cuencas endorreicas, en las proximidades de la zona de estudio en Agost (Alicante). Fuente: Levantina Premios EBAE.

Sobre estos materiales, la erosión actúa de forma notable, y en los bordes de los huecos mineros se producen cárcavas y constantes alteraciones, especialmente tras las lluvias torrenciales y los efectos de estas sobre materiales como las margas y los yesos que afloran en muchas de estas explotaciones.

En el caso concreto de este TFG, que se centra en las explotaciones mineras a cielo abierto en el municipio de Agost (Alicante), se ha estudiado la restauración de una zona que está afectada por dichas actividades, muchas de ellas anteriores a la entrada en vigor del Real Decreto 2994/1982, en el que se obliga a llevar a cabo acciones de restauración en espacios naturales afectados por actividades mineras, derogada actualmente por la modificación parcial de la Ley de Minas cuyo texto original es del 21 de julio de 1973, que recoge en el Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras.

El abandono de canteras a cielo abierto, sin ningún tipo de rehabilitación ni recuperación de su estado inicial, es la principal fuente de impactos negativos sobre el medio (Khabali y Targuisti, 2013) en las zonas donde esta actividad es relevante. Por ello, se estimó necesaria la obligatoriedad de llevar a cabo la restauración o rehabilitación del espacio explotado por la propia empresa explotadora (Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras, 2009).

Esta restauración o rehabilitación, consiste en la intervención humana con el fin de mitigar los daños causados por las canteras, y posibilitar así el desarrollo de nuevos usos de suelo en la zona tras su periodo de explotación y restauración (Milgrom, 2008).

Estos procesos de restauración o rehabilitación que se realizan tras la minería y la explotación de canteras, necesitan un buen diseño constructivo y topográfico, que tenga en cuenta todas las variantes del medio necesarias, para lograr alcanzar las siguientes ventajas:

- Correcto funcionamiento de los ecosistemas, conservación de la biodiversidad y gestión sostenible del medio.
- Mejora de los aspectos socioeconómicos, físicos y culturales relacionados con el ecosistema.
- Potenciar las relaciones efectivas entre los seres humanos y el entorno que habita y explota.
- Prevenir y reducir lo máximo posible los efectos adversos generados por los factores climáticos, como es el caso de la erosión, inundaciones y afianzar la estabilidad del suelo y de los sistemas hidrológicos.

Por ello, Antón et al. (2002) mencionan que mediante los planes de recuperación deben de quedar bien establecidas todas las medidas necesarias para la protección del medio ambiente con el fin de compensar el deterioro de los terrenos afectados por las actividades extractivas, disminuyendo lo máximo posible las alteraciones paisajísticas, geomorfológicas y biológicas.

La extracción de materiales previos en la zona de estudio produjo un importante impacto negativo sobre el medio físico. Este impacto puede reducirse mediante la restauración y en este caso, se busca utilizar para tal fin los materiales residuales inertes de la industria del mármol, revertiendo así el proceso y dejar la zona con unas características muy similares a las que había en sus inicios. Los restos de materiales procedentes de una actividad extractiva son reutilizados para mitigar este mismo tipo de acciones.

Actualmente hay varios métodos posibles aplicados a la restauración de zonas afectadas por canteras, especialmente en la recuperación de los suelos, como son el empleo de compost de residuos sólidos urbanos (RSU), lodos de depuradoras (biosólidos) compostados, combinaciones de compost de RSU y lodos de depuradoras, compost de RSU, lodos de depuradora y grava, purines o estiércol de cerdo, residuos de mármol o estiércol de cerdo combinado con residuos de mármol. Al igual que el fin con el que se realizan las restauraciones, que puede ser para fines agrícolas y ganaderos, naturalistas y forestales, turísticas y para el ocio, industriales y de servicios, etc.

En la zona de estudio, se ha realizado una restauración mediante el empleo de residuos inertes de la industria de la piedra, básicamente del mármol, compuesto por el lodo generado por el proceso de corte de la roca natural junto a los casquillos (residuos de mayor tamaño) generados en el proceso de tratamiento de la roca ornamental y sus productos (Figura 2). Estos productos cumplen con lo establecido en la Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos considerados como inertes.



Figura 2: Residuos inertes (lodo generado en el proceso de corte y casquillos) empleados en el relleno de los huecos mineros para llevar a cabo la restauración. Fuente: Levantina, 2019.

Hoy por hoy, la acumulación de residuos puede reducirse mediante los diferentes métodos de restauración de canteras que se han desarrollado con esta finalidad. El método empleado en la zona de estudio consiste en el empleo de residuos inertes generados en el proceso de explotación, corte y tratamiento de la roca natural, usándolo como sustrato de relleno, conforme con la legislación establecida, siendo aprobado este empleo por el órgano competente de la Generalitat Valenciana:

- Decreto 200/2004, de 1 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se regula la utilización de residuos inertes adecuados en obras de restauración, acondicionamiento y relleno, o con fines de construcción.
- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. Actualmente este decreto se encuentra derogado, por la disposición derogatoria única del Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, que es posterior a la restauración estudiada.

En la restauración de canteras, se buscan las formas de utilizar los residuos generados en la industria sin contaminar el medio ambiente y darle un uso, reintroducirlo en la actividad económica (Peñaranda et al., 2020), siendo esta la base de la economía circular, mediante la que se extiende el ciclo de vida de los residuos.

En muchas de estas zonas restauradas de forma artificial, un fenómeno característico que se debe tener en cuenta y que es capaz de limitar el desarrollo de los nuevos ecosistemas generados, es el desarrollo y formación de procesos de erosión hídrica superficial generando regueros y cárcavas en el medio, ya que la restauración finaliza en la mayor parte de los casos con la implantación de un sustrato edáfico y una cubierta vegetal. Los procesos erosivos provocados por efecto del agua, principalmente la lluvia y la generación de escorrentías, derivan en efectos negativos sobre las comunidades vegetales empleadas en la restauración y con ello una fuerte degradación del suelo (Moreno de las Heras, 2009). Si estas comunidades no prosperan, los suelos quedan desnudos y desprotegidos frente a estos fenómenos erosivos.

Mediante este trabajo, se realizará la valoración del estado de una zona restaurada, como se ha indicado, en el municipio de Agost, valorando algunos de los aspectos más relevantes desde el punto de vista del medio físico. Centrando los objetivos en esta parte, se valora el estado actual tras haber transcurrido desde la finalización de las tareas de restauración, cinco años, el límite tras el cual no es necesario realizar una vigilancia y seguimiento por parte de la empresa de la restauración. Las actuaciones sobre el medio físico y tras haber finalizado los procesos de restauración edáfica en 2016, se complementaron con acciones de repoblación forestal de piso carrasco (*Pinus halepensis*) con el fin de generar cubierta vegetal en el medio y la adecuación del entorno y el paisaje.

2. JUSTIFICACIÓN Y OBJETIVOS

Existe una gran cantidad de huecos mineros en el municipio de Agost (Alicante) ocasionados por la actividad extractiva, principalmente de materiales arcillosos, que ha derivado en un paisaje en el que destacan las canteras abandonadas dentro de un ambiente de aridez generalizado del territorio. Para reducir estos impactos negativos, en el caso que nos ocupa, se ha empleado como material de

relleno, residuos inertes procedentes de la industria del mármol, que permiten completar los huecos y alcanzar la cota media del terreno circundante, sobre el que se ha adicionado una capa de espesor variable de sustrato.

Esta actividad restaurativa, autorizada por la Generalitat Valenciana y amparada por la legislación mencionada anteriormente, persigue la regeneración geomorfológica mediante la aplicación de residuos inertes y la introducción de una cubierta de tierra vegetal para llevar a cabo la restauración vegetativa con especies adecuadas (Sánchez, 2016).

La finalidad general perseguida por este trabajo, consiste en evaluar el estado actual de la restauración realizada, desde el punto de vista del medio físico en una zona afectada por actividades mineras, en Agost (Alicante).

Los objetivos específicos perseguidos para conseguir esta finalidad son los siguientes:

- Recopilación de referencias bibliográficas y estudios relacionados.
- Realización de muestreos de suelo y determinación de parámetros básicos para conocer su estado tras las tareas de restauración.
- Estudio de la topografía y el microrrelieve del medio físico.
- Valorar la presencia en superficie de procesos erosivos y su localización.
- Estudiar la hidrología superficial de la zona donde se está llevando a cabo la restauración.
- Obtención de las conclusiones de este estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio consiste en una extensión de terreno que estuvo ocupada por campos de cultivos leñosos de secano durante el siglo pasado. Posteriormente, hacia finales del siglo XX se ha visto afectada por la actividad minera de la zona. Tras varios años de abandono de su explotación, se planeó y se llevó a cabo su restauración, para así garantizar una correcta inserción geomorfológica y paisajística con su entorno más cercano, mediante la ejecución de medidas de mitigación, rehabilitación y reconstrucción necesarias (Khabali y Targuisti, 2013).

Esta restauración, en lo que atañe al medio físico, acabó en el año 2016, colocando una cubierta de tierra vegetal sobre el depósito de residuos inerte, principalmente calizos, procedentes del corte de mármol y posteriormente, se realizaron tareas de repoblación empleando *Pinus halepensis*, con el fin de generar una incipiente cubierta vegetal arbolada.

Conviene indicar que, el sustrato denominado “tierra vegetal”, término habitualmente empleado para describir el suelo que se deposita o acondiciona en el ámbito de la restauración de canteras, es de diverso origen, no bien determinado. Sin embargo, se aprecian restos de artefactos (materiales cerámicos, de construcción, etc.) que, en definitiva, le dan un aspecto de material de relleno con una tipología indeterminada. Esta circunstancia, la posible heterogeneidad del material depositado, es lo que se estudia mediante el muestreo y análisis de los suelos, ya que pueden presentar características diferentes que determinan el tipo de medio edáfico para el desarrollo vegetal.

El entorno que bordea a la zona restaurada, está formado en su mayor parte por campos de cultivo y huecos mineros que permanecen sin rellenar, generando un paisaje que no pasa desapercibido dado el impacto visual de dichos huecos. Estas son las áreas previstas para restaurar mediante el empleo de residuos inertes procedentes de la actividad extractiva y de corte de piedra natural realizado por empresas de la industria minera. De acuerdo con Khabali y Targuisti (2013), la presencia de estos huecos mineros, ocasionan un importante impacto negativo sobre el valor de mercado de las tierras agrícolas cercanas y con ello también sobre la calidad de los productos agrícolas, a causa de la posible liberación de polvo durante las actividades que se realizan, sean durante la explotación o en el proceso de restauración.

Por otra parte, uno de los aspectos técnicos más relevantes de la restauración es la disposición de un canal de drenaje (Figuras 3 y 4) de aproximadamente 50 cm de profundidad, relleno de gravas gruesas y situado en una zona central del área restaurada cuya finalidad es la de redirigir las escorrentías de la lluvia y evitar encharcamientos, así como que se formen grandes cárcavas asociadas a la erosión del suelo en la parte más deprimida. Esto también influye en la distribución de la vegetación en la zona, tal y como se apreció en las visitas realizadas, aunque no es objeto de este TFG, ya que favorece la presencia de mayor densidad de plantas cerca de dicho canal por la acumulación y disponibilidad de agua en el mismo frente a otras zonas de la parcela restaurada.



Figura 3: Foto aérea de la zona de estudio, destaca el canal de drenaje ubicado aproximadamente en la zona central. Fuente: Levantina Premios EBAE.



