

INFORME DE CONTROL DE EROSIÓN

**PROYECTO DEL CENTRO DE RECURSOS PARA EL
APRENDIZAJE Y LA INVESTIGACIÓN
UNIVERSIDAD DE ZARAGOZA - CAMPUS DE TERUEL**

Octubre de 2021

Telluris Consultores

PETICIONARIO

Unidad técnica de construcciones y energía. Universidad de Zaragoza.

AUTORÍA

Sara Nyssen González. *Máster en Restauración de Ecosistemas. Licenciada en Ciencias Ambientales.*

Sergio González Ubierna. *Doctor en Farmacia. Máster en Restauración de Ecosistemas. Licenciado en Ciencias Ambientales.*

Bárbara Herrero Alcón. *Máster en Restauración de Ecosistemas. Ingeniera Técnica Forestal.*



ÍNDICE

I. EVALUACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA Y PLANIFICACIÓN	1
I.1. LOCALIZACIÓN Y ANTECEDENTES	1
I.2. DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES IMPLICADOS EN LOS PROCESOS EROSIVOS.....	2
I.2.1. Clima.....	2
I.2.1.1. Fuentes de información.....	2
I.2.1.2. Descripción y análisis	2
I.2.2. Geomorfología	3
I.2.2.1. Fuentes de información.....	3
I.2.2.2. Descripción y análisis	3
I.2.3. Geología y geotecnia.....	3
I.2.3.1. Fuentes de información.....	3
I.2.3.2. Descripción y análisis	4
I.2.4. Edafología.....	6
I.2.4.1. Fuentes de información.....	6
I.2.4.2. Descripción y análisis	6
I.2.5. Hidrología.....	7
I.2.5.1. Fuentes de información.....	7
I.2.5.2. Descripción y análisis	7
I.2.6. Vegetación	9
I.2.6.1. Fuentes de información.....	9
I.2.6.2. Descripción y análisis	9
I.2.7. Vientos.....	10
I.2.7.1. Fuentes de información.....	10
I.2.7.2. Descripción y análisis	10
I.2.8. Modelo de drenaje actual.....	12
I.2.8.1. Fuentes de información.....	12
I.2.8.2. Descripción y análisis	12
I.3. DEGRADACIONES NATURALES Y ANTRÓPICAS.....	14
I.3.1. Degradaciones presentes actualmente	14
I.3.2. Degradaciones futuras	14
I.4. PROCESOS EROSIVOS Y MEDICIONES.....	15
I.4.1. Erosión Hídrica	15
I.4.1.1. Erosión por salpicadura.....	15
I.4.1.1.1. Concepto	15
I.4.1.1.2. Relevancia en el emplazamiento.....	15
I.4.1.2. Saturación de agua en el suelo.....	15
I.4.1.2.1. Concepto	15
I.4.1.2.2. Relevancia en el emplazamiento.....	15
I.4.1.3. Erosión laminar.....	16
I.4.1.3.1. Concepto	16
I.4.1.3.2. Relevancia en el emplazamiento.....	16
I.4.1.4. Erosión en regueros.....	16

I.4.1.4.1. Concepto.....	16
I.4.1.4.2. Relevancia en el emplazamiento	16
I.4.1.5. Erosión en cárcavas y barrancos	16
I.4.1.5.1. Concepto.....	16
I.4.1.5.2. Relevancia en el emplazamiento	17
I.4.1.6. Erosión por flujo sub-superficial (en profundidad).....	17
I.4.1.6.1. Concepto.....	17
I.4.1.6.2. Relevancia en el emplazamiento	17
I.4.1.7. Erosión en cauces.....	17
I.4.1.7.1. Concepto.....	17
I.4.1.7.2. Relevancia en el emplazamiento	17
I.4.2. Viento	18
I.4.2.1. Erosión eólica.....	18
I.4.2.1.1. Concepto.....	18
I.4.2.1.2. Relevancia en el emplazamiento	18
I.4.3. Pérdida de la biodiversidad del suelo.....	18
I.4.3.1. Concepto	18
I.4.3.2. Relevancia en el emplazamiento.....	18
I.4.4. Erosión y pérdida de materia orgánica	19
I.4.4.1. Concepto	19
I.4.4.2. Relevancia en el emplazamiento.....	19
I.4.5. Aguas interceptadas por la obra	19
I.4.6. Tasas de producción de sedimentos (RUSLE).....	19
I.4.6.1. Fuentes de información	19
I.4.6.2. Descripción y análisis.....	20
I.4.7. Tasas de producción de sedimentos por erosión eólica.....	21
I.4.7.1. Fuentes de información	21
I.4.7.2. Descripción y análisis.....	21
I.4.8. Áreas sensibles a proteger	22
I.4.8.1. Áreas off-site effects	23
I.4.8.2. Áreas on-site effects.....	23
I.5. RIESGO DE EROSIÓN	24
II. BUENAS PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y SEDIMENTO	25
II.1. CONSIDERACIONES GENERALES	25
II.2. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO	26
II.2.1. Mantenimiento del muro y pavimento existente.....	26
II.2.2. Mantenimiento de la vegetación existente	26
II.3. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO	27
II.3.1. Instalación de trampas de retención de sedimentos (<i>sediment fences</i>).....	27
II.3.2. Instalación de un sistema de lavado de ruedas y bajos de los vehículos	29

II.3.3. Control del polvo.....	30
II.3.4. Protección de imbornales	30
II.3.5. Protección para entradas de desagües en zonas no pavimentadas.....	31
II.3.6. Zanjas de obra.....	33
II.3.7. Gestión adecuada de los taludes del hueco de obra.....	33
II.4. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO EN LA FASE DE POST-CONSTRUCCIÓN	34
III. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CONTROL DE LA EROSIÓN	35
III.1. INSPECCIÓN.....	35
III.2. UMBRALES	36
III.3. MANTENIMIENTO.....	36
III.4. MODIFICACIONES DEL PLAN.....	37
IV. APÉNDICES	39
IV.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
IV.2. ÍNDICE DE TABLAS	42
IV.3. ÍNDICE DE FIGURAS	42

I. EVALUACIÓN DEL EMPLAZAMIENTO DE LA OBRA Y PLANIFICACIÓN

I.1. LOCALIZACIÓN Y ANTECEDENTES

El presente estudio tiene como objeto caracterizar el riesgo de erosión y establecer medidas para su control en las parcelas sobre las que se asentará el edificio objeto del proyecto (Figura I.1), situadas en el campus de Teruel de la Universidad de Zaragoza. Las parcelas con referencia catastral 0688201XK6608H0001FL y 0688202XK6608H0001ML (Fuente: www1.sedecatastro.gob.es [fecha de consulta: 20 octubre de 2021]), con una superficie de 9.880 m² y 21.610 m², respectivamente. La primera de las parcelas referidas está actualmente ocupada por varios edificios que serán derribados, mientras que en la segunda parcela solo se actuará sobre una pequeña parte, derribándose los dos edificios de la esquina noreste.

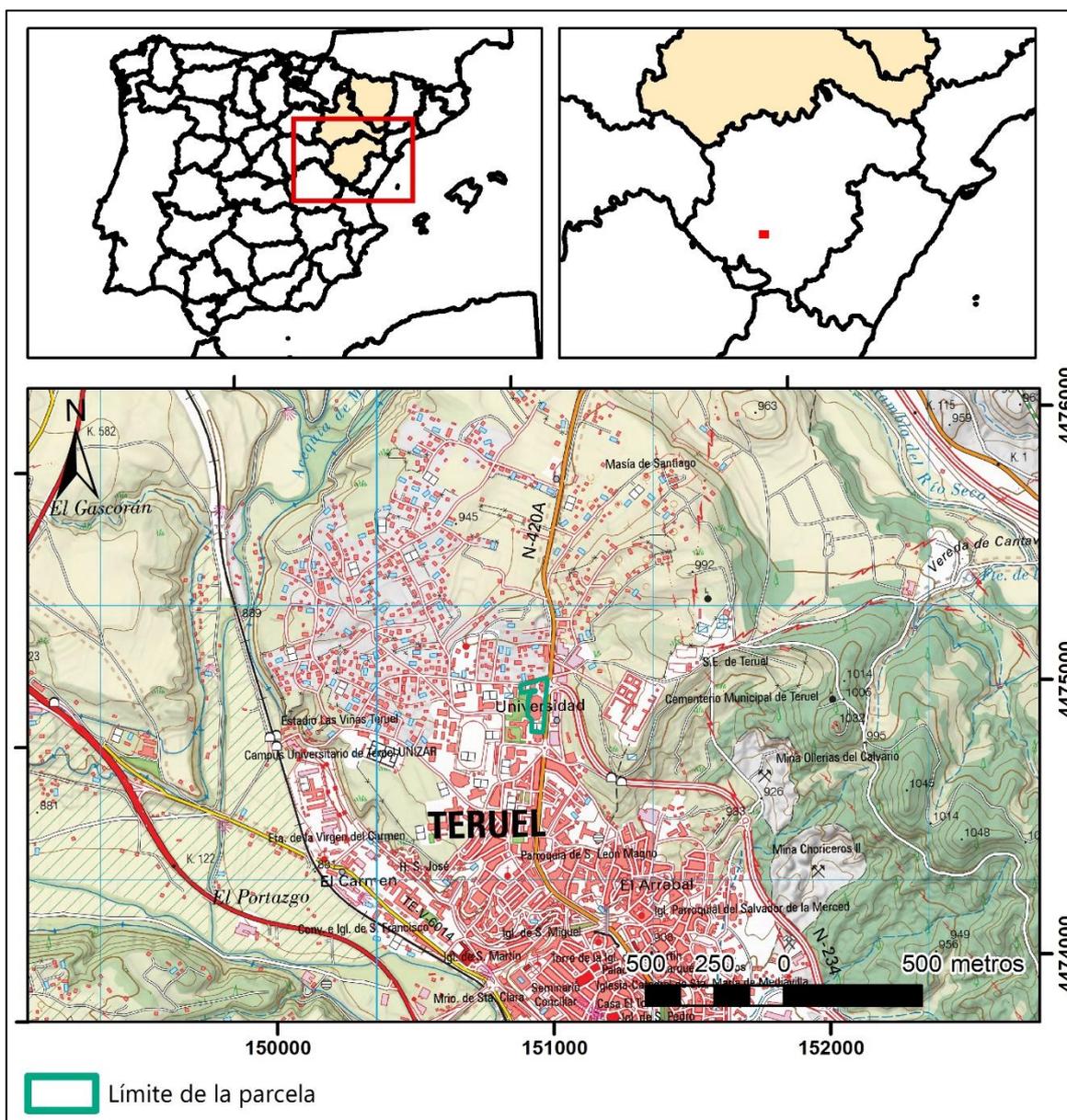


Figura I.1. Localización de la parcela estudiada. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1989.) Fuente: elaboración a partir del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25) de 2019 correspondiente a la hoja 0567-3.

I.2. DESCRIPCIÓN DE LOS FACTORES IMPLICADOS EN LOS PROCESOS EROSIVOS

I.2.1. Clima

I.2.1.1. Fuentes de información

Los datos climatológicos se han tomado de la base de datos de estaciones climatológicas y de los diagnósticos de www.globalbioclimatics.org, creada por S.Rivas-Martinez & S.Rivas-Saenz, 2016. Concretamente se ha tomado como referencia la estación de Teruel (N4021). Se han seleccionado los datos de temperatura, precipitación, período de heladas probables y periodo vegetativo, al ser los parámetros clave para el desarrollo de la vegetación, lo que determinará las especies presentes y, por tanto, la fauna que depende de ellas. Con la caracterización del bioclima se da, además, una idea del resto de parámetros climáticos.

Además, se ha consultado la Guía resumida del clima en España (1981-2010) de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), que contiene los valores medios (mensuales y anuales) de las variables climatológicas que se indican más adelante, referidos a las estaciones meteorológicas principales de la Agencia Estatal de Meteorología, durante los periodos 1981-2010, 1971-2000 y 1961-1990.

I.2.1.2. Descripción y análisis

El área donde se enclava el edificio se sitúa en el bioclima mediterráneo pluviestacional oceánico, más concretamente en el cinturón supramediterráneo inferior, con ombrotipo superior seco. Las temperaturas varían desde máximas de 30,1°C a mínimas de -2,3°C, con una media anual de 11,7°C. Por su parte, la evapotranspiración media es de 650 mm, lo que genera un período de estrés hídrico a la vegetación desde julio y agosto. El periodo de heladas probables abarca los meses de diciembre y enero.

La precipitación media es de 404 mm. Éstas se producen de forma repartida a lo largo del año, con una mayor concentración en primavera (abril-junio) y otoño (octubre-noviembre) (Figura I.2).

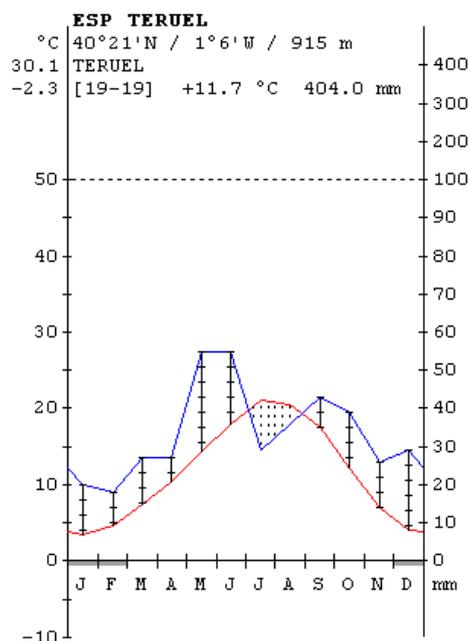


Figura I.2. Climograma de la estación meteorológica de Teruel (N4021). Eje Y izquierdo: temperatura (°C), representado por la línea roja; Eje Y derecho: precipitación (mm), representado por la línea azul. Fuente: www.globalbioclimatics.org.

