



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ETS INGENIERÍA DE CAMINOS,
CANALES Y PUERTOS

TRABAJO FIN DE MÁSTER

Estudio de viabilidad y explotación de un vertedero de residuos no peligrosos (RNP) en la provincia de Castellón

Presentado por

Maidor Idigoras Merchan

Para la obtención del

Máster Universitario en Ingeniería Ambiental

Tutor: Alberto Bouzas Blanco

Curso 2019/2020, Valencia



RESUMEN

En el presente trabajo se ha realizado el estudio de viabilidad y explotación de un vertedero de residuos no peligrosos ubicado en la provincia de Castellón, donde se tratarán los residuos industriales no peligrosos. En primer lugar, se ha realizado un inventario de los principales condicionantes de localización de vertederos contenidos en el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV), con el fin de explicar qué áreas se suprimen de las posibles ubicaciones de un vertedero y justificando que la localización seleccionada cumple con las diferentes consideraciones ambientales y geomorfológicas. Todo ello se ha realizado mediante el uso de un programa de Sistema de Información Geográfica (SIG) y bajo un análisis multicriterio.

En segundo lugar, a partir de la información anterior, se ha calculado, por un lado, capacidad del vertedero utilizando el programa de Autocad Civil 3D y por otro, la vida útil de éste. Además, se ha descrito tanto la construcción del vertedero atendiendo a los diferentes y principales criterios de diseño como la planificación de las diferentes actividades requeridas en la fase de explotación y actuación del mismo.

Finalmente, se ha obtenido tanto el presupuesto de ejecución material como el presupuesto de licitación teniendo en cuenta los gastos generales y el beneficio industrial de la obra.

Palabras clave: Vertedero, residuos industriales no peligrosos, alternativas, ubicación, medio ambiente.

ABSTRACT

In the present work, the viability study and operation of a non-dangerous waste landfill located in the province of Castellón has been carried out, where non-dangerous industrial waste will be treated. Firstly, an inventory has been made of the main factors affecting the location of landfills contained in the Integral Waste Plan of the Valencian Community (PIRCV), in order to explain why these areas are removed from the possible locations of a landfill and justifying that the selected location achieve the different environmental and geomorphological considerations. All this has been done through the use of a Geographic Information System (GIS) program and under a multi-criteria analysis.

Secondly, based on the above information, the capacity of the landfill has been calculated, on the one hand, using the Autocad Civil 3D program and, on the other hand, the useful life of the landfill. In addition, both the construction of the landfill taking into account the different and main design criteria have been described, as well as the planning of the different activities required in the operation and performance phase of the same.

Finally, both the material execution budget and the tender budget have been obtained, taking into account the general expenses and the industrial benefit of the work.

Keywords: Landfill, non-dangerous industrial waste, alternatives, location, environment.

ÍNDICE

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	LEGISLACIÓN APLICABLE	3
2.1.	LEGISLACIÓN COMUNITARIA	3
2.2.	LEGISLACIÓN ESTATAL.....	3
2.3.	LEGISLACIÓN AUTONÓMICA	4
3.	OBJETO	5
4.	METODOLOGÍA.....	6
4.1.	SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)	6
4.2.	ANÁLISIS MULTICRITERIO.....	6
4.3.	FORMATO Y PROGRAMA EMPLEADO	7
5.	DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS CONSIDERADOS.....	8
5.1.	CRITERIOS DE RESTRICCIÓN	9
5.1.1.	Pendientes del terreno.....	9
5.1.2.	Hidrología	10
5.1.3.	Espacios protegidos.....	12
5.1.4.	Terreno forestal PATFOR.....	13
5.1.5.	Núcleos urbanos.....	14
5.1.6.	Vulnerabilidad de los acuíferos	15
5.1.7.	Usos del suelo.....	16
5.1.8.	Vías pecuarias.....	17
5.1.9.	Aeropuerto	18
5.2.	ZONAS APTAS PARA EL EMPLAZAMIENTO	19
5.3.	CRITERIOS DE EVALUACIÓN	24
5.3.1.	Litología	24
5.3.2.	Vulnerabilidad de los acuíferos	25
5.3.3.	Riesgo de erosión	27

5.3.4. Precipitación anual acumulada	28
5.3.5. Riesgo de deslizamiento y desprendimiento	29
5.3.6. Carreteras.....	31
5.3.7. Ferrocarriles	33
5.3.8. Proximidad a zonas industriales de alta densidad	35
5.3.9. Proximidad a otras instalaciones de eliminación	36
5.4. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO	38
6. CAPACIDAD Y VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO	40
7. CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO	45
7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES.....	45
7.1.1. Preparación del terreno	45
7.1.2. Impermeabilización de la celda de vertido	46
7.1.3. Captación de lixiviados.....	47
7.1.4. Sistema de drenaje.....	51
7.1.5. Sistema de captación de biogás	51
7.1.6. Red de evacuación de aguas pluviales	52
7.1.7. Vial de accesos y viales de servicio	53
7.1.8. Señalización para la circulación de vehículos.....	54
7.1.9. Instalación eléctrica.....	54
7.1.10. Vallado perimetral.....	55
7.1.11. Piezómetro de control de aguas subterráneas	55
8. EXPLOTACIÓN DEL VERTEDERO	58
8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS	58
8.1.1. Pesaje de los vehículos.....	58
8.1.2. Descarga de los residuos	58
8.1.3. Extendido de los residuos	59
8.1.4. Compactación.....	59
8.1.5. Formación diaria de la celda	60



8.1.6. Cubrimiento diario de la celda	60
8.1.7. Bermas y taludes	60
9. PRESUPUESTO	62
10. CONCLUSIONES	66
11. BIBLIOGRAFÍA	67
12. ANEXOS	69

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Restricción de las pendientes. Fuente: Elaboración propia.....	10
Figura 2: Restricción hidrología: Ríos, arroyos y masas de agua. Fuente: Elaboración propia...	11
Figura 3: Espacios protegidos: Monumentos naturales, paisajes protegidos, ZEPAS, Red Natura 2000 y Zonas húmedas. Fuente: Elaboración propia.	12
Figura 4: Restricción terreno forestal. Fuente: Elaboración propia.....	13
Figura 5: Restricción núcleos urbanos. Fuente: Elaboración propia.....	14
Figura 6: Restricción vulnerabilidad de los acuíferos. Fuente: Elaboración propia.....	15
Figura 7: Restricción usos del suelo. Fuente: Elaboración propia.	16
Figura 8: Vías pecuarias. Fuente: Elaboración propia.....	17
Figura 9: Localización del aeropuerto de Castellón. Fuente: Elaboración propia.	18
Figura 10: Zonas aptas y no aptas para la ubicación del vertedero. Fuente: Elaboración propia.	21
Figura 11: Restricción riesgo geotécnico. Fuente: Elaboración propia.....	22
Figura 12: Zonas seleccionadas para el análisis. Fuente: Elaboración propia.	23
Figura 13: Litología de las diferentes zonas. Fuente: Elaboración propia.	25
Figura 14: Vulnerabilidad de los acuíferos de las distintas zonas. Fuente: Elaboración propia. 26	
Figura 15: Riesgo de erosión de las diferentes zonas. Fuente: Elaboración propia.	28
Figura 16: Precipitación acumulada en la provincia de Castellón. Fuente: Elaboración propia. 29	
Figura 17: Riesgo de deslizamiento de las distintas zonas. Fuente: Elaboración propia.....	31
Figura 18: Proximidad a las carreteras. Fuente: Elaboración propia.....	33
Figura 19: Proximidad a los ferrocarriles. Fuente: Elaboración propia.	34
Figura 20: Proximidad a las zonas industriales. Fuente: Elaboración propia.....	36
Figura 21: Proximidad a otras instalaciones de eliminación. Fuente: Elaboración propia.	37
Figura 22: Ubicación del vertedero en el municipio de Benassal. Fuente: Elaboración propia. 38	
Figura 23: Acceso al vertedero. Fuente: Elaboración propia.....	39
Figura 24: Curvas de nivel y superficie de la zona. Fuente: Elaboración propia.....	40
Figura 25: Vaso del vertedero. Fuente: Elaboración propia.	41
Figura 26: Proyección del vaso en 3D. Fuente: Elaboración propia.....	41
Figura 27: Capas del vertedero para residuos no peligrosos. Fuente: elaboración propia.	42
Figura 28: Diferentes capas sobre el sistema de drenaje. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 29: Recorte realizado en el punto A-A'. Fuente: Elaboración propia.	48
Figura 30: Ubicación de la bomba de extracción de lixiviados. Fuente: Elaboración propia.	50
Figura 31: Pozo de control de aguas subterráneas. Fuente: PyG Estructuras Ambientales.....	56

Figura 32. Extendido de los residuos. Fuente: Diario de Navarra.....	59
Figura 33: Relleno con cordones laterales. Fuente: Elaboración propia.	61
Figura 34. Zonas del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana. Fuente: Generalitat Valenciana-Calidad Ambiental.	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Residuos admisibles en el vertedero de residuos industriales no peligrosos. Fuente: tfg, plan de gestión de residuos.	1
Tabla 2. Criterios definidos. Fuente: Elaboración propia.....	8
Tabla 3. Ejemplo de la superposición ponderada realizada con ArcGis. Fuente: Elaboración propia.	19
Tabla 4. Puntuación para el criterio de litología. Fuente: Elaboración propia.	24
Tabla 5. Puntuación para el criterio de la vulnerabilidad de los acuíferos. Fuente: Elaboración propia.	26
Tabla 6. Puntuación para el criterio de riesgo de erosión. Fuente: Elaboración propia.	27
Tabla 7. Puntuación para el criterio de precipitación. Elaboración propia.	29
Tabla 8. Puntuación para el criterio de riesgo de deslizamiento. Fuente: Elaboración propia..	30
Tabla 9. Puntuación para el criterio de la distancia entre carreteras y zonas. Fuente: Elaboración propia.	32
Tabla 10. Puntuación para la distancia entre zonas y ferrocarriles. Fuente: Elaboración propia.	34
Tabla 11. Puntuación para la distancia de zonas industriales. Fuente: Elaboración propia.....	35
Tabla 12. Puntuación para la distancia a otras instalaciones de eliminación. Fuente: Elaboración propia.	36
Tabla 13. Análisis multicriterio. Fuente: Elaboración propia.....	38
Tabla 14. Mediciones de la obra. Fuente: Elaboración propia.	62
Tabla 15. Presupuesto del estudio. Fuente: Elaboración propia.....	64
Tabla 16. Plan zonal y áreas de gestión de la Comunitat Valenciana. Fuente: Decreto 55/2019.	69

1. INTRODUCCIÓN

La producción de residuos ha aumentado en los últimos años de una forma considerable, evolucionando paralelamente hacia una mayor complejidad. Los cambios que se han ido sucediendo en los modos de comportamiento y costumbres han provocado un crecimiento progresivo en la generación de residuos, además de generarse residuos con una composición más heterogénea.

La protección de la salud de las personas y del medio ambiente requiere una buena gestión de los residuos generados. Por ello, y en el ámbito geográfico en el que se desarrolla el presente estudio, se plantea como necesario llevar a cabo la ejecución de un nuevo vertedero en la provincia de Castellón, que se haga cargo de los residuos industriales no peligrosos de las áreas de gestión comprendidas en esta provincia.

Con el fin de gestionar adecuadamente los residuos producidos, en el año 1997 se aprobó un Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV), el cual se revisó y actualizó en el año 2019, denominado Decreto 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que se aprueba la revisión del Plan integral de residuos de la Comunitat Valenciana 2013.

En base a esta normativa, se establecerá la ubicación adecuada de un vertedero de alta densidad en el que se depositarán “in situ” los residuos industriales no peligrosos asimilables a los domésticos. Éstos, son aquellos que, aun generándose en la industria, se asemejan en composición a los residuos que se producen en el hogar (papel, cartón, plástico, materia orgánica, vidrio, hierro, etc.). A continuación, la tabla 1 muestra una clasificación de dichos residuos con sus respectivos códigos LER:

Tabla 1. Residuos admisibles en el vertedero de residuos industriales no peligrosos. Fuente: tfg, plan de gestión de residuos.

RESIDUOS ASIMILABLES A URBANOS	CÓDIGO LER
Residuos de oficina e instalaciones de obra (papel, cartón...)	20 01 01
Residuos metálicos: envases metálicos no peligrosos, despuntes de ferralla, electrodos de soldadura, chapas, cables de cobre, restos de tuberías, varillas, restos acero corrugado, etc.)	20 01 40
	17 04 01
	17 04 02
	17 04 05
	17 04 11

Madera: embalajes, palets deteriorados, restos de encofrado, puntas de marcación, etc.	17 02 01 20 01 38
Plásticos: restos de PVC, poliestireno expandido de embalajes, poliuretano, neopreno, restos de balizamiento, PP, PEAD	17 02 03
Caucho natural y sintético: neumáticos, juntas de goma, etc.	16 01 03
Vidrio: envases, etc.	17 02 02 20 01 02

Basándose en esto, actualmente, el Decreto 55/2019 clasifica 14 áreas de gestión de residuos en la Comunitat Valenciana, de las cuales 3 pertenecen a la provincia de Castellón, 5 a la provincia de Valencia y 6 a la de Alicante.

A su vez, estas 14 áreas se agruparon, por criterios de economía de escala, autosuficiencia y proximidad de las infraestructuras de valorización y eliminación resultantes, en 11 Planes Zonales evidenciando así la necesidad de asociar varias zonas para garantizar la consecución de soluciones técnica, económica y medioambientalmente viables para todas ellas. Tanto la clasificación de las áreas de gestión como la de los planes zonales, quedan reflejadas en los Anexos.

2. LEGISLACIÓN APLICABLE

2.1. LEGISLACIÓN COMUNITARIA

- Directiva (UE) 2018/851 del Parlamento Europeo y del Consejo, de 30 de mayo de 2018, por la que se modifica la Directiva 2008/98/CE sobre los residuos y por la que se derogan determinadas Directivas Decisión de la Comisión, de 16 de enero de 2001, por la que se modifica la Decisión 2000/532/CE en lo que se refiere a la lista de residuos.

2.2. LEGISLACIÓN ESTATAL

- Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero, modificado por:
 - Orden AAA/661/2013, de 18 de abril, por la que se modifican los anexos I, II y III del Real Decreto 1481/2001.
 - Real Decreto 367/2010, de 26 de marzo, de modificación de diversos reglamentos del área de medio ambiente para su adaptación a la Ley 17/2009, de 23 de noviembre, sobre el libre acceso a las actividades de servicios y su ejercicio, y a la Ley 25/2009, de 22 de diciembre, de modificación de diversas leyes para su adaptación a la ley de libre acceso a actividades de servicios y su ejercicio.
 - Real Decreto 1304/2009, de 31 de julio, por el que se modifica el real decreto 1481/2001.
 - Real Decreto 105/2008, de 1 de febrero, por el que se regula la producción y gestión de los residuos de construcción y demolición.
- Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Orden AAA/699/2016, de 9 de mayo, por la que se modifica la operación R1 del anexo II de la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- Ley 5/2013, de 11 de junio, por la que se modifican la Ley 16/2002, de 1 de julio, de prevención y control integrados de la contaminación y la Ley 22/2011, de 28 de julio, de residuos y suelos contaminados.
- 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.
- Real Decreto 1098/2001, de 12 de octubre, por el que se aprueba el Reglamento general de la Ley de Contratos de las Administraciones Públicas.



2.3. LEGISLACIÓN AUTONÓMICA

- Decreto 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que se aprueba la revisión del Plan integral de residuos de la Comunitat Valenciana.
- Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana.
- Ley 10/2000, de 12 de diciembre, de Residuos de la Comunitat Valenciana.

3. OBJETO

El objetivo general del TFM es la realización de un estudio de viabilidad para la ubicación de un vertedero de residuos industriales no peligrosos (RINP) en la provincia de Castellón atendiendo a criterios técnicos y legales. Para abordar el objetivo general se han desarrollado los siguientes objetivos específicos:

- Elaborar un procedimiento que permita optimizar la ubicación de una instalación de eliminación de residuos, utilizando Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la identificación de zonas adecuadas para la ubicación de vertederos.
- Seleccionar una ubicación adecuada para la instalación del vertedero teniendo en cuenta los condicionantes fijados en el Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana (PIRCV).
- Determinar tanto la capacidad como la vida útil del vertedero para la ubicación seleccionada.
- Determinar las características constructivas del vertedero y las condiciones de explotación del mismo.
- Realizar el presupuesto de ejecución material y licitación del vertedero.

4. METODOLOGÍA

La metodología empleada para seleccionar las zonas óptimas para ubicar un vertedero de residuos industriales no peligrosos se basa en los Sistemas de Información Geográfica (SIG), concretamente la herramienta ArcGis y en el análisis multicriterio (Bosque Sendra, 2011).

4.1. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (SIG)

Un Sistema de Información Geográfica (también conocido con los acrónimos SIG en español o GIS en inglés) es un conjunto de herramientas que integra y relaciona diversos componentes (usuarios, hardware, software, y procesos) que permiten la organización, almacenamiento, manipulación, análisis y modelización de grandes cantidades de datos procedentes del mundo real y vinculados a una referencia espacial (georeferenciados), facilitando la incorporación de aspectos socio-culturales, económicos y ambientales que conducen a la toma de decisiones de una manera más eficaz.

El concepto clásico de un SIG es el de una aplicación completa en la cual se implementan herramientas para llevar a cabo las tareas básicas del trabajo con datos geográficos: creación o edición, manejo y análisis. Para este análisis, se ha utilizado ArcGIS, ya que es una de las más ampliamente utilizadas.

4.2. ANÁLISIS MULTICRITERIO

El análisis multicriterio es una herramienta de apoyo en la toma de decisiones durante el proceso de planificación que permite integrar diferentes criterios de acuerdo a la opinión de actores en un solo marco de análisis para dar una visión integral (Bosque Sendra, 2011).

En este método se incorporan de manera conjunta las capas de criterios de mayor incidencia en una instalación de este tipo, ya sean porque deben ser consideradas por legislación, como por ejemplo lo que establece el Real Decreto 1481/2001, de 27 de diciembre, por el que se regula la eliminación de residuos mediante depósito en vertedero; o por el impacto económico, social o ambiental que puedan ocasionar. Después, a cada una de estos criterios se les asigna un peso o ponderación que está directamente asociado a la importancia relativa de dicho criterio en la selección del emplazamiento. También asigna una importancia relativa sobre el resto de criterios. De esta manera, los criterios con ponderaciones más altas van a ser los que con mayor grado van a influir a la hora de localizar el emplazamiento.

En muchos de los criterios se va a crear una clasificación en base a los propios objetivos del estudio, generando una clasificación valorada de cada atributo. Esta clasificación se basa en un estudio de cuáles son las características que son mejores o peores para la instalación de eliminación. Por ejemplo, dentro del factor geología/litología se valorará positivamente las zonas más impermeables y de forma negativa las más permeables. Tanto para este criterio como para los demás, se ha requerido del conocimiento del grupo de técnicos o de expertos, así como consultas a la bibliografía.

Aunque todos los factores del estudio tienen el mismo objetivo, que no es otro que el de ubicar de forma óptima el vertedero, no todos se tratan de la misma forma. Existen una serie de criterios que no muestran ninguna escala de aptitud, ya que son factores puramente restrictivos y solo se van a utilizar para limitar las zonas de construcción.

En este caso la valoración del criterio es binaria, dando como resultado una capa de salida con valores de apto o no apto para la ubicación de instalación de eliminación de residuos industriales no peligrosos. Estos criterios se llamarán restricciones y, en su caso, los valores que van a tomar los elementos de sus capas son 0, para las zonas no aptas, y 1 para el resto del territorio. Lo que se consigue con esto es la creación de una única capa que represente todas las restricciones y simplifique el proceso (Fernandez & Muguruza, 2015). Ésta es obtenida mediante la multiplicación de todos los criterios restrictivos.

Por tanto, hay dos tipos de criterios: criterios restrictivos, zonas que son aptas o no aptas para la instalación; y criterios de evaluación o ponderación, zonas que se comportan a través de un gradiente cuantitativo (pueden a su vez ser negativos, donde el valor cuanto más bajo peor para la aptitud del terreno o positivos cuanto más alto mejor aptitud para acoger la instalación).

4.3. FORMATO Y PROGRAMA EMPLEADO

El software empleado para todos los análisis ha sido el programa ArcGIS 10.3., perteneciente a la compañía ESRI (Environmental Systems Research Institute), uno de los máximos exponentes en el desarrollo de este tipo de tecnología. El sistema de referencia de los datos es el ETRS 89 y la proyección es UTM en el huso 30N. Todas las cartografías pertenecientes a la provincia de Castellón se han consultado en el Instituto Cartográfico de Valencia (ICV) (Instituto Cartográfico de Valencia, s.f.), en el geoportal de la Infraestructura Valenciana de Datos Espaciales (IDEV) (IDEV, s.f.).

5. DESCRIPCIÓN Y JUSTIFICACIÓN DE LOS CRITERIOS CONSIDERADOS

La localización de una instalación de gestión de residuos puede provocar serios impactos al medio y causar afecciones a la salud de la población. Es por eso que la elección del lugar de ubicación final de la instalación es de vital importancia.

Para la obtención de la mejor ubicación del vertedero, se han definido un conjunto de subcriterios (tabla 2) mediante los condicionantes generales del Plan Integral de Residuos, los cuales se pueden agrupar en categorías diferentes (PIRCV, 2019).