Figura 4: Canal de drenaje, con relleno de gravas gruesas. Este influye sobre la distribución de la vegetación. Fuente: Elaboración propia.

Se puede apreciar en las Figuras 5, 6, 7 y 8, la evolución del área a los largos de los años según las actividades desarrolladas en ellas, desde su uso como terreno agrícola hasta su restauración.



Figura 5: Ortofoto zona estudio SIGPAC (1997-2003). Fuente: Orto-SIGPAC 1997-2003 CC-BY 4.0 scne.es



Figura 6: Ortofoto zona estudio (2009). Fuente: OrtoPNOA 2009 CC-BY 4.0 scne.es.



Figura 7: Ortofoto zona estudio (2014). Fuente: OrtoPNOA 2014 CC-BY 4.0 scne.es



Figura 8: Foto actual zona estudio. Fuente: Levantina Premios EBAE.

Debido al programa de restauración aplicado, esfuerzo conjunto de la empresa Levantina y de Sindiform Levante S.L., Levantina ha sido reconocida en la última edición de los Premios Europeos de Medio Ambiente a la Empresa (Premios EBAE) gracias a la Responsabilidad Social de la compañía con el pacto por la economía circular. Esta empresa apuesta por un modelo de valorización de los residuos, a través de la restauración de espacios degradados a consecuencia de la explotación minera en el que se favorece la recuperación morfológica del medio físico, pretendiendo el aumento de la biodiversidad y el capital natural. Este ha sido el motivo por el que la empresa ha recibido el accésit en la categoría de “Empresa y Biodiversidad” (Levantina, 2020).

3.1.1. Localización

El área de estudio se encuentra ubicada en el municipio de Agost, en la provincia de Alicante, en una zona en la que predomina la presencia de huecos mineros fruto de actividades extractivas, que actualmente están en desuso sin ser restaurados.

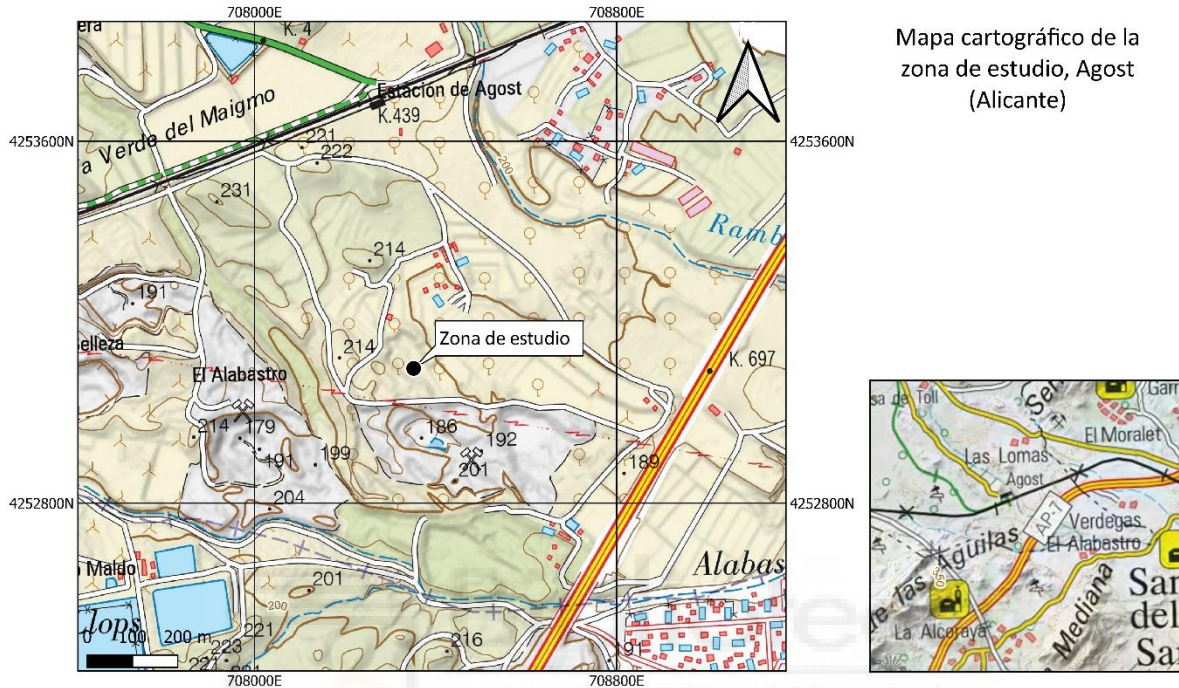


Figura 9: Mapa cartográfico de la zona de estudio en Agost (Alicante). Fuente: Elaboración propia.

3.1.2. Litología

Mediante el estudio de la litología, se comprenden el tipo de materiales existentes en la zona, siendo importante para entender cómo funciona el medio frente a procesos como los movimientos tectónicos, el clima o la erosión y transporte de estos sedimentos. Con el uso de mapas litológicos, se puede determinar cómo se distribuyen los diferentes tipos de rocas en el medio y su clasificación.

Según se aprecia en la Figura 10, sobre la litología del área de estudio, destaca principalmente la presencia de glacia cubierto y encostrado, así como la existencia de margas, areniscas micáceas bermellón y blancas, niveles arcillosos y lentejones de yesos, pertenecientes al Triásico. Estas rocas sedimentarias se generaron por una acumulación de sedimentos, mediante el transporte de partículas ya sea por el agua o viento y que posteriormente fueron sometidas a procesos físicos y químicos generando así la roca consolidada.



Mapa Litológico de la zona de estudio, Agost (Alicante)

Figura 10: Mapa litológico de la zona de estudio en Agost (Alicante). Fuente: Elaboración propia.

3.1.3. Geomorfología

En las proximidades del área, hay algunas elevaciones puntuales como, la Sierra de las Águilas al suroeste con una altitud máxima de 555 metros sobre el nivel del mar, la Sierra de Mediana al sureste con 407 metros de altitud y el municipio de Agost al noroeste con 376 metros de altitud media. Las zonas llanas y deprimidas del terreno se encuentran ocupadas por los depósitos triásicos, debido al afloramiento en forma de anticlinal, en dirección ENE-OSO.

El área de estudio, presenta una orografía relativamente llana con la presencia de cárcavas que se han encargado de modelar el terreno y pequeñas subsidencias (Figuras 11 y 12). En el perímetro de esta zona resaltan los diques de rocas calizas que actúan como muros de contención.



Figura 11: Reguerón y cárcava generados por la erosión hídrica en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.



Figura 12: Pequeñas subsidencias y pipelines generadas por la erosión hídrica en la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

La orientación no es un factor a tener en cuenta en esta zona, ya que a pesar de las elevaciones que rodean el lugar, no están lo suficientemente próximos para generar algún tipo de efecto como el caso de reducir la incidencia solar. Por lo tanto, las características son las propias de una zona de solana.

3.1.4. Edafología

Respecto a la edafología actual tras las tareas de restauración finalizadas en 2016, según la Soil Taxonomy (Soil Survey Staff, 2014), el suelo se podría clasificar dentro del Orden Entisol, ya que es un suelo muy joven y está formado por materiales que se han depositado recientemente, de origen antrópico. Dada el poco tiempo de su evolución y la diversidad de materiales que lo constituyen, resulta complejo establecer una clasificación más exacta. Precisamente, la presencia de restos artificiales, artefactos como residuos de construcción y otros, podría indicar su posible clasificación como Technosol, considerando la Base Mundial de Referencia del Recurso Suelo WRB (IUSS Working Group WRB, 2015). No presenta un desarrollo de perfil bien definido y podríamos considerar que es de tipo AC, siendo C el residuo inerte sobre el que se ha dispuesto el sustrato edáfico.

El depósito de casquillos y lodo del corte de piedra natural es el que sustenta, como ya se ha indicado, la “tierra vegetal” que se pretende usar como suelo fértil para desarrollar la cubierta vegetal. Conforme señala Simón et al. (2014), esta técnica basada en cubrir la zona de vertido de residuos inertes con “tierra vegetal” es una de las técnicas más usadas para posteriormente realizar una siembra o plantación de especies vegetales y generar una cubierta vegetal.

3.1.5. Hidrología

El estudio de las propiedades hidráulicas del suelo, es importante ya que permite entender cuál es la dinámica de los procesos de movimiento de agua y de solutos en el medio de estudio (Gabriels et al., 2006). En nuestro caso, se realizará un análisis de la hidrología superficial, sobre la superficie del suelo, asociada a la morfología del medio. Sin embargo, de forma general se puede indicar lo siguiente.

3.1.5.1. *Hidrología superficial*

Según el Sistema Nacional de Cartografía de Zonas Inundables, el área de estudio en cuestión, se encuentra enmarcada dentro de la Confederación Hidrográfica del Júcar (CHJ), situada en el extremo central este de la Península Ibérica, según el Real Decreto 125/2007 y modificado por el Real Decreto 775/2015, de 28 de agosto (Confederación Hidrográfica del Júcar, O.A.).

Siendo más concretos, dentro de dicha Confederación, pertenece a la Cuenca del Vinalopó y Subcuenca del Barranco de las Ovejas. Se encuentra en las proximidades de las Ramblas del Roiget y de l'Alabastre, formando parte de la cuenca de captación de esta última (Figura 13). A pesar de su cercanía con las ramblas mencionadas, la restauración realizada no afecta a ningún curso de agua superficial permanente o temporal.

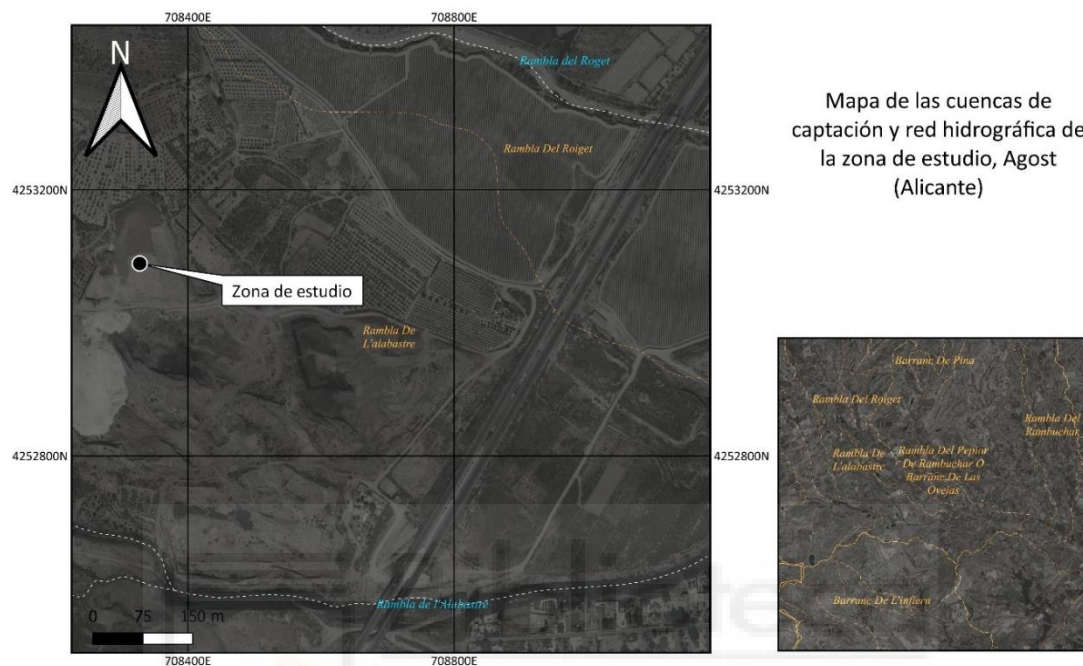


Figura 13: Mapa hidrológico de la zona de estudio en Agost (Alicante). Fuente: Elaboración propia.