1.2.2. Geomorfología

1.2.2.1. Fuentes de información

La principal fuente de datos son tanto la visita de campo realizada como los mapas geológicos publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El mapa geológico a escala 1:50.000, hoja nº 567 (Teruel), ofrece información pormenorizada del área de estudio, incluyendo cartografías, descripciones e interpretaciones adecuadas (IGME, 1983).

1.2.2.2. Descripción y análisis

Las parcelas objeto de estudio están actualmente urbanizadas y edificadas, por lo que su geomorfología ha sido completamente alterada.

1.2.3. Geología y geotecnia

1.2.3.1. Fuentes de información

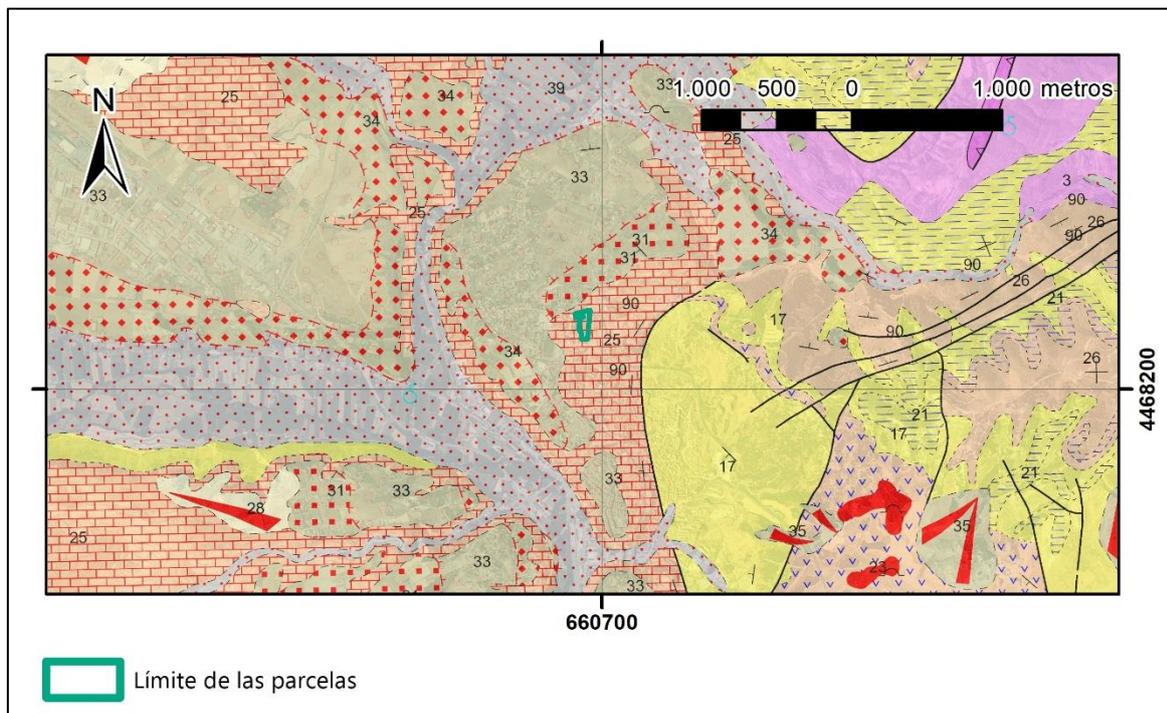
La principal fuente de datos son los mapas geológicos publicados por el Instituto Geológico y Minero de España (IGME). El mapa geológico a escala 1:50.000, hoja nº 567 (Teruel), ofrece información pormenorizada del área de estudio, incluyendo cartografías, descripciones e interpretaciones adecuadas (IGME, 1983).

Respecto a la información geotécnica, la fuente de información utilizada ha sido el *Estudio geotécnico 01/21/1/0097. Edificio en antiguo colegio "Las anejas", Ctra. Alcañiz (Teruel)*, realizado por la empresa geotecnia, desarrollo, servicios S.A. (Geodeser, 2021) y proporcionado por el cliente.

1.2.3.2. Descripción y análisis

El emplazamiento se sitúa sobre Calizas y margas (terciario, plioceno) del Rusciniense (Figura I.3). Esta unidad se encuentra ampliamente representada en toda la unidad occidental de la hoja de Teruel, constituyendo, generalmente, morfologías de relieves estructurales planos tipo mesa con escarpes bastante bien marcados.

La potencia máxima puede alcanzar los 80 m, disminuyendo hacia los bordes hasta llegar a desaparecer, estando representado por facies detríticas. Se trata de un tramo predominantemente calizo compuesto por niveles de 0,5 a 1 m de calizas y calizas arcillosas con intercalaciones de margas y margas negras y grises.



LEYENDA

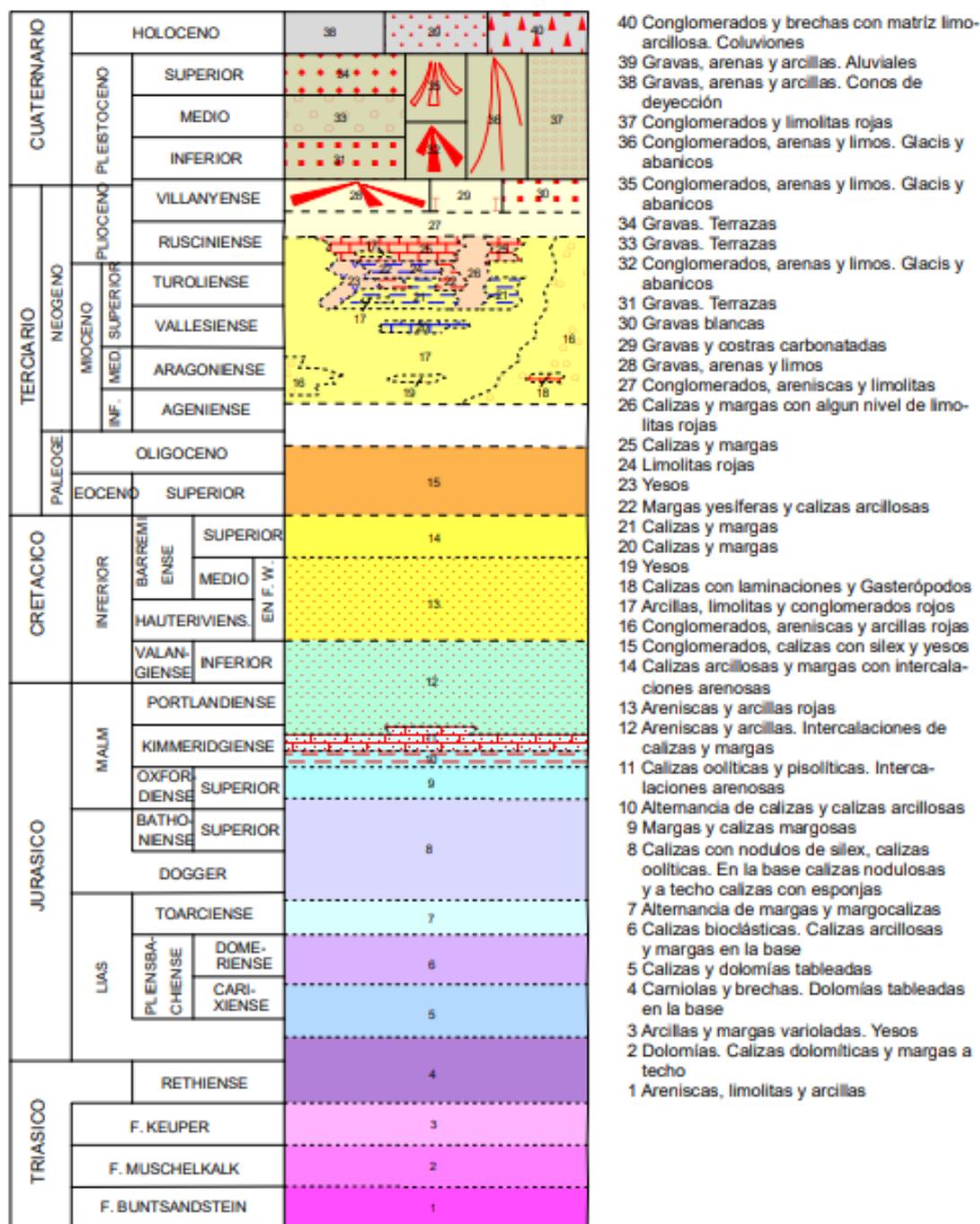


Figura I.3. Vista ampliada de la sección del emplazamiento del mapa geológico de España a escala 1:50.000, hoja 567 (Teruel). Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 1983. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1998).

Como se ha mencionado anteriormente, a petición de la Unidad técnica de construcciones y energía de la Universidad de Zaragoza, Geodeser realizó una serie de ensayos geotécnicos. En el informe geotécnico se describe que el terreno está constituido por un primer nivel de recubrimiento cuaternario. En este nivel se ha incluido la totalidad de los materiales cuaternarios depositados sobre el sustrato terciario local.

Se caracteriza por presentar una elevada heterogeneidad, apareciendo arcillas arenosas, arenas limosas y arcillosas y gravas. El término dominante son las arenas limosas y arcillosas, de tonalidad rojiza y marrón, presentando un tamaño de grano fino. Las arcillas arenosas presentan tonalidades rojizas, con cantos milimétricos en proporción variable y puntualmente de hasta 4 cm.

Por último, aparece algún nivel de grava, con cantos angulosos poligénicos de hasta 4 cm de diámetro, matriz arcillosa limosa poco plástica y una compacidad media.

Superficialmente este conjunto cuaternario está recubierto por tanto por pavimento y base granular en las zonas urbanizadas como por suelo vegetal, con espesores poco destacados (10 cm).

Desde el punto de vista geológico corresponden a depósitos aluviales, posiblemente de terrazas del río Alfambra, aunque no se descarta cierta influencia coluvial.

Respecto a la distribución de estos niveles, presentan potencias en conjunto muy importantes (más de 6.00 m en el punto máximo), mientras que los niveles de diferentes litologías definidas oscilan entre 60 cm y más de 3.00 m).

Los valores de permeabilidad estimada de los materiales se encuentran entre 10^{-4} y 10^{-3} cm/s, lo que corresponde a una permeabilidad media-baja.

1.2.4. Edafología

1.2.4.1. Fuentes de información

La caracterización edafológica se ha basado en los datos contenidos en la cartografía y fichas del Mapa Mundial de Suelos FAO/UNESCO escala de 1:5.000.000 (FAO/UNESCO, 1981).

1.2.4.2. Descripción y análisis

Los suelos de la parcela son cambisoles cálcicos, correspondientes a suelos con una marcada acumulación de carbonato cálcico. Se desarrollan en climas áridos y semiáridos, donde el lavado de carbonato está limitado por la escasez de agua y las fluctuaciones de evapotranspiración dan lugar a una fuerte acumulación de carbonatos a lo largo de todo el perfil.

El perfil es de tipo ABC. El horizonte B se caracteriza por una débil a moderada alteración del material original, por la usencia de cantidades apreciables de arcilla, materia orgánica y compuestos de hierro y aluminio, de origen iluvial. Permiten un amplio rango de posibles usos agrícolas. Sus principales limitaciones están asociadas a la topografía, bajo espesor, pedregosidad o bajo contenido en bases. En zonas de elevada pendiente su uso queda reducido al forestal o pascícola.

Actualmente estos suelos se encuentran totalmente modificados en la zona estudiada, encontrándose tan solo antrosoles (suelos modificados y/o construidos por el hombre).

Textualmente, el Estudio geotécnico describe que estos materiales presentan una fracción grava (>5 mm) entre el 11 y el 12%, una fracción arena entre el 38.8 y el 38.4% y una fracción fina (<0.080 mm) entre el 50.6 y el 49.2%.

La cartografía *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012* al área de la parcela se encuentra dentro de la zonificación "superficies artificiales", sin valores de erosión. A las zonas próximas al emplazamiento con característica similares se les otorga un rango de erosión potencial entre 50 y 100 T/ha/año, lo que corresponde con una potencialidad alta.

1.2.5. Hidrología

1.2.5.1. Fuentes de información

La información hidrográfica del entorno del emplazamiento, procede, fundamentalmente, de organismos oficiales, tales como: Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2006) y el Instituto Aragonés de Gestión Ambiental (INAGA) del Gobierno de Aragón (INAGA-GEO [catálogo de datos *online*], 2018).

En cuanto a hidrogeología, la principal fuente de información han sido los mapas elaborados por el IGME, en concreto el *Mapa Hidrogeológico de España a Escala 1:200.000* y el *Mapa de Permeabilidades de España a Escala 1:100.000*.

1.2.5.2. Descripción y análisis

El área de estudio pertenece a la cuenca del río Turia, El Turia nace en la Muela de San Juan, término municipal de Guadalaviar, en el entorno de los montes Universales, sierra de Albarracín (Teruel) y desemboca en la ciudad de Valencia tras 280 km de recorrido. En su recorrido, la cuenca del Turia abarca 6.393 km², aportando un caudal medio de 14m³/s.

El río es un característico río mediterráneo, con grandes diferencias de caudal en las distintas épocas del año. Los aportes hídricos se producen principalmente por torrentes y barrancos originados por los deshielos en la zona de su nacimiento y por las fuertes tormentas que se producen en su cuenca hidrográfica. Debido a sus peculiaridades, tanto por sus diferenciados aspectos orográficos como a sus diferencias de caudales hidráulicos, se diferencian varias zonas o tramos.

A nivel hidrogeológico, según el *Mapa hidrogeológico a escala 1:200.000* (IGME, 1997), la zona de estudio se encuentra sobre la unidad hidrogeológica *formaciones carbonatadas de permeabilidad media* (Figura I.4). El emplazamiento, a nivel hidrogeológico se sitúa en la masa de agua acuífero Hoya de Alfambra.