- **Criterio técnico/económico:** Se basa en conseguir la ubicación del vertedero y la construcción del mismo al menor coste posible.
- **Criterio ambiental:** Trata de intentar minimizar las molestias y riesgos que pueden generar los vertederos en el medio ambiente.
- **Criterio social:** Está ligado a las molestias y riesgos que una instalación de eliminación puede producir a la población que reside en el entorno cercano.

Tabla 2. Criterios definidos. Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS	SUBCRITERIOS
Técnico/económico	Pendientes
	Litología
	Usos del suelo
	Carreteras, ferrocarriles y aeropuertos
Ambiental	Vulnerabilidad de los acuíferos
	Ríos y Masas de agua
	Zonas húmedas
	Espacios protegidos
	Zonas inundables
	Precipitaciones
	Terreno forestal
	Riesgos de erosión
	Riesgo de deslizamiento y desprendimiento
	Riesgos geotécnicos
Social	Núcleos urbanos

5.1. CRITERIOS DE RESTRICCIÓN

A continuación, se describen los criterios que han sido incorporados en el análisis como restricciones y que van a limitar las zonas de aptas para la instalación, tal y como se ha mencionado en el apartado anterior. Para poder incorporarlos finalmente en una única capa, dichos criterios se han reclasificado con valores de 0 y 1, siendo 0 las zonas en las que no se puede construir (restricciones) y 1 aquellas en las que sí. De esta manera, cuando estas se multipliquen entre sí, todas las zonas no aptas (de valor 0) permanecerán en una única capa (Ver Figura 10).

5.1.1. Pendientes del terreno

Se han excluido de todo el territorio aquellas zonas con pendientes superiores al 15%. Por lo general, se considera que a partir de esa pendiente los problemas de una instalación de este tipo se hacen bastante complejos (RD 1481/2001). Esta condición pretende facilitar las labores de construcción y de acceso a la planta, se trata por tanto de un factor económico y de seguridad y riesgo. Así pues, en la Figura 1 se observa en color verde las zonas con pendientes inferiores al 15%, mientras que las zonas de color rosa representan la superioridad del 15%, las cuales no se tendrán en cuenta para la selección de la ubicación de la instalación de eliminación.

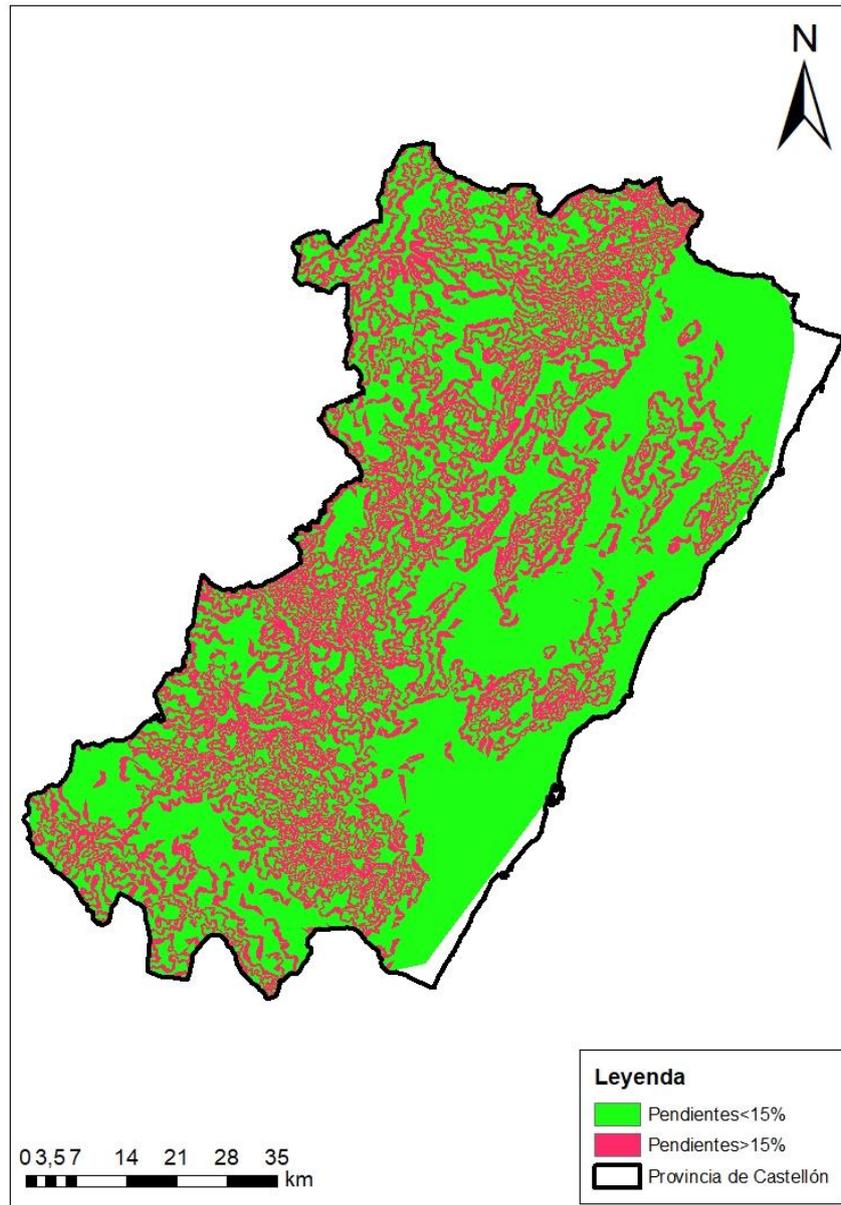


Figura 1: Restricción de las pendientes. Fuente: Elaboración propia.

5.1.2. Hidrología

Desde el punto de vista legal, este tipo de construcción ha de tener en cuenta el llamado dominio público hidráulico, recogido en la Ley de Aguas 1/2001.

Según el apartado 3 del Artículo 6 del Real Decreto 849/1986 por el que se aprueba el Reglamento del Dominio Público Hidráulico, los objetivos de estas zonas son preservar el estado del dominio público hidráulico, prevenir el deterioro de los ecosistemas acuáticos, contribuyendo a su mejora y proteger el régimen de las corrientes en avenidas, favoreciendo la

función de los terrenos colindantes con los cauces en la laminación de caudales y carga sólida transportada.

El dominio público hidráulico también recoge zonas como lagos, lagunas, embalses y terrenos inundables, por lo que estas también serán incluidas en este estudio de viabilidad.

Como restricción se han incluido todos estos cuerpos (ríos, arroyos y otras masas de agua), tal y como muestra la Figura 2, con una distancia de seguridad de 300 metros en las dos márgenes. Es decir, el modelo plantea que no se ejecute esta instalación en todo el dominio público hidráulico a menos de 300 metros de cualquier río o arroyo o masas de agua.

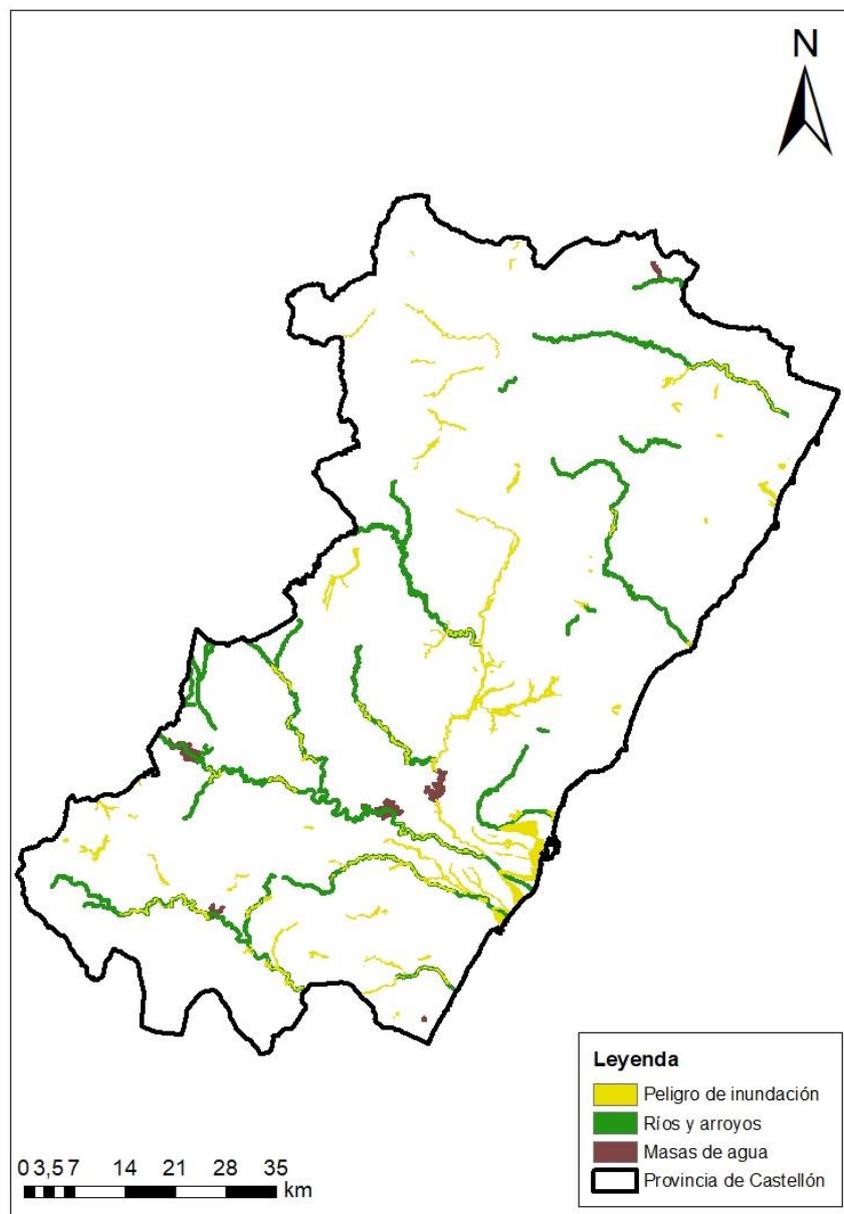


Figura 2: Restricción hidrológica: Ríos, arroyos y masas de agua. Fuente: Elaboración propia.

5.1.3. Espacios protegidos

Se excluyen todas aquellas zonas que están incluidas dentro de la delimitación geográfica de los Espacios Naturales Protegidos de la Provincia de Castellón, regulados por la Ley 42/2007 del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad; así como las Zonas de Especial Protección para las Aves (ZEPAS), Zonas Húmedas, Monumentos Naturales, Paisajes Protegidos y Zonas Especiales para la Conservación (ZEC) definidos en la Red Natura 2000. Esta es una red ecológica de áreas de conservación, cuyo objetivo es asegurar la supervivencia a largo plazo de las especies y hábitats.

En el caso de las Zonas Húmedas y Monumentos Naturales, se ha establecido un perímetro de 1000 metros para las Zonas Húmedas y de 500 metros alrededor de los Monumentos Naturales. Las zonas consideradas en el análisis y sus correspondientes figuras de protección son las que aparecen en la siguiente Figura 3.

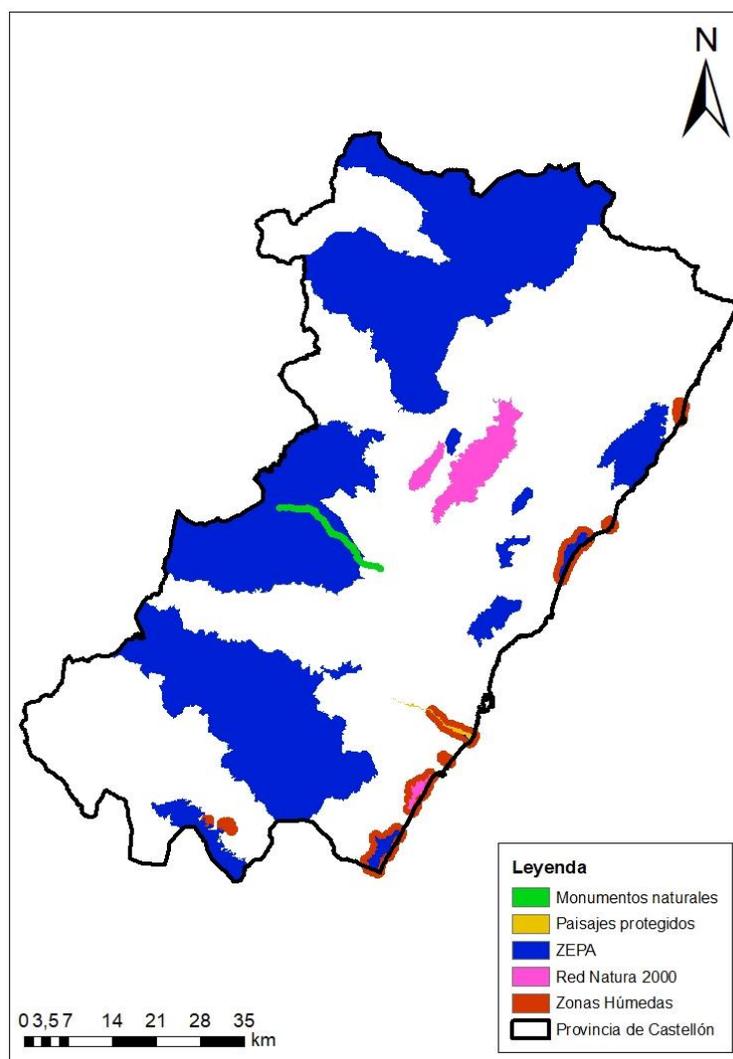


Figura 3: Espacios protegidos: Monumentos naturales, paisajes protegidos, ZEPAs, Red Natura 2000 y Zonas húmedas. Fuente: Elaboración propia.

5.1.4. Terreno forestal PATFOR

El objetivo específico del PATFOR es definir el modelo forestal de la Comunitat Valenciana, basado en su integración con el desarrollo rural, en la gestión sostenible, la multifuncionalidad de los montes y la conservación de la diversidad biológica y paisajística (Conselleria de Agricultura CV, 2009).

La siguiente Figura 4, en color verde, representa el terreno forestal recogido por el PATFOR, por lo que el vertedero no podrá ubicarse en dichas zonas, sino que, en un terreno de escaso valor tanto forestal como paisajístico figurado en color blanco en la Figura 4.

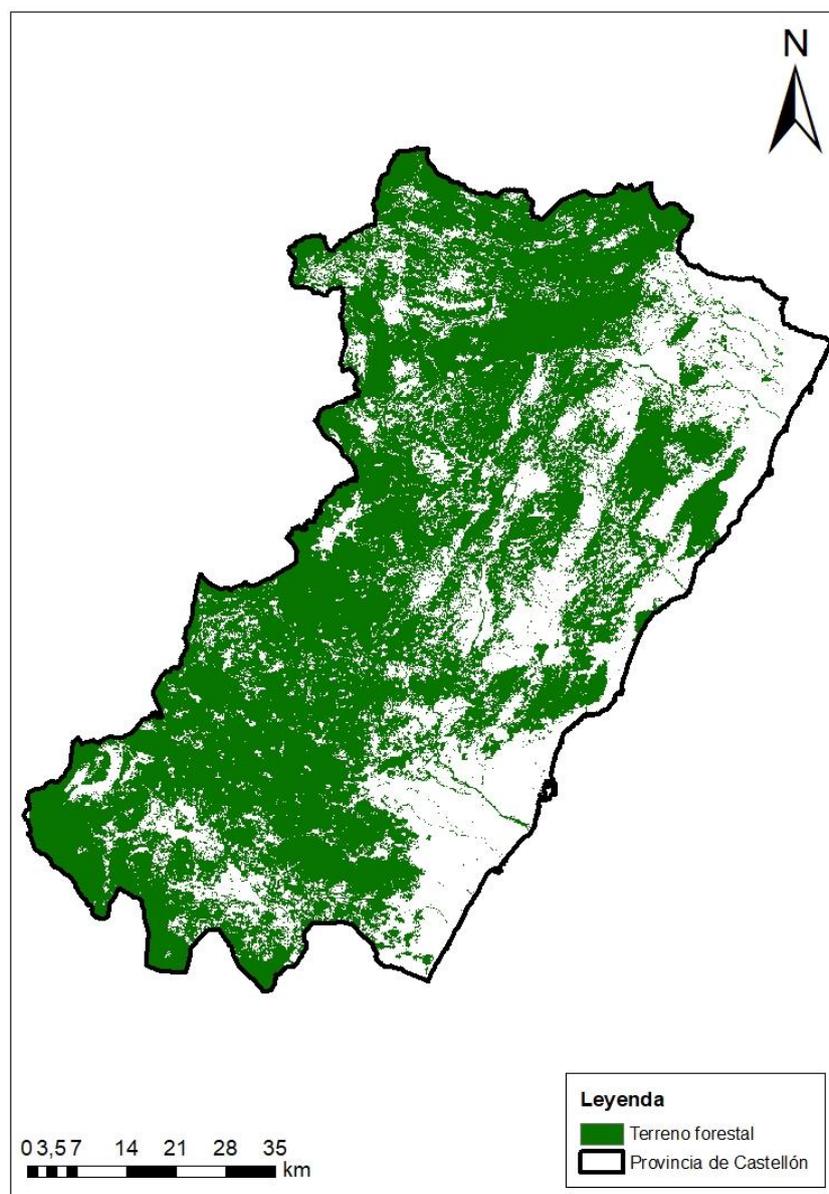


Figura 4: Restricción terreno forestal. Fuente: Elaboración propia.

5.1.5. Núcleos urbanos

Las zonas habitadas o núcleos poblacionales, como polígonos industriales han sido incluidas en las restricciones. Debido a que se trata de un vertedero de residuos industriales no peligrosos, el PIRCV establece que, preferentemente, el vertedero deberá situarse a una distancia mínima de 2 Km a núcleos urbanos consolidados, con el fin de evitar la cercanía y malos olores en los mismos. De esta forma, la Figura 5 representa dicha distancia de 2 km alrededor de cada uno de los núcleos urbanos que existen en la provincia de Castellón.

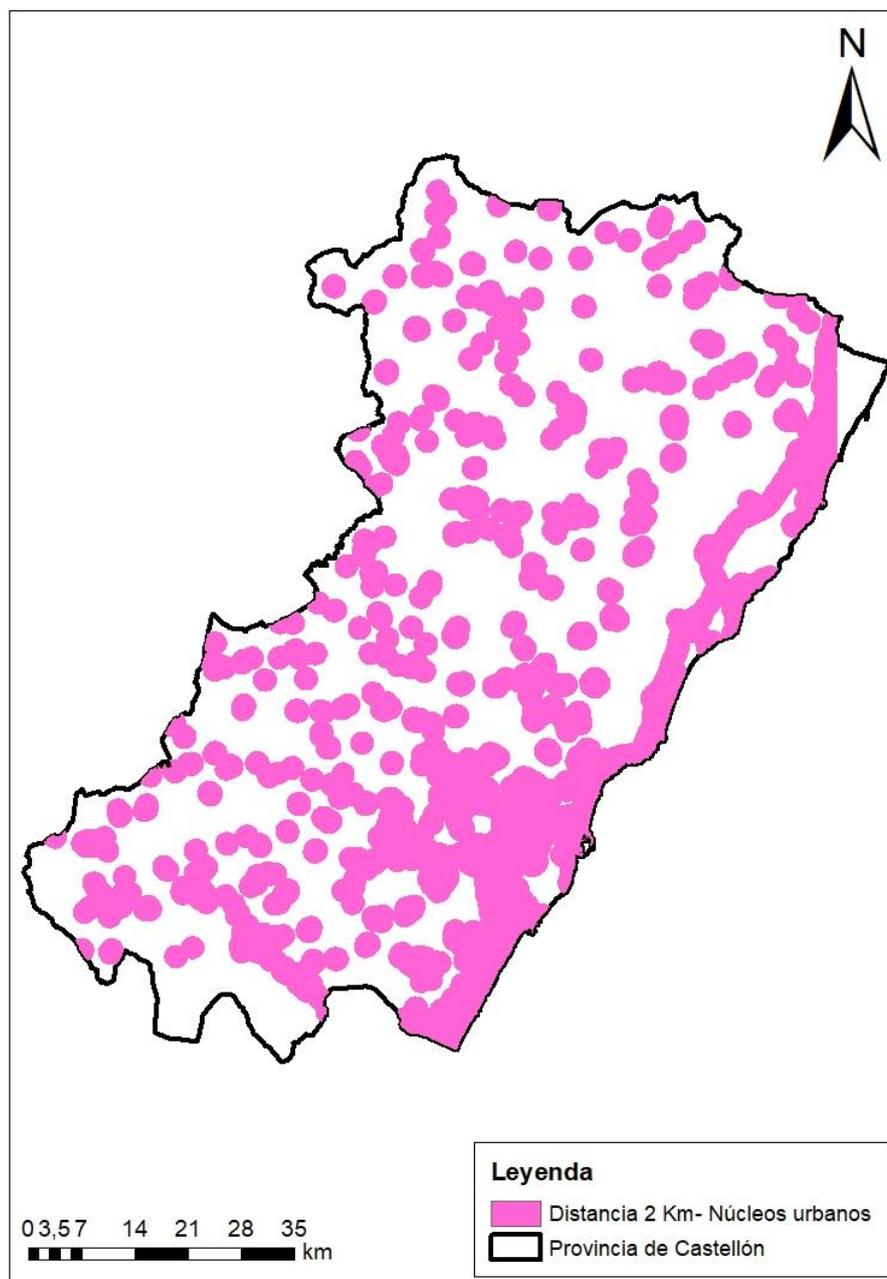


Figura 5: Restricción núcleos urbanos. Fuente: Elaboración propia.