3.1.5.2. Hidrología subterránea

Según queda determinado en el Mapa 1 (IGME, 1989) de la Situación Actual y Denominación de los Acuíferos de la Comunidad Valenciana del Instituto Geológico y Minero de España -Anexo 1-, la zona de estudio engloba parte del acuífero 50.3. Sin embargo, el nivel piezométrico se encuentra a bastante profundidad, dado que los materiales que están por encima son impermeables, de modo que es muy complicado que este afloramiento de agua genere problemas por la entrada de contaminantes a través de la superficie de contacto.

3.1.6. Climatología

Respecto al clima, este se ve influenciado por diferentes factores como son el caso de la altitud, latitud, precipitación, vientos predominantes, corrientes marinas, relieve, continentalidad, vegetación y suelo. El municipio de Agost se sitúa a 376 msnm y referente a la climatología que presenta la zona de estudio, es similar a la predominante en la mayor parte de la provincia de Alicante, el clima mediterráneo.

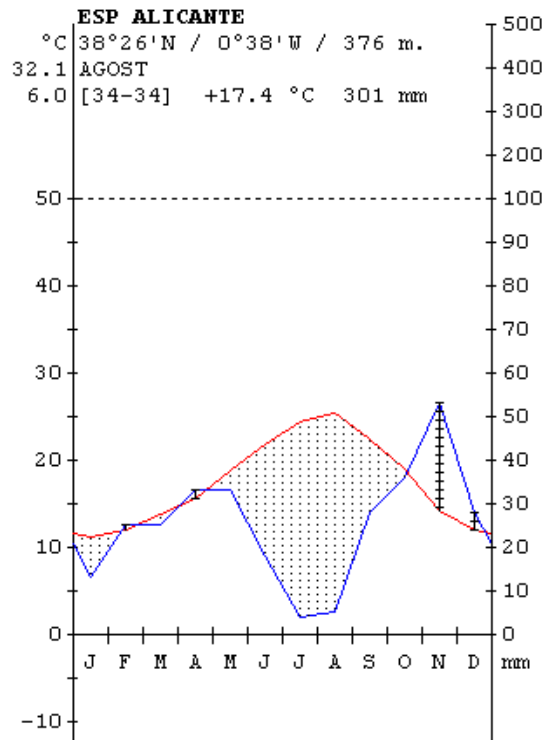


Figura 14: Climograma de la estación climatológica de Agost (Alicante). Fuente: 1996-2009 S. Rivas-Martínez, Centro de Investigaciones Fitosociológicas, Madrid.

El clima de Agost, es conocido como un clima de estepa local con escasas lluvias a lo largo del año. Según la clasificación de Köppen y Geiger (McKnight et al., 2000), el clima de esta zona es el BSk.

La temperatura media anual es de 17,4 °C y la precipitación media es de 301 mm. Este clima se caracteriza por periodos de sequía entre los meses de mayo y octubre, destacando el más marcado entre junio y septiembre, en los cuales se dan las temperaturas más elevadas, alcanzándose temperaturas medias por encima de los 25 °C y precipitaciones muy escasas, siendo julio el mes más seco y agosto el mes más cálido.

El periodo de precipitaciones se concentra en la estación de otoño, principalmente en el mes de octubre, siendo estas, lluvias torrenciales. Los meses más fríos son los presentes entre diciembre y febrero con temperaturas que rondan entre 8-10 °C. Los periodos de aridez se concentran durante el mes de enero, marzo y son muy marcados desde finales de abril hasta mediados de octubre.

A partir de estos datos, se puede determinar que el área de estudio pertenece a la región mediterránea y en la provincia murciano-almeriense y cuyo piso bioclimático es el termomediterráneo semiárido.

3.1.7. Biodiversidad

La gran diversidad biológica de la Comunidad Valenciana está influenciada por la variedad de características físicas presentes en el territorio y la variedad de factores que intervienen en ella. La cuadrícula de riqueza de especies que engloba el área de estudio dispone de un total de 90 especies citadas entre fauna y flora. Esta biodiversidad se encuentra regulada por la Directiva 79/409/CEE (Directiva de Aves) y la Directiva 93/42/CEE (Directiva de Hábitats), y tienen como objetivo garantizar la conservación de la biodiversidad y la conservación de los ecosistemas de la Unión Europea (Sánchez, 2016).

El área de estudio no se encuentra afectada por figuras de protección de tipo LIC, ZEPA, Paraje Natural Municipal o Paisaje Protegido, de los presentes en la Comunidad Valenciana (Espacios Protegidos 2017 CC BY 4.0 Generalitat). Pero sí muy próxima a espacios de la Red Natura 2000. No obstante, mediante el desarrollo de las actividades extractivas, el ecosistema se ha visto sometido a cambios y con ello a poner en riesgo su propio equilibrio (Luna, 2015). Esta es la principal razón por la que se aborda la restauración del medio.

3.1.7.1. Flora y vegetación

Debido a las condiciones fitoclimáticas de la zona, a partir del visor del “Instituto Cartográfico Valenciano”, mediante la capa PATFOR, se puede determinar que la vegetación potencial de la zona se basa en la comunidad compuesta por pinos mediterráneos como el caso del *Pinus halepensis* y *Pinus pinea* junto a *Quercus ilex* o *Quercus faginea* (ICV, 2021).

El área se encuentra ubicada a escala 1:50000, de forma aproximada, en el límite del hábitat prioritario 1520, Vegetación Gipsícola (*Gypsophiletalia*) (*) (Escudero, 2009).

Por otra parte, según la región biogeográfica, ombrotipo y termotipo, la vegetación óptima son las comunidades llamadas maquias, junto palmitos y espinares termófilos. Las encinas nombradas anteriormente, pueden estar presentes, pero únicamente en las vertientes montañosas. También están presentes varias especies labiadas como el caso del tomillo o el romero por la gran capacidad de adaptación a terrenos con baja salinidad y pequeñas formaciones arboladas de secano como el olivo.

Según las condiciones actuales del suelo y la inspección ocular de la zona, la vegetación edafófila presente es diferente a la potencial, debido a que las características del lugar han sido alteradas llegando a modificar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.

3.1.7.2. Fauna

El área se encuentra relativamente cerca de dos Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPA), siendo las del *Maigmó i Serres de la Foia de Castalla* y la de *Riu Montnegre*. También tiene muy próximas, Zonas de Protección para Avifauna por Tendidos Eléctricos.

Según el Visor Cartográfico de la Comunidad Valenciana, cabe destacar que es una zona en la que está permitida la actividad cinegética y por consiguiente se remarca la presencia de diferentes especies como el conejo. Agost es uno de los municipios afectados por daños ocasionados por esta especie. También podemos contar con la presencia esporádica del arruí en los medios montañosos próximos, considerándose importante un control continuo de la población por parte de la Generalitat Valenciana, (ICV, 2021).

La zona se encuentra próxima de otros Espacios Naturales Protegidos de gran importancia ambiental, como son la Sierra de las Águilas al suroeste que cuenta con la figura de Paraje Natural Municipal.

3.1.8. Paisaje

Resalta por ser un terreno en el que predominan las zonas llanas como es la zona restaurada, en la que las únicas elevaciones son los diques formados por calizas, normalmente conglomerados procedentes de los depósitos de materiales (Figura 15).



Figura 15: Parcela restaurada, se aprecian los conglomerados que actúan como muros de retención. Fuente: Levantina Premios EBAE.

En sus proximidades, aparte de los terrenos llanos y huecos mineros, se encuentran circundando a mayor distancia las sierras mencionadas anteriormente que dan nombre a espacios protegidos, junto a un paisaje antrópico debido al desarrollo agrícola, el crecimiento urbano e infraestructuras viarias. La agricultura presente afecta al paisaje, con cultivos arbóreos de almendros y olivos y las plantaciones de vid y se aprecian diferentes taludes provocados por la creación de terrazas

de cultivo. Además, resaltan las ramblas y barrancos cercanos como son las Ramblas del Roiget y de l'Alabastre.

3.1.9. Medio socioeconómico y cultural

La zona en la que está el área de estudio es parte importante del sector cerámico tradicional, dada la presencia de arcillas y margas, materias primas de esta industria. En la zona sur del municipio, aparecen las arcillas triásicas del Keuper, de colores muy vivos. En esta zona, comprendida entre La Alcoraya y el Verdegás, atravesada de este a oeste por las vías del ferrocarril Madrid-Alicante, es abundante en viejas explotaciones de yesos y arcillas (Pérez, 2015).

La presencia de diferentes yacimientos de arcilla en las proximidades del municipio, ha sido clave para el desarrollo de la alfarería desde la Edad Media en la zona. Así pues, a partir del siglo XIX hubo un gran desarrollo de la industria cerámica que, junto a la agricultura, fue la principal fuente de riqueza hasta los años 60 del siglo XX (Agost, s. f.).

La cerámica de la zona se caracteriza principalmente por ser de color blanco y muy porosa, haciendo que las vasijas tengan muy buena transpiración y puedan mantener el agua fresca. La industria cerámica de la zona sobresale del resto por productos como botijos, cántaros, tejas, etc.

3.2. Métodos de análisis de suelos

Para este apartado del TFG, se tomaron muestras de suelo asociado a la restauración, llevados a cabo en el área afectada por actividades extractivas en Agost (Alicante). Se recogieron muestras de suelo inalteradas repartidas en ocho puntos a lo largo del área restaurada (Figura 17 y 18), tres repeticiones por punto dentro de un radio aproximado de 1,5 metros, con una profundidad de 0 a 5 cm, de forma que fueran lo suficientemente representativas de toda la zona.

Los puntos, zona central, donde se extrajeron las muestras, fueron geolocalizados usando un GPS Garmin ETRX 32x, (Figura 16).



Figura 16: GPS Garmin ETRX 32x, usado para geolocalizar los puntos de muestreo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 17: Zona de muestreo alrededor del punto, indicando posición a modo de ejemplo de los tres cilindros (sub-muestra) de suelo inalterado tomado.