El *Mapa de permeabilidades de España* (IGME, 2009) sitúa el emplazamiento en una unidad generalmente de baja permeabilidad, aunque el área linda con una zona de materiales muy permeables (Figura I.5).

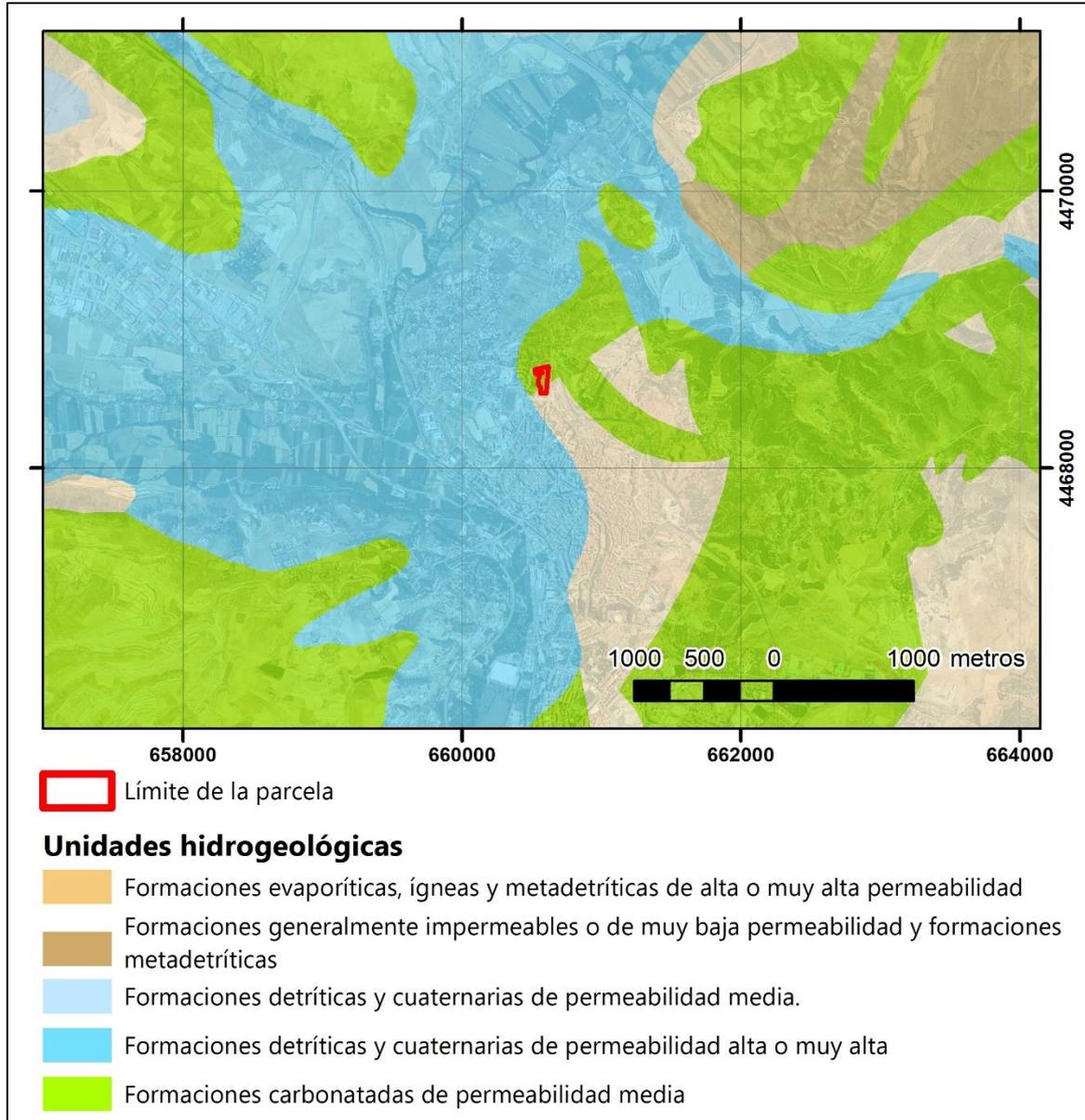


Figura I.4. Formaciones hidrogeológicas del entorno de la zona de estudio. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1989). Fuente: elaboración propia a partir del Mapa Hidrogeológico de España a Escala 1:200.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y de la ortofoto del PNOA de máxima actualidad, correspondiente a la hoja 567.

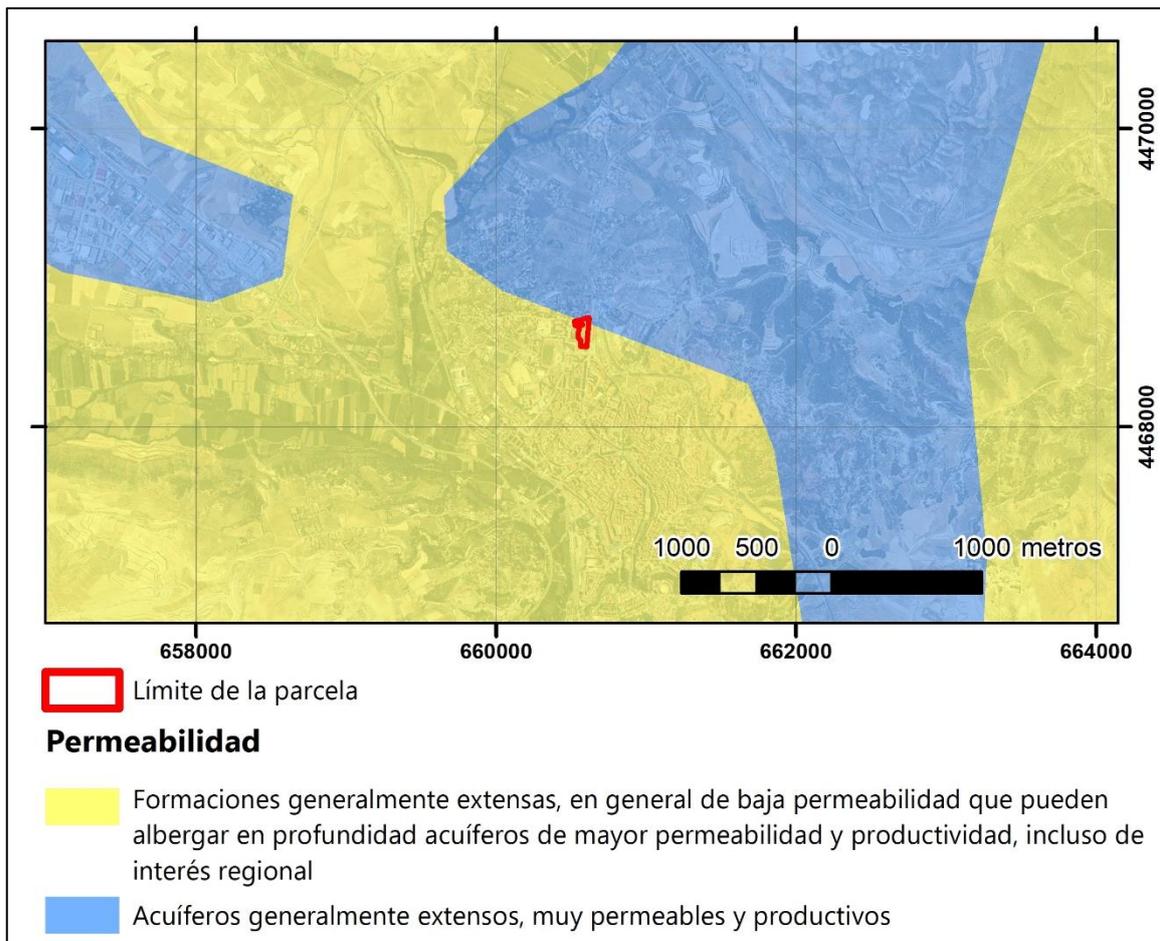


Figura I.5. Mapa de permeabilidad de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del Mapa de permeabilidades de España a Escala 1:200.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) 2009 y de la ortofoto del PNOA de máxima actualidad, correspondiente a la hoja 567.

1.2.6. Vegetación

1.2.6.1. Fuentes de información

A efectos del presente estudio, dirigido al control de la erosión, la única fuente de información considerada ha sido la visita de campo realizada por este equipo redactor (ver epígrafe II.2.8 del Informe Ecológico).

1.2.6.2. Descripción y análisis

Actualmente el emplazamiento se encuentra ocupado por varios edificios y zona ajardinada. En la zona ajardinada hay numerosos ejemplares de diversas especies vegetales arbóreas y arbustivas, entre las que se encuentran *Cupressus*, *Platanus hispánica*, *Pinus* o *Populus*, ninguna de ellas con valor ecológico reseñable.

Algunos de los ejemplares tienen un porte considerable, tratándose de árboles con más de 20 años.

En las zonas no ocupadas por vegetación ha crecido una comunidad de especies vegetales ruderales oportunistas.

Fuera de la parcela no existe arbolado urbano, pero sí en las zonas ajardinadas de la parcela perteneciente al campus universitario adyacentes a los dos edificios que serán derribados.

I.2.7. Vientos

I.2.7.1. Fuentes de información

Para la determinación de las direcciones y velocidades de los vientos dominantes se ha utilizado el *Mapa eólico de Aragón*, del Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía (IDAE, 2009).

I.2.7.2. Descripción y análisis

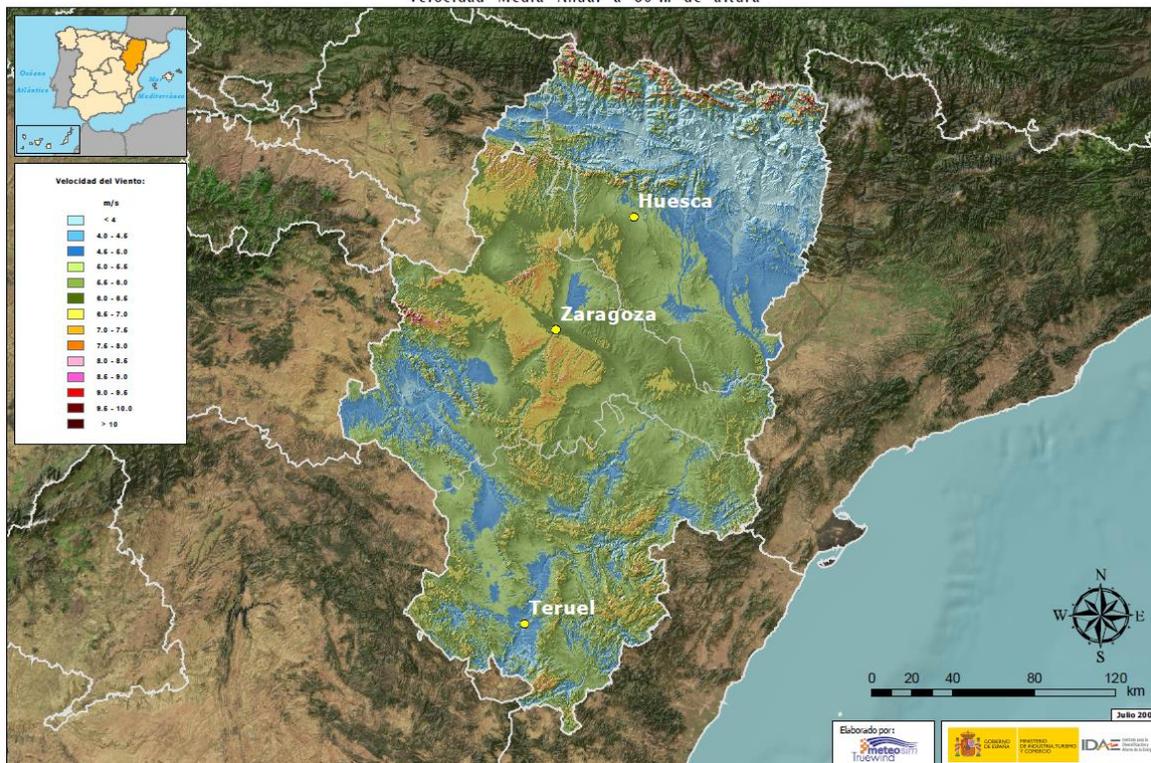
Como se puede ver en el mapa eólico de Aragón (Figura I.6) la zona se encuentra en un área de vientos de velocidad baja (4,0 – 5 m/s), con mínimos en verano y máximos en invierno (llegando hasta a 6,0 m/s). Según el aplicativo del Atlas Eólico de España del IDEA (Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía), que utiliza el modelo Mesoscale Atmospheric Simulation System, las direcciones predominantes de los vientos en la zona de estudio son W, WNW y NW por ese orden (Tabla I.1).

Tabla I.1. Frecuencias de las diferentes direcciones de los vientos a 80 m (Fuente: IDAE, 2009).