5.1.6. Vulnerabilidad de los acuíferos

Tal y como menciona el Real Decreto 1481/2001, no se permitirá la ubicación del futuro vertedero en zona de vulnerabilidad alta. Así pues, se han excluido en el estudio todas las zonas moradas que se observan en la Figura 6, debido a que éstas, cuentan con una alta vulnerabilidad de los acuíferos.

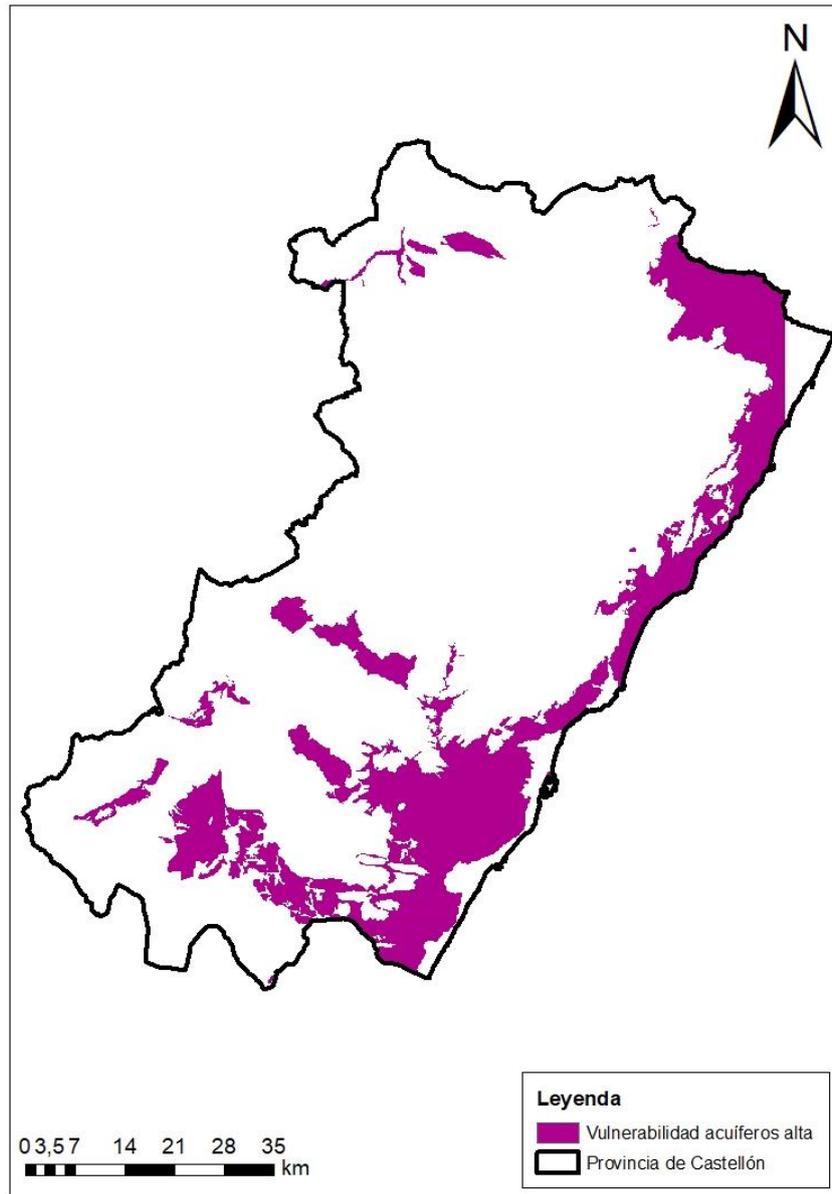


Figura 6: Restricción vulnerabilidad de los acuíferos. Fuente: Elaboración propia.

5.1.7. Usos del suelo

El planeamiento urbanístico ordena y proyecta el destino de los terrenos, su utilización y las construcciones en ellos previstas, atendiendo a las necesidades de la población.

La Ley 5/2014, de 25 de julio, de la Generalitat, de Ordenación del Territorio, Urbanismo y Paisaje, de la Comunitat Valenciana, distingue tres tipos de suelo; urbano, urbanizable y no urbanizable. Esta clasificación confiere el régimen urbanístico de los terrenos, los derechos y deberes de los propietarios, y las posibilidades y procedimiento de desarrollo urbanístico. En este caso, y para facilitar la multiplicación entre los diferentes subcriterios que representan la restricción (ver Figura 7), se ha clasificado en suelo urbano en color marrón y no urbanizable en verde, no pudiendo ubicar el vertedero en zonas urbanas. A continuación, se muestra el resultado obtenido.

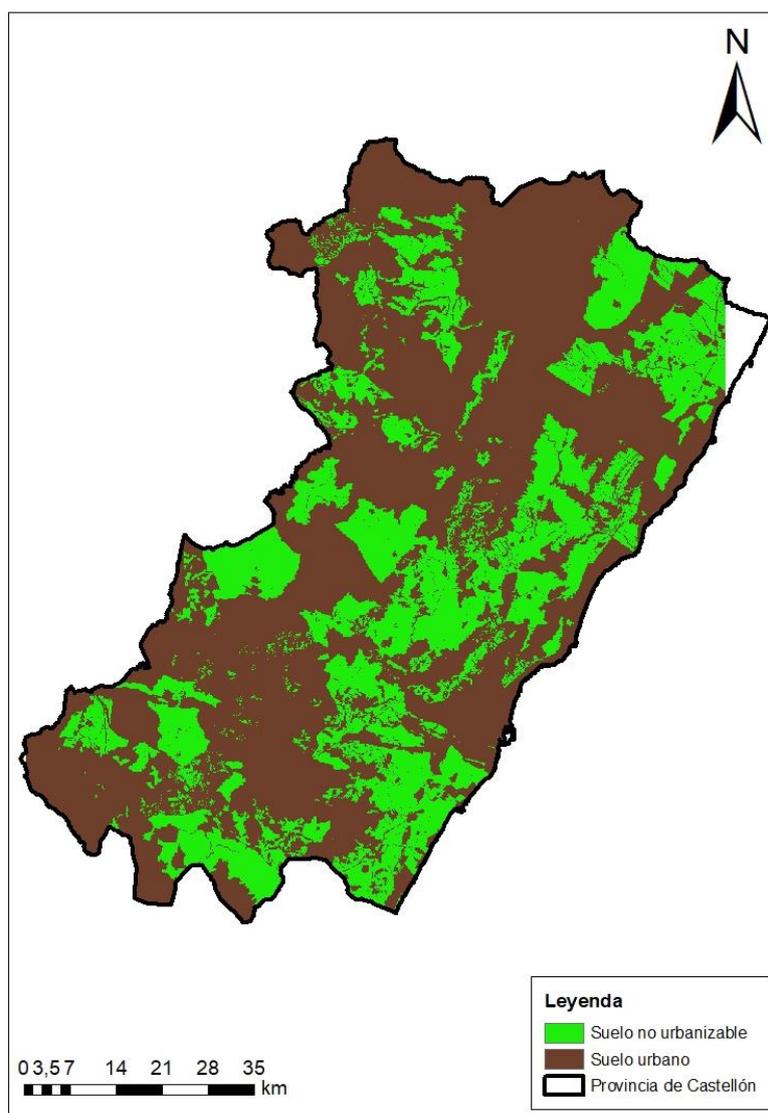


Figura 7: Restricción usos del suelo. Fuente: Elaboración propia.

5.1.8. Vías pecuarias

Las vías pecuarias son rutas o itinerarios por donde discurre o ha venido discurrendo tradicionalmente el ganado. Las vías pecuarias pueden funcionar como conectores ecológicos y acoger diferentes usos recreativos (paseo, senderismo, cabalgada). Es por eso, que no se puede construir ningún vertedero sobre ninguna vía pecuaria.

La siguiente Figura 8 muestra todas las vías pecuarias que se han obtenido a través del Instituto Cartográfico de Valencia (ICV) para la provincia de Castellón.

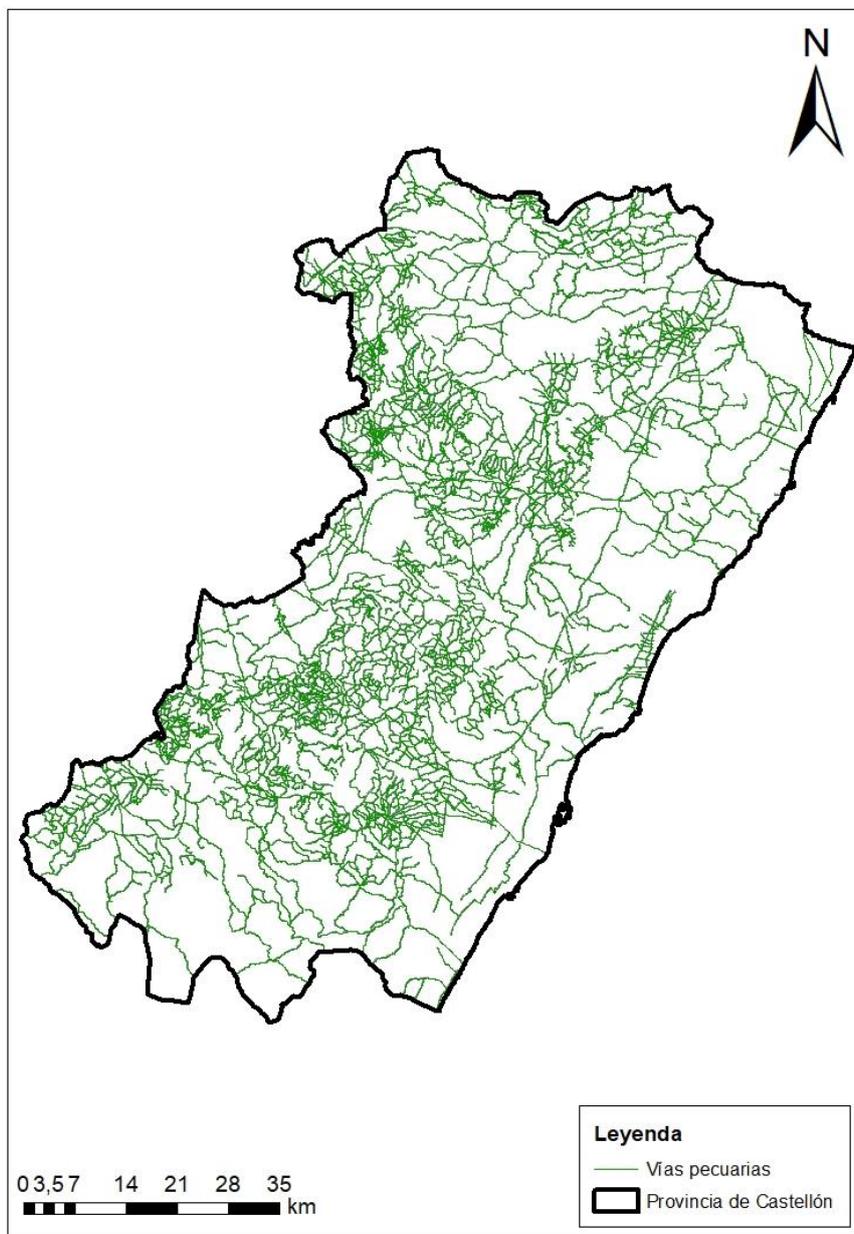


Figura 8: Vías pecuarias. Fuente: Elaboración propia.

5.1.9. Aeropuerto

El Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana, establece, como norma general, que la localización de los vertederos deberá de estar a una distancia mínima de 3 kilómetros medidos a ambos extremos de la pista.

Por lo tanto, hay que tener en cuenta ese dato a la hora de llevar a cabo la definición del espacio apto para la ubicación de vertedero en la Provincia de Castellón.

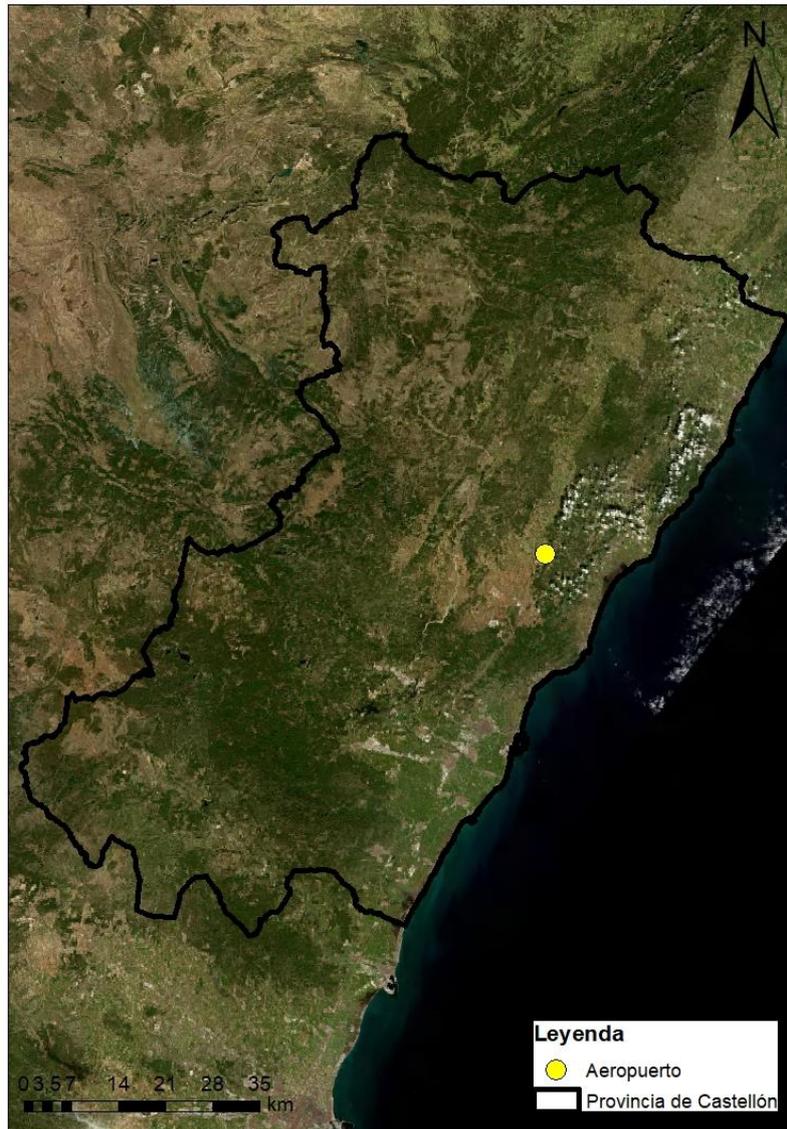


Figura 9: Localización del aeropuerto de Castellón. Fuente: Elaboración propia.

5.2. ZONAS APTAS PARA EL EMPLAZAMIENTO

Una vez establecidos todos los criterios de restricción, mediante una superposición ponderada con la herramienta ArcGis, se han multiplicado dichos criterios, tal y como se muestra en la tabla 3. La valoración del criterio es binaria, por lo que, como resultado, se obtiene una capa de salida con valores de apto (1) o no apto (0) para la ubicación de instalación de eliminación de residuos industriales no peligrosos. Así pues, se ha conseguido la creación de una única capa en la que se representan todas las restricciones, obteniendo las zonas aptas para la ubicación del vertedero en color verde, mientras que las zonas no aptas están representadas de color marrón tal y como se aprecia en la siguiente Figura 10.

Tabla 3. Ejemplo de la superposición ponderada realizada con ArcGis. Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS DE RESTRICCIÓN	Valor (V)	Puntuación (P)	ZONA RESTRINGIDA (VxP)	ZONA NO RESTRINGIDA (VxP)
Pendientes del terreno	> 15 %	0	0	-
	< 15 %	1	-	1
Hidrología (Ríos, arroyos, masa de agua)	> 300 m	1	-	1
	< 300 m	0	0	-
Espacios Protegidos	Monumentos naturales	0	0	-
	Paisajes protegidos	0	0	-
	ZEPA	0	0	-
	Red Natura 2000	0	0	-
	Zonas húmedas	0	0	-
	Espacios no protegidos	1	-	1
Terreno forestal PATFOR	Terreno forestal	0	0	-
	Terreno no forestal	1	-	1
Núcleos urbanos	> 2000 m	1	-	1
	< 2000 m	0	0	-
	Alta	0	0	-



Vulnerabilidad de los acuíferos	Media/Baja	1	-	1
Usos del suelo	Suelo no urbanizable	1	-	1
	Suelo urbano	0	0	-
Vías pecuarias	Vías pecuarias	0	0	-
Aeropuerto	> 3000 m	1	-	1
	< 3000 m	0	0	-
Multiplicación de todos los criterios	ZONAS APTAS		-	1
	ZONAS NO APTAS		0	-

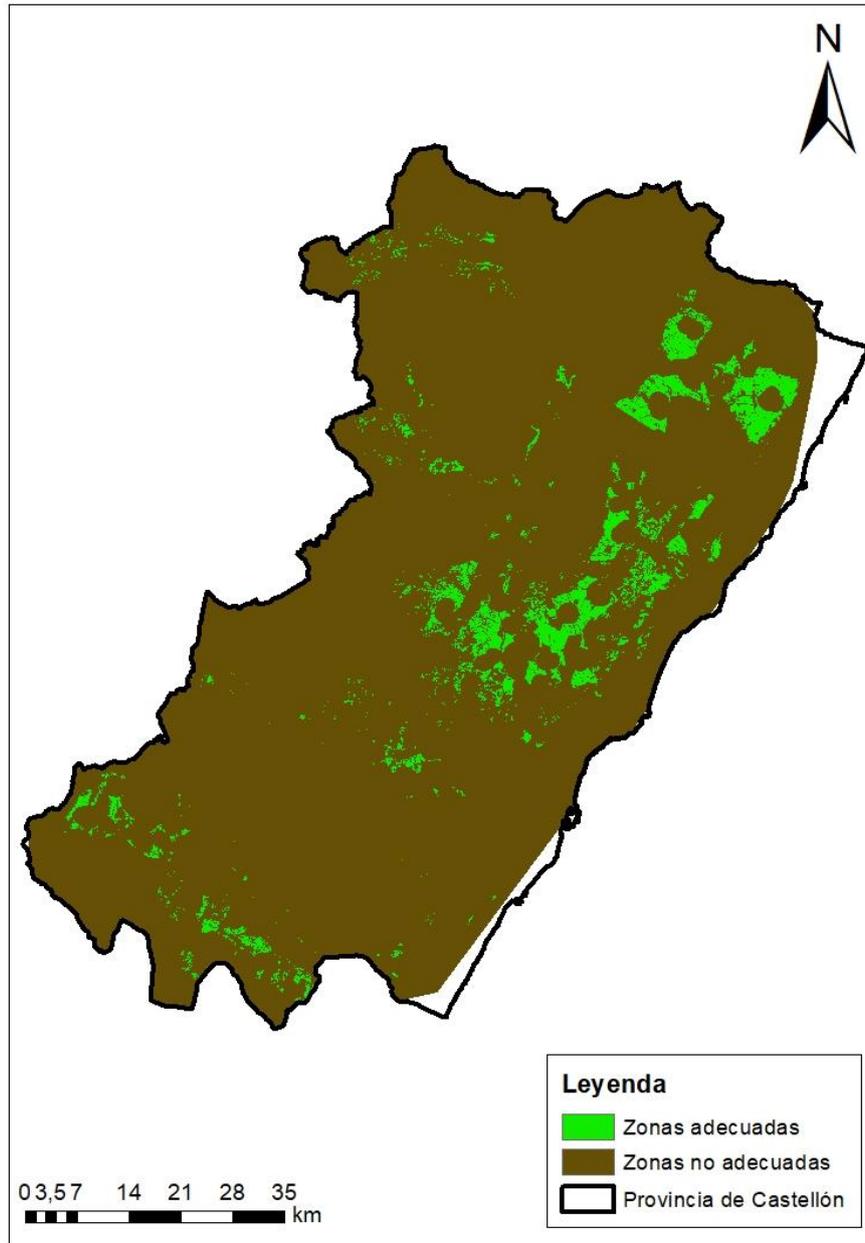


Figura 10: Zonas aptas y no aptas para la ubicación del vertedero. Fuente: Elaboración propia.

Se han eliminado directamente aquellas zonas con riesgo geotécnico. La siguiente Figura 11 muestra todos los riesgos geotécnicos posibles que puede haber en toda la provincia de Castellón.