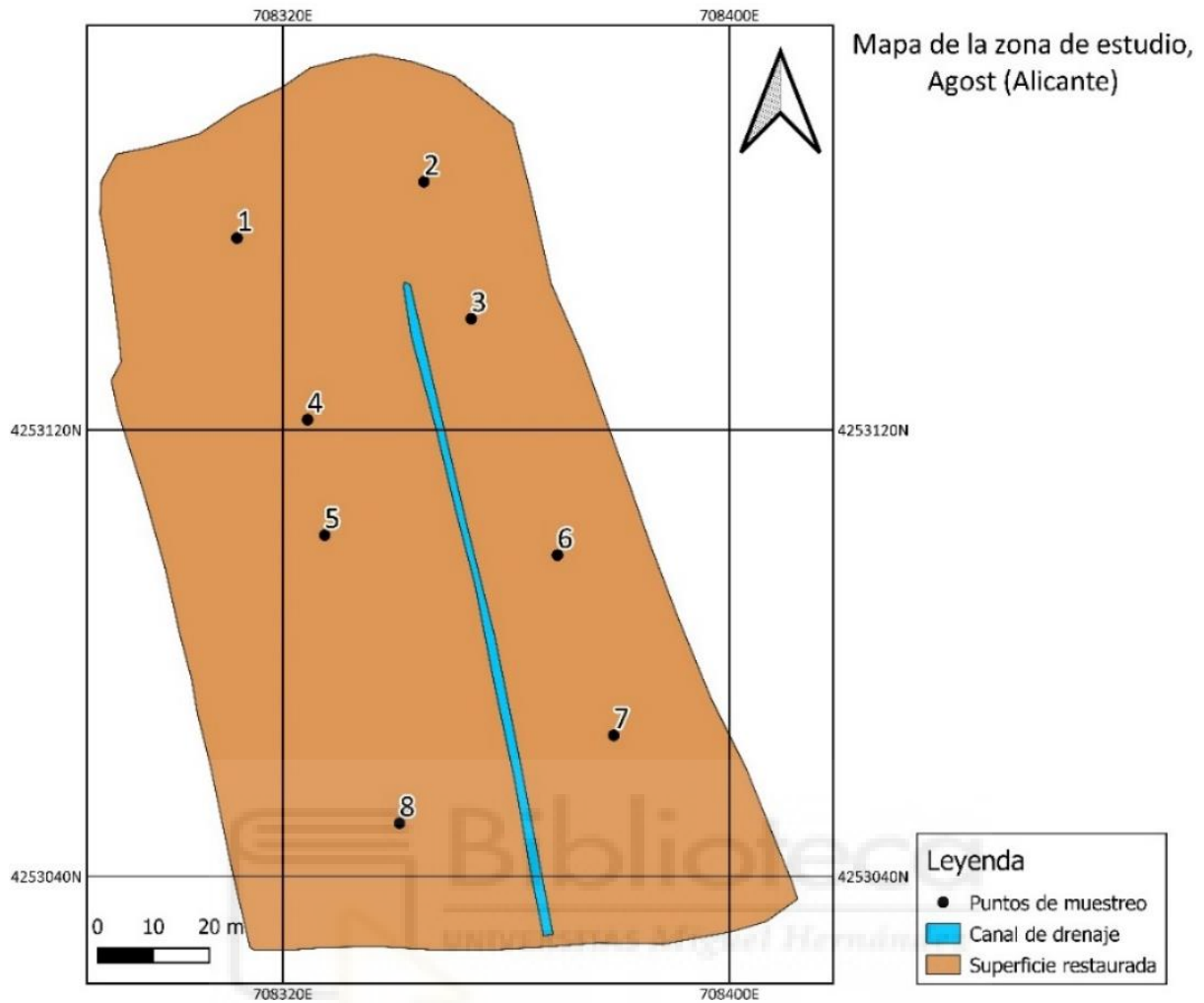


Figura 18: Puntos de muestreo de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Posteriormente, se caracterizó mediante diferentes ensayos de laboratorio los siguientes parámetros:

- Determinación del pH: este parámetro mide el grado de acidez o basicidad de un suelo, es decir, la concentración de hidrogeniones presentes en el suelo. La medida del pH, se realiza mediante el uso de un pH-metro CRISON GLP 21, calibrado inicialmente con patrones estandarizados en una suspensión de suelo con agua desionizada con una relación de 1:2,5 (p/V) (Carter y Gregorich, 2006).

Según el valor o rango de pH, pueden clasificarse su acidez según se muestra representado en la Tabla 1.

Tabla 1: Escala de clasificación de los suelos según su pH (medido en suspensión, relación suelo:agua 1:2,5) (Cremona & Enriquez, 2020).

pH	CLASIFICACIÓN
<4,5	Extremadamente ácido
4,6 – 5,0	Muy fuertemente ácido
5,1 – 5,5	Fuertemente ácido
5,6 – 6,0	Moderadamente ácido
6,1 – 6,9	Muy levemente ácido
7	Neutro
7,1 – 7,3	Muy levemente básico
7,4 – 7,8	Levemente básico
7,9 – 8,4	Moderadamente básico
8,5 – 9,0	Fuertemente básico
>9,0	Muy fuertemente básico

- Determinación de la conductividad eléctrica (salinidad): propiedad que hace referencia a la capacidad que tiene la solución del suelo de permitir el paso de la corriente eléctrica. La temperatura de referencia es de 25 °C. La medida de la conductividad eléctrica, se realiza mediante el empleo de una suspensión suelo:agua en relación p/v 1:5, agitando durante 30 minutos y posteriormente se deja reposar durante 24 horas. Posteriormente se mide en el líquido sobrenadante con el empleo de un conductímetro CRISON GLP 31 que se ha calibrado inicialmente con parámetros estandarizados de disoluciones de KCl, cuyas conductividades son conocidas (Carter y Gregorich, 2006).

Tabla 2: Clasificación los suelos según su conductividad eléctrica (C.E) Extracto de saturación del suelo (dS/m a 25 °C. Adaptado de Pérez (2014).

CEe (dS/m a 25°C)	CLASIFICACIÓN	OBSERVACIONES
0 – 2	Normal	Sin limitaciones para el crecimiento de cultivos.
2 – 4	Ligeramente salino	Con limitaciones para el crecimiento de cultivos sensibles.
4 – 8	Moderadamente salino	Con limitaciones para el crecimiento de muchos cultivos y pérdida de rendimiento.
8 – 16	Fuertemente salino	Apto para el crecimiento de cultivos tolerantes a las condiciones de salinidad.
>16	Extremadamente salino	Solo aptos para muy pocos cultivos adaptados.

- Determinación de la materia orgánica: indicador que refleja el estado físico, químico y biológico de un suelo y tiene relación directa con la disponibilidad de nutrientes del suelo, estructura, agregados, porosidad, capacidad de retención de agua y la presencia de macro, meso y micro fauna del suelo. Por ello, una mejora de esta característica produce un entorno más favorable y con ello un aumento del crecimiento de las plantas (FAO-ITPS, 2020).

La determinación del carbono orgánico del suelo se basa en el método de oxidación húmeda con ácido crómico. El carbono orgánico oxidable del suelo se oxida con dicromato de potásico 0,167 M ($K_2Cr_2O_7$) en medio sulfúrico como oxidante, valorando el exceso de oxidante con sulfato ferroso amónico (Sal de Mohr) y la cantidad de carbono orgánico oxidado calculada a partir de la cantidad de dicromato reducido (GLOSOLAN-SOP-02, 2019).

Tabla 3: Clasificación los suelos según el porcentaje de materia orgánica. (Science, 2020).

MATERIA ORGÁNICA (%)	CLASE DE SUELO
0,00 – 0,60	Extremadamente pobre
0,61 – 1,20	Pobre
1,21 – 1,80	Medianamente pobre
1,81 – 2,40	Mediano
2,41 – 3,00	Medianamente rico
3,01 – 4,20	Rico
>4,20	Extremadamente rico

- Determinación de la densidad aparente: propiedad básica para entender las propiedades físicas, químicas y biológicas, siendo un buen indicador de la compactación del suelo, la capacidad de infiltración, aireación y porosidad. En este caso, la toma de muestras inalterada usando cilindros de 0-5 cm (Figura 19 y 20), permite valorar la densidad de los suelos mediante la relación peso seco del suelo y volumen ocupado en el cilindro (Al-Shammery et al., 2018).



Figura 19: Cilindro metálico usado para la extracción de muestras de suelo. Fuente: Elaboración propia.



Figura 20: Extracción de muestras de suelo mediante el método del cilindro metálico. Fuente: Navarro, 2021.

La densidad aparente es uno de los parámetros relacionados con propiedades de tan relevantes como la porosidad, de la que depende la infiltración de agua, la aireación y la facilidad del desarrollo de las raíces.

3.3. Análisis del relieve

Para llevar a cabo el análisis del relieve de la zona de estudio, en primer lugar, se tomaron datos del terreno mediante el empleo del GPS diferencial HiPer SR de la compañía Topcon (Figura 21). Para su utilización se combinó el HiPer Sr Site Receiver junto a la Red de Posicionamiento del Instituto de Geográfico Nacional con una precisión centimétrica, con el fin de tener una buena aproximación de la realidad. Las especificaciones con las que se tomaron las medidas, fueron el sistema de coordenadas UTM del Huso 30, datum ETRS 89 y altitud con referencia al nivel medio del mar (altitud geodésica).



Figura 21: GPS diferencial HiPer SR de la compañía Topcon usado en la zona de estudio. Fuente: Levantina, 2021.

Estos datos de campo se tomaron durante las visitas a la zona de estudio, determinando el perímetro, una nube de puntos interiores para el modelado del relieve, la ubicación de los regueros y cárcavas más importantes detectados mediante inspección visual de la superficie y del canal de drenaje. Con los datos tomados se elaboró una base de datos, y se procedió a realizar un modelo digital de elevaciones (MDE) para reflejar las formas del terreno de la zona y la interpolación TIN (Triangulated Irregular Network) para crear una superficie continua a partir de puntos discretos. Partiendo de aquí, se pueden usar diversas aplicaciones, como la generación de modelos hidrológicos y zonas con riesgos de inundación, estudios de vegetación, relieve del terreno, cuencas visuales, vegetación y movimiento de tierras, entre otros (Lizarraga, 2014).

Tras la elaboración de la interpolación TIN y el MDE, se procedió a la generación de perfiles topográficos con el fin de conocer en detalle la topografía/microrrelieve de la zona y que sirva así para hacernos una idea de la dirección de la escorrentía superficial generada por las precipitaciones.

3.4. Software y estadística

Para realizar este trabajo, se empleó un sistema de información geográfica (SIG), en concreto el programa informático QGIS 3.16.4. que consiste en un software libre, gratuito y de código abierto, permitiendo así su uso sin restricciones. Mediante este software se han ido incorporando diferentes capas de información, permitiendo así la construcción del SIG, generando de una capa global del terreno de estudio para conocer las características de interés sobre el tema tratado.

Los datos recogidos mediante el GPS diferencial en formato txt, fueron descargados de este dispositivo al ordenador a través de Bluetooth y mediante el empleo del programa de Microsoft, Excel ©, los datos del perímetro y de la nube de puntos de la zona de estudio se ensamblaron en un único archivo y se convirtieron en archivos legibles para QGIS. Para ello, fueron exportados en formato csv, para poder ser tratados mediante el programa QGIS 3.16.4.

Mediante este programa se realizaron mapas de la zona para obtener la información de partida acerca de la descripción del área de estudio, como es el caso de mapas de localización, litológicos, hidrológicos, etc., generados a partir de la superposición de capas y la consulta de datos a través de servidores WMS (Web Map Service). Estos datos permitieron generar el Modelo Digital de Elevaciones (MDE) y la interpolación TIN mencionados anteriormente.

Para el tratamiento de los datos obtenidos en el muestreo de suelos, se recurrió al uso de la estadística descriptiva, consistiendo esta en una rama de la estadística que agrupa, analiza y caracteriza un conjunto de datos con el fin principal de hacer más comprensibles las características y comportamientos de estos datos mediante medidas de resumen, tablas o gráficos.