Dirección	Frecuencia (%)	Velocidad (m/s)	Potencia (%)	Weibull C (m/s)	Weibull K
N	4.28	6.082	2.28	6.896	2.504
NNE	3.87	6.053	2.23	7.01	2.409
NE	6.98	6.457	4.25	7.403	2.888
ENE	3.43	5.175	1.12	5.898	2.589
E	3.38	6.103	2.25	7.027	2.045
ESE	8.72	9.459	20.21	10.945	2.233
SE	7.44	9.006	14.32	10.413	2.343
SSE	3.62	7.554	4.42	8.785	2.186
S	4.1	7.788	5.56	9.137	2.215
SSW	4.7	7.236	5.21	8.515	2.194
SW	5.69	6.846	6.01	8.123	1.991
WSW	7.65	6.414	6.22	7.82	2.345
W	10.42	6.889	8.73	8.016	2.499
WNW	10.27	6.691	7.1	7.648	2.733
NW	8.26	6.669	5.35	7.485	2.723
NNW	7.17	6.783	4.74	7.452	2.576
N	4.28	6.082	2.28	6.896	2.504

MAPA EÓLICO DE ARAGÓN

Velocidad Media Anual a 80 m de altura



MAPA EÓLICO DE ARAGÓN

Velocidad Media Estacional a 80 m de altura

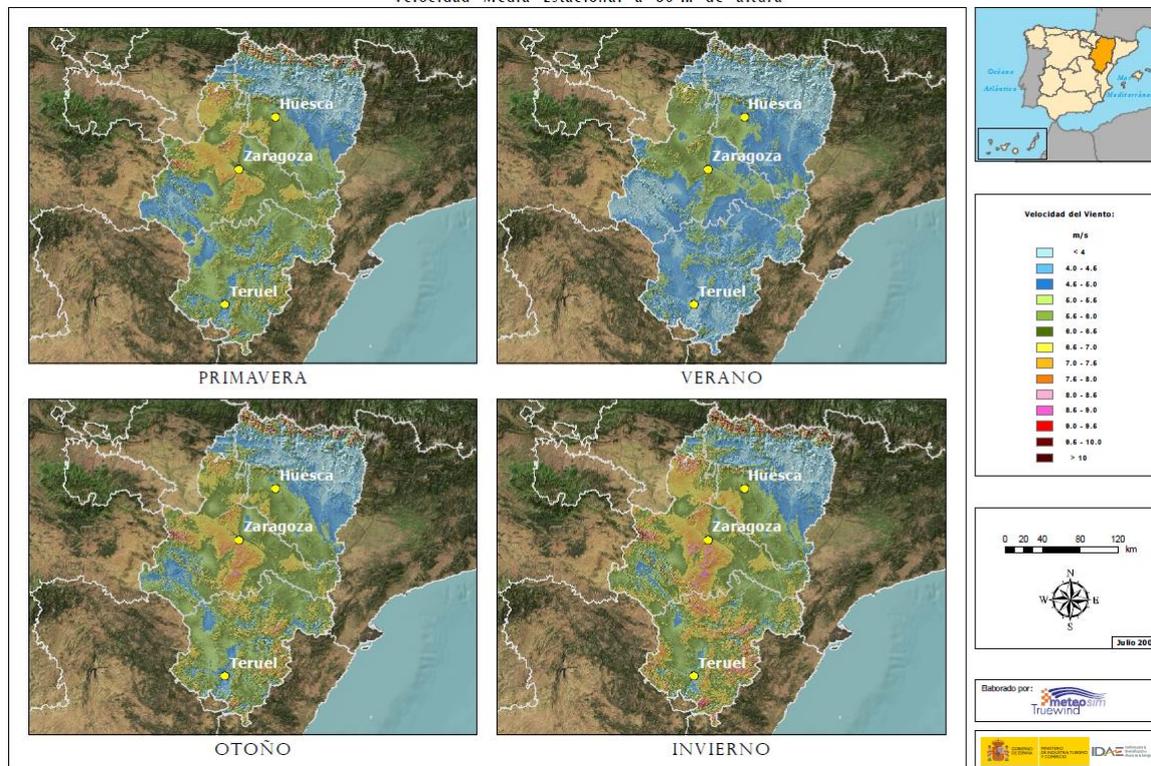


Figura I.6. Mapa eólico de Aragón. Arriba: mapa de las velocidades medias anuales a 80 m de altura en Aragón. Abajo: mapa de velocidades medias estacionales a 80 m de altura en Aragón. Fuente: IDAE (2009).

Descripción de los factores implicados en los procesos erosivos

I.2.8. Modelo de drenaje actual

I.2.8.1. Fuentes de información

El modelo de drenaje actual de la parcela objeto de estudio se ha realizado a partir de la visita de campo realizada y del levantamiento topográfico contenido en el *Estudio geotécnico 01/21/1/0097. Edificio en antiguo colegio "Las anejas", Ctra. Alcañiz (Teruel)*, realizado por la empresa geotecnia, desarrollo, servicios S.A. (Geodeser, 2021) y proporcionado por el cliente.

I.2.8.2. Descripción y análisis

La parcela que ocupaban las antiguas escuelas Las Anejas tiene carácter endorreico, ya que la escorrentía se dirige hacia el centro de la parcela y esta está rodeada de un vallado perimetral impermeable que la separa del campus universitario (Figura I.7).

Sin embargo, el área del emplazamiento que pertenece al recinto universitario y que será objeto del derribo y construcción, vierte su escorrentía hacia la zona ajardinada del campus (Figura I.7 y Figura I.8).

La superficie total de la zona afectada son unas 1,15 ha, que será la analizada de cara a los análisis posteriores para el cálculo de las aguas interceptadas por la obra en su fase de construcción y post construcción, quedando en su totalidad ocupada por la edificación.

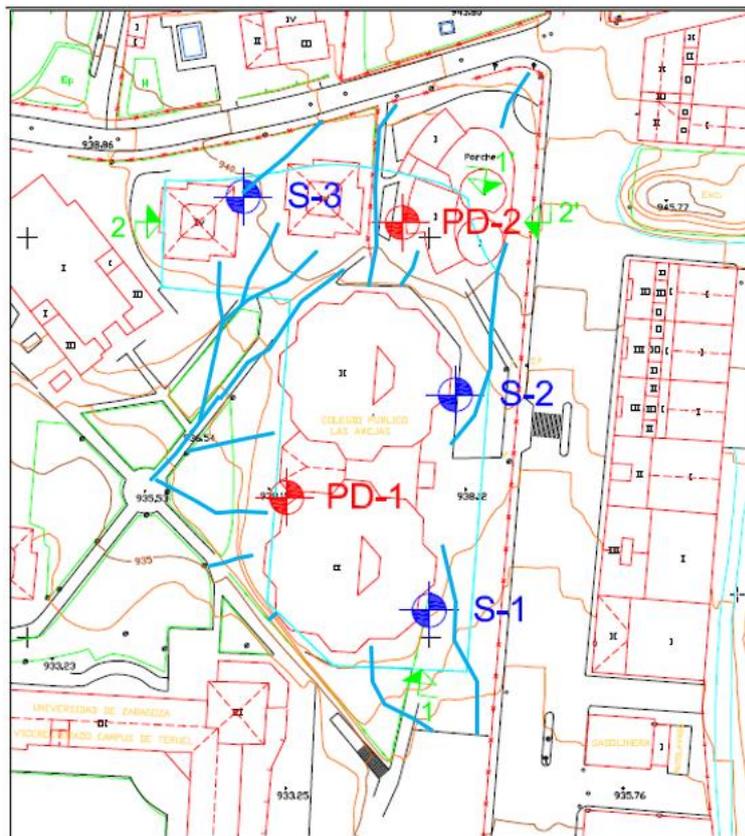


Figura I.7. Red de drenaje actual de la parcela basada en el levantamiento topográfico realizado por Geodeser y facilitado por el cliente. En azul la red de drenaje del emplazamiento.



Figura I.8. Vistas de la zona ajardinada del campus universitario a la que se dirige la escorrentía procedente del área a demoler.

I.3. DEGRADACIONES NATURALES Y ANTRÓPICAS

I.3.1. Degradaciones presentes actualmente

Se consideran las siguientes degradaciones en la situación actual:

- Naturales. No se aprecian degradaciones naturales al ser una zona completamente modificada por la acción antrópica.
- Antrópicas. La urbanización del área ha supuesto una modificación total de las características de la zona. La parcela se encuentra desconectada de la red de drenaje natural, y se encuentra actualmente determinada por el drenaje urbano de la ciudad de Teruel, con casi la totalidad del suelo cubierto por edificaciones y/o asfaltado. Además, en las zonas sin cubrir la vegetación natural ha desaparecido y en su lugar se ha implantado una vegetación de jardinería, artificialmente mantenida. Dada la geomorfología, prácticamente plana y prácticamente endorreica (sin aportes de escorrentía procedentes de aguas afuera del emplazamiento), y la nula poca de suelo desnudo solo se han observado evidencias de procesos erosivos de relevancia en una zona de la parcela de las antiguas escuelas.

I.3.2. Degradaciones futuras

Durante el proceso constructivo se van a producir numerosas modificaciones en las ya muy alteradas condiciones presentes. Así, se desbrozará la zona y se producirán numerosos movimientos de tierras que dejarán expuesto el suelo y acopios de materiales frente a los procesos erosivos. Es, por ello, la fase donde se prevé que haya un mayor riesgo de erosión y transporte de sedimentos dentro de la parcela.

Tras la edificación, la parcela quedará profundamente modificada, cambiando las condiciones de las posibles degradaciones en términos de erosión. La mayor parte de la parcela quedará con el suelo cubierto y tan solo cabe remarcar las zonas ajardinadas como susceptibles de erosionarse. En estos casos, la cubierta vegetal implantada reducirá al mínimo la emisión de sedimentos.

I.4. PROCESOS EROSIVOS Y MEDICIONES

La erosión del suelo es definida como un proceso de desagregación, transporte y deposición de materiales del suelo por agentes erosivos (Ellison, 1947). En este proceso se consideran los factores y procesos erosivos que se describen a continuación. Las definiciones de los procesos, así como el apoyo teórico para describir su impacto en la parcela se han apoyado en el libro Edafología para la agricultura y el medio ambiente (Porta, 2003) y de la información recogida en el Instituto de Estudios Catalanes (<http://www.iec.cat>. Consulta: abril de 2018).

I.4.1. Erosión Hídrica

La erosión hídrica se define como la pérdida selectiva, recurrente y progresiva de la capa superficial del suelo por la acción del agua. Más concretamente, es el proceso de sustracción de masa sólida al suelo o a la roca de la superficie llevado a cabo por un flujo de agua que circula por la misma.

I.4.1.1. Erosión por salpicadura

I.4.1.1.1. Concepto

Pérdida de suelo por impacto de gotas de lluvia sobre un suelo desnudo, representando el primer paso para el inicio de los procesos erosivos. El impacto de las gotas provoca el colapso de los agregados inestables con liberación de partículas de suelo, que pueden ser desplazadas hasta 1,5 metros. El material liberado puede rellenar poros y dar lugar a un sello y, al secarse, a una costra superficial; o ser arrastrado por el agua de escorrentía superficial.

I.4.1.1.2. Relevancia en el emplazamiento

Esta forma de erosión se presenta en la parcela, pero no supone un proceso importante. La tipología de suelo (con alto contenido en limos y arcillas) hace que el efecto del impacto de las gotas de lluvia sea mayor que en suelos desarrollados sobre materiales más arenosos.

I.4.1.2. Saturación de agua en el suelo

I.4.1.2.1. Concepto

Es el estadio inicial del fenómeno erosivo, ya que es el proceso que desencadena el transporte de sedimentos. La saturación de agua se da cuando la precipitación supera a la capacidad de infiltración y/o la capacidad de almacenamiento de agua del suelo. Estas características edafológicas dependerán de la textura del suelo y de su estructura, además de la cantidad e intensidad de precipitación.

I.4.1.2.2. Relevancia en el emplazamiento

Los suelos de la parcela estudiada poseen una capacidad de infiltración media dado su contenido en arenas y gravas. En cuanto a su capacidad de almacenamiento, el desarrollo vegetal presente y la

profundidad del nivel freático, se espera que sea media. Por todo ello la permeabilidad esperada será media. Debido a ello, no se espera que la saturación en agua del suelo pueda ser un problema en tormentas de intensidades medias.

1.4.1.3. Erosión laminar

1.4.1.3.1. Concepto

Erosión hídrica por escorrentía superficial difusa, se materializa en la pérdida de una capa delgada más o menos uniforme de suelo (partículas liberadas por salpicadura consecuencia de la precipitación) en un terreno inclinado. Tiene lugar cuando la intensidad de la precipitación excede la infiltración o bien cuando el suelo se satura de agua, lo que da lugar a un exceso de agua en la superficie. La escorrentía superficial transporta las partículas más finas y provoca una disminución de la productividad del suelo (pérdida de arcilla, materia orgánica y nutrientes).

1.4.1.3.2. Relevancia en el emplazamiento

Esta forma de erosión está presente en la parcela estudiada. Debido a la ausencia de vegetación permanente en algunas zonas puntuales, la pendiente en los taludes y la fina granulometría del suelo, hace que la generación de escorrentía en forma de láminas de agua se de en el suelo de forma relativamente alta.

1.4.1.4. Erosión en regueros

1.4.1.4.1. Concepto

Se da cuando la rugosidad del terreno y el caudal más elevado hacen que la escorrentía laminar se concentre en canales llamados arroyaderos en los cuales el agua tiene más velocidad, arrancando y transportando partículas de las paredes y del fondo del canal. A medida que la escorrentía desciende por la ladera su caudal aumenta y los canales se hacen mucho más profundos, transformándose en barrancos. La escorrentía por arroyaderos provoca una pérdida de partículas minerales, materia orgánica y nutrientes.

1.4.1.4.2. Relevancia en el emplazamiento

Esta forma de erosión está presente en la parcela estudiada. Debido a su geomorfología (con desnivel en zonas de la parcela de las escuelas) y el tipo de suelo (materiales finos) esta forma erosiva se produce ya que los flujos de escorrentía alcanzan una relativa de energía.

1.4.1.5. Erosión en cárcavas y barrancos

1.4.1.5.1. Concepto

A medida que avanza la erosión por arroyaderos los canales van siendo más profundos y el terreno queda diseccionado, lo que hace imposible transitar por él o cultivarlo con maquinaria. Este estadio

se conoce como erosión por cárcavas. El agua arranca y transporta partículas del fondo y paredes del canal en las que pueden producirse deslizamientos, lo que genera cantidades importantes de material que, una vez movilizado, puede producir efectos aguas abajo. El proceso se debe a una perturbación hidrológica en el área

1.4.1.5.2. Relevancia en el emplazamiento

Esta forma de erosión no se da en la parcela en la actualidad debido a las diversas remociones que ha sufrido el suelo y la pequeña cuenca vertiente. Sin embargo, si se da la forma previa a esta erosión (regueros).