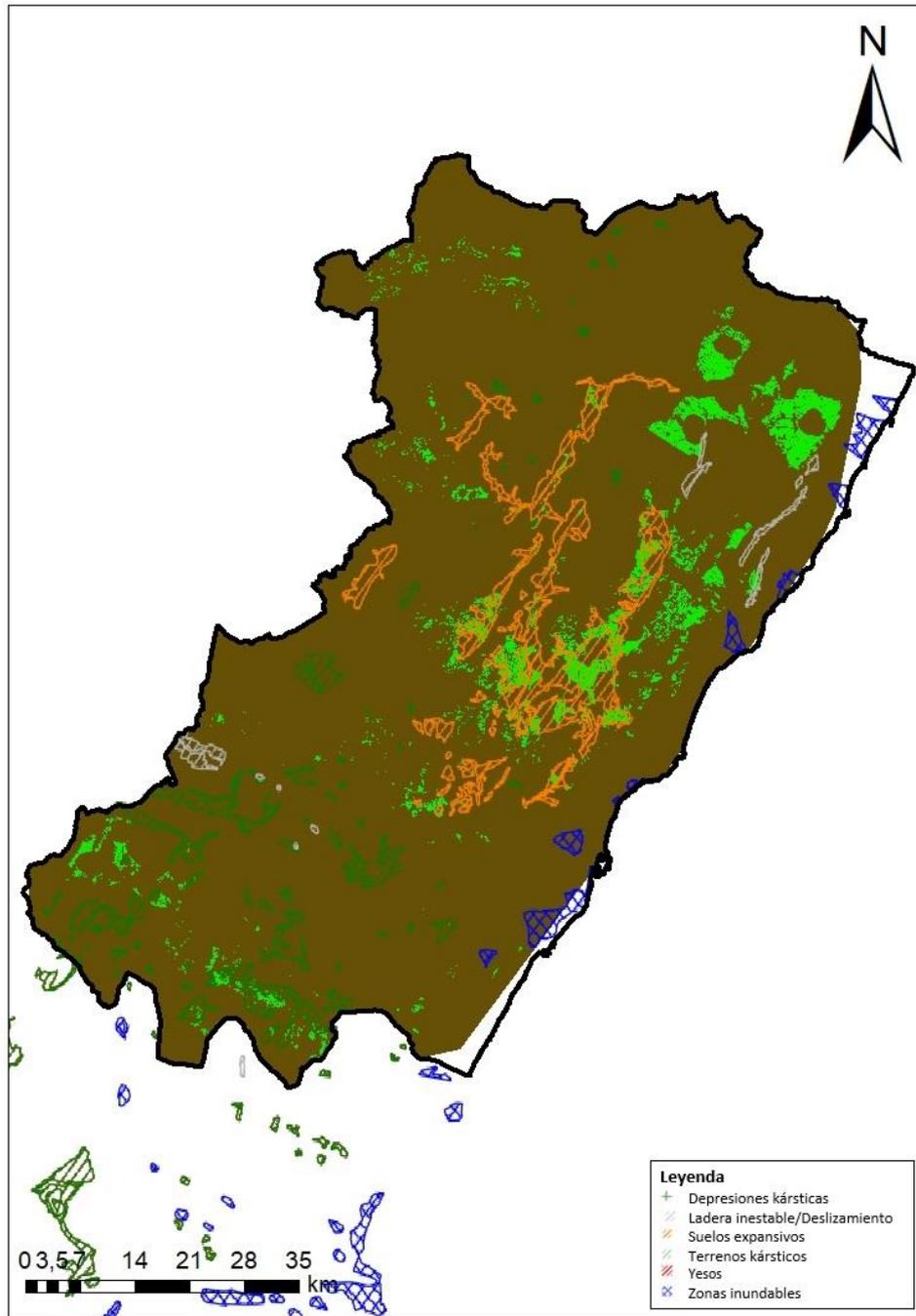


Figura 11: Restricción riesgo geotécnico. Fuente: Elaboración propia.

De modo que, una vez suprimidas aquellas zonas con riesgo geotécnico, entre las zonas adecuadas resultantes, se han seleccionado 9 ubicaciones posibles repartidas por la provincia de Castellón (ver figura 12), de acuerdo a criterios de superficie, por los cuales se considera un valor mínimo para la ubicación del vertedero de 40 hectáreas. Además, también se ha tenido en cuenta criterios de proximidad evitando seleccionar zonas muy juntas, aunque cumpliesen los criterios mínimos de superficie, ya que resultaría un análisis redundante. Por lo tanto, se trata

de realizar un análisis sobre dichas nueve zonas en las que se representen diferentes criterios y situaciones de estudio.

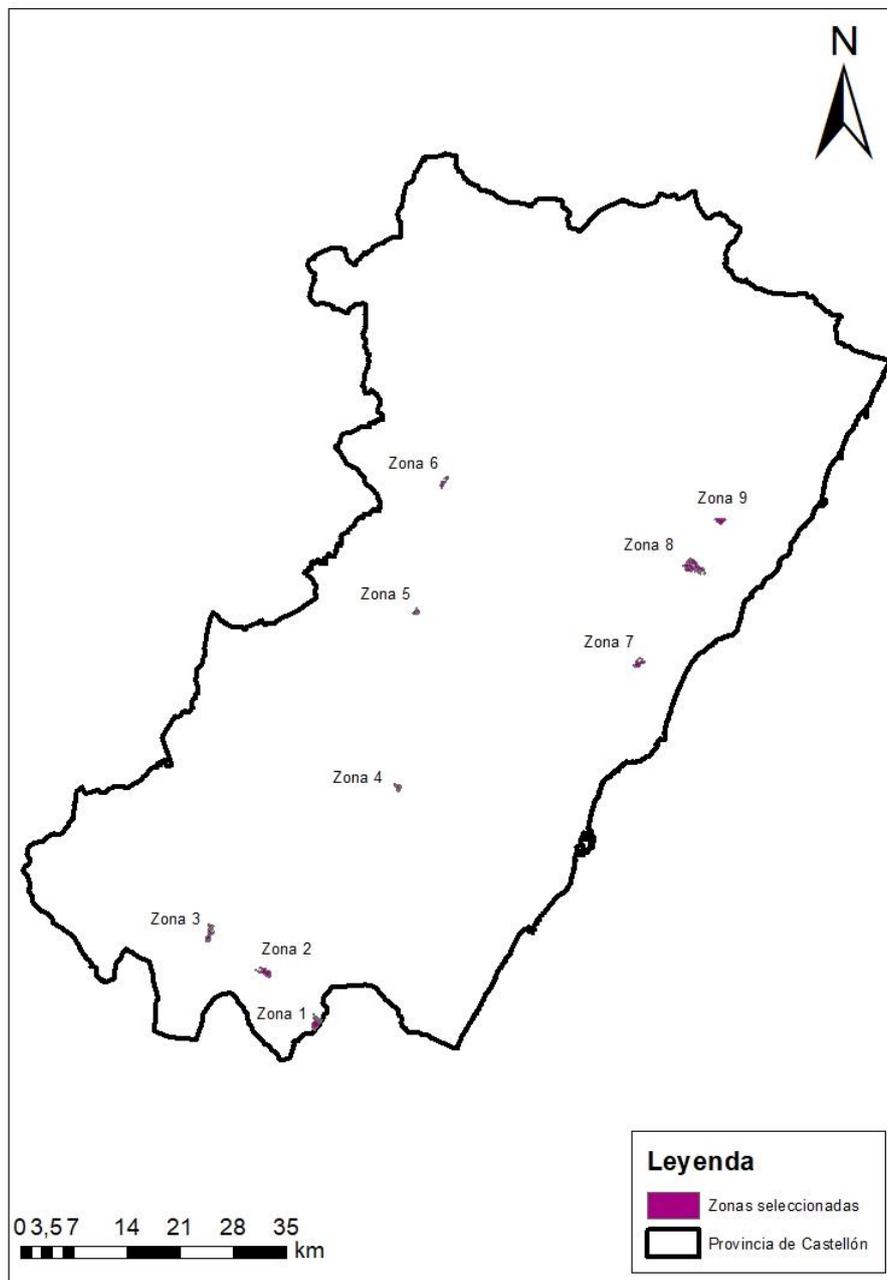


Figura 12: Zonas seleccionadas para el análisis. Fuente: Elaboración propia.

5.3. CRITERIOS DE EVALUACIÓN

Una vez seleccionadas las posibles zonas para la ubicación del vertedero, en primer lugar, se dará un valor o puntuación a cada uno de los niveles de los subcriterios que se detallan a continuación. Dicha puntuación estará entre los valores del 1 al 10, siendo el 1 el valor más bajo y el menos adecuado para seleccionar la ubicación, mientras que el 10 representará el valor óptimo. Los valores de cada subcriterio se han establecido según el PIRCV y con ayuda de las cartografías utilizadas en ArcGis.

Posteriormente, a cada subcriterio se le asignará un peso para hacer la ponderación y así escoger la mejor alternativa de todas.

5.3.1. Litología

Se parte del mapa litológico de la Comunitat Valenciana, en el cual cada litología se ajusta a la naturaleza de cada roca. Así pues, los suelos formados por arcillas, margas y combinaciones de las mismas, serán suelos óptimos, debido a que tienen una permeabilidad muy baja. En cambio, materiales como arenas o gravas, cuya permeabilidad es mayor, no son adecuados para la construcción del vertedero. De esta forma, la tabla 4 recoge los valores asignados para cada una de las características litológicas en cada alternativa que representa la Figura 13.

Tabla 4. Puntuación para el criterio de litología. Fuente: Elaboración propia.

LITOLOGÍA	Valor del 1 al 10
Arcillas y areniscas	10
Arcillas, margas y yesos	10
Areniscas	5
Calcáreas	2
Calcáreas y Margas	7
Calcáreas y dolomías	5
Cantos y graveras	1
Cantos, gravas y arcillas	2
Cantos, gravas y arenas	1
Cantos, gravas y limos	2
Conglomerados	1
Conglomerados y areniscas	1

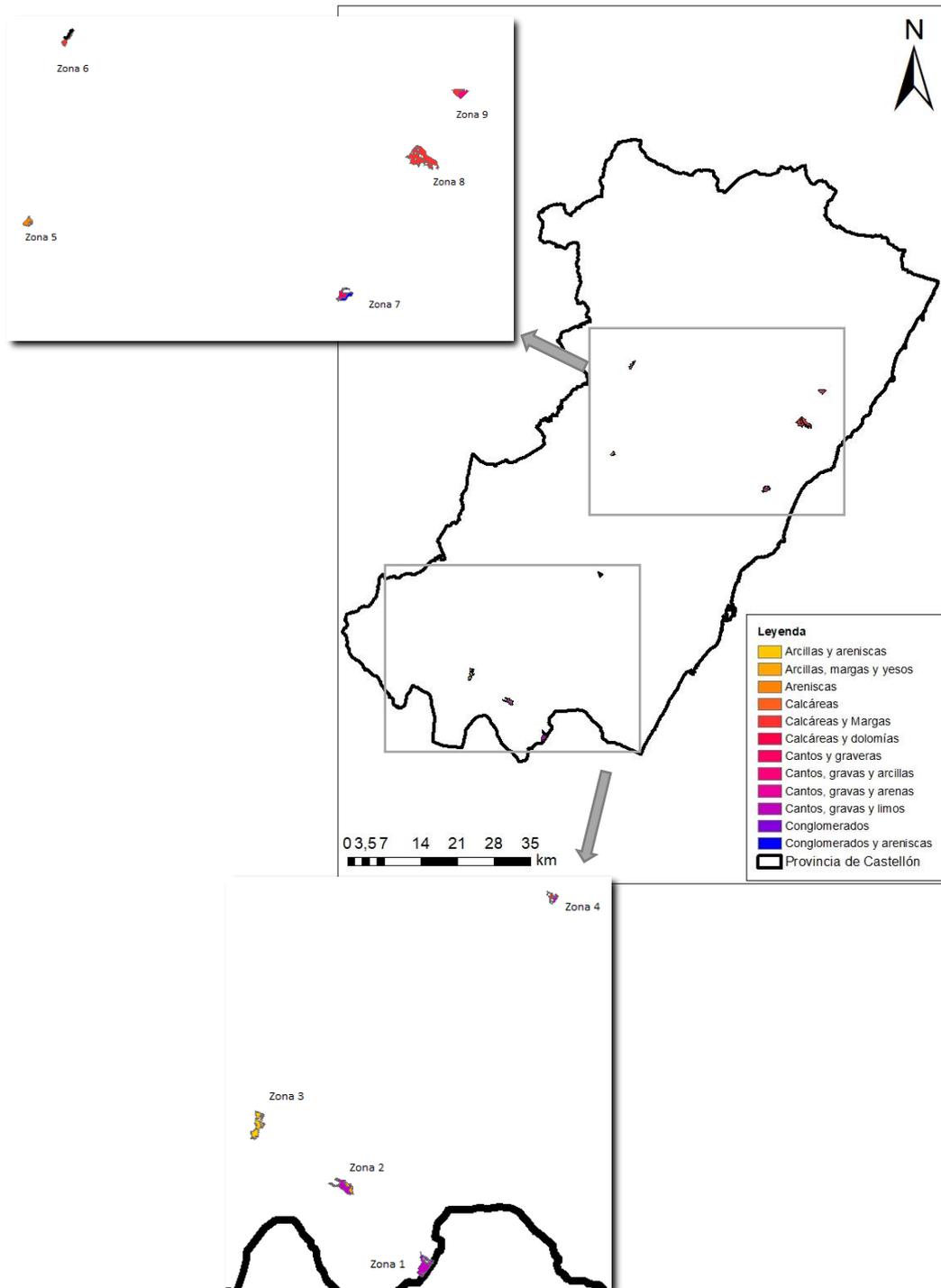


Figura 13: Litología de las diferentes zonas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.2. Vulnerabilidad de los acuíferos

La Figura 14 muestra la descripción de los distintos niveles de vulnerabilidad de los acuíferos. En él se encuentran tanto el nivel medio representado en color amarillo, como el nivel bajo representado en verde, ya que tal y como se ha observado en los apartados anteriores, quedan

descartadas las zonas cuya vulnerabilidad de los acuíferos es alta. De esta forma, a la hora de escoger una alternativa, se preferirá zona de vulnerabilidad baja o nula sobre vulnerabilidad media tal y como se observa en la siguiente tabla 5.

Tabla 5. Puntuación para el criterio de la vulnerabilidad de los acuíferos. Fuente: Elaboración propia.

Vulnerabilidad de los acuíferos	Valor del 1 al 10
Medio	5
Bajo	10

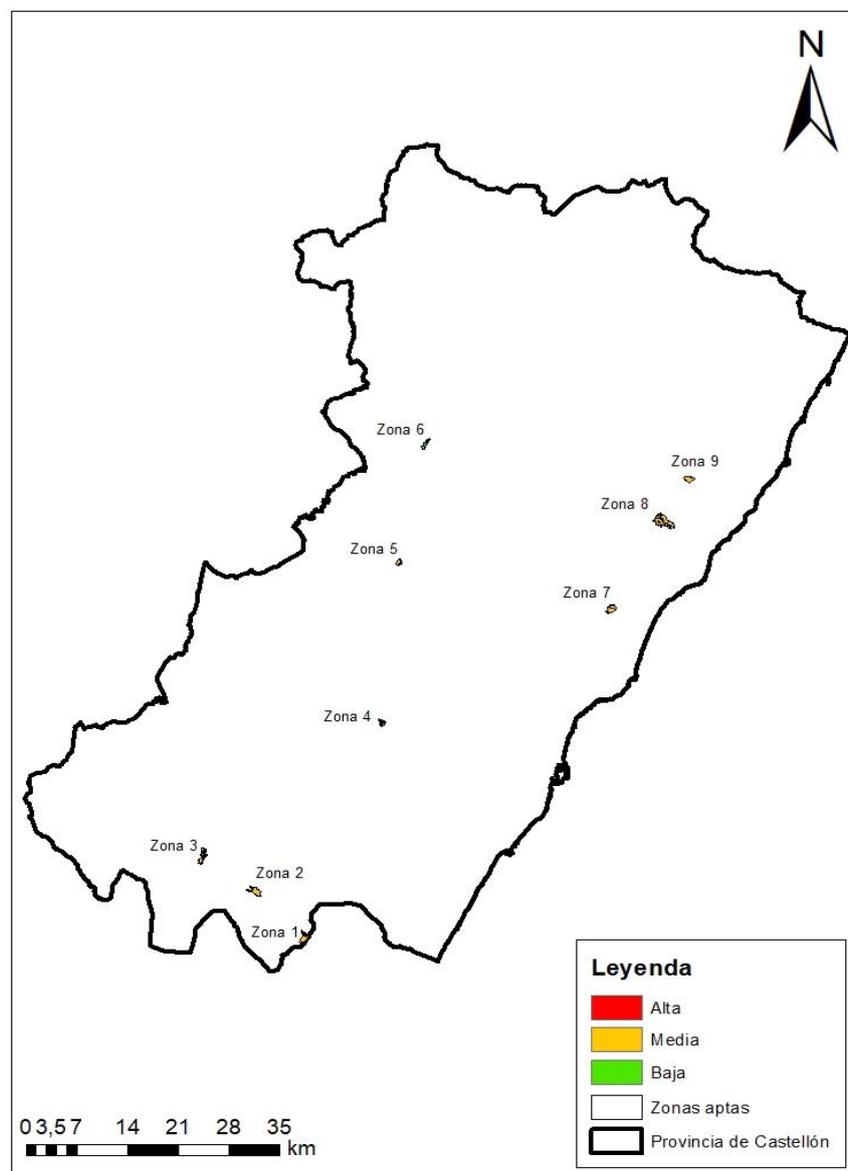


Figura 14: Vulnerabilidad de los acuíferos de las distintas zonas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.3. Riesgo de erosión

En la siguiente Figura 15, se obtiene la información de los diferentes niveles de riesgo que se reflejan en la erosión. De esta forma, se tendrán en cuenta aquellas zonas en las que el riesgo de erosión es moderada, baja o muy baja, obteniendo una puntuación mayor en los niveles bajos y muy bajos (ver tabla 6).

Tabla 6. Puntuación para el criterio de riesgo de erosión. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo de erosión	Valor del 1 al 10
Alto	1
Moderado	5
Bajo	8
Muy bajo	10

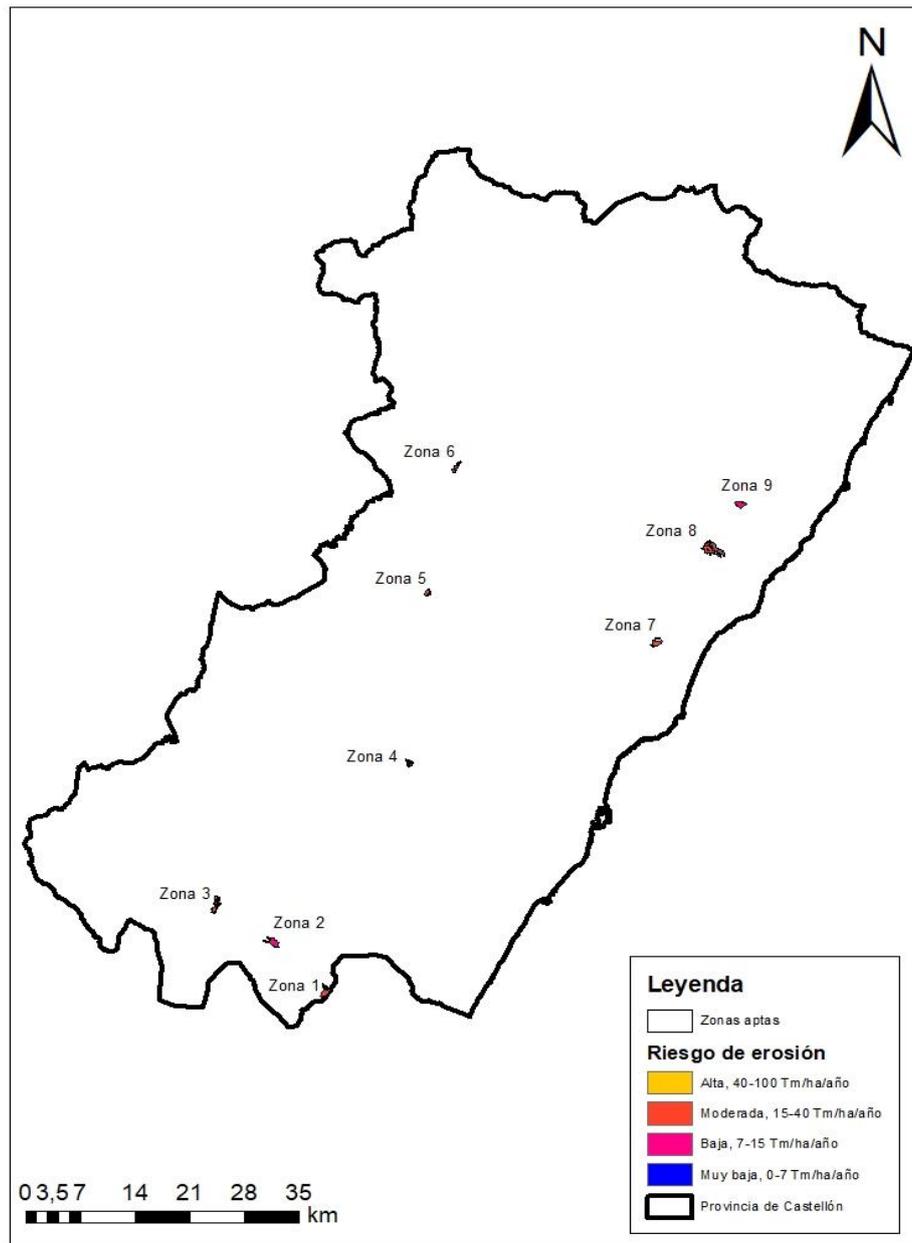


Figura 15: Riesgo de erosión de las diferentes zonas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.4. Precipitación anual acumulada

A partir de la descarga de los datos anuales de la precipitación acumulada en la provincia de Castellón, se recoge el intervalo de pluviometría de cada una de las zonas del análisis (ver Figura 16). Así, se le ha dado un valor inferior a la mayor cantidad de precipitación acumulada, mientras que a la menos cantidad de precipitación acumulada se ha asignado un valor más alto.

Tabla 7. Puntuación para el criterio de precipitación. Elaboración propia.