Los resultados obtenidos en el laboratorio a partir de los diferentes ensayos realizados con las muestras de suelo, fueron tratados mediante varias herramientas de la hoja de cálculo Excel. Dado que los ensayos se realizaron por triplicado para cada uno de los puntos, se calculó el valor medio para tener datos representativos. También se calculó la desviación estándar de las muestras, mediante la que se indica qué tan dispersos están los datos con respecto a la media. Además, se indican los valores máximos y mínimos de las propiedades analizadas.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Resultados análisis de suelos

Los resultados analíticos obtenidos para las muestras de suelo, puntos 1 a 8, se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Resultados de las propiedades del suelo analizadas en el laboratorio a partir de las muestras tomadas en campo.

PARÁMETRO	PUNTO	MEDIA	DESVIACIÓN TÍPICA	MÁXIMO	MÍNIMO
pH (uds pH a 20°C)	1	8,13	0,01	8,18	8,16
	2	8,36	0,03	8,38	8,33
	3	8,16	0,01	8,16	8,15
	4	8,89	0,03	8,91	8,86
	5	8,09	0,00	8,09	8,09
	6	8,46	0,04	8,50	8,43
	7	8,22	0,01	8,23	8,20
	8	8,61	0,01	8,62	8,60
Conductividad Eléctrica (dS/m a 25°C)	1	1,98	0,03	2,02	1,95
	2	1,13	0,09	1,23	1,08
	3	1,88	0,02	1,90	1,85
	4	0,49	0,01	0,50	0,48
	5	2,41	0,01	2,43	2,41
	6	0,80	0,05	0,84	0,75
	7	0,73	0,05	0,77	0,68
	8	0,43	0,01	0,44	0,42
Materia Orgánica (%)	1	1,59	0,15	1,71	1,42
	2	1,25	0,23	1,41	0,99
	3	1,37	0,18	1,53	1,17
	4	1,55	0,15	1,70	1,41
	5	1,13	0,60	1,59	0,45
	6	1,43	0,20	1,65	1,28
	7	1,39	0,04	1,41	1,34
	8	1,41	0,00	1,41	1,41
Densidad Aparente (g/cm ³)	1	1,45	0,10	1,56	1,39
	2	1,40	0,03	1,43	1,36
	3	1,44	0,07	1,42	1,38
	4	1,40	0,01	1,40	1,39
	5	1,47	0,06	1,51	1,40
	6	1,44	0,12	1,48	1,34
	7	1,44	0,08	1,51	1,35
	8	1,45	0,05	1,51	1,41

4.1.1. pH

Se obtuvieron los valores de pH de las muestras que se presentan en la Figura 22. Estos valores de pH de los puntos de muestreo se encuentran entre 8 y 9, siendo por lo tanto pH básico, con valores muy similares entre todas las muestras. Sin embargo, los valores de los puntos 4 y 8 son mayores en comparación con el resto, pudiendo deberse a una mayor presencia de carbonatos o yesos en esos

puntos. Estas variaciones pueden deberse a una heterogeneidad de los materiales utilizados en el proceso de restauración.

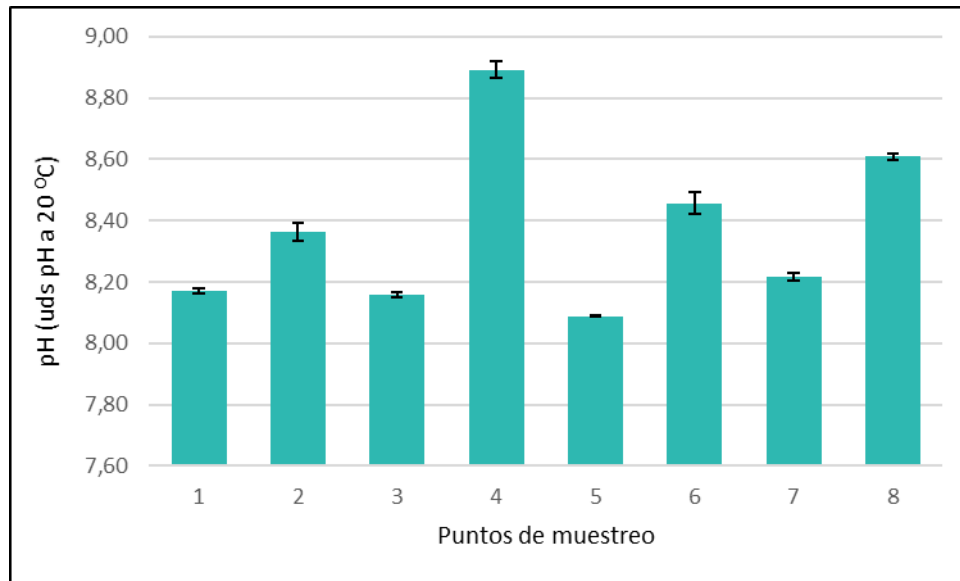


Figura 22: Valores medios (\pm desviación estándar) del pH en los diferentes puntos de muestreo.

Respecto a los valores de la desviación estándar de las tres muestras independientes tomadas en cada punto, estos son muy bajos, por lo que cabe destacar que los valores no se alejan demasiado de la media por punto de muestreo, siendo suficientemente representativos de dicho lugar.

4.1.2. Conductividad eléctrica

Con el empleo de un conductímetro CRISON GLP 31 se obtuvieron los datos de conductividad eléctrica representados en la Figura 23, mediante los que se determina la salinidad del suelo (sustrato de "tierra vegetal"). Los valores obtenidos en las muestras de la zona restaurada son bajos y están comprendidos entre 0 y 2 dS/m, siendo por lo tanto suelos no salinos. Con estos resultados, este suelo no parece presentar ningún tipo de limitación para el crecimiento de las especies plantadas.

Sin embargo, el valor del punto 5 es mayor en comparación con el resto, siendo por tanto suelo ligeramente salino ya que su valor es de 2,41 dS/m, pudiendo limitar así el crecimiento de plantas sensibles a la salinidad. Este valor diferente al resto, pero cercano a los valores de los puntos 1 y 3, puede deberse a una composición diferente en los materiales que se han empleado para la restauración, ya que no se conoce de forma detallada el origen de la tierra vegetal utilizada en el proceso de restauración. Es posible, mediante observación visual, que haya presencia de yesos solubles en estos puntos que aparecen en la Figura 24 (color blanquecino).

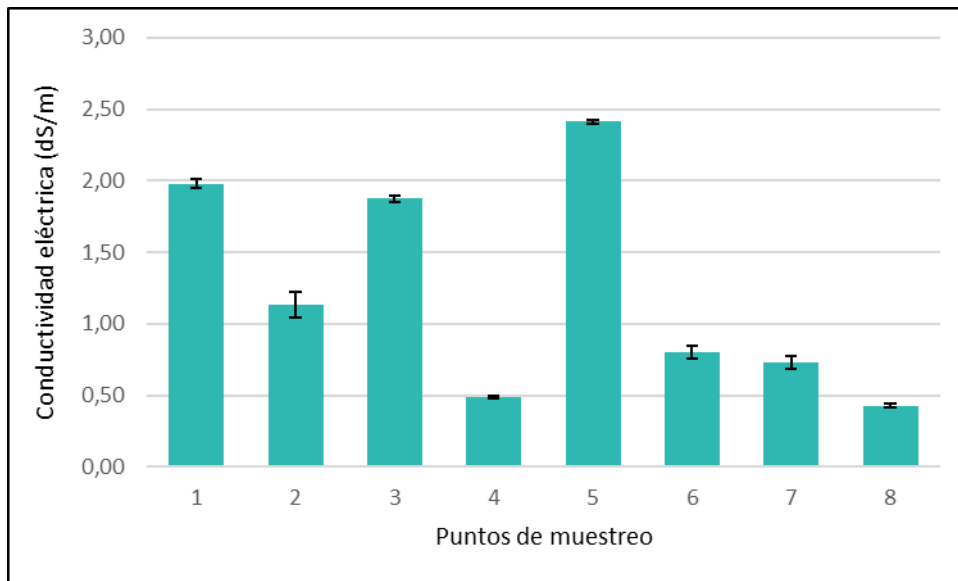


Figura 23: Valores medios (\pm desviación estándar) de la conductividad eléctrica en los diferentes puntos de muestreo.



Figura 24: Imagen del suelo superficial en el punto de muestreo N° 5. Fuente: Navarro, 2021.

Respecto a los valores de la desviación estándar, estos son muy bajos, por lo que cabe destacar que los valores obtenidos para cada punto no se alejan demasiado de la media.

4.1.3. Materia orgánica

La materia orgánica presente en el suelo es el producto de la transformación de los tejidos vegetales y animales generado por la acción de los microorganismos del medio edáfico, a lo largo grandes periodos de tiempo. La presencia de materia orgánica en el suelo es fundamental dado que favorece la protección del suelo frente a la erosión, aporta nutrientes e intercambio catiónico asegurando una buena nutrición para las plantas, mejora la retención de agua y permite el desarrollo de una buena estructura del suelo para una correcta distribución de las raíces y su crecimiento (Campo, 2018).

La determinación del carbono orgánico del suelo se realizó mediante el método de oxidación húmeda con ácido crómico (método de Walkley & Black) y los resultados se muestran en la Figura 25. Se observa que los valores de materia orgánica son bastante bajos ya que se encuentran entre 1,20 y 1,80 %, siendo valores de suelos medianamente pobres en materia orgánica. Destaca el valor del punto 5 ya que se encuentra por debajo del resto en cuanto a porcentaje de materia orgánica, presentando una desviación estándar mucho más elevada que el resto, estando los valores de materia orgánica bastante alejados de la media. La escasa presencia puede deberse a que se trata de un suelo muy joven ya que han pasado solo cinco años desde que se acabó con su restauración y las especies vegetales con las que se ha ido revegetando la zona tras finalizar las tareas de restauración edáfica, no han crecido todavía lo suficiente para aportar grandes cantidades de materia al medio.

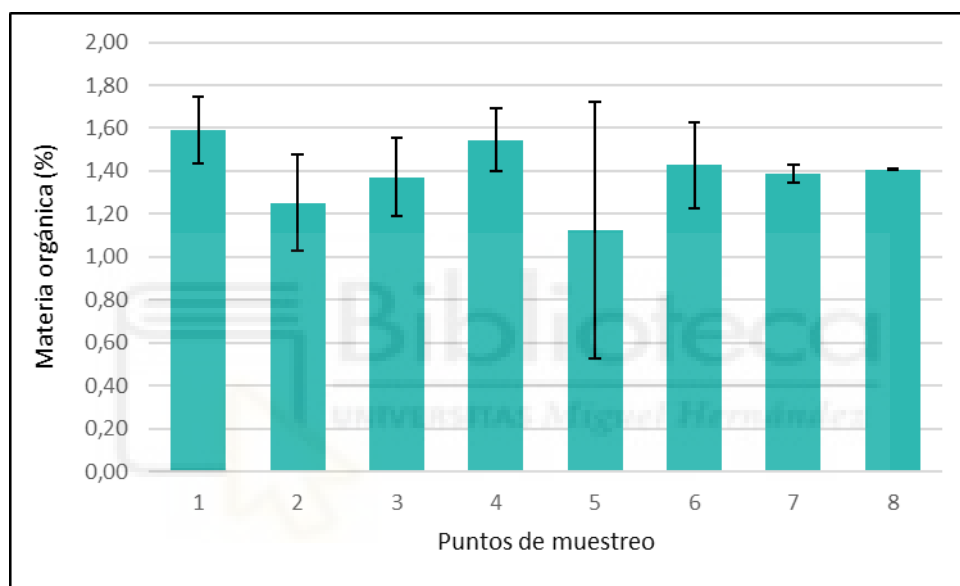


Figura 25: Valores medios (\pm desviación estándar) de la materia orgánica en los diferentes puntos de muestreo.