1.4.1.6. Erosión por flujo sub-superficial (en profundidad)

1.4.1.6.1. Concepto

Erosión que tiene lugar dentro del suelo. La circulación de un exceso de agua a favor de las galerías de fauna, grietas, terraplenes poco compactados o agujeros de antiguas raíces en un suelo que tenga un material subsuperficial fácilmente dispersable produce una erosión subsuperficial de efectos graves. La entrada del agua en el suelo hace que el material dispersable quede en suspensión y el lodo formado pueda circular. Si el túnel tiene alguna salida, la circulación del agua irá aumentando progresivamente el tamaño del túnel y pueden producirse colapsos en el terreno.

1.4.1.6.2. Relevancia en el emplazamiento

La erosión por flujos superficiales tiene relevancia cuando existe una diferencia de cota suficiente que haga que el flujo sub-superficial sea importante y que el material pueda caer por gravedad una vez descabezado por estos procesos. Esto debe de ir unido a la presencia de limos y/o arcillas en zonas subsuperficiales. En el caso estudiado estas condiciones edáficas no se dan, por lo que, aunque este tipo de erosión existe actualmente ni tiene posibilidad de darse en el futuro.

1.4.1.7. Erosión en cauces

1.4.1.7.1. Concepto

El movimiento del agua que circula por el cauce de una corriente de agua produce el desprendimiento y posterior transporte de los materiales que conforman su perímetro mojado, el cual puede ser definido como aquella porción de la sección transversal que queda en contacto con el agua. De forma general, en una cañada o río pueden tenerse dos tipos de erosión: una lateral que amplía su ancho y una vertical que produce la profundización del cauce (Suárez, 1992).

1.4.1.7.2. Relevancia en el emplazamiento

Este tipo de erosión no se observa en el emplazamiento. La pequeña superficie de la parcela hace que la escorrentía no llegue a encauzarse y que no adquiera una velocidad suficiente para que este

proceso sea relevante. Además, debido al tamaño y la configuración de la parcela, se hace imposible hablar de cauces.

I.4.2. Viento

I.4.2.1. Erosión eólica

I.4.2.1.1. Concepto

Erosión provocada por acción de los vientos dominantes que pueden arrastrar partículas de la superficie del suelo (deflacción). Resulta importante en lugares secos, con partículas libres y sin cubierta vegetal. El efecto de la erosión del viento aumenta si transporta partículas sólidas que producen un desgaste importante de las rocas y cantos (abrasión).

I.4.2.1.2. Relevancia en el emplazamiento

La situación de la parcela, en el núcleo urbano, la escasa superficie de suelo expuesto y el desarrollo vegetal en las pequeñas zonas ajardinadas hace que el viento no pueda actuar como agente erosivo de relevancia en el emplazamiento.

I.4.3. Pérdida de la biodiversidad del suelo

I.4.3.1. Concepto

La biodiversidad vegetal aumenta con la profundidad del suelo siguiendo un patrón muy singular al que se denomina "subconjuntos anidados". Los suelos más profundos tienden a poseer las mismas especies que los someros del mismo tipo más otras adicionales que enraízan a mayor profundidad. Como corolario, sus sistemas radiculares acceden a otros ambientes edáficos (distintos contenidos de oxígeno, nutrientes, estructura, agregación, etc.) y, posiblemente, disfruten de una mayor disponibilidad de agua que además pueden absorber durante más tiempo. De ser cierto, la erosión de los suelos conllevaría, inherentemente, la pérdida de especies vegetales de una manera selectiva, desapareciendo probablemente las más exigentes en recursos hídricos, aunque también pueden acaecer otros tipos de situaciones. En consecuencia, los procesos de erosión darán lugar a reorganizaciones de las comunidades vegetales hacia formaciones más xerofíticas o adaptadas a la aridez. De todo ello se deduce que, una vez erosionados los suelos, la recuperación de la vegetación no dará lugar, durante siglos o milenios, a la instauración de las comunidades vegetales que precedieron a los procesos de pérdida de suelo.

I.4.3.2. Relevancia en el emplazamiento

En la parcela se considera que el suelo presente es de baja calidad y, por tanto, no presenta una biodiversidad reseñable tanto por la cantidad de especies como por su "calidad", en relación a su interés ecológico. Esto hace que el riesgo de pérdida de biodiversidad debida a la erosión sea bajo.

I.4.4. Erosión y pérdida de materia orgánica

I.4.4.1. Concepto

La erosión es un proceso que actúa de manera selectiva arrastrando las partículas más finas y más reactivas del suelo (arcilla y materia orgánica) y dejando las partículas más gruesas, pesadas y menos reactivas. De esta manera la erosión provoca una disminución de la concentración de nutrientes en el suelo degradado remanente (Stocking, 1984). La pérdida de materia orgánica también favorece la pérdida de biodiversidad de organismos del suelo (por falta de alimento) y su compactación.

I.4.4.2. Relevancia en el emplazamiento

Igual que en el caso anterior, la erosión potencial es relativamente baja dada el escaso contenido en materia orgánica de los suelos, lo que hace que el riesgo de pérdida de materia orgánica debida a la erosión sea bajo.

I.4.5. Aguas interceptadas por la obra

Intercepción o interceptación es la parte de la precipitación que es interceptada por objetos superficiales como la cubierta vegetal o los tejados, en general, parte de esta agua interceptada nunca alcanza al suelo porque se adhiere y humedece estos objetos y se evapora. Por ello, es la componente del ciclo hidrológico más difícil de medir teniendo en cuenta que, en períodos largos, el agua interceptada se evapora o discurre por el dosel vegetal llegando a infiltrarse incrementado la reserva del agua del suelo. Además, dependerá del tipo de vegetación, es decir del tamaño de la hoja, densidad de la vegetación, de la velocidad del viento, intensidad y duración del aguacero, etc.

El objetivo de este epígrafe es evaluar las aguas interceptadas por la obra en su estado final. Para ello, se analiza la situación final de la cuenca hidrográfica de la parcela y se calcula el volumen de precipitación que será sustraído de la cuenca natural (no se infiltra en el terreno) al ejecutarse el proyecto.

Al no existir un proyecto definitivo, no se ha podido realizar este análisis en el presente documento. No obstante, dada la urbanización de toda el área circundante, no se espera que los sedimentos puedan llegar a los cauces naturales.

I.4.6. Tasas de producción de sedimentos (RUSLE)

I.4.6.1. Fuentes de información

Las tasas de producción de sedimentos se han obtenido a partir de la base de datos *Soil erosion by water (RUSLE2015)* del Centro Europeo De Datos Del Suelo (ESDAC, 2015 y Panagos *et al.*, 2012). Este mapa usa como modelo la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo Revisada (RUSLE por sus siglas en inglés) para la estimación de las tasas de emisión de sedimentos. La RUSLE predice la erosión anual

a largo plazo, y la media anual, causada por el agua para una amplia gama de situaciones: agricultura, conservación, explotación minera, de construcción, y silvicultura.

Además, se ha utilizado el software RUSLE 1.06c para estimar con más detalle las tasas de erosión de la parcela atendiendo a sus características concretas. La Ecuación Universal Revisada de Pérdida de Suelos (Revisad Universal Soil Loss Equation - RUSLE), (Renard et.al., 1991), utiliza seis factores: erosividad de la lluvia (R), susceptibilidad de erosión del suelo (K), largo de la pendiente (L), magnitud de la pendiente (S), cubierta y manejo de cultivos y residuos (C), y prácticas de conservación (P), para estimar la pérdida de suelos promedio (A), siguiendo la fórmula:

$$A=R \times K \times LS \times C \times P$$

1.4.6.2. Descripción y análisis

El mapa del ESDAC refleja, para la zona cartografiada cercana al emplazamiento, una erosión de entre 25 y 50 tn/ha/año. Tras la aplicación del modelo RUSLE 1.06c a las condiciones existentes, estimadas a partir de los datos recogidos en la visita de campo (ver epígrafe II.1 del documento Informe Ecológico) y en los datos de clima, suelo y topografía (en los epígrafes I.2.1, I.2.2 y I.2.4) del presente documento), se ha obtenido un valor máximo de **44,55 tn/ha/año**, similar a los valores arrojados por el mapa del ESDAC para la parcela. Los factores estimados para la zona son los recogidos en la Tabla I.2).

Tabla I.2. Factores y tasa de erosión obtenidas en el modelo Rusle 1.06c con los datos de la parcela.

Factor	R	K	LS	C	P	A (tn/acr/año)	A (tn/ha/año)
Talud	76,12	0,13	3,37	0,53	1,000	18	44,55

R: Erosividad de la lluvia/escorrentía. Capacidad potencial de la lluvia/escorrentía para provocar erosión (tn/acre/pulgadas de lluvia).

K: Erodibilidad del suelo. Vulnerabilidad del suelo a la erosión determinada considerando exclusivamente factores intrínsecos o inherentes al propio suelo (pulgadas).

LS.: Factor topográfico, longitud y pendiente de la ladera (adimensional).

C: Cobertura vegetal y manejo del suelo (adimensional).

P: Prácticas de conservación o mantenimiento (adimensional).

A: Pérdida media de suelo anual (tn/acre/año o tn/ha/año).

Factor R.- Obtenido del *Mapa de erosividades* del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 1996).

Factor K.- Estimado mediante el programa RUSLE 1.06 con aproximación de los datos texturales y de permeabilidad del suelo y contrastado con el *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012. Comunidad Valenciana. Madrid. 2002. Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente* (MAPAMA, 2003).

Factor LS.- Estimado mediante las mediciones de la parcela.

Factor C.- En este caso se ha empleado el valor más desfavorable para suelos con vegetación anual.

Factor P.- En este caso se ha tomado el valor máximo, para estimar el peor de los escenarios, en el que no se emplearan medidas de protección del suelo.

Estos datos arrojan unas tasas de erosión dentro del cuarto grupo de erosión (25-50 tn/ha.año) de los 7 grupos establecido en los mapas del Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2004). Estas tasas están por encima de los valores establecidos en la cartografía del INES para la parcela de estudio, pero dentro del rango de erosión potencial.

I.4.7. Tasas de producción de sedimentos por erosión eólica

I.4.7.1. Fuentes de información

Las tasas de producción de sedimentos por acción eólica se han obtenido a partir de la ecuación desarrollada por Woodruff y Siddoway (1985) y Skidmore y Williams (1991), que permite obtener las pérdidas de suelo en función de cinco factores:

$$WE = f (I,C,K,L,V)$$

Donde:

- WE Pérdidas de suelo por acción del viento (tn/ha.año).
- I Factor de erodibilidad del suelo (tn/ha).
- C Factor climático (adimensional).
- K Factor de rugosidad superficial (adimensional).
- L Longitud de campo abierto a la corriente de aire (m).
- V Factor de cobertura vegetal (kg/ha).

I.4.7.2. Descripción y análisis

La ecuación de Woodruff y Siddoway (1985) y Skidmore y Williams (1991) permite interacciones entre factores y, por ese motivo, no puede resolverse multiplicando el valor de los diferentes factores. En la práctica se suele evaluar el grado de erodibilidad conforme la siguiente tabla (Tabla I.3) desarrollada por Woodruff y Skidmore:

Tabla I.3. Factor de erodibilidad eólica del suelo I.

Grupos de erodibilidad		% Agregados en suelos secos (> 0.84 mm)	Factor I (tn/ha)	Erodibilidad
1	Arenas muy finas, finas y medianas; arenas de dunas.	1-7	765,7-395,2	Alta
2	Arenosos francos; arenosos finos francos.	10	330,96	Alta

Grupos de erodibilidad		% Agregados en suelos secos (> 0.84 mm)	Factor I (tn/ha)	Erodibilidad
3	Francos arenosos muy finos; francos arenosos finos; francos arenosos.	25	212,4	Media
4	Arcillosos; arcillosos limosos; francos arcillosos no calcáreos; francos limosos arcillosos (con >35% de arcilla).	25	212,4	Media
5	Limos francos calcáreos, francos limosos; francos arcillosos no calcáreos y francos limosos arcillosos (con <35% de arcilla).	25	212,4	Media
6	Francos no calcáreos y francos limosos con <20% de arcilla; francos arcillosos arenosos; arcillosos arenosos.	40	138,3	Baja
7	Francos no calcáreos y francos limosos con >20% de arcilla; francos arcillosos no calcáreos con <35% de arcilla.	45	118,6	Baja
8	Limosos, francos arcillosos limosos no calcáreos con <35% de arcilla.	50	93,8	Baja
9	Suelos muy húmedos o rocosos, normalmente no erosionables.	-	-	Baja

El tipo de suelo del emplazamiento se localiza dentro del grupos 8 de erodibilidad, suelos arenosos limosos y arcillosos. Por lo tanto, se prevé una erodibilidad baja debida al viento. En el Inventario Nacional de Erosión de Suelos (INES) del Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA, 2004), se sitúa a la parcela en una zona de riesgo bajo de erosión eólica.

I.4.8. Áreas sensibles a proteger

A partir de la información y análisis recogidos en los apartados anteriores, se han determinado las zonas especialmente sensibles a la ocurrencia de procesos erosivos antes, durante y al finalizar el proceso constructivo. Se han diferenciado en dos tipos de áreas: las áreas que ocasionarían procesos erosivos en el interior de la parcela y/o cuyos procesos erosivos afectan al interior de la parcela (*on-site effects*); y las áreas cuyos procesos erosivos afectarían aguas afuera de la parcela y/o provocarían efectos erosivos en el exterior de la parcela (*off-site effects*).

Antes del inicio de las obras todo el emplazamiento será un área *off-site effects* (cuencas exorreicas). Una vez iniciadas las obras, toda la parcela seguirá siendo un área *off-site effects*, por la posible exportación de sedimentos fuera de la parcela ocasionado por la pendiente de la misma hacia la parte inferior de la parcela y por el tránsito de vehículos y maquinaria, si no se adoptan las medidas oportunas para evitarlo.

1.4.8.1. Áreas off-site effects

En el momento actual, el área de la parcela que pertenece al campus tiene carácter exorreico, por lo que, potencialmente, emite sedimentos aguas afuera de la parcela.