Precipitación anual acumulada (mm)	Valor del 1 al 10
400-500	10
500-600	6
600-700	1

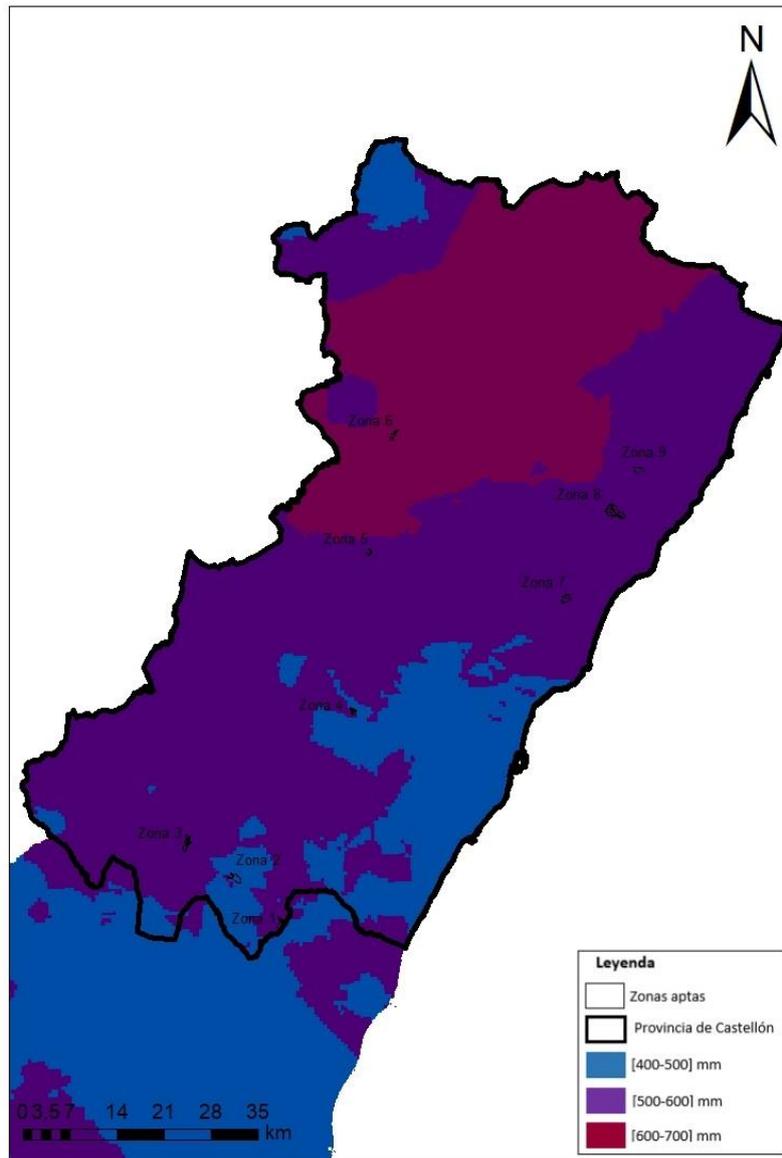


Figura 16: Precipitación acumulada en la provincia de Castellón. Fuente: Elaboración propia.

5.3.5. Riesgo de deslizamiento y desprendimiento

En la cartografía disponible en el Instituto Valenciano de Cartografía (ICV) (Instituto Cartográfico de Valencia, s.f.) se encuentra una capa referida al riesgo de deslizamientos y desprendimientos, la cual clasifica el riesgo de deslizamiento en tres niveles, correspondientes con un riesgo de

deslizamiento bajo, riesgo de deslizamiento medio y riesgo de deslizamiento alto, y distinguiendo además los desprendimientos.

Para la selección de alternativas, se procurará que la zona escogida se encuentre con un riesgo de deslizamiento bajo, por lo que éste, obtendrá un valor de 8, ya que lo ideal sería que no existiera ningún tipo de riesgo. Sin embargo, se le ha asignado un valor de 1 al riesgo de deslizamiento alto y desprendimiento ya que cuanto más riesgo de deslizamiento haya, mayor será la posibilidad de que ocurra algún desprendimiento o derrumbe en el vertedero (tabla 8).

Como se puede observar en la Figura 17, en las nueve alternativas de estudio, sólo se encuentran algunas zonas cuyo riesgo de deslizamiento es medio.

Tabla 8. Puntuación para el criterio de riesgo de deslizamiento. Fuente: Elaboración propia.

Riesgo de deslizamiento	Valor del 1 al 10
Alto	1
Medio	5
Bajo	8
Desprendimiento	1

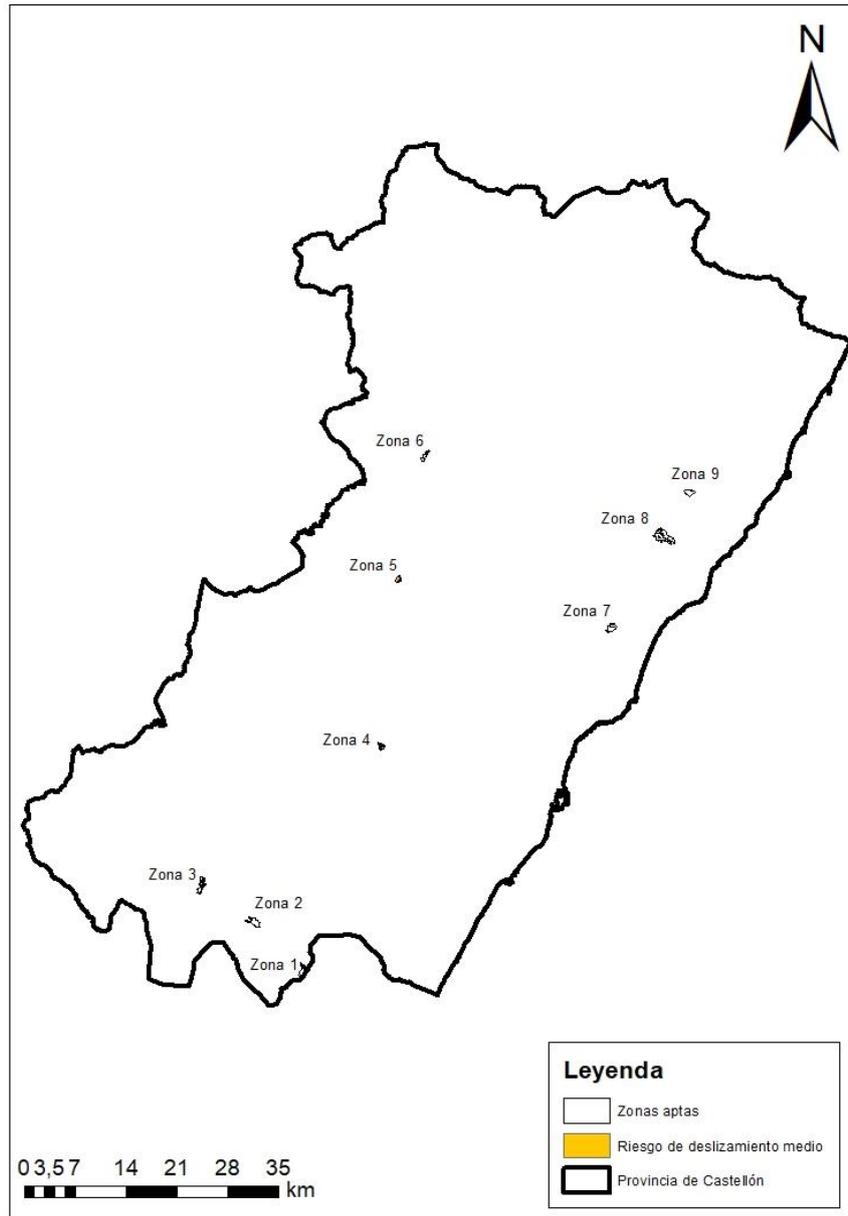


Figura 17: Riesgo de deslizamiento de las distintas zonas. Fuente: Elaboración propia.

5.3.6. Carreteras

Otro de los subcriterios a evaluar es la accesibilidad al vertedero. Las carreteras más adecuadas para el transporte de residuos son: la autovía o autopista, la carretera nacional, comarcal y local. Para tener una mayor accesibilidad a la zona, la instalación deberá estar a una distancia mínima determinada desde una carretera. Así pues, por un lado, es necesario guardar cierto perímetro de seguridad, para no invadir la zona de protección de carreteras de las distintas vías de comunicación y generar el menor impacto visual posible.



Por otro lado, se deber ubicar el vertedero de forma que esté bien comunicado con las carreteras o cualquier tipo e infraestructura principal.

Tabla 9. Puntuación para el criterio de la distancia entre carreteras y zonas. Fuente: Elaboración propia.

Distancia carretera-vertedero (m)	Valor del 1 al 10
100-500	10
500-1000	6
1000-3000	4
>3000	1

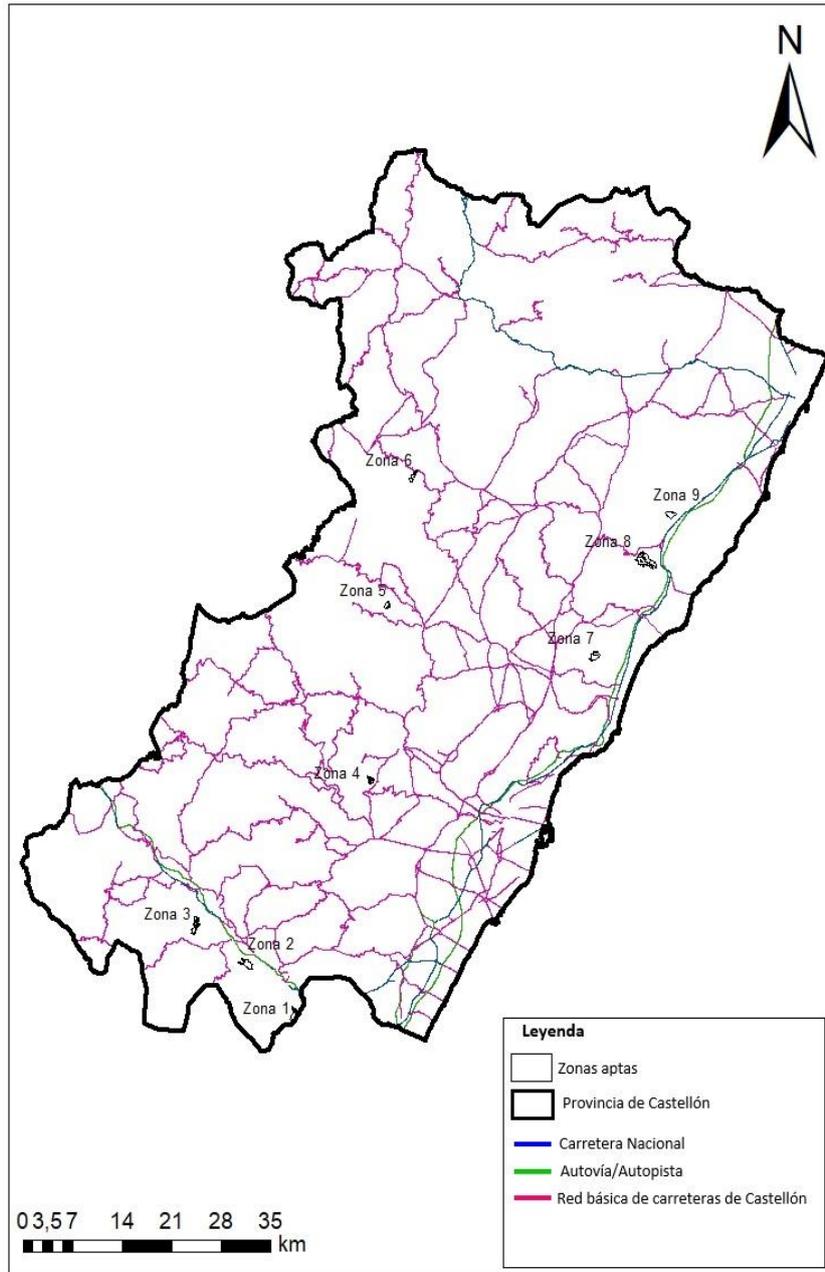


Figura 18: Proximidad a las carreteras. Fuente: Elaboración propia.

5.3.7. Ferrocarriles

Como en el caso de las carreteras en cuanto al impacto visual, cuanto más lejos se ubique el vertedero de las vías férreas mejor. Por lo que se tendrá en cuenta la distancia a la hora de seleccionar la mejor alternativa.

Tabla 10. Puntuación para la distancia entre zonas y ferrocarriles. Fuente: Elaboración propia.

Distancia ferrocarril-vertedero (m)	Valor del 1 al 10
100-500	1
500-1000	2
1000-2000	4
2000-5000	7
>5000	10

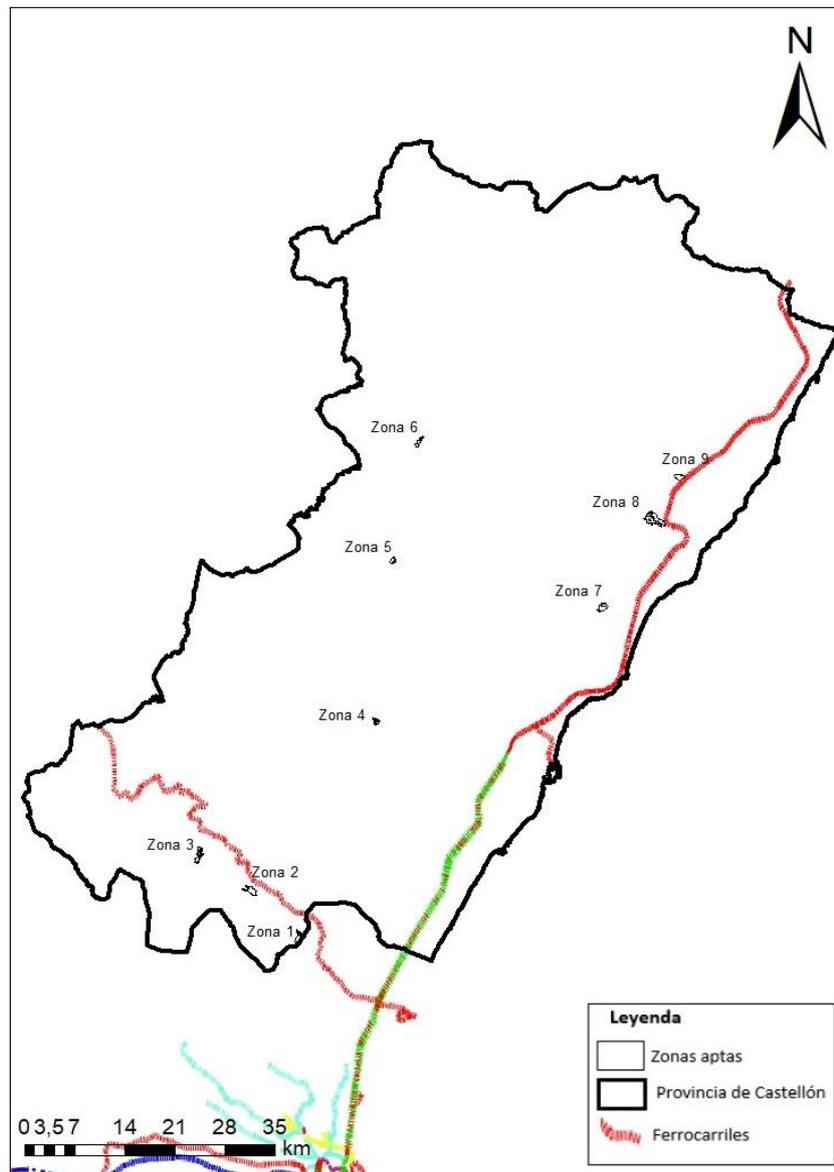


Figura 19: Proximidad a los ferrocarriles. Fuente: Elaboración propia.

5.3.8. Proximidad a zonas industriales de alta densidad

Como se ha mencionado en el apartado 5.1.5. *núcleos urbanos*, se ha establecido el cumplimiento de una distancia mínima de 2000 metros desde los núcleos urbanos hasta las posibles zonas de vertederos según el PIRCV, con el fin de evitar malos olores y problemas sociales. Sin embargo, desde el punto de vista económico, interesa la menor distancia posible desde el polígono industrial de alta densidad más cercano hasta la instalación de eliminación. Cuanto menor sea esa distancia, menores costes económicos y temporales derivados del transporte de residuos tendrá la empresa que explote la instalación (ver tabla 11). Los costes económicos serían por ejemplo el mantenimiento de los vehículos y el consumo de combustible entre otros. Se han escogido los polígonos industriales de alta densidad ya que se producen más residuos industriales que en las zonas de bajas densidad.

De este modo, la Figura 20 representa la proximidad a las zonas industriales desde las posibles zonas de ubicación del vertedero.

Tabla 11. Puntuación para la distancia de zonas industriales. Fuente: Elaboración propia.

Distancia zona industrial-vertedero (km)	Valor del 1 al 10
1-5	10
5-15	7
15-30	4
>30	1

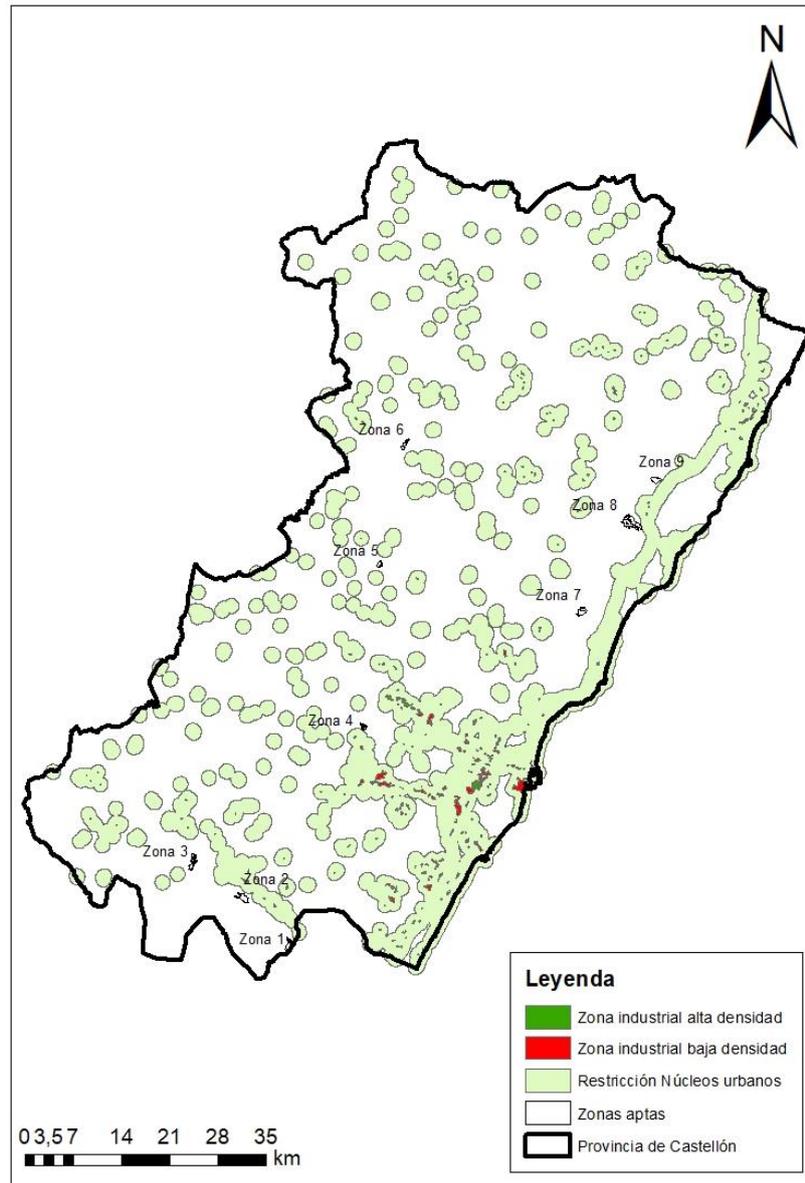


Figura 20: Proximidad a las zonas industriales. Fuente: Elaboración propia.

5.3.9. Proximidad a otras instalaciones de eliminación

En este caso, es conveniente que el vertedero que se vaya a construir se encuentre a una distancia mínima de 10 km de otro vertedero actual en explotación. La Figura 21 muestra la proximidad de los vertederos actuales en explotación a las posibles zonas para el emplazamiento del futuro vertedero.

Tabla 12. Puntuación para la distancia a otras instalaciones de eliminación. Fuente: Elaboración propia.