4.1.4. Densidad aparente

Siendo la densidad aparente la relación entre la masa de suelo seco y el volumen que éste ocupa, se observa en los resultados de la Figura 26, que los valores oscilan entre 1,40 y 1,47 g/cm^3 , siendo este un suelo bastante compacto, se espera baja porosidad e infiltración. Esta densidad se puede deber a las labores que se realizaron con maquinaria pesada. Por ello, este suelo no presenta las características más idóneas para que se puedan desarrollar fácilmente las raíces y favorecer el desarrollo rápido de la cubierta vegetal, a no ser que se realicen tareas correctoras como el caso de labranza, aireación del suelo o, fundamentalmente, el aporte de materia orgánica.

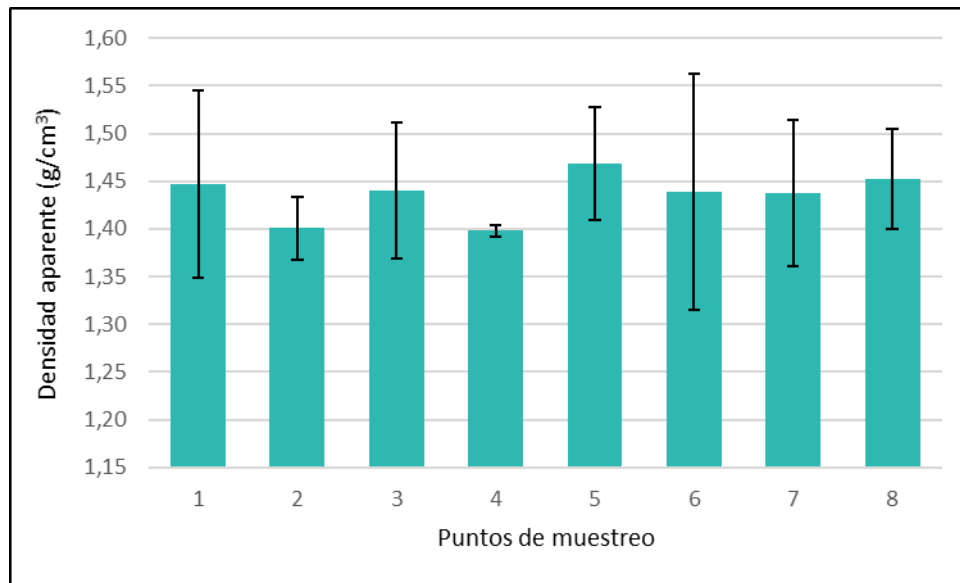


Figura 26: Valores medios (\pm desviación estándar) de la materia orgánica en los diferentes puntos de muestreo.

Los valores de desviación estándar son bastante elevados, por lo que se encuentran relativamente alejados de los valores medios, que debe estar asociado a la heterogeneidad de los suelos.

4.2. Resultados análisis relieve e hidrología

Se generó una representación visual de los valores de la altura de la zona con respecto al nivel medio del mar mediante la elaboración de la interpolación TIN y el MDE, permitiéndonos conocer el relieve generado tras la restauración. Según se aprecia en la Figura 27, hay una clara diferencia del relieve en la zona, dado que los tonos azulados más oscuros representan zonas con menor altitud y los tonos más claros representan zonas más elevadas. A partir del MDE se realizaron perfiles topográficos, siendo estos una representación del relieve del terreno, que nos permite conocer en detalle la topografía y el microrrelieve de la zona restaurada. Estos, permiten conocer e interpretar la variación no sólo del relieve, sino que aporta información sobre la escorrentía superficial generada por las precipitaciones.

Estas variaciones de altitud están comprendidas aproximadamente entre 204 y 209 msnm, siendo la diferencia de altitud clave para el conocimiento de la erosión hídrica que hay en la zona que se explica más adelante.

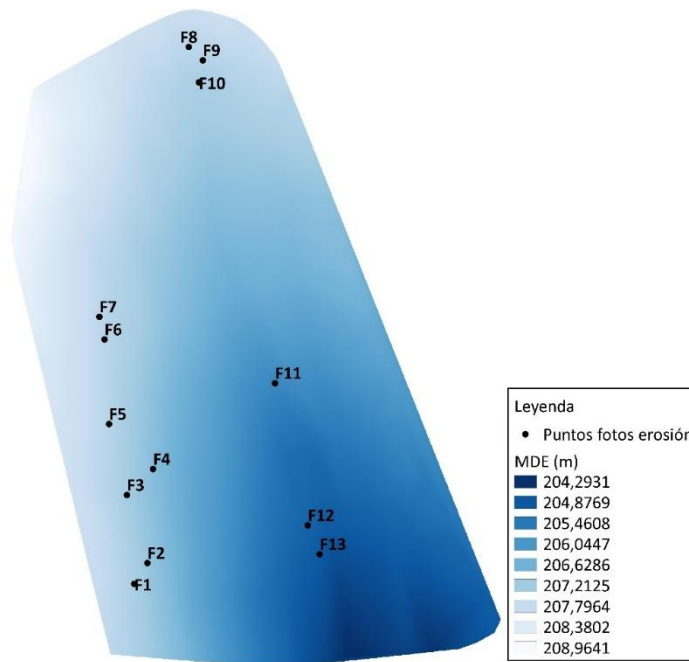


Figura 27: Modelo Digital de Elevaciones (MDE) de la zona restaurada e indicación de los puntos donde se han localizado reguerones y cárcavas significativos, visualmente (Fx, siendo x el número de fotograma tomado). Fuente: Elaboración propia.

Las zonas con mayor altitud (tonalidades claras), son puntos desde los cuales discurre el agua de la lluvia generando así la escorrentía superficial que va erosionando el suelo. Por otro lado, las zonas con menor altitud (tonalidades oscuras), son puntos en los que se acumula el agua proveniente de esta escorrentía desde puntos con mayor altitud, siendo zonas en las que se generan pequeñas subsidencias del terreno y acumulación de sedimentos de zonas de mayor altitud.

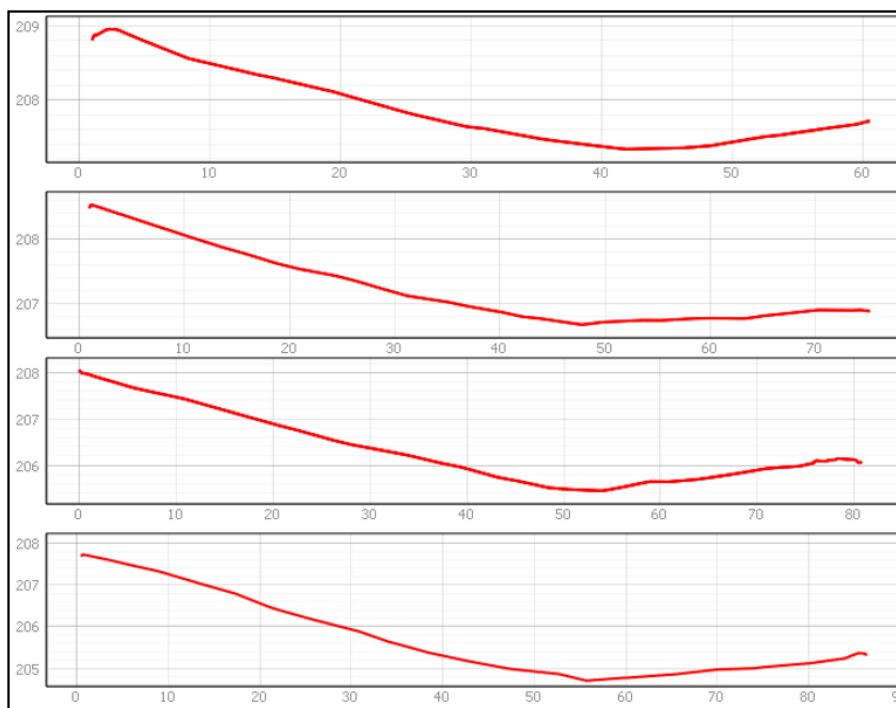


Figura 28: Perfiles topográficos de la zona de estudio. Fuente: Elaboración propia.

Como se observa en los perfiles topográficos representados en la Figura 28, tomados de norte a sur y a intervalos aproximados de diez metros, en primer lugar, hay una importante diferencia de altitud entre la parte oeste con una altitud media de 208 msnm aproximadamente y la parte este del terreno con una altitud media de 206 aproximadamente. La parte más baja es la que ocupa el canal de drenaje que permite evacuar el exceso de escorrentías superficiales. Con esta disposición, es esperable que se produzca una mayor formación de cárcavas y reguerones consecuencia de la erosión hídrica, en aquellas zonas que presentan una mayor diferencia de altitud y también una mayor distancia hasta la zona de evacuación de aguas (drenaje). Así, a partir del perfil y la asimetría que presenta, se espera que la zona oeste acumule más agua por tener una mayor superficie y erosione más por la diferencia de altitud. Lo que más destaca en estos perfiles, es la baja altitud de la zona central en la que se genera una ligera vaguada, siendo un perfil generado para que confluyan las escorrentías hacia el canal de drenaje.

Cabe destacar, que este canal de drenaje construido en la zona a partir de la acumulación de casquillos, funciona correctamente de acuerdo al fin para el que se realizó, ya que se ubica en zonas de menor altitud y por lo tanto se encarga de canalizar gran parte de la escorrentía reduciendo en buena medida la erosión hídrica del terreno. Es un ejemplo de medida para contrarrestar parte de la canalizar el exceso de agua del suelo y de reducir sus efectos negativos.

La erosión hídrica generada en la zona puede observarse en las Figuras 29 y 30, en las que se representan las imágenes correspondientes a los puntos señalados en la Figura 27 con el nombre Fx (x corresponde con el número del fotograma), siendo estos los puntos en los que se ha presenciado una mayor formación de cárcavas y reguerones. Estos se generan cuando el agua no discurre de forma uniforme por todo el terreno, sino que se concentra en corrientes de una potencia erosiva capaz de generar pequeñas incisiones en el terreno, que progresivamente aumentan de profundidad y con ello su erosión (Bienes, 2006).

También aparecen pequeñas subsidencias del suelo, algunas iniciadas como pequeños pipelines, siendo estas un proceso geológico que implica el asentamiento de la superficie terrestre, por causas que pueden ser naturales o antrópicas, originando alteraciones del medio que son procesos muy lentos, aunque pueden verse alterados por actuaciones antrópicas (Abellaneda, 2015).