Una vez se inicien las obras, la entrada y salida de maquinaria del emplazamiento podrá producir exportación de sedimentos procedentes del interior de las parcelas al exterior, a la vía pública. Además, si se realiza acopio de materiales en los márgenes del emplazamiento o de la zona de obras, estos sí podrán emitir sedimentos aguas afuera de las parcelas.

Además, se podrán producir procesos de erosión remontante en los taludes que lindan con la zona de la parcela del campus ajardinada debido al desnivel originado. Estos procesos pueden erosionar esta zona de la parcela en gran medida, hasta alcanzar el nivel de base del fondo del hueco, lo que originará una pérdida de suelo en dicha zona ajardinada.

También deberán tenerse en cuenta los drenajes y alcantarillado, que podrían ser áreas afectadas por la emisión de sedimentos.

Las medidas propuestas (epígrafe II) estarán diseñadas tanto para prevenir los procesos erosivos dentro y fuera del emplazamiento, así como para evitar la salida de los posibles sedimentos aguas afuera de la parcela, evitando los *off-site effects*.

1.4.8.2. Áreas on-site effects

Durante todo el proceso constructivo las áreas que cambien su topografía lo harán, previsiblemente, de forma que se creen zonas endorreicas (apertura del hueco), por lo que no se plantean efectos negativos a nivel ecológico. Además, las medidas propuestas (epígrafe II) también estarán diseñadas para prevenir los procesos erosivos dentro del emplazamiento, evitando los *on-site effects*, que pueden ocasionar pérdida de suelo por erosión hídrica y dificultar las tareas de construcción.

Los procesos de erosión remontante citados anteriormente también pueden afectar dentro de la parcela, ya que toda la erosión producida en los taludes se verterá dentro del hueco.

I.5. RIESGO DE EROSIÓN

Por todo lo citado anteriormente, el riesgo de erosión se ha clasificado como zona de riesgo de erosión moderada (10-50 tn/ha año), siguiendo la clasificación de referencia establecida por la FAO, PNUMA y UNESCO como niveles de erosión hídrica (Tabla I.4) en su Metodología Provisional para la Evaluación de la Degradación de Suelos (1980).

Tabla I.4. Clasificación de FAO – PNUMA – UNESCO.

Pérdidas de Suelo (t/ha.año)	Grado de Erosión Hídrica
< 10	Ninguna o ligera
10 – 50	Moderada
50 – 200	Alta
> 200	Muy alta

Las características actuales de la parcela hacen que parte de la erosión generada se exporte aguas afuera de la zona del emplazamiento perteneciente al campus universitario. No obstante, dada la urbanización de toda el área circundante, en ningún caso se espera que los sedimentos generados alcancen cursos de agua o hábitats naturales. Durante el periodo constructivo y en la fase de post construcción, con la aplicación de las medidas de drenaje de la edificación, de las medidas de mitigación establecidas y del recubrimiento vegetal y solado de la parcela, no se prevé ninguna emisión de sedimentos.

II. BUENAS PRÁCTICAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y SEDIMENTO

A continuación, se describen las medidas para la minimización del área perturbada y protección de las características naturales y del suelo antes, durante y después de los trabajos de construcción; junto con las condiciones de aplicabilidad para la implementación de estas medidas.

Para la redacción de estas medidas se ha realizado una revisión bibliográfica de los manuales y documentación científica sobre esta materia, además de la experiencia previa del equipo redactor del presente informe. Las principales fuentes de información han sido: *Silt Fences: An Economical Technique for Measuring Hillslope Soil Erosion* (Robichaud, 2002), *Guía de Campo para el Control de la Erosión y Sedimentación en Áreas de Construcción en Alabama* (ASWCC, 2004), *Manual de restauración de minas a cielo abierto* (ANEFA, 2006) y *Plan de Restauración del Espacio Natural (PREN) de la mina "El Machorro" en el Parque Natural del Alto Tajo (Guadalajara)* (Sánchez et al., 2011).

II.1. CONSIDERACIONES GENERALES

Antes de pasar a las medidas concretas, que se desarrollarán a continuación, se deben tener en cuenta una serie de recomendaciones generales para el control de la erosión y la minimización de producción de sedimentos:

- Prestar especial atención a las zonas sensibles que producen efectos en el exterior del emplazamiento (*off-site effects*).
- Minimizar el área de suelo perturbado. Mantener en el emplazamiento la vegetación existente hasta que no sea necesario quitarla. Esto protegerá el suelo el máximo de tiempo posible.
- Disminuir los periodos de construcción para reducir al máximo el tiempo de exposición del suelo desnudo.
- Planificar las tareas constructivas en secuencia para minimizar el tiempo de construcción, durante el cual los suelos son más vulnerables a la erosión.
- Utilizar medidas de control para reducir la emisión de sedimentos aguas afuera de la parcela.
- Debe minimizarse la realización de zanjas de obra, especialmente en las zonas donde se concentren flujos importantes de agua. Si es imprescindible su realización, esta deberá de iniciarse en momentos en los que no existan previsiones de lluvias intensas. Siempre que sea posible, se debe limitar el tiempo de apertura a un máximo de cinco días. Las tierras extraídas deben depositarse aguas arriba de la zanja abierta y es preciso desviar el flujo de agua de modo que discurra fuera de la zona en la que está ubicada la zanja. Es conveniente rellenar la zanja con la tierra extraída. A continuación, ésta debe compactarse y, posteriormente, es necesario restablecer la vegetación lo antes posible si es el caso.

- Establecer medidas para la retención de sedimentos de las aguas de escorrentía de forma que estas salgan a la red limpias (libres de materiales en suspensión o carga de fondo).
- Establecer las zonas de acopio de materiales en áreas en las que se minimicen los procesos erosivos.
- Ha de estar definido y claramente identificado los puntos de entrada y salida al solar en construcción. Si es necesario, se debe suministrar un plano que refleje los puntos de acceso y los lugares indicados para la recepción y apilamiento de materiales. Deben evitarse los caminos de entrada en pendiente e inestables.
- Mantenimiento de las medidas establecidas para asegurar la efectividad de las mismas.

II.2. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO ANTES DEL PROCESO CONSTRUCTIVO

Antes del inicio de las tareas de construcción se implementarán medidas para evitar el deterioro del suelo y así evitar la producción y emisión de sedimentos.

Recordemos que, a efectos del presente informe, se considera periodo constructivo a partir de la apertura del hueco de cimentación y el periodo post construcción comenzará en el momento en el que se impermeabilice la superficie del emplazamiento y no funcione como balsa de retención de la escorrentía (aunque no se hayan finalizado las obras).

II.2.1. Mantenimiento del muro y pavimento existente

Se mantendrá el muro perimetral y el pavimento existente hasta que sea imprescindible su retirada por el comienzo de las labores de movimientos de tierras.

El mantenimiento del vallado y el pavimento evita la producción y salida de sedimentos debidas a la pérdida de suelo antes y durante el periodo constructivo.

II.2.2. Mantenimiento de la vegetación existente

Se mantendrá la vegetación existente, evitando labores de desbroce o similares, en el área de obras hasta que sea imprescindible su retirada por el comienzo de las labores de excavación del hueco de cimentación.

El mantenimiento de la cubierta vegetal protege al suelo de todo tipo de agentes erosivos (agua, viento), evitando la pérdida de suelo antes y durante el periodo constructivo

II.3. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO DURANTE EL PROCESO CONSTRUCTIVO

II.3.1. Instalación de trampas de retención de sedimentos (*sediment fences*)

Los *sediment fences* son barreras permeables que permiten el paso del agua a la vez que retienen los sedimentos, se definen como "Barrera de geotextil sintético poroso sujeto a barras verticales clavadas en el suelo. El sedimento arrastrado queda retenido, mientras que las características del geotextil permiten que el agua se escape poco a poco" (Robichaud, 2002).

Se debe habilitar espacio para colocar una barrera o valla de control de sedimentos a lo largo de los límites topográficamente inferiores de la zona de obras, es decir, en aquellas zonas del emplazamiento que sean topográficamente más elevadas que las zonas aledañas exteriores al mismo y puedan emitir sedimentos al exterior.

Actualmente todo el perímetro de la parcela de las antiguas escuelas (a excepción de una pequeña zona en el paso de esta parcela al recinto universitario, entre las canchas y el edificio de las escuelas) están perimetradas por un muro impermeable, por lo que no emiten sedimentos al exterior. Actualmente, solo las áreas de la zona de obras que lindan con la zona del recinto universitario que no será objeto de las obras deberán ser protegidas.

No obstante, esta medida deberá implementarse en otras zonas cuyas superficies estén topográficamente por encima de las zonas exteriores de la zona de obras (por ejemplo, si se elimina el muro perimetral y quedan superficies de suelo desnudo que puedan emitir al exterior). Además, deberá tenerse en cuenta esta medida durante la fase de obra por si se diesen condiciones exorreicas por elevación de la cota del suelo o por la creación de acopios temporales de materiales.

Por tanto, esta medida solo deberá implementarse en los casos en los que exista suelo desnudo susceptible de emitir sedimentos fuera de la zona de obras. Las superficies que cumplan esta condición pueden cambiar a lo largo de la vida de la obra.

También deben tomarse las medidas que permitan asegurar que los cúmulos de tierra queden retenidos dentro de la barrera de control de sedimentos y de que el material sobrante sea retirado al finalizar los trabajos. La acumulación de materiales debe limitarse a aquellas cantidades que sean estrictamente necesarias para la ejecución de los trabajos en curso.

Instalación de las barreras (Figura II.1 y Figura II.2):

- Las barreras se construyen con un geotextil poroso que puede adquirirse en tiendas de construcción y jardinería.
- Las barreras deben colocarse perpendiculares a la dirección de flujo de la escorrentía.

- Los extremos se curvan hacia arriba para crear un almacenamiento temporal y evitar que los sedimentos y escorrentía se escapen.
- Se excava una zanja de 15-20 cm de profundidad a lo largo del contorno del área vertiente. El material excavado se coloca al lado, aguas abajo de la zanja para uso posterior en el relleno.
- Se extiende el geotextil en la parte aguas arriba de la zanja y se introduce el sobrante en la misma, tapándolo posteriormente con la tierra excavada en el paso anterior y compactándola.
- Clavar las estacas a unos 15-30 cm aguas abajo de la zanja y amarrar el geotextil a las mismas, pegado al suelo compactado, para formar una bolsa de retención de sedimentos.
- Las estacas deben enterrarse un mínimo de 30 cm y a con una separación de entre 1 y 1,5 metros.
- El geotextil puede sujetarse a las estacas mediante grapas, alambre, bridas o clavos con arandelas. Todos ellos se colocarán de forma que se evite o minimice el posterior desgarro del geotextil.

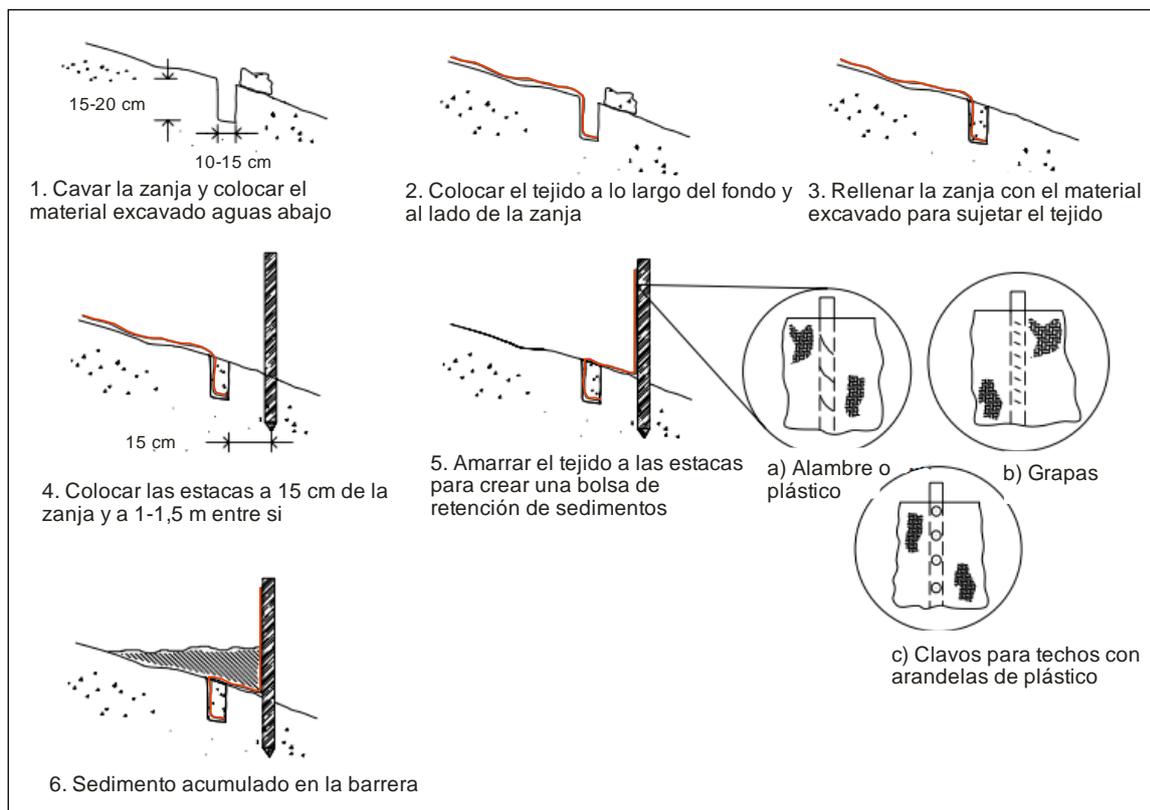


Figura II.1. Procedimiento de instalación de las barreras de para retención de sedimentos (sediment fences). Adaptado de Robichaud, 2002. En rojo el tejido geotextil.



Figura II.2. Trampas de retención de sedimentos, sediment fences, instaladas en una obra de construcción de viviendas.