Distancia vertedero en explotación-zona (km)	Valor del 1 al 10
<10	1
>10	10

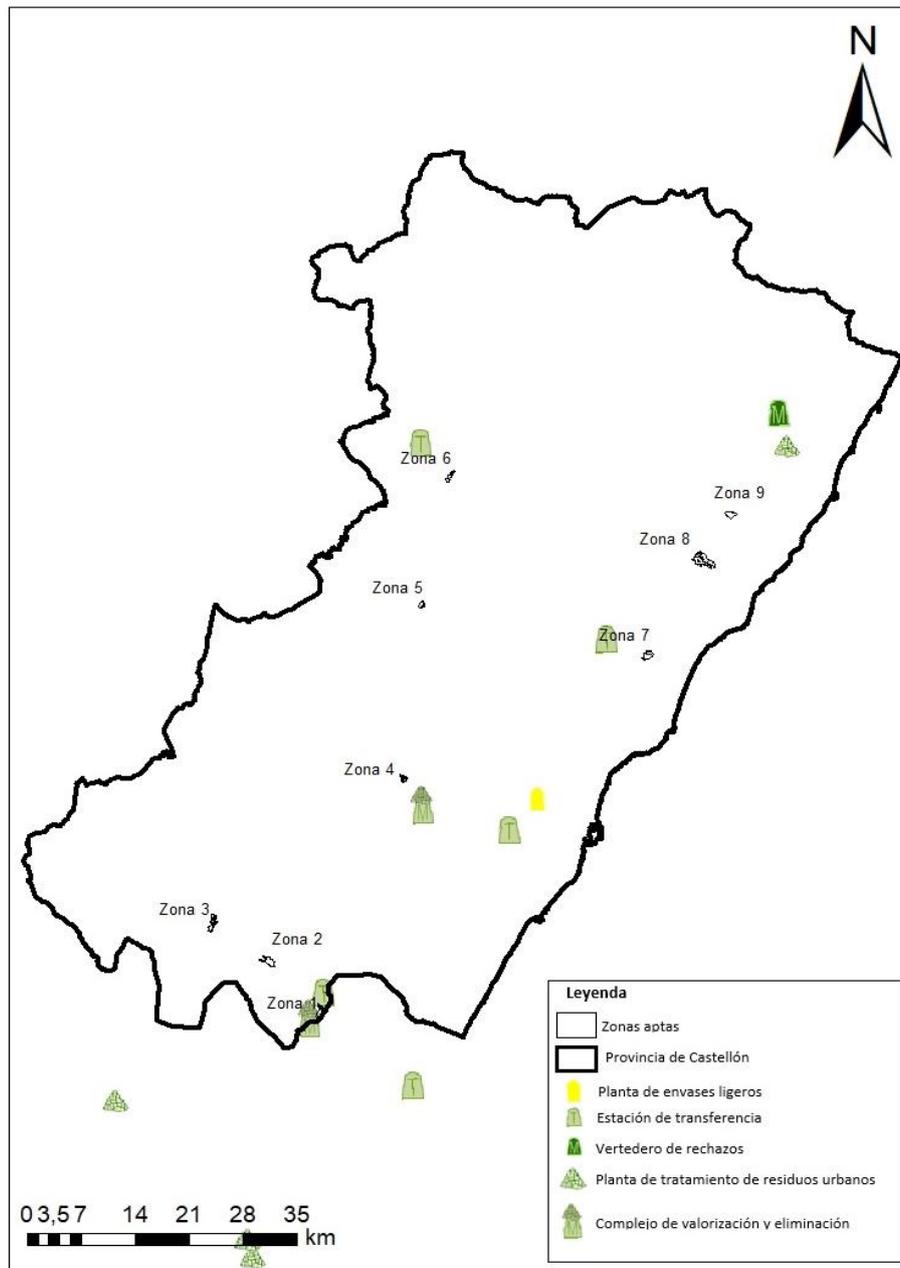


Figura 21: Proximidad a otras instalaciones de eliminación. Fuente: Elaboración propia.

La siguiente tabla 13 representa el análisis multicriterio realizado para seleccionar la mejor alternativa en cuanto a la ubicación de la instalación de eliminación. En ella, se han establecido por criterio propio, unos pesos o ponderaciones a cada criterio de evaluación, los cuales tengan ponderaciones más altas van a ser los que con mayor grado van a influir a la hora de localizar el emplazamiento. Al multiplicar esos pesos por los valores asignados a dichos criterios de cada zona, se obtiene una puntuación o porcentaje para cada una de las zonas.

Tabla 13. Análisis multicriterio. Fuente: Elaboración propia.

CRITERIOS DE EVALUACIÓN	PESO (%)	ZONA 1		ZONA 2		ZONA 3		ZONA 4		ZONA 5		ZONA 6		ZONA 7		ZONA 8		ZONA 9	
		Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso	Valor	Valor x peso
Litología	2	2	4	3,6	7,2	10	20	4	8	5	10	7,5	15	1	2	7	14	4	8
Vulnerabilidad de los acuíferos	1,5	5	7,5	5	7,5	5	7,5	10	15	5	7,5	10	15	5	7,5	5	7,5	5	7,5
Precipitación anual acumulada	0,5	10	5	10	5	6	3	10	5	6	3	1	0,5	6	3	6	3	6	3
Riesgo de erosión	1,5	5	7,5	8	12	5	7,5	8	12	5	7,5	8	12	5	7,5	6	9	8	12
Riesgo de deslizamiento y desprendimiento	1,5	10	15	10	15	10	15	10	15	5	7,5	10	15	10	15	10	15	10	15
Carreteras	0,75	4	3	6	4,5	6	4,5	10	7,5	6	4,5	10	7,5	4	3	10	7,5	6	4,5
Ferrocarriles	0,75	4	3	1	0,75	4	3	10	7,5	10	7,5	10	7,5	7	5,25	1	0,75	1	0,75
Proximidad a las zonas industriales	1	1	1	1	1	1	1	10	10	7	7	4	4	4	4	1	1	1	1
Proximidad a vertederos	0,5	1	0,5	1	0,5	10	5	1	0,5	10	5	10	5	10	5	10	5	10	5
TOTAL	10		46,5 %		53,45 %		66,5 %		80,5 %		59,5 %		81,5 %		52,25 %		62,75 %		56,75 %

5.4. SELECCIÓN DEL EMPLAZAMIENTO

A la vista de los resultados obtenidos en la anterior tabla 13, la zona de mayor puntuación es la 6, por lo que se seleccionará dicha zona para la construcción del vertedero. Esta zona, cuenta con una superficie de 568.963,45 m² y se encuentra a unos 3.500 metros del municipio Benassal. En la siguiente Figura 22 se muestra la ubicación del vertedero.

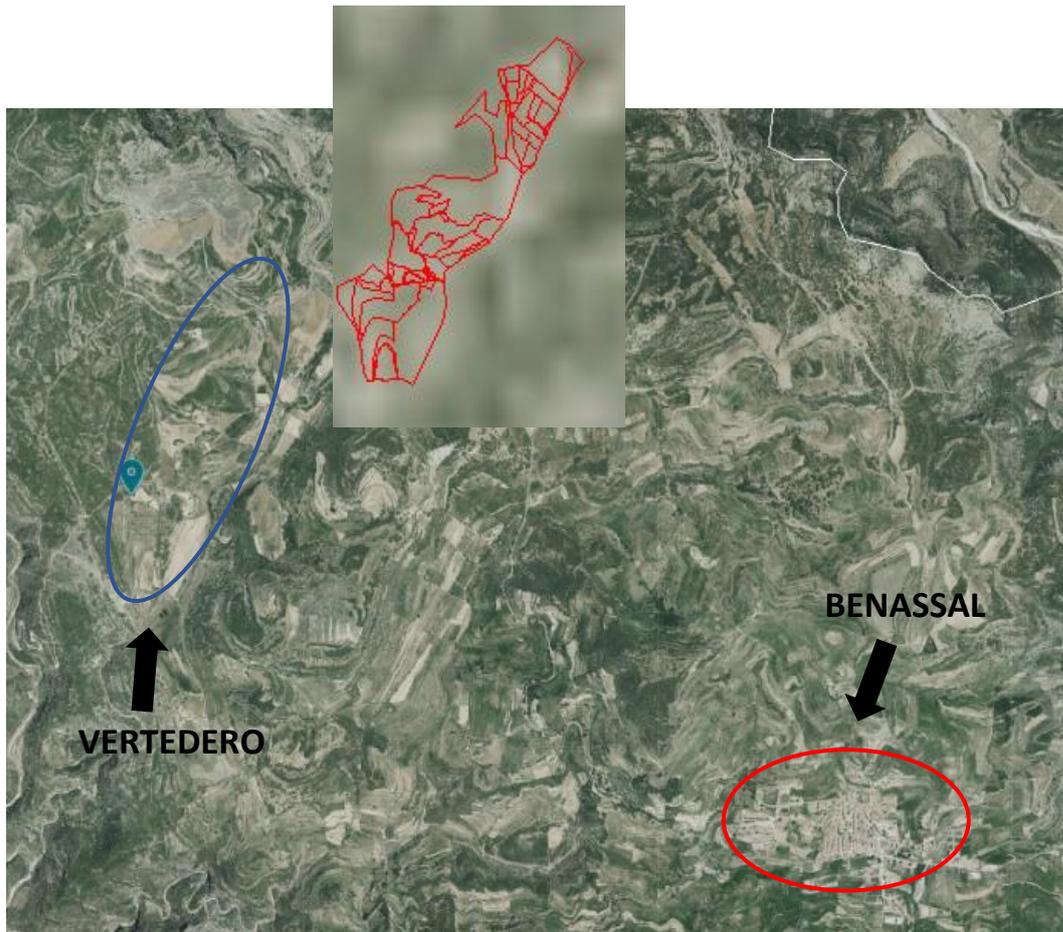


Figura 22: Ubicación del vertedero en el municipio de Benassal. Fuente: Elaboración propia.

En cuanto a la litología, tal y como se observa en la Figura 13, en esta zona predominan las margas y calcáreas por lo que se considera que el suelo de dicha zona es impermeable ya que este tipo de rocas pertenecen a las rocas sedimentarias, las cuales cuentan con un coeficiente de impermeabilidad inferior al $K < 10^{-9}$ (IGME). No cuenta con ningún tipo de riesgo, ya sea, de deslizamiento, desprendimiento o erosión debido a que el riesgo es bajo o nulo, además de que la vulnerabilidad de los acuíferos es baja.

Se sitúa a una larga distancia de las vías férreas, mientras que por lo que respecta al acceso del vertedero, este podría darse mediante las vías pecuarias y una carretera local que tiene que tiene a los alrededores. En la Figura 23 se observa lo mencionado anteriormente, representando la carretera local de color rosa y las vías pecuarias de color verde.

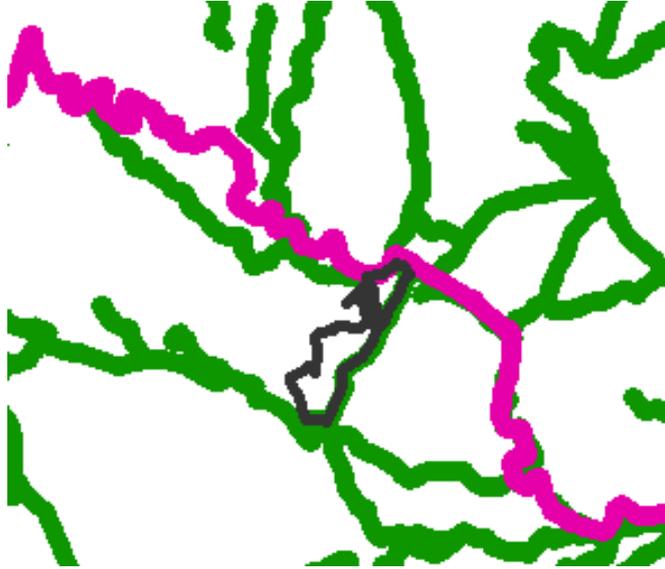


Figura 23: Acceso al vertedero. Fuente: Elaboración propia.

6. CAPACIDAD Y VIDA ÚTIL DEL VERTEDERO

Se pretende que el vertedero pueda almacenar los residuos durante varios años. Para obtener este último dato, es necesario saber principalmente la capacidad del vertedero a construir. Por ello, se ha utilizado el programa Autocad Civil 3D el cual es un programa conocido a nivel internacional por sus amplias capacidades y posibilidades de edición, que hacen posible el dibujo digital de planos de edificios o la recreación de imágenes en 3D.

De esta forma, la Figura 24 muestra las curvas de nivel y superficie de la alternativa escogida, mientras que la Figura 25 representa el vaso del vertedero a construir. El vaso del vertedero cuenta con una superficie de $166.361,32 \text{ m}^2$, cuya cota mínima es de 774 metros y la máxima de 815,4 metros. De esta manera, el volumen disponible del vaso es de $2.417.062,32 \text{ m}^3$. Estas dimensiones se han obtenido a través de la representación del modelo del vaso en el programa Civil 3D.

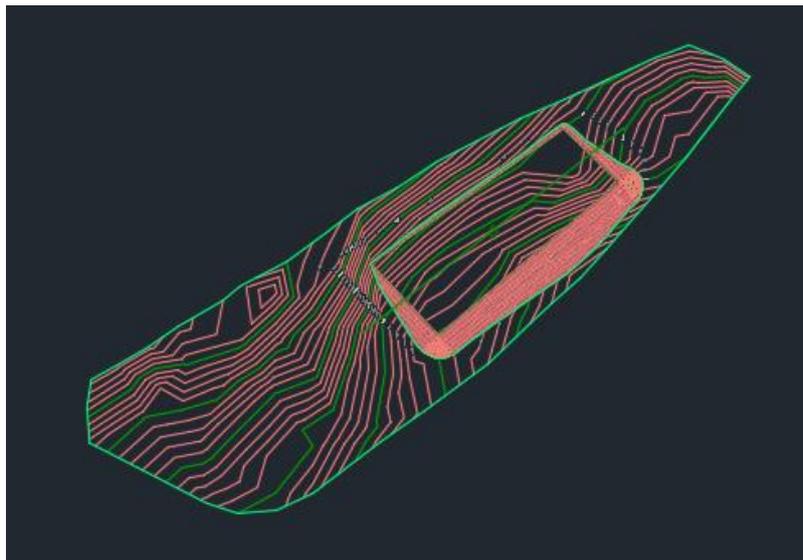


Figura 24: Curvas de nivel y superficie de la zona. Fuente: Elaboración propia.

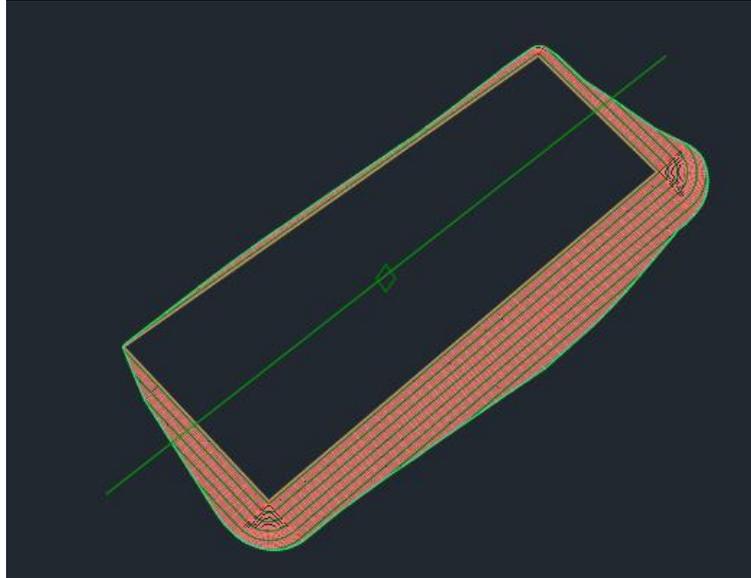


Figura 25: Vaso del vertedero. Fuente: Elaboración propia.

Así pues, el resultado del anterior plano en 3D quedaría representado de la siguiente manera:

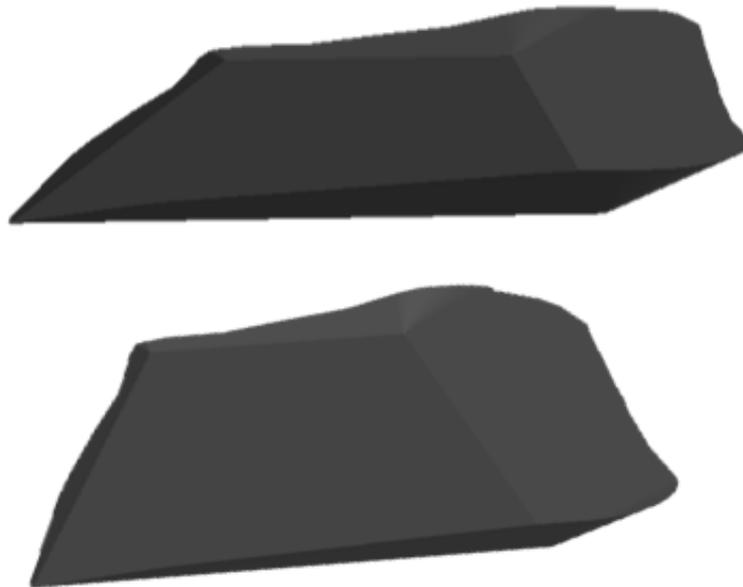


Figura 26: Proyección del vaso en 3D. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, la Figura 27 muestra las diferentes capas que debe presentar un vertedero de residuos no peligrosos. Según el Anexo I: “Requisitos generales para toda clase de vertederos” del RD 1481/2001, sobre depósito en vertedero, al tener una $K < 1.0 \times 10^{-9}$, el espesor tiene que ser mayor a 1 m. En este caso, tal y como se ha podido observar en la Figura 13 la cual representa

la litología de la zona, es un suelo impermeable ya que está compuesto por margas y calcáreas, luego, cuenta con un coeficiente de permeabilidad menor a $K=10^{-9}$ y un espesor mayor a 1 m. Por lo tanto, no hace falta incluir ningún tipo de barrera geológica artificial.

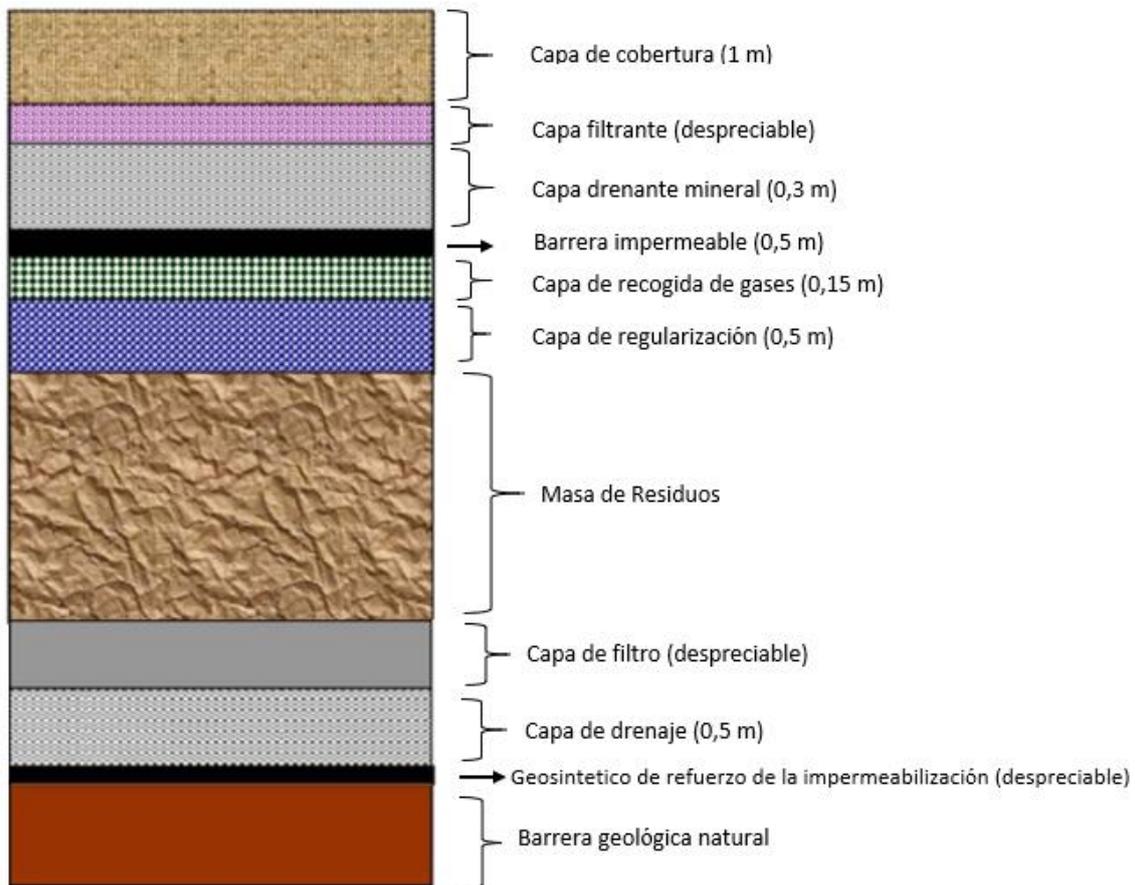


Figura 27: Capas del vertedero para residuos no peligrosos. Fuente: elaboración propia.

Se considera que es un vertedero controlado de alta densidad ($\rho=1000 \text{ kg/m}^3$), donde los residuos se triturar “in situ”, utilizando compactadores del tipo "pata de cabra" o similares, que tras un número de pasadas por los residuos, se consigue la trituración in situ de estos (Bouzas & Borrás, 2019). Cabe destacar que, en este tipo de vertederos, las necesidades de material de recubrimiento se incrementan notablemente, luego, será necesario calcular el volumen que ocupa el material de cobertura, así como el volumen que ocupan los residuos y las barreras (Bouzas & Borrás, 2019). A continuación, se muestra la suma total de cada uno de los espesores de las diferentes capas presentadas en la Figura 27.

$$\Sigma \text{espesor capas} = 1 \text{ m} + 0,3 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,15 \text{ m} + 0,5 \text{ m} + 0,5 \text{ m} = 2,95 \text{ m}$$

Una vez obtenido el valor total de las diferentes capas necesarias para construir y explotar el vertedero, es de máxima importancia saber cuál va a ser el volumen que van ocupar todas esas capas de impermeabilización descritas anteriormente (Figura 27).

$$V_{res.} + V_{cobertura} = V_{disponible} - V_{barreras}$$

$$V_{barreras} = \Sigma_{espesor, capas} \cdot S_{vaso} = 2,95 \text{ m} \cdot 166.361,32 \text{ m}^2 = 490.765,9 \text{ m}^3$$

Para el cálculo del volumen de cobertura, es necesario saber la cantidad de residuos industriales no peligrosos que se producirán al año.