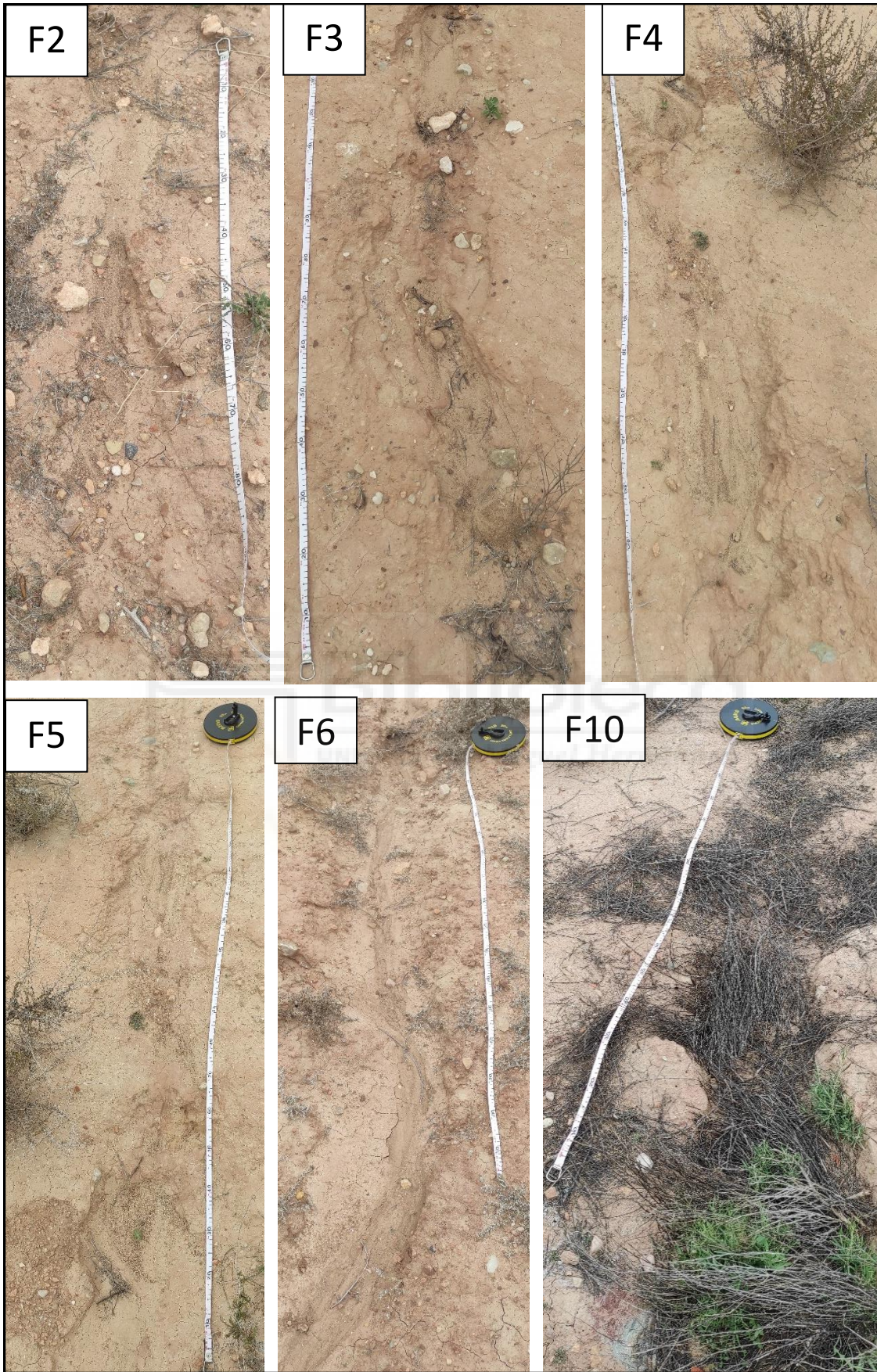


Figura 29: Reguerones y cárcavas generados por la erosión hídrica en la zona de estudio. Fuente: Fuente propia.

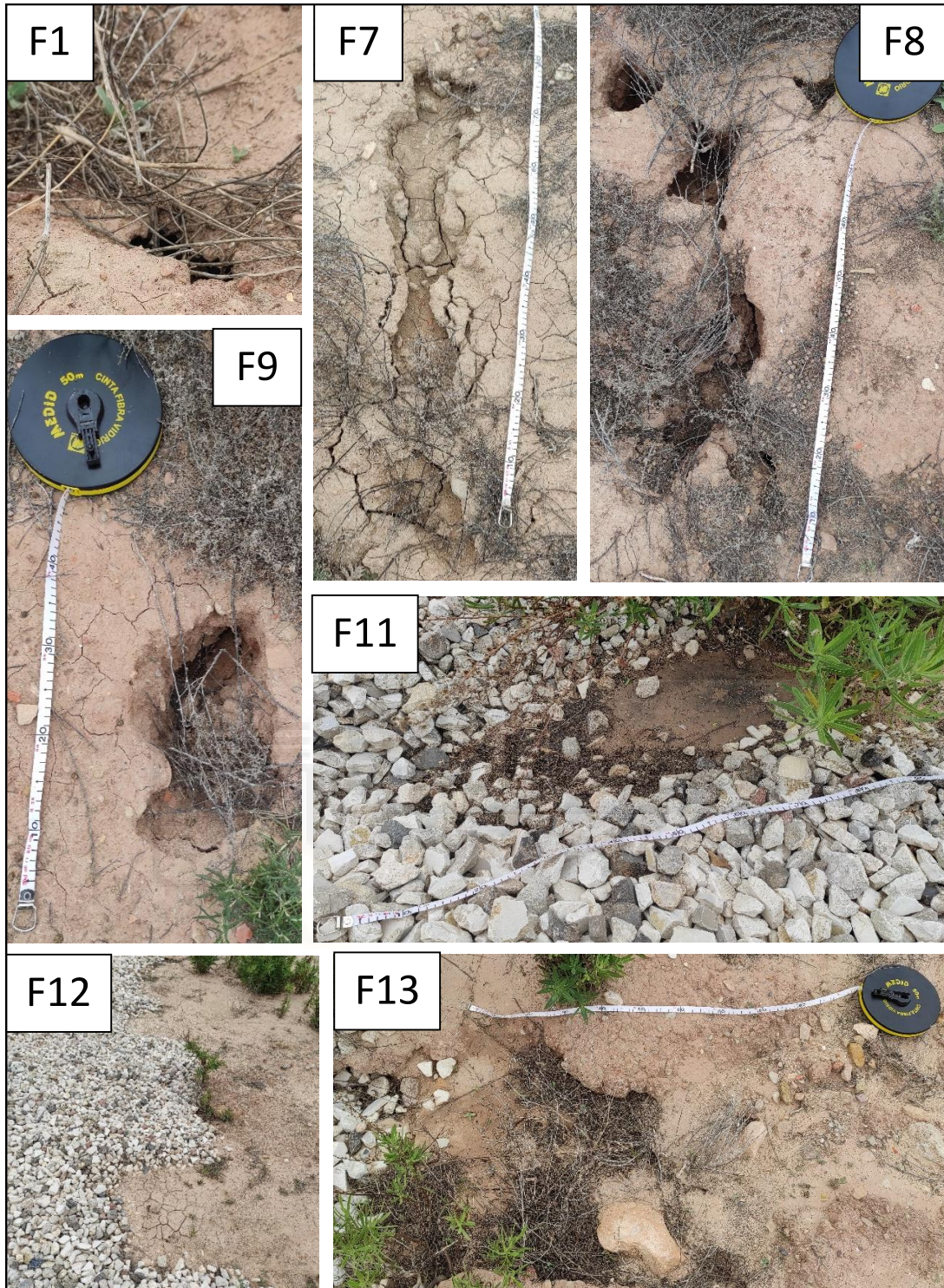


Figura 30: Zonas de acumulación de agua proveniente de la escorrentía superficial y posterior generación de pequeñas subsidencias del terreno. Fuente: Fuente propia.

Las consecuencias de la erosión se pueden llegar a manifestar tanto en la zona restaurada como fuera de esta, deslizamientos del terreno y pérdida del suelo, degradación de su estructura, disminución de la infiltración, arrastre de materia orgánica y de nutrientes, ocasionando un descenso de la fertilidad del suelo (Díaz, 2011). En este caso, de forma visual se pueden detectar las zonas donde podría haber mayores problemas erosivos y en su caso, actuar si fuera necesario.

5. CONCLUSIONES Y PROYECCIÓN FUTURA

A la vista de los resultados obtenidos mediante los diferentes parámetros estudiados de la zona restaurada en la zona minera de Agost (Alicante), se puede concluir lo siguiente.

Tras haber pasado cinco años desde la finalización de la restauración edáfica de la zona, el suelo que se ha formado no presenta rasgos homogéneos y no dispone de calidad para generar una zona con una cobertura vegetal importante, aunque se puede prever que la tendencia con el tiempo será la de su integración con el entorno. El suelo presenta pH básico que dificulta la asimilación de nutrientes por parte de las plantas, la salinidad heterogénea, asociada a diferentes orígenes del material empleado, la baja presencia de materia orgánica pudiendo deberse a que sea un suelo muy joven, poco evolucionado y una densidad aparente bastante alta que genera un suelo poco idóneo para el enraizamiento de la cubierta vegetal dada su compacidad, baja porosidad y baja infiltración del agua.

Respecto a la topografía del medio, cabe destacar que, a pesar de la erosión hídrica ocasionada por la formación de escorrentías, principalmente en zonas de mayor altitud y la parte oeste, esta erosión se ve contenida en gran parte por acciones correctoras, como es el caso del canal de drenaje que se realizó, ya que concentra y redirige la escorrentía de forma controlada en la parte más baja del relieve.

Ya que no se tienen datos de los suelos de la zona anteriores a su restauración ni sobre el origen concreto de la tierra vegetal empleada, que por lo puede tener diferentes orígenes, resulta de gran interés estudiar los parámetros analizados en este trabajo y realizar un seguimiento de los mismos, que nos permitirá determinar la evolución del suelo y su transformación.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Abellaneda, M. (2015). *Estudio y análisis de la subsidencia del terreno en la Cuenca del Alto Guadalentín. Investigaciones previas, evolución, causas y consecuencias*. [Trabajo fin de máster, Universidad de Alicante]. RUA. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10045/54865>
- Agost Clima (España). Climate-data.org. Recuperado 13 de febrero de 2021 de
- Agost. (s. f.). Asociación española de ciudades de la cerámica. Recuperado 25 de febrero de 2021, de <http://www.ciudades-ceramica.es/ciudades/agost/>
- AL-SHAMMARY, A. A. G., KOUZANI, A. Z., KAYNAK, A., KHOO, S. Y., NORTON, M., & GATES, W. (2018). Soil Bulk Density Estimation Methods: A Review. *Pedosphere*, 28(4), 581–596. [https://doi.org/10.1016/s1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/s1002-0160(18)60034-7)
- Antón, R., Jordán, M., & García, E. (2002). *Estudio sobre la recuperación natural de canteras de calcarenitas abandonadas (Alicante-España) = Study about the natural recuperation of abandoned calcarenite quarries (Alicante-Spain)*. Universidad Miguel Hernandez de Elche.
- Antoni, V. (2019). *Plan de restauración integral en la concesión minera dolores 1204 Bis, situada en el término municipal de Llosa del Obispo (Valencia)*. [Trabajo fin de grado, Universitat Politècnica de València]. RiuNet UPV. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10251/130764>
- Bienes, R. (2006). La erosión hídrica: Importancia y clases. Parámetros climáticos condicionantes de la erosión (intensidad, torrencialidad, aridez, déficit hídrico, tamaño de gota) [Libro electrónico]. En M. J. Marqués & R. Bienes (Eds.), *Conservación del medio ambiente: revegetación, recuperación del suelo y empleo de residuos en el control de la erosión* (2.ª ed., pp. 43–61). Universidad Autónoma de Madrid. https://portal.uah.es/portal/page/portal/epd2_profesores/prof121647/docencia/Libro%20Conservacion%20Medio%20Ambiente.pdf
- Carter, M. R., & Gregorich, E. G. (2006). *Soil Sampling and Methods of Analysis* (2.ª ed., Vol. 1). http://www.niordc.ir/uploads%5C86_106_Binder1.pdf
- Casanova, E., & Lobo, D. (2007). Relación entre la física y la fertilidad de los suelos. *Venesuelos*, 15, 42–56. https://www.researchgate.net/publication/259622942_Relacion_entre_la_fisica_y_la_fertilidad_de_los_suelos