II.3.2. Instalación de un sistema de lavado de ruedas y bajos de los vehículos

En la entrada/salida de obra se ubicarán sistemas de lavado de ruedas que permitan la eliminación de los residuos adheridos a las ruedas y bajos de los vehículos, con el objetivo de evitar la salida de sedimentos desde la obra al viario público. Si no pudiese instalarse este sistema se deberá implementar otra medida que impida la salida de sedimentos de la parcela debido al tránsito de vehículos y/o maquinaria, como una **rampa de gravas o lavado manual**.

Este sistema deberá tener las siguientes características (adaptado del *Plan de prevención de escorrentías del Centro Internacional de la ciudad de Vitoria – Gasteiz*, Ensanche 21 Zalgunea, 2010):

- Estar dotado de un depósito de agua reciclable y un sistema de conducciones que conduzcan el agua a presión.
- Poder ser utilizado por todos los vehículos de la obra.
- Los lodos que se produzcan en el lavado deben ser accesibles y eliminados de forma periódica.
- Disponer de un dispositivo de concentración de las grasas y aceites, para que puedan ser gestionados de forma independiente como residuos peligrosos.
- Deberán tener un tamaño suficiente para permitir el paso de cualquier vehículo o maquinaria a la obra.
- No debe ser eludible por los vehículos de menor tamaño; todos los vehículos y maquinaria deben pasar por el lavadero de ruedas.
- Debe contar con dispositivos para evacuación del agua si fuese necesario.

II.3.3. Control del polvo

Se aplicará durante todo el proceso constructivo en el que haya suelo desnudo susceptible de sufrir erosión eólica.

Esta medida cobra especial importancia durante el tránsito de camiones, ya que los neumáticos de estos vehículos pulverizan los materiales más gruesos del sustrato convirtiéndolos en materiales muy finos altamente erosionables por la acción del viento.

Medidas:

- Planificación de la construcción de modo que las áreas perturbadas sean las menores posibles en cada momento.
- Mantener, en la medida de lo posible, la vegetación existente que actuará como amortiguadora de la erosión eólica.
- Riego periódico (siempre que sea necesario) de las zonas alteradas y sin vegetación, sobre todo en aquellas en las que transite la maquinaria.
- Instalar barreras perpendiculares a la dirección preferente del viento. La longitud de suelo protegido por estas barreras puede ser hasta 15 veces la altura de las mismas.
- Los materiales de menor tamaño deben recogerse en recipientes o, si están apilados, deben estar protegidos de la acción del viento y de la lluvia por medio de una cubierta de plástico o geotextil adecuada. Deben preverse recipientes separados para los materiales susceptibles de reciclado.

Mantenimiento:

- Inspeccionar el área para asegurar el funcionamiento de las medidas.
- Replicar las medidas las veces necesarias para mantener el nivel de control adecuado.

II.3.4. Protección de imbornales

Los imbornales situados fuera de la parcela, en el viario público, y que puedan verse afectados por los sedimentos procedentes de la obra deberán protegerse con filtros que permitan el paso del agua y retengan los sedimentos que pudieran salir del emplazamiento.

Los filtros para imbornales deben tener las siguientes características mínimas para que su uso sea funcional. El concepto es sencillo, tratándose de un marco metálico de sujeción y una bolsa filtrante de las aguas pluviales o procedentes de la obra, la cual quedará suspendida dentro del sumidero, a una distancia lo suficientemente grande como para servir de baipás en el caso de caudales superiores a los del diseño o si la bolsa se encuentra saturada.

La malla será de geotextil o rígida y tendrá un poro adecuado para para retener los sólidos arrastrados por el agua y dejará pasar fácilmente a esta agua teniendo una resistencia suficiente para que perdure en el tiempo y pueda soportar el peso de los residuos almacenados en ella. Ejemplos de este tipo de filtros son los mostrados en la Figura II.3 y Figura II.4:



Figura II.3. Ejemplo de estructura para protección de imbornales. Fuente: Drenatura flexiform.



Figura II.4. Diseño conceptual de filtro para imbornales. Fuente: TFM Marco Solaro Menendez.

Mantenimiento:

- Revisar y reparar las protecciones después de cada evento de lluvia.
- Retirar los sedimentos de la balsa cuando su capacidad de almacenamiento se haya reducido al 50%.
- Eliminar las medidas de protección una vez que no sean necesarias.

II.3.5. Protección para entradas de desagües en zonas no pavimentadas

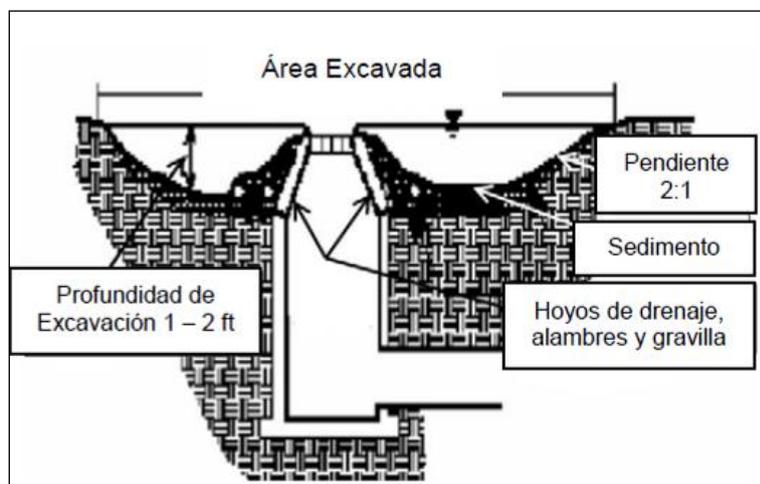
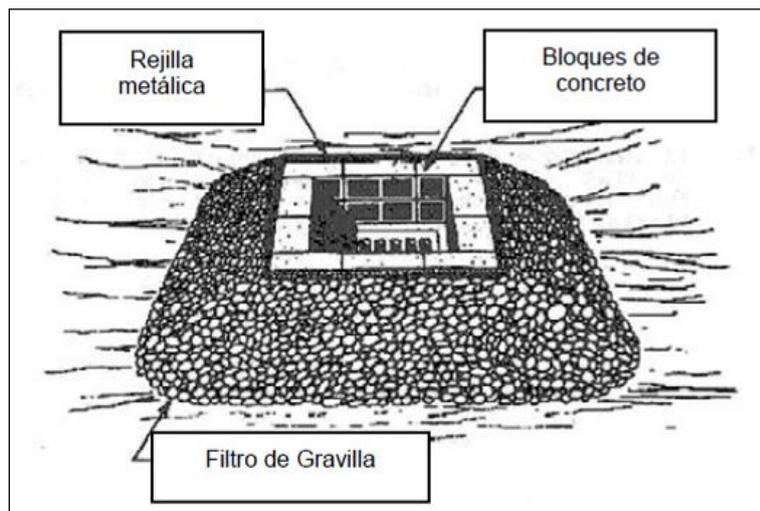
Se construirá en los desagües del emplazamiento, en el caso de que esté prevista su construcción, una pequeña balsa de retención alrededor de la entrada de estos para almacenar temporalmente las aguas de escorrentía. Esto permitirá la decantación de los sedimentos en suspensión minimizando

así la entrada de estos a la red de alcantarillado durante la construcción. Se proponen tres ejemplos de metodologías para la protección de las entradas:

- Protección usando bloque y gravilla (Figura II.5.a).
- Protección de estructura de desagüe excavada (Figura II.5.b).
- Tela para la protección de la entrada del desagüe (Figura II.5.c).

Instalación:

- La máxima cuenca vertiente para cada práctica de protección no debe ser superior a 4000 m² y su pendiente de entrada no debe ser mayor al 1%.
- Dimensionar el área de almacenamiento según el volumen calculado para cada cuenca vertiente en el momento de la construcción de la protección.
- Asegurar que las aguas de escorrentía pasen sobre las protecciones antes de llegar al desagüe, evitando posibles desviaciones del flujo de agua.



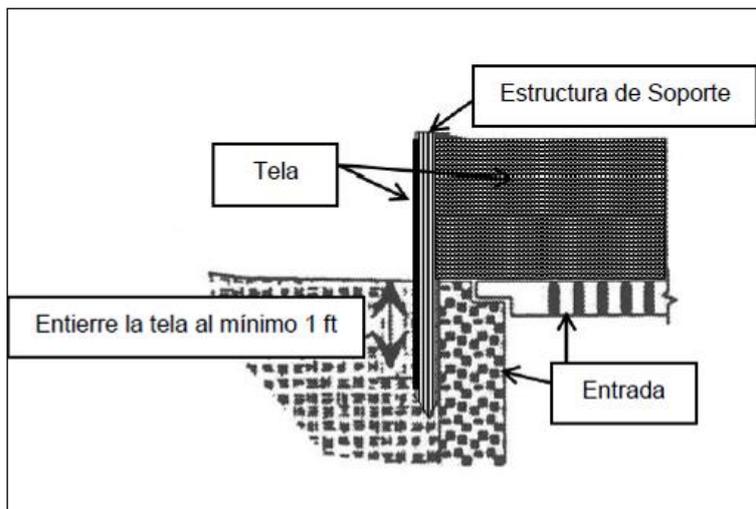


Figura II.5. a) Protección usando bloque y gravilla. b) Protección de estructura de desagüe excavada. c) Tela para la protección de la entrada del desagüe. Tomado de ASWCC, 2004.

Mantenimiento:

- Revisar y reparar las protecciones después de cada evento de lluvia.
- Retirar los sedimentos de la balsa cuando su capacidad de almacenamiento se haya reducido al 50%.
- Eliminar las medidas de protección una vez que no sean necesarias.

II.3.6. Zanjas de obra

Debe evitarse realizar zanjas de obra en las zonas donde se concentren flujos importantes de agua, así como iniciar su construcción en momentos en los que existan previsiones de lluvias intensas. Siempre que sea posible se debe limitar el tiempo de apertura a un máximo de tres días.

Las tierras extraídas deben depositarse aguas arriba de la zanja abierta y es preciso desviar el flujo de agua de modo que discurra fuera de la zona en la que está ubicada la zanja. Es conveniente rellenar la zanja con la tierra extraída. Ésta se debe compactar posteriormente y, posteriormente, es necesario restablecer la vegetación lo antes posible.

II.3.7. Gestión adecuada de los taludes del hueco de obra

Una vez que se inicien las tareas de excavación, uno de los elementos más sensibles a los procesos erosivos serán los taludes del hueco de obra. Estos taludes, además de tener una elevada pendiente, crean un salto en el perfil del suelo que puede desencadenar procesos de erosión remontante cuando se genera escorrentía después de los eventos de precipitación.

Para evitar que se desencadenen estos procesos erosivos se deberán planificar los trabajos de forma que se evite, en la medida de lo posible, la excavación en los periodos de precipitaciones.

Además, una vez que se inicie la excavación, se deberá minimizar el tiempo de exposición de los taludes, de forma que éstos se consoliden en el menor tiempo posible para evitar la pérdida de suelos de las zonas adyacentes.

II.4. MEDIDAS PARA EL CONTROL DE LA EROSIÓN Y EL SEDIMENTO EN LA FASE DE POST-CONSTRUCCIÓN

Dadas las características de la construcción, tan solo las zonas ajardinadas comunes serán susceptibles de sufrir procesos erosivos. Por ello, las medidas de control de la erosión en la fase de post-construcción se reducen a:

- Utilización de mallas orgánicas biodegradables en las zonas ajardinadas con pendiente. Se recomienda instalar malla de coco en aquellas zonas ajardinadas donde la pendiente sea $>5\%$. En el caso de utilización de tepes estos se consideran como elemento de protección del suelo equiparable a las mallas. Tanto las mallas como los tepes deberán colocarse inmediatamente después a la finalización del perfilado del terreno para minimizar el tiempo de exposición del suelo desnudo.
- Se diseñará el relieve de estas zonas de tal manera que las aguas de escorrentía viertan hacia zonas de drenaje.
- En las zonas con pendiente $<5\%$ se establecerá una cobertura vegetal permanente y debidamente mantenida o un acolchado o *mulch* protegiendo al suelo y reduciendo al mínimo los procesos erosivos.

III. PLAN DE SEGUIMIENTO DE LAS MEDIDAS DE CONTROL DE LA EROSIÓN

Las medidas para el control de la erosión y el sedimento descritas en los epígrafes II.2, II.3 y II.4 serán inspeccionadas y mantenidas de acuerdo al presente Plan de Seguimiento, que abarcará desde justo antes del inicio del proceso constructivo (para las medidas del epígrafe II.2), todo el proceso constructivo (para las medidas del epígrafe II.3) y, al menos, los 5 primeros años desde la finalización del proyecto (para las medidas del epígrafe II.4).

III.1. INSPECCIÓN

Se realizarán inspecciones periódicas con una frecuencia adecuada a las necesidades de la obra. La periodicidad de las inspecciones se podrá establecer de forma mensual en los siguientes casos (aumentándose la periodicidad de las inspecciones si no se dan las siguientes condiciones):

- Toda la parcela esta temporalmente estabilizada.
- No hay escorrentía dadas las condiciones estacionales (sequías estivales y/o invernales propias del clima mediterráneo).
- Las inspecciones las realizará la Dirección de Obra o la Dirección Facultativa, u otro personal designado para ello. El personal designado habrá de tener conocimiento de las medidas de control de la erosión y la sedimentación y capacidad para asesorar en la obra sobre medidas y prácticas para evitar los impactos asociados a fenómenos tormentosos. Las inspecciones cumplirán las siguientes especificaciones:
 - Incluirán todas las áreas perturbadas por las actividades de construcción, así como las áreas destinadas al almacenaje de materiales y residuos al aire libre.
 - Se buscarán evidencias de contaminación por sedimentos en los sistemas de protección y transporte de agua de escorrentía.
 - Se revisarán las medidas definidas en el Plan para asegurar su correcto funcionamiento.
 - Se inspeccionarán los puntos de descarga para asegurar que no hay impactos aguas abajo de la obra.
 - Se inspeccionará que la entrada y salida de camiones no transporte sedimentos fuera de la parcela.
 - Para cada inspección realizada se deberá rellenar el formulario (se adjunta como tabla III.1), que se deberá conservar firmado hasta la finalización del proyecto y la obtención de la certificación BREEAM.