Ese dato, se ha obtenido en la página web de la GVA, datos del 2004 (https://www.cma.gva.es/areas/residuos/inventario_y_catalogo_residuos_CV/INF_DIGITAL/GD.htm). En dicha página web, se han escogido todos los municipios que pertenecen a la Zona I del PIRCV ya que es donde se encuentra el vertedero a construir (GVA, 2004). De esta forma, se ha obtenido una producción de 116.949.000 kg/año, resultado de toda la suma de la producción de cada municipio que pertenece a dicha Zona I. Además, durante la explotación del vertedero, se formarán tongadas de 3 metros de altura, por lo que el área anual necesaria para depositar los residuos sería el siguiente:

$$A_{AN} = \frac{P}{\rho * Hcu} = \frac{116.949.000 \left(\frac{kg}{año}\right)}{1000 \left(\frac{kg}{m^3}\right) \cdot 3 (m)} = 38.983 \frac{m^2}{año}$$

Donde:

A_{AN} : Área anual necesaria para depositar los residuos $\left(\frac{m^2}{año}\right)$

P : Producción anual $\left(\frac{kg}{año}\right)$

Hcu : Altura media de las celdas unitarias (m)

Mediante la siguiente ecuación se obtiene el volumen de cobertura que se necesitará anualmente sabiendo que los residuos se cubrirán diariamente con 15 cm de tierra.

$$V_{cobertura} = A_{AN} \cdot E_c = 38.983 \frac{m^2}{año} \cdot 0,15 \text{ m} = 5.847,45 \frac{m^3}{año}$$

Donde:

E_c : Espesor medio de la capa de cobertura diaria (m)

$$\begin{aligned}V_{residuos} &= V_{disponible} - V_{barreras} - V_{cobertura} \\ &= 2.417.062,32 \text{ m}^3 - 490.765,9 \text{ m}^3 - 5.847,45 \text{ m}^3 = 1.920.449 \text{ m}^3\end{aligned}$$

Una vez obtenidos los valores del volumen disponible que habrá en el vertedero para los residuos y la producción de residuos al año, se podrá saber cuál va a ser la vida útil de este vertedero.

$$Vida\ útil = \frac{V_{residuos}}{Producción\ de\ residuos} = \frac{1.920.449 \text{ m}^3}{116.949.000 \frac{\text{m}^3}{\text{año}}} = \mathbf{16,42\ años} \approx \mathbf{17\ años}$$

7. CONSTRUCCIÓN DEL VERTEDERO

7.1. DESCRIPCIÓN DE LAS ACTUACIONES

En cuanto a la construcción de la celda de vertido de la instalación de eliminación, las tareas a ejecutar son las siguientes (PyG Estructuras Ambientales, 2020):

- Obras de acondicionamiento e impermeabilización de la celda de vertido:
 - Preparación del terreno.
 - Acondicionamiento de la celda de vertido, impermeabilización de la celda.
 - Drenaje y captación de lixiviados.
 - Sistema de captación de biogás.
 - Red de evacuación de aguas pluviales.
- Instalaciones auxiliares:
 - Vial de acceso y viales de servicio.
 - Instalación eléctrica.
 - Red de distribución de agua.
 - Piezómetros de control de aguas subterráneas.

7.1.1. Preparación del terreno

Para el acondicionamiento se ejecutan exclusivamente las siguientes unidades de obra de movimiento de tierras:

- **Desbroce** para la retirada de la vegetación y la tierra vegetal.
- **Excavación** para el perfilado del talud de la ladera sobre la cual se apoyará la celda de vertido.

A fin de disponer de materiales granulares en cantidades apreciables para la impermeabilización del vertedero a un coste razonable, se deberá disponer de un área aneja al vertedero, como zona de acopio.

7.1.1.1. Adecuación de la ladera

En primer lugar, en el hipotético caso de existencia de una surgencia de agua en la ladera, resultará necesario el drenaje del agua existente en la ladera para evitar futuros problemas con la capa de impermeabilización del fondo del vaso de vertido.

7.1.1.2. Terraplenes y desmontes

El primer paso en la ejecución de la celda de vertido será la preparación y regularización del fondo de la celda de vertido.

El fondo de la celda tiene doble función, conseguir una superficie de apoyo que garantice la estabilidad al deslizamiento de los residuos y dar al fondo del vaso una pendiente de drenaje que facilite la circulación de los lixiviados hacia los drenes y por estos hasta el pozo de captación y extracción.

Para ello se realizará el movimiento de tierras correspondiente para garantizar una pendiente mínima a lo largo del eje del vaso de vertido del 2%. Así mismo se fija una pendiente máxima del 10% en el fondo y del 50% en los lados del vaso, por razones constructivas, para la estabilidad de las barreras de impermeabilización artificial y la capa drenante de lixiviados. En zonas con pendiente mayor al 10% se ejecutará una doble zanja de anclaje de las geomembranas y así garantizar la estabilidad para todos los años de explotación. La distancia de la zanja al borde será tal que la tracción no desestabilice dicho tramo, siendo la profundidad y ancho de dicha zanja mayor de 0,5 metros.

7.1.1.3. Taludes y bermas

Se proyectarán viales de tal manera que se ajusten a la morfología minimizando el movimiento de tierras.

La celda debe quedar accesible mediante viales en todas las fases de explotación para hacer posibles los trabajos a realizar en la misma. De esta forma, se colocará una berma intermedia de apoyo para dar seguridad a la lámina de anclaje.

7.1.2. Impermeabilización de la celda de vertido

El sistema de impermeabilización constituye la obra más relevante de las requeridas para garantizar la seguridad de un vertedero de residuos industriales no peligrosos, pues de ella depende en gran medida el control de los lixiviados y su posible incidencia sobre las aguas subterráneas.

Por este motivo, se ha optado por diseñar una impermeabilización que proporcione la mayor seguridad posible teniendo en consideración lo recogido en el Real Decreto 1481/2001 de 27 de diciembre.

Una vez realizado el desbroce y movimiento de tierras necesario, se procederá a la colocación del paquete de impermeabilización en la superficie del fondo del vaso de vertido.

El perfil, de abajo a arriba, será similar al expuesto a continuación:

- Geomembrana de impermeabilización de polietileno de alta densidad (PEAD).
- Geotextil de 500 g/m².
- Capa de grava de 50 cm de espesor mínimo de calidad porfídica o dolomítica para evitar el ataque ácido del lixiviado producido en el fondo del vaso.

La extensión y colocación de geomembranas se realizará de forma continua. Se impermeabilizará el talud de la ladera con una lámina Bentomat AS 5000 la cual asegurará la impermeabilización requerida.

7.1.3. Captación de lixiviados

Los lixiviados se generarán dentro de los límites de cada celda de vertido, como consecuencia de la interacción de las aguas de lluvia directamente caída sobre los residuos depositados. Las cantidades generadas, que cabe establecer en todo momento, serán variables en función del balance hídrico, dependiendo de factores como:

- Régimen de precipitación en la zona
- Situación en que se encuentra la explotación del vertedero
- Forma, características y composición de los residuos depositados

La captación de los lixiviados se realizará en la zona hacia la que confluyen, es decir en el fondo de la celda de vertido, sobre la infraestructura del lecho. Para ello, tal y como se ha comentado anteriormente, se construirá de una red de captación y evacuación de lixiviados formada por una capa de drenaje de al menos 50 cm de espesor complementada con tubos dren francés, de alta resistencia al aplastamiento, con un punto bajo, donde existirá un pozo de regulación de donde se extraerán por bombeo, conduciéndolos mediante una red de tuberías a la balsa de lixiviados a construir. En las siguientes figuras 28 y 29 se muestran las diferentes capas sobre dicho sistema de drenaje, donde se detalla también el recorte realizado en el punto A-A'.

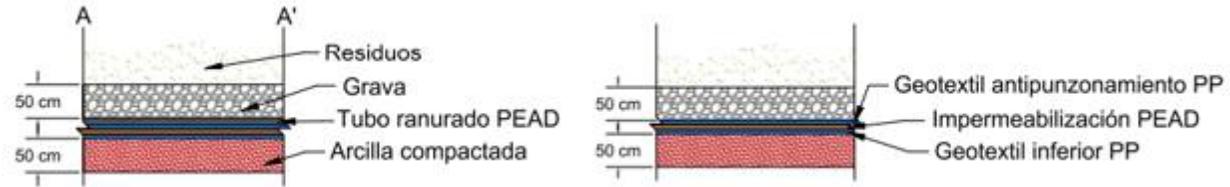


Figura 28: Diferentes capas sobre el sistema de drenaje. Fuente: Elaboración propia.

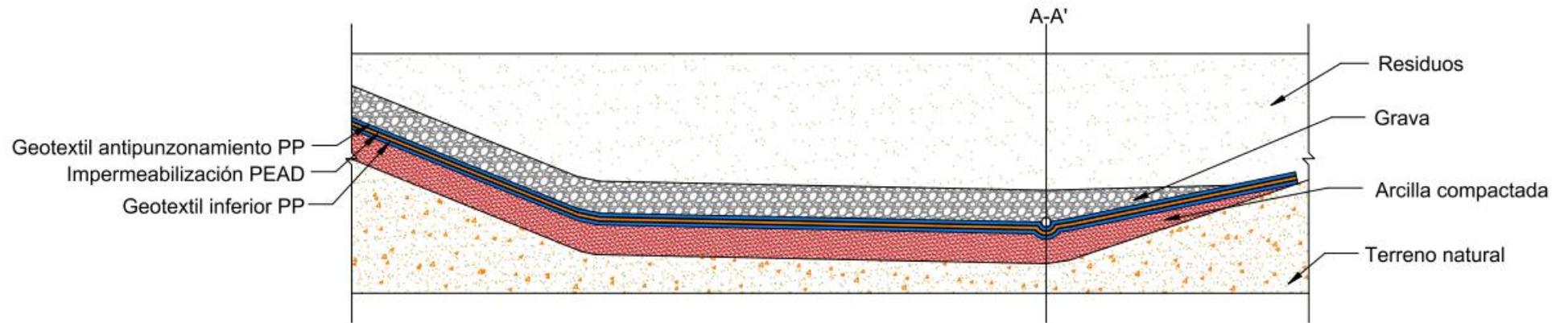


Figura 29: Recorte realizado en el punto A-A'. Fuente: Elaboración propia.

La captación de lixiviados se realizará mediante tuberías colocadas en el fondo del vaso. Consiste en una o más tuberías dren francés de polietileno de alta densidad (PEAD) ranuradas equidistantes al eje del camino y en el centro entre el mismo y el talud de la ladera impermeabilizada. Dichas tuberías se colocan en la parte inferior de la capa de drenaje, apoyadas sobre la capa de impermeabilización artificial, tal y como muestran las anteriores figuras 28 y 29.

Este sistema permite la captación de los lixiviados al llegar por gravedad a la parte inferior de la masa de residuos, pasando de dicha masa a la capa drenante, por la que circulan también por gravedad, debido a la gran permeabilidad de esta capa y la pendiente de regularización del fondo.

Para que la longitud recorrida a través de la capa granular no sea muy grande y facilitar así la circulación de los lixiviados, evitando que un mayor tiempo de exposición al residuo produzca una mayor contaminación, se utilizarán tuberías dren francés según se ha indicado anteriormente para extraer los lixiviados de las capas de gravas y canalizarlos más rápidamente hacia los pozos de captación de lixiviados.

7.1.3.1. Pozo inclinado de captación de lixiviados

A fin de controlar la totalidad de los lixiviados producidos se prevé un sistema complejo, conduciendo los lixiviados recepcionados en la conducción de drenaje por el fondo del vaso hasta un pozo de captación de donde se extraerán por bombeo, impulsándolos a la balsa de lixiviados mediante una red exterior de tuberías de lixiviados. Dicho pozo, actúa a su vez de dispositivo de regulación de entrada de lixiviado a la balsa de regulación de lixiviados. Con el fin de evitar posibles fugas en la red de drenaje desde el punto de captación hasta la balsa, el desarrollo de la tubería será encamisado.

El pozo consiste en una depresión de las capas de impermeabilización. De esta forma, se conforma el pozo rellenándolo de material granular, creando un pequeño depósito de lixiviado que permita al sistema de bombeo distanciar suficiente las sondas de accionamiento y paro del motor, lo que permite la automatización del bombeo evitando la parada y el arranque continuo de las bombas.

En la zona ocupada por el pozo de captación de lixiviados se reforzará la impermeabilización, duplicando el revestimiento de impermeabilización artificial.

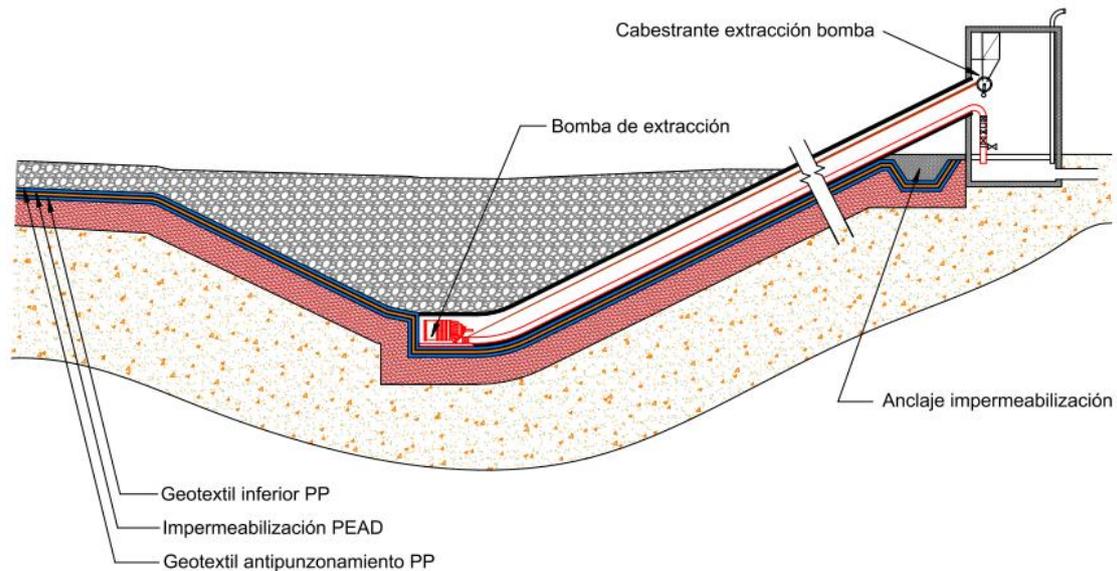


Figura 30: Ubicación de la bomba de extracción de lixiviados. Fuente: Elaboración propia.

El sistema de bombeo estará dotado de un sistema de detección mediante boya que impide que el lixiviado supere la cota de la balsa interior realizada.

En la coronación del talud de la berma de cerramiento del fondo del vaso será necesaria la existencia de una arqueta de bombeo, una marquesina donde se alojarán el cuadro eléctrico de mando y protección de la bomba, dotado de interruptor diferencial multipolar, magnetotérmico, puesta a tierra y contactor de arranque-parada manual y automático.

7.1.3.2. Evacuación de lixiviados

Para la extracción de los lixiviados se prevé, como se ha comentado anteriormente, una bomba, la cual evacuará mediante tubería flexible de PEAD, hasta una arqueta de registro fuera de la superficie de vertido, desde donde partirá la conducción fija y enterrada hasta la balsa de regulación, dentro de otra tubería encamisada, previamente a su traslado a planta de depuración.

7.1.3.3. Balsa de regulación de lixiviados

En cuanto a la balsa de regulación del caudal de depuración de lixiviados procedentes de la celda de vertido, se construirá una balsa para la recogida de lixiviados.

Dicha balsa contará con taludes con una inclinación de 2H: 1V y estarán formados por material de la excavación. En la cota superior habrá una berma de 5 metros de ancho donde se ubicará el vallado perimetral y una puerta de acceso de 7 metros de ancho para camiones. A dicha zona

se llegará a través de un camino de acceso. Su impermeabilización, tanto en fondo como en taludes, aprovechando la impuesta en el vertedero, estará formada por:

- Geotextil de 300 g/m²
- Geomembrana PEAD de 2 mm de espesor
- Geotextil de 300 g/m²

La capa de impermeabilización irá anclada al talud mediante una zanja de 0,5 metros de profundidad y 0,5 metros de ancho y estará ubicada en la coronación del dique de tierras y separada al menos 1 metro del extremo interior.

7.1.4. Sistema de drenaje

Tal y como se ha mencionado anteriormente, será necesario una red de drenaje la cual discurrirá por el camino perimetral de la celda. Dicho camino tiene una pendiente aproximada del 10%, valor situado en el rango de pendientes aceptables, lo que minimiza el movimiento de tierras necesario en el fondo del vaso.

Completado el predimensionamiento se comprobará el correcto funcionamiento de las tuberías seleccionadas, verificando que la velocidad existente sea mayor de 0,5 m/s (velocidad de autolimpieza) y menor de 2,5 m/s para evitar problemas de abrasión.

7.1.5. Sistema de captación de biogás

Los gases producidos por fermentación anaerobia pueden emerger por fisuras del terreno, por lo que es imprescindible la salida controlada y la recogida de este, evitándose su acumulación en espacios cerrados, con el consiguiente riesgo de explosión e incendio. Además, se evita su salida a la atmósfera, factor importante dado que el metano es uno de los principales gases causantes del efecto invernadero.

Es por eso que, será obligatorio llevar a cabo un control de las emisiones, así como de la eficacia del sistema de desgasificación. Las actuaciones a realizar son:

- Control de emisiones de gas: mediante la existencia de una red de puntos de muestreo que permite controlar posibles escapes de gases del vertedero con una frecuencia semanal. El análisis de gases en estos puntos se realiza con equipos portátiles dotados de sensores de CH₄, O₂, CO₂ y compuestos orgánicos volátiles, calibrados para el nivel de concentración habitual en el aire.

- Control de acumulación de gases en el vertedero: es necesario vigilar posibles embolsamientos de biogás en el interior del vertedero mediante un seguimiento de la presión en puntos de control situados en las cabezas de los pozos de captación.

7.1.6. Red de evacuación de aguas pluviales

Las redes de captación y transporte de pluviales tienen como función la recogida de las aguas de lluvia de las zonas no activas del vertedero, y su traslado a puntos de circulación habitual con el objetivo de reducir el aporte exterior de aguas al interior de zonas activas y reducir, con ello, la generación de lixiviados.

Es imprescindible evitar que las aguas de precipitación no contaminadas entren en contacto con la masa de residuos, para impedir que aumente la generación de lixiviados.

En el perímetro exterior del vaso podrá ejecutarse una cuneta de guarda, que es una canalización excavada sobre el terreno natural perimetralmente al área de vertido, justo al pie del talud de la berma perimetral.

Esta cuneta debe recoger el agua de escorrentía procedente de los terrenos situados colindantes al área de vertido a mayor cota, canalizándola hacia el punto de control de aguas pluviales, y posteriormente vertiéndolas a su curso natural.

El agua de precipitación caída sobre la masa de residuo:

- Evapora por evapotranspiración.
- Infiltra atravesando el residuo y siendo recogida como lixiviado en la capa inferior de drenaje.
- Produce escorrentía superficial que discurre sobre las capas de cubrición diaria, deslizando por los taludes hasta ser recogida por la cuneta interior de la berma, de donde pasa a la capa de drenaje de lixiviados.

En cualquiera de los casos anteriores, el agua de precipitación se considerará contaminada y será recogida y tratada como lixiviado.

El agua de precipitación caída sobre las zonas ya selladas:

- Evapora por evapotranspiración.
- Infiltra siendo recogida por la capa de drenaje del sellado y es canalizada hacia los drenes de aguas de drenaje de pluviales.

- Produce escorrentía superficial que discurre sobre la capa de cobertura superior deslizándose por los taludes hasta alcanzar las cunetas de pluviales.

En estos casos el agua no ha sufrido ningún contacto con el residuo y por tanto no se encuentra contaminada, por lo que se devuelve a su cauce natural.

Para conseguir lo descrito anteriormente, lo cual optimiza la gestión de las aguas de precipitación, minimizando la producción de lixiviados, es necesario construir las siguientes infraestructuras:

- Berma perimetral con un conjunto de cunetas y capas de drenaje. Ejecutadas al realizar el movimiento de tierras.
- Cuneta perimetral de guarda.
- Capa de drenaje de pluviales.
- Cuneta de escorrentía de pluviales, que recoge el agua de escorrentía superficial en las fases posteriores al sellado.
- Obras de fábrica. Canalización, pozo de captación.

Tienen por objeto canalizar las aguas que sin haber estado en contacto con la masa de residuos y por tanto sin contaminar, son recogidas en la parte interior de la berma y deben devolverse a su cauce natural en el exterior de la instalación de vertido.

7.1.7. Vial de accesos y viales de servicio

Para un correcto aprovechamiento de las instalaciones del vertedero es necesario disponer de una infraestructura de accesos adecuada.

Para ello, se han previsto los siguientes caminos:

- Acceso principal.
- Caminos en el perímetro de la celda de vertido.
- Caminos de servicio, para que los camiones puedan acceder al frente de vertido de la celda durante su explotación.