Confederación Hidrográfica del Júcar, O.A.. Recuperado 16 de febrero de 2021, de

<https://www.chj.es/es-es/medioambiente/cuencahidrografica/Paginas/Presentaci%C3%B3ndelacuena.aspx>

Cremona, M. V. & Enriquez, A. S. (2020). Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica. *Presencia*, 73, 5–8.

https://repositorio.inta.gov.ar/xmlui/bitstream/handle/20.500.12123/7709/INTA_CRPatagoniaNorte_EEABariloche_Cremona_MV_Algunas_Propiedades_Del_Suelo_Que_Condicionan_Su_Comportamiento.pdf?sequence=2&isAllowed=y

Decreto 200/2004, de 1 de octubre, del Consell de la Generalitat, por el que se regula la utilización de residuos inertes adecuados en obras de restauración, acondicionamiento y relleno, o con fines de construcción. *Diari Oficial de la Generalitat Valenciana*, 4860, de 11 de octubre de 2004. https://www.dogv.gva.es/portal/ficha_disposicion_pc.jsp?sig=4505/2004&L=1

Diagramas Climáticos. (s. f.). Sistema de Clasificación Bioclimática Mundial. Recuperado 13 de febrero de 2021, de <https://webs.ucm.es/info/cif/plot/es-agost.htm>

Díaz, C. (2011). Alternativas para el control de la erosión mediante el uso de coberturas convencionales, no convencionales y revegetalización. *Ingeniería e Investigación*, 31, 80–90.

<http://www.scielo.org.co/pdf/iei/v31n3/v31n3a09.pdf>

Escudero, A. (2009). *1520 Vegetación gipsícola mediterránea (Gypsophiletalia) (*)*.

http://www.jolube.es/habitat_espana/documentos/1520.pdf

FAO-ITPS 2020. *Protocol for the assessment of Sustainable Soil Management*. Rome, FAO.

http://www.fao.org/fileadmin/user_upload//GSP/SSM/SSM_Protocol_EN_006.pdf

Gabriels, D., Lobo, D., & Pulido, M. (2006). Métodos para determinar la conductividad hidráulica saturada y no saturada de los suelos. *Venesuelos* 14, 7-22.

<http://saber.ucv.ve/bitstream/123456789/4158/1/Gabriels%2c%20Lobo%20y%20Pulido.%20Venesuelos.%202006.pdf>

GLOSOLAN-SOP-02. (2019). *Standard operating procedure for soil organic carbon. Walkley-Black method Titration and colorimetric method*. FAO. 1 (1-25).

<http://www.fao.org/3/ca7471en/ca7471en.pdf>

Gómez, F., De Haro, S., Delgado, I.C., & Simón, M. (2015). Using marble sludge increases the success of dump deposit restoration under Mediterranean climate. *Ecological Engineering*, 84, 305-310. [10.1016/j.ecoleng.2015.09.026](https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2015.09.026)

<https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/agost-177198/>

ICV. (2021). Visor Cartográfico. Institut Cartogràfic Valencià. Generalitat Valenciana. Conselleria de Política Territorial, Obres Públiques i Mobilitat. Recuperado 10 de marzo de 2021, de <https://visor.gva.es/visor/?idioma=es>

IGME. (1989). *Mapa 1: Situación actual y denominación de los acuíferos en la Comunidad Valenciana* [Mapa]. Las aguas subterráneas en la comunidad valenciana. Uso, calidad y perspectivas de utilización. https://www.igme.es/igme/publica/libros1_HR/libro21/lib21.htm

IGN. (2021). Visualizador de mapas e imágenes (IBERPIX). Instituto Geográfico Nacional. Ministerio de Fomento. Madrid. Recuperado 18 de marzo de 2021, de <http://www.ign.es/iberpix2/visor/>

IUSS Working Group WRB (2015). Base referencial mundial del recurso suelo 2014, Actualización 2015. Sistema internacional de clasificación de suelos para la nomenclatura de suelos y la creación de leyendas de mapas de suelos. Informes sobre recursos mundiales de suelos 106. FAO, Roma.

Khabali, H., & Targuisti, K. (2013). Quarrying in coastal Kenikra and its area of influence: Environmental impact study. *Revista de Estudios Andaluces* 30, 1-26. Retrieved from http://institucional.us.es/revistas/andaluces/30/art_1.pdf

Leret, G., Nuñez, A., Colondrón, I., & Martínez, W. (2004). *Mapa Geológico de España 871 28-34*. Servicio de Publicaciones Ministerio de Industria y Energía. Retrieved from <http://info.igme.es/cartografiadigital/datos/magna50/memorias/MMagna0871.pdf>

LEVANTINA. (2020). *LEVANTINA, premiada con un accésit en los Premios EBAE (Premios Europeos de Medio Ambiente a la Empresa)*. Recuperado 23 de abril de 2021, de <https://www.levantina.com/es/noticia/levantina-premiada-con-un-accesit-en-los-premios-ebae-premios-europeos-de-medio-ambiente-la-empresa/>

Ley 11/1994, de 27 de diciembre, de espacios naturales protegidos de la Comunidad Valenciana. *Boletín Oficial del Estado*, 33, de 8 de febrero de 1995, 4060-4072 <https://www.boe.es/boe/dias/1995/02/08/pdfs/A04060-04072.pdf>

- Lizarraga, F. (2014). *Estimación de parámetros forestales mediante datos LIDAR*. [Trabajo final de grado, Universidad Pública de Navarra]. Académica-e. Retrieved from <https://hdl.handle.net/2454/13647>
- Luna, J. A. (2015). *El impacto ambiental por la actividad de explotación de canteras en la localidad de Usme y sus principales medidas de manejo*. Bogotá, Colombia: Universidad Militar Nueva Granada. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10654/6331>
- McKnight, T. L., & Hess, D. (2000). Climate Zones and Types. En *Physical Geography: A Landscape Appreciation* (pp. 1–200). Prentice Hall.
- Milgrom, T. (2008). Environmental aspects of rehabilitating abandoned quarries: Israel as a case study. *Landscape and Urban Planning*, 87(3), 172-179.
<https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2008.06.007>
- Moreno de las Heras, M. (2009). *Efectos ecológicos de la erosión en laderas derivadas de la minería del carbón a cielo abierto*. [Tesis doctoral, Universidad de Alcalá. Departamento de Ecología]. E_Buah. Retrieved from <http://hdl.handle.net/10017/4274>
- Moya, A. (2016). *Influencia del níquel en la absorción de micronutrientes y posible uso de cultivos como fitorremediadores de suelos*. [Trabajo fin de grado, Universidad Miguel Hernández de Elche]. RediUMH. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11000/4310>
- Ofiteco. (2014). *Ficha resumen de mapas de peligrosidad y riesgo de las áreas de riesgo potencial significativo*. Retrieved from <https://www.chj.es/eses/ciudadano/consultapublica/Documents/SNCZI/fichas-resumen.pdf>
- Orden MAM/304/2002, de 8 de febrero, por la que se publican las operaciones de valorización y eliminación de residuos y la lista europea de residuos. *Boletín Oficial del Estado*, 43, de 19 de febrero de 2002, 6494-6515. <https://www.boe.es/boe/dias/2002/02/19/pdfs/A06494-06515.pdf>
- Peñaranda, M. A., Alarcón, V., Gómez, I., & Navarro, J. (2020). Methods of soil recovery in quarries of arid and semiarid areas using different waste types. *SJSS. Spanish Journal Of Soil Science*, 10(2), 101-122. <https://doi.org/10.3232/SJSS.2020.V10.N2.01>
- Pérez, E. (2014, noviembre). *JORNADAS DE INTERPRETACIÓN DE ANÁLISIS DE AGUAS Y SUELOS*. http://www.agrocabildo.org/publica/Publicaciones/subt_541_Ponencia%203.pdf

- Pérez, J. A. (11 de octubre de 2015). Arcillas triásicas de Agost. *Arqueocerámica*.
<http://arqueoceramica.blogspot.com/2015/10/arcillas-triasicas-de-agost.html>
- Real Decreto 2994/1982, de 15 de octubre, sobre restauración de espacio natural afectado por actividades mineras. *Boletín Oficial del Estado*, 274, de 15 de noviembre de 1982, 31246-31247. <https://www.boe.es/boe/dias/1982/11/15/pdfs/A31246-31247.pdf>
- Real Decreto 646/2020, de 7 de julio, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero. *Boletín Oficial del Estado*, 187, de 8 de julio de 2020, 48659-48721.
<https://www.boe.es/boe/dias/2020/07/08/pdfs/BOE-A-2020-7438.pdf>
- Real Decreto 975/2009, de 12 de junio, sobre gestión de los residuos de las industrias extractivas y de protección y rehabilitación del espacio afectado por actividades mineras. *Boletín Oficial del Estado*, 143, de 13 de junio de 2009, 49948-49993.
<https://www.boe.es/boe/dias/2009/06/13/pdfs/BOE-A-2009-9841.pdf>
- Sánchez, M (2016). *Solicitud de declaración de residuos inertes adecuados, referidos en el artículo 5 del decreto 200/2004 - Memoria Descriptiva De La Actividad*. Retrieved from
[file:///D:/Descargas%20Internet/20160518%20Memoria%20descriptiva%20solicitud%20RIA%20ampliacion%2080000%20ton%20\(2\).pdf](file:///D:/Descargas%20Internet/20160518%20Memoria%20descriptiva%20solicitud%20RIA%20ampliacion%2080000%20ton%20(2).pdf)
- Science, A. N. (2020, 17 junio). *La utopía del 5% de la materia orgánica*. AGRI nova Science.
<https://agri-nova.com/noticias/la-utopia-del-5-de-la-materia-organica/>
- Sheoran, V., Sheoran, A.S., & Poonia, P. (2010). Role of hyperaccumulators in phytoextraction of metals from contaminated mining sites: A Review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology* 41(2), 168-214. <https://doi.org/10.1080/10643380902718418>
- Simón, M., Del Moral, F., De Haro, S., & Gómez, F. (2014). Restoration of dump deposits from quarries in a Mediterranean climate using marble industry waste. *Ecological Engineering*, 71, 94-100. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2014.07.039>
- Soil Survey Staff. (1999). *Soil Taxonomy*. Retrieved from
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051232.pdf
- Soil Survey Staff. (2014). *Claves para la Taxonomía de Suelos*. Recuperado 22 de febrero de 2021, de
https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf

Sort, X., & Alcañiz, J.M. (1996). Contribution of sewage sludge to erosion control in the rehabilitation of limestone quarries . *Land Degradation & Development* 7(1), 69-76.

[https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1099-145X\(199603\)7:1<69::AID-LDR217>3.0.CO;2-2](https://doi.org/10.1002/(SICI)1099-145X(199603)7:1<69::AID-LDR217>3.0.CO;2-2)

7. ANEXOS

7.1. Anexo 1 – Acuíferos de la Comunidad Valenciana