El personal designado para la inspección deberá facilitar en cada visita:

- Imágenes fotográficas del estado de todas las medidas.
- Fechas de trabajos.
- Fechas de inicio de las medidas implementadas y duración.
- Fechas en que cese de forma temporal o permanente alguna parte de la obra.

III.2. UMBRALES

Ante la constatación de procesos de erosión hídrica de cualquier tipo, el umbral máximo tolerable, por encima del cual se deberán implementar medidas de control, será el establecido en la clase 3 según la escala de "de Belle" (de Belle, 1971).

Según la siguiente escala (de Belle, 1971), considera que la abundancia y la profundidad de los regueros y cárcavas de los taludes son indicadores de procesos erosivos no sostenibles con el correcto desarrollo del suelo:

- Clase 1. Erosión laminar; diminutos reguerillos ocasionalmente presentes.
- Clase 2. Erosión en reguerillos de hasta 15 cm de profundidad.
- Clase 3. Erosión inicial en regueros. Numerosos regueros de 15 a 30 cm de profundidad.
- Clase 4. Marcada erosión en regueros; numerosos regueros de 30 a 60 cm de profundidad.
- Clase 5. Erosión avanzada; regueros o surcos de más de 60 cm de profundidad.

III.3. MANTENIMIENTO

Todas las medidas implementadas para el control de la erosión y la sedimentación, así como cualquier otra medida protectora, deben mantenerse en condiciones operativas. Si las inspecciones que se realicen *in situ* identifican alguna medida como no efectiva o con problemas de funcionamiento, se deberán realizar las tareas de mantenimiento que se consideren necesarias tan pronto como sea posible y siempre antes del siguiente evento de precipitación. Además, se establecen las siguientes directrices de mantenimiento:

- Todas las medidas de control deben ser mantenidas correctamente. Si se detecta algún fallo en su funcionamiento el operador las deberá sustituir tan pronto como sea posible.
- Los sedimentos de los *sediment fences* y estructuras de retención deberán ser eliminados cuando su capacidad haya disminuido un 50%.
- Si los sedimentos salen de la parcela, las acumulaciones originadas fuera deben limpiarse con la frecuencia suficiente para minimizar los impactos externos.

- Los residuos, los escombros y los productos químicos, si están expuestos a la lluvia, se deben situar dentro de contenedores o utilizar otros métodos que la Dirección de Obra o la Dirección Facultativa considere oportunos para evitar que contaminen las aguas de lluvia.
- Las medidas de estabilización, en caso de detectarse procesos erosivos por encima de categoría 3 o superior en la escala de "de Belle", se deberán implementar tan pronto como sean practicables en las zonas de terreno en las que las actividades de construcción cesen, ya sea temporal o permanentemente. Deberán empezar a implementarse en los 14 días siguientes al cese de las obras.

III.4. MODIFICACIONES DEL PLAN

El Plan, incluyendo los planos, deberá ser modificado bajo las siguientes circunstancias:

- Cada vez que haya un cambio en el diseño, la construcción, la operación o el mantenimiento de la obra que pueda afectar a la descarga de contaminantes a las aguas.
- Si durante las inspecciones, o en cualquier otro momento, se determina que el Plan o alguna de las medidas es inefectiva o innecesaria.
- Si, a partir de las inspecciones, se determina que son necesarias medidas adicionales para corregir problemas identificados.
- Las revisiones del Plan se deberán incluir en los 7 días siguientes a la inspección y su implementación debe realizarse con la mayor brevedad posible y antes de la siguiente tormenta.

Tabla III.1 Ficha de inspección a rellenar por el personal designado.

Fecha inspección		Inspector	Nombre	
			Cargo	
Clima día inspección	<input type="checkbox"/> Sol <input type="checkbox"/> Lluvia moderada <input type="checkbox"/> Lluvia torrencial			
¿Hay sedimentos y/o contaminantes en algún punto de la parcela?		En caso afirmativo especificar ¿Dónde?		
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No				
Las medidas de control de la erosión ¿Necesitan mantenimiento?		En caso afirmativo especificar ¿Cuál/es?		
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No				
Las medidas de control de la erosión ¿Funcionan correctamente?		En caso negativo especificar ¿Cuál/es?		
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No				
¿Se han observado indicios de procesos erosivos (regueros, cárcavas...?)		En caso afirmativo especificar ¿Cuánta profundidad tienen los regueros?		
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No		¿Qué categoría dentro de la escala de "de Belle" supone?		
		<input type="checkbox"/> 1 (diminutos) <input type="checkbox"/> 2 (<15cm.) <input type="checkbox"/> 3 (15-30cm.)	<input type="checkbox"/> 4 (30-60cm.) <input type="checkbox"/> 5 (>60cm.)	
¿Se necesitan medidas adicionales para el control de la erosión y la sedimentación?		En caso afirmativo especificar ¿Cuál/es y dónde?		
<input type="checkbox"/> Si <input type="checkbox"/> No				
Acciones correctivas que se consideran necesarias o cualquier otro comentario relacionado				
				Firma

IV. APÉNDICES

IV.1. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANEFA, 2006. *Manual de Restauración de Minas a Cielo Abierto*. Edita: Gobierno de La Rioja. Consejería de Turismo, Medio Ambiente y Política Territorial. Dirección General de Política Territorial. Realizado por: Asociación Nacional de Empresarios de Fabricantes de Áridos (ANEFA).
- ASWCC. 2004. *Guía de Campo para el Control de la Erosión y Sedimentación en Áreas de Construcción en Alabama*. Comité para la Conservación de Agua y Suelos de Alabama (ASWCC, por sus siglas en inglés).
- De Belle, Gail (1971). *Roadside erosion and resource implications in Prince Edward Island: with special reference to western Prince County*. Policy Research and Coordination Branch, Dept. of Energy, Mines and Resources, Ottawa.
- Ellison, W.D. 1947. Soil Erosion. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, Madison, 12: 479-84.
- Ensanche 21 Zalgunea, 2010. *Contrato para los trabajos de desvíos, levantamientos, excavaciones, demoliciones, cimentación, saneamiento, red de tierras y estructura del centro internacional de la ciudad de Vitoria - Gasteiz. Pliego de prescripciones técnicas particulares, Anexo 1: Plan de prevención de escorrentías*. Vitoria – Gasteiz.
- European Soil Data Centre (ESDAC), esdac.jrc.ec.europa.eu, European Commission, Joint Research Centre. 2015.
- FAO. 1981. *Mapa mundial de suelos*. FAO/UNESCO.
- Geodeser. 2021. *Estudio geotécnico 01/21/1/0097. Edificio en antiguo colegio "Las anejas", Ctra. Alcañiz (Teruel)*. Geotecnia, desarrollo, servicios S.A. Teruel.
- IDAE. 2009. *Mapa eólico de Aragón*. Elaborado por Meteosim (Herramienta Truewind).
- IGME. 1983. *Mapa geológico de España a escala 1:50.000, hoja nº 567 (Teruel)*. IGME, Madrid.
- IGME. 2009. *Mapa Hidrogeológico de España continuo y en formato digital a escala 1:200.000*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.
- IGME. 2009. *Mapa de permeabilidades de España continuo y en formato digital a escala 1:100.000*. Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Madrid.
- MAPAMA, 1996. *Mapa de erosividades. Factor de erosión R*. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. Madrid.

- MAPAMA. 2003. *Inventario Nacional de Erosión de Suelos 2002-2012. Aragón. Madrid. 2002.* Dirección General de Conservación de la Naturaleza. Ministerio de Medio Ambiente. Madrid.
- MAPAMA. 2006. *Mapa de las Subcuencas de los cauces de la red hidrográfica básica (1:25.000).* Subdirección General de Planificación y Usos Sostenible del Agua (SGPYUSA). Dirección General del Agua (DGA). Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente (MAPAMA).
- Panagos P., Van Liedekerke M., Jones A., Montanarella L., "European Soil Data Centre: Response to European policy support and public data requirements"; (2012) *Land Use Policy*, 29 (2), pp. 329-338. doi:10.1016/j.landusepol.2011.07.003.
- Porta, J., López-Acevedo, M. y Roquero, C. 2003. *Edafología para la agricultura y el medio ambiente.* 3ªEd. Editorial Mundiprensa.
- Renard, K.G., Foster, G.R., Weesies, G.A. y Porter, J.P. 1991. Revised Universal Soil Loss Equation. *J. of Soil and Water Conservation* 46: 30-33.
- Rivas-Martínez, S. y Rivas-Sáenz, S. 2016. Estudio *Worldwide Bioclimatic Classification System, 1996-2016.* Centro de Investigaciones Fitosociológicas. <http://www.globalbioclimatics.org>.
- Robichaud, P.R. y Brown, P.R. 2002. *Silt fences: an economical technique for measuring hillslope erosion.* General Technical Report RMRS-GTR-94. Rocky Mountain Research Station, USDA Forest Service. Available at: www.fs.fed.us.
- Sánchez Castillo, L., Martín Duque, J.F., Nyssen González, S., Nicolau Ibarra, J.M., Bugosh, B., Zapico Alonso, I., Hernando Rodríguez, N., Sanz Santos, M.A., Martín Moreno, C. 2011. *Revisión del Plan de Restauración del Espacio Natural (PREN) de la Mina "El Machorro", del grupo minero María José (TM de Poveda de la Sierra, Guadalajara). Adenda al PREN vigente de 2005, con propuestas concretas de mejora de las zonas restauradas y en explotación y desarrollo de nuevos criterios de restauración.* Documento elaborado en el marco del contrato de investigación 267/2009 entre CAOBAR S.A. y el Dpto. de Geodinámica de la UCM (con la colaboración del Departamento de Ecología de la UAH, actualmente Departamento de Ecología de la Universidad de Zaragoza).
- Skidmore, E.L. y Williams, J.R. 1991. Modified EPIC wind erosion modal. pp. 457-469. In *Modelling Plant and Soil Systems.* Agronomy Monograph No. 31. Ameritan Society of Agronomy, Madison, Wisconsin.
- Stocking, M. 1984. *Erosion and soil productivity. A review.* Programa de conservación del suelo. AGLS, FAO. Roma.
- Suárez, D.J. 1992. *Manual de Ingeniería para el Control de Erosión.* Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.



Woodruff, N.P. y Siddoway, F.H. 1965. *A wind erosion equation*. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 29: (S): 602-608.

IV.2. ÍNDICE DE TABLAS

Tabla I.1. Frecuencias de las diferentes direcciones de los vientos a 80 m (Fuente: IDAE, 2009).	10
Tabla I.2. Factores y tasa de erosión obtenidas en el modelo Rusle 1.06c con los datos de la parcela.	20
Tabla I.3. Factor de erodibilidad eólica del suelo I.	21
Tabla I.4. Clasificación de FAO – PNUMA – UNESCO.	24
Tabla III.1 Ficha de inspección a rellenar por el personal designado.	38

IV.3. ÍNDICE DE FIGURAS

Figura I.1. Localización de la parcela estudiada. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1989.) Fuente: elaboración a partir del Mapa Topográfico Nacional a escala 1:25.000 (MTN25) de 2019 correspondiente a la hoja 0567-3.	1
Figura I.2. Climograma de la estación meteorológica de Teruel (N4021). Eje Y izquierdo: temperatura (°C), representado por la línea roja; Eje Y derecho: precipitación (mm), representado por la línea azul. Fuente: www.globalbioclimatics.org.	3
Figura I.3. Vista ampliada de la sección del emplazamiento del mapa geológico de España a escala 1:50.000, hoja 567 (Teruel). Instituto Geológico y Minero de España (IGME). 1983. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1998).	5
Figura I.4. Formaciones hidrogeológicas del entorno de la zona de estudio. (Sistema de coordenadas UTM-30N, Datum: ETRS 1989). Fuente: elaboración propia a partir del Mapa Hidrogeológico de España a Escala 1:200.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) y de la ortofoto del PNOA de máxima actualidad, correspondiente a la hoja 567.	8
Figura I.5. Mapa de permeabilidad de la zona de estudio. Fuente: elaboración propia a partir del Mapa de permeabilidades de España a Escala 1:200.000 del Instituto Geológico y Minero de España (IGME) 2009 y de la ortofoto del PNOA de máxima actualidad, correspondiente a la hoja 567.	9
Figura I.6. Mapa eólico de Aragón. Arriba: mapa de las velocidades medias anuales a 80 m de altura en Aragón. Abajo: mapa de velocidades medias estacionales a 80 m de altura en Aragón. Fuente: IDAE (2009).	11
Figura I.7. Red de drenaje actual de la parcela basada en el levantamiento topográfico realizado por Geodeser y facilitado por el cliente. En azul la red de drenaje del emplazamiento.	12
Figura I.8. Vistas de la zona ajardinada del campus universitario a la que se dirige la escorrentía procedente del área a demoler.	13
Figura II.1. Procedimiento de instalación de las barreras de para retención de sedimentos (sediment fences). Adaptado de Robichaud, 2002. En rojo el tejido geotextil.	28

Figura II.2. Trampas de retención de sedimentos, sediment fences, instaladas en una obra de construcción de viviendas.....	29
Figura II.3. Ejemplo de estructura para protección de imbornales. Fuente: Drenatura flexiform.....	31
Figura II.4. Diseño conceptual de filtro para imbornales. Fuente: TFM Marco Solaro Menendez.	31
Figura II.5. a) Protección usando bloque y gravilla. b) Protección de estructura de desagüe excavada. c) Tela para la protección de la entrada del desagüe. Tomado de ASWCC, 2004.	33