De esta forma se pretende conseguir una correcta explotación del vertedero.

Además de los viales de acceso a la celda de vertido, destinados al tráfico pesado y para emplearse durante toda la vida de la instalación, es necesario disponer de otros viales que, por estar contruidos para utilizarse durante un periodo de tiempo relativamente corto, se construirán con un firme menos resistente y una geometría menos exigente.

Responden a este criterio los caminos de acceso a la plataforma de vertido, al ser la posición del frente de vertido cambiante según se van acumulando residuos.

7.1.7.2. Viales de servicio

Dentro del perímetro del área de vertido se ejecutarán los viales de servicio convenientes según avanza la explotación.

Los viales se realizarán con tierra natural. En el caso de los caminos de servicio la sección tipo es distinta porque el período de vida de estos caminos es limitado, puesto que sólo darán servicio durante el proceso de llenado de las celdas hasta llegar a la misma cota del camino.

- Caminos de servicio:
 - Ancho de zona de rodadura de 7m.
 - De tierras.

Para conseguir un correcto mantenimiento deben disponerse una serie de cunetas perimetrales, tanto internas como externas a los caminos.

En ellas se procederá a una limpieza y acondicionamiento periódico para que cumplan su función drenante satisfactoriamente.

7.1.8. Señalización para la circulación de vehículos.

La zona estará debidamente señalizada, tanto en horizontal como en vertical, y existirá un cartel indicador de la instalación normalizado.

En cuanto a la altura de las señales, la diferencia de cota entre el borde inferior de la señal y el borde de la superficie de ubicación, situado en correspondencia con aquellos, será de aproximadamente 2 m.

7.1.9. Instalación eléctrica

Se prevén pequeños consumos relacionados con los sistemas de bombeo de lixiviados, red de cámaras de vigilancia, focos de alumbrado y compresor de aire y agua portátil.

La acometida en baja tensión se efectuará desde el transformador general de la instalación, se enterrará, aprovechando las trazas de los viales, hasta los cuadros generales de protección, ubicados en el perímetro del vaso de vertido.

Además, es importante contar con un grupo electrógeno para dar servicio a la instalación en caso de avería.

7.1.10. Vallado perimetral

Para evitar la entrada de personas ajenas al vertedero, así como para evitar que se produzcan volados fuera del recinto, será necesaria la construcción de un vallado en el perímetro de la superficie de actuación del vertedero, así como en el perímetro de la balsa de regulación de lixiviados.

El mencionado vallado se ejecutará mediante postes metálicos de acero galvanizado de 2,5 m de altura y malla metálica de 2 m de alto, igualmente galvanizada, de simple torsión. Se anclará al terreno mediante dados de hormigón en masa de 0,30 x 0,30 m.

El vallado se enterrará en su parte inferior hasta 50 cm para evitar la entrada de animales que pudieran acceder bajo dicho vallado.

7.1.11. Piezómetro de control de aguas subterráneas

Siendo uno de los principales riesgos de los vertederos la afección de las aguas subterráneas se hace necesario disponer de una red de puntos de control (piezómetros) que permitan determinar la calidad inicial de las aguas y posibles variaciones en la misma como consecuencia de la implantación de la n celda de vertido.

Con la red de piezómetros de control se consigue:

- Tener un seguimiento de las aguas subterráneas
- Medir los niveles piezométricos
- Obtener medidas representativas

La profundidad del piezómetro depende fundamentalmente de:

- Las características de la columna estratigráfica del terreno natural
- Las condiciones puntuales del acuífero

Como norma general, el sondeo para la realización del piezómetro debe penetrar entre 4 y 5 metros en el nivel piezométrico (RD 1481/2001), ya que, debido a posibles actuaciones en otros puntos o fluctuaciones históricas del acuífero, no afecten hasta el punto de inutilizar el piezómetro de control.

Las mediciones para controlar la posible afección del vertedero de residuos a las aguas subterráneas se realizarán en, al menos, un punto de control situado aguas arriba de la celda de vertido en la dirección del flujo de aguas subterráneas entrante (en la unidad hidrogeológica

objeto de control) y en, al menos dos puntos situados aguas debajo de la instalación en la dirección del flujo saliente.

El número de piezómetros mínimo requerido por el RD 1481/2001, es decir, el número de puntos de control podrá aumentarse sobre la base de los resultados de reconocimiento hidrogeológico específico y teniendo en cuenta la necesidad de la detección rápida de cualquier vertido accidental de lixiviados en las aguas subterráneas.

A continuación, se adjunta un esquema tipo de piezómetro de control (ver Figura 31), donde se muestran los diferentes elementos que lo constituyen.

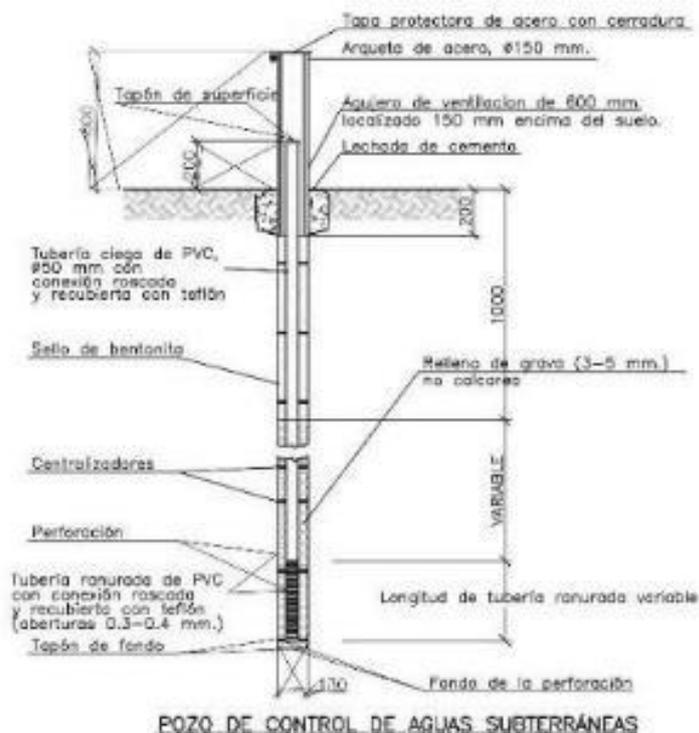


Figura 31: Pozo de control de aguas subterráneas. Fuente: PyG Estructuras Ambientales.

La construcción de los piezómetros se realizará de acuerdo con los siguientes criterios, según la figura anterior:

- El piezómetro estará construido con un tubo de PVC. La sección enrejillada ha de estar cortada por maquina a modo de ranuras. La longitud ha de penetrar lo suficiente en el nivel piezométrico.
- Se colocarán gravas o filtros de arenas alrededor de la sección perforada de la tubería. En el tramo superior se colocarán sellos de bentonita.

- Los piezómetros se ubicarán fuera del vertedero con el fin de poder efectuar el seguimiento ambiental de las aguas subterráneas.

Se documentará cronológicamente toda la información obtenida durante los sondeos y muestreo posterior. Se efectuará un registro de la litología existente, así como de los resultados obtenidos en el campo y en el laboratorio. También se elaborará un informe final el cual incluirá una descripción breve y concisa, el registro de los testigos y un mapa con la localización de estos.

En la red de control se realizarán las siguientes operaciones:

- Tomar medidas mensuales de piezometría, pH y conductividad, para conocer la evolución del nivel de las aguas subterráneas, que suponen un dato de interés a considerar en las operaciones de explotación del vertedero.
- Campañas de muestreo trimestrales, para determinar DBO₅, DQO, sulfatos, cloruros, fosfatos, N-orgánico, nivel piezométrico y potencial redox.
- Campañas de muestreo semestrales, al objeto de verificar la estanqueidad de las infraestructuras de impermeabilización. Se tomarán muestras estratificadas de acuerdo con los resultados de los sucesivos estudios hidro-químicos que se vayan realizando. De acuerdo con el RD 1481/2001; DBO₅, DQO, sulfatos, cloruros, fosfatos, N-orgánico, nivel piezométrico, potencial redox, metales, fenoles, aceites, etc.

Esta red de control se seguirá manteniendo incluso a la conclusión de la vida útil del vertedero, realizando tanto la toma de muestras y analítica, como las mediciones de piezometría con carácter semestral.

8. EXPLOTACIÓN DEL VERTEDERO

8.1. ORGANIZACIÓN DE LOS TRABAJOS

8.1.1. Pesaje de los vehículos

El vehículo encargado de llevar los residuos al vertedero es el camión portacontenedores, que será debidamente pesado y registrado en la báscula de la entrada de la instalación. Estas labores del pesaje y registro se llevarán a cabo por el sistema automatizado de pesaje, y supervisadas por el operario encargado de la báscula de pesaje.

Éste se asegurará de que exista un registro permanente de los vehículos con destino a vertedero. En dichos registros se recogerán, como mínimo, los siguientes datos (PyG Estructuras Ambientales, 2020):

- Tipo de vehículo
- Matrícula
- Topología del residuo/ rechazo que transporta
- Peso Neto
- Fecha
- Hora
- Firma del peón

8.1.2. Descarga de los residuos

La descarga de los residuos será realizada por el conductor en el área de descarga principal que le indique el operario del vertedero o, en su defecto, el maquinista. El conductor realizará una segunda inspección visual del residuo vertido durante el proceso de descarga.

El área de descarga será asignada diariamente por el encargado, que se asegurará de que sus dimensiones sean las suficientes para permitir el trabajo simultáneo de explotación y descarga, especialmente durante las horas que más residuos se prevén recibir y por tanto se espere un alto trasiego en la circulación.

Adicionalmente se dispondrá de una zona habilitada de descarga de emergencia, que se utilizará única y exclusivamente en aquellos casos en las que no se pueda acceder al área principal por cualquier contingencia o condiciones climatológicas adversas. La permanencia de los residuos aquí será mínima y serán trasladados a su habitual área de descarga a la mayor brevedad posible.

8.1.3. Extendido de los residuos

Los residuos a granel que se espera depositar se colocarán en superficies sensiblemente horizontales, pero siempre con una pendiente mínima del 2-4% que favorezca el drenaje del agua en caso de precipitación. De esta forma, una vez descargados los residuos, serán extendidos mediante la pala de cadenas o buldócer que irá acondicionando el material y formando la celda de vertido diaria (Figura 32). Para ello, estas labores serán llevadas a cabo por el maquinista del vertedero que las ejecutará de manera tal que se garantice la estabilidad de la masa de residuos y estructuras asociadas, especialmente para evitar posibles deslizamientos.

La superficie ocupada diariamente por los residuos vertidos guardará relación con el volumen de los mismos, teniendo en cuenta que el espesor máximo de la capa, en el momento de proceder al extendido no superará los 0,5 m. El extendido se realizará por capas sucesivas, hasta alcanzar el espesor señalado por la celda de vertido. Estos trabajos los irá alternando con la compactación.



Figura 32. Extendido de los residuos. Fuente: Diario de Navarra.

8.1.4. Compactación

Una vez que los residuos han sido extendidos en una determinada área de la celda, el maquinista del vertedero a través del compactador procederá a realizar sucesivas pasadas, sobre los residuos, con el fin de compactar los mismos hasta alcanzar un grado lo suficientemente adecuado para reducir el volumen de los mismos. En general, se recomiendan realizar al menos cuatro pasadas.

No hay que olvidar que la compactación de residuos es una medida efectiva para la reducción del volumen de los mismos, incrementar la vida del vertedero y mejorar los sistemas instalados. También reduce los impactos producidos por los animales, la generación de volados, la probabilidad de generación de incendios y se minimizan los asentamientos, creando una base más firme para todas las estructuras asociadas al vertedero.

8.1.5. Formación diaria de la celda

Los residuos descargados diariamente constituirán la celda diaria de vertido, que irá variando en función de la cantidad de residuos recibidos. En general, para asegurar una correcta explotación del vertedero se seguirán con los siguientes criterios:

- El ancho de la celda deberá adecuarse para garantizar un correcto trabajo de extendido y compactación de los residuos con total seguridad para el manejo de la maquinaria.
- La altura de los residuos en celda, una vez que han sido compactados no superarán los 3 metros de altura (sin considerar las tierras de cubrición).

Se procederá a depositar una nueva capa de residuos siguiendo el mismo procedimiento de forma secuencial hasta el llenado del vaso.

8.1.6. Cubrimiento diario de la celda

La capa de cobertura diaria se aplica para cubrir los residuos vertidos con el fin de controlar la generación de lixiviados, controlar los residuos depositados para evitar el vuelo de los plásticos, papeles o aquellos residuos ligeros, reducir los olores, evitar la aparición de roedores y pájaros, prevenir la generación de incendios, disminuir el impacto visual, así como facilitar el acceso de vehículos a la superficie de trabajo al frente de vertido diario.

Garantizar la disponibilidad del recubrimiento diario, requiere una importante planificación debido a las grandes cantidades que se necesitan. El espesor de dicha capa, una vez compactada, será aproximadamente de 15 cm.

8.1.7. Bermas y taludes

Una vez extendida y compactada una primera tongada de 3 metros de altura, se procederá a depositar una segunda y así sucesivamente. De esta forma, se ejecutará una berma intermedia que mida aproximadamente 5 metros de ancho, de modo que el depósito quedará de forma aterrazada por taludes 2H:1V. La ejecución de dichas bermas supondrá que el talud envolvente general sea 3H:1V.

Durante la explotación y con el fin de impedir la visibilidad de la capa de residuos desde las carreteras cercanas al vertedero, se rellenarán los cordones laterales de las capas de residuos con tierra mientras se trabaja en el extendido y compactado de los mismos. Se adjunta plano del relleno con cordones laterales, que quedará, aproximadamente como en la siguiente Figura 33.

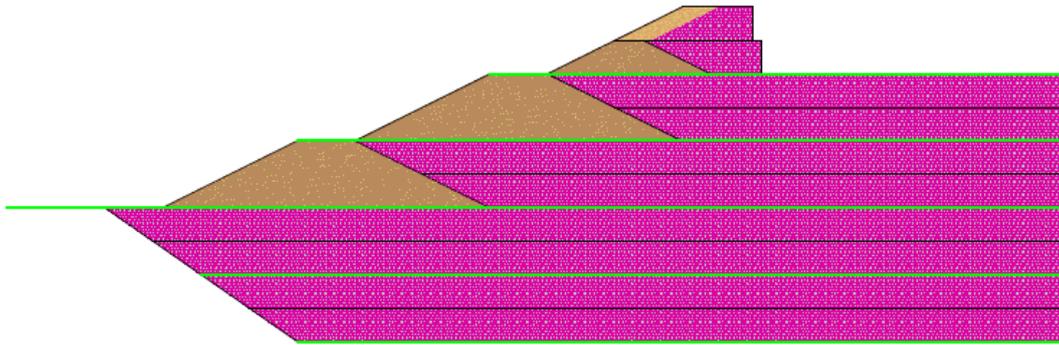


Figura 33: Relleno con cordones laterales. Fuente: Elaboración propia.

9. PRESUPUESTO

En este proyecto, el presupuesto es el documento que refleja el coste de ejecución material en este, es decir, la inversión de los materiales necesarios para llevarlo a cabo. Para obtener el presupuesto de un proyecto es preciso realizar las siguientes etapas:

- Identificación de las Unidades de Obra que componen el Proyecto, entendiendo por Unidad de obra una parte elemental de la obra, que suponga una determinada actuación generalmente para aplicación en obra de ciertos elementos que tendrán el carácter de materiales.
- Realizar las Mediciones de las Unidades de Obra. Se deben hacer procurando tener en cuenta todas ellas; en realidad se trata de determinar la cantidad de Unidad de Obra que hay en el proyecto.
- Calcular el coste unitario de la Unidad de Obra. Es importante que haya una correspondencia clara entre la descripción de la Unidades de Obra del Cuadro de Precios y las del Cuadro de Mediciones para evitar errores.
- Calcular el coste total de las Unidades de Obra multiplicando su medición por el coste unitario.

Se presentan en la tabla 14 las mediciones realizadas de las unidades de obra, las cuales se han obtenido a través del programa Autocad Civil 3D.

Tabla 14. Mediciones de la obra. Fuente: Elaboración propia.

	Dimensiones				Total
	Ud.	Longitud	Anchura	Altura	
MOVIMIENTO DE TIERRAS					
Desmante en tierra de la explanación con medios mecánicos (m ³)	1	549,87	126,89	18	1.255.914,08
Terraplén con productos procedentes de la excavación, extendido y compactación (m ³)	1	463,10	148,62	13,50	929.149,95
IMPERMEABILIZACIÓN VASO					
Suministro y colocación de geotextil de 500 g/m ² (m ²)	1	535,40	195,78		104.821,40
Colocación de geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) (m ²)	1	378,60	108,70		41.154
Capa de grava de 50 cm de espesor mínimo de calidad porfídica o dolomítica (m ³)	1	378,60	108,70	0,50	20.576,91
BALSA					

Desmante en tierra de la explanación con medios mecánicos (m ³)	1	56	32	1,50	2.688
Suministro y colocación de geotextil no tejido, compuesto por filamentos de polipropileno unidos por agujereado y posterior calandrado, con un gramaje de 300 g/m ² (m ²)	1	58	41		2.378
Colocación de geomembrana de protección frente a las infiltraciones de 2 mm de espesor compuesta de polietileno de alta densidad y laminado no tejido por las dos caras, presentado en rollos de 2 m. de ancho y 100 de largo (m ²)	1	58	41		2.378
DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES					
Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	3	50		4	600
Cuneta trapecial tipo T3 de h=0,60 m y base 0,40 m (m)	1	795,80	0,40	0,60	191
DRENAJE DE LIXIVIADOS					
Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	3	15		5	225
Tubería de drenaje francés de diámetro nominal 150 mm (m)	7	82,91			580
Piezómetro con tubería PVC (m)	2	2.648			5.296
EXTRACCIÓN DE GASES					
Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	2	5,80	2	4	96
Puesta en obra y colocación de tubería PVC de diámetro exterior 15 cm, de pared corrugada, ranuras de 5 mm de ancho (m)	1	420			420
VIALES					
Retirada de tierra vegetal hasta un espesor de 40 cm (m ²)	1	4963,10			4.963,10
Terraplén con productos procedentes de la excavación, extendido y compactación (m ³)	1	678,70			678,70
Cuneta triangular tipo V1, de ancho 1 m y h=0,5 m (m)	1	379,48	1	0,50	189,74
Zahorra artificial (m ²)	1	1.654,20			1.654,20
VALLADO					

Postes metálicos de acero galvanizado de 2,5 m de altura con malla metálica de 2 m de alto de simple torsión galvanizada en caliente, de trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por Inmersión de 48 mm de diámetro (m)	12	49,72	4,50	2.685
---	----	-------	------	-------

De esta forma, la tabla 15 resume el presupuesto realizado para este estudio, sumando el coste total de todas las Unidades de Obra se obtiene el Presupuesto Total (Plana, 2016).

Tabla 15. Presupuesto del estudio. Fuente: Elaboración propia.

	Medición	Precio Unitario (€)	Precio total (€)
MOVIMIENTO DE TIERRAS			5.403.018,76
Desmonte en tierra de la explanación con medios mecánicos (m ³)	1.255.914,08	2,09	2.624.860,42
Terraplén con productos procedentes de la excavación, extendido y compactación (m ³)	929.149,95	2,99	2.778.158,34
IMPERMEABILIZACIÓN VASO			1.374.491,90
Suministro y colocación de geotextil de 500 g/m ² (m ²)	104.821,40	1,57	164.569,59
Colocación de geomembrana de polietileno de alta densidad (PEAD) (m ²)	41.154	14,77	607.841,92
Capa de grava de 50 cm de espesor mínimo de calidad porfídica o dolomítica (m ³)	20.576,91	29,26	602.080,39
BALSA			44.474,44
Desmonte en tierra de la explanación con medios mecánicos (m ³)	2.688	2,09	5.617,92
Suministro y colocación de geotextil no tejido, compuesto por filamentos de polipropileno unidos por agujereado y posterior calandrado, con un gramaje de 300 g/m ² (m ²)	2.378	1,57	3.733,46
Colocación de geomembrana de protección frente a las infiltraciones de 2 mm de espesor compuesta de polietileno de alta densidad y laminado no tejido por las dos caras, presentado en rollos de 2 m. de ancho y 100 de largo (m ²)	2.378	14,77	35.123,06
DRENAJE DE AGUAS PLUVIALES			8.144,81

Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	600	3,85	2.310
Cuneta trapecial tipo T3 de h=0,60 m y base 0,40 m (m)	191	30,55	5.834,81
DRENAJE DE LIXIVIADOS			147.601,42
Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	225	3,85	866,25
Tubería de drenaje francés de diámetro nominal 150 mm (m)	580	22,51	13.064,13
Piezómetro con tubería PVC (m)	5.296	25,24	13.3671,04
EXTRACCIÓN DE GASES			10.033,57
Excavación en zanja o pozo en terreno flojo (m ³)	96	3,85	369,37
Puesta en obra y colocación de tubería PVC de diámetro exterior 15 cm, de pared corrugada, ranuras de 5 mm de ancho (m)	420	23,01	9.664,20
VIALES			21.615,10
Retirada de tierra vegetal hasta un espesor de 40 cm (m ²)	4.963,10	1,60	7940,96
Terraplén con productos procedentes de la excavación, extendido y compactación (m ³)	678,70	2,99	2029,31
Cuneta triangular tipo V1, de ancho 1 m y h=0,5 m (m)	189,74	2,35	445,89
Zahorra artificial (m ²)	1.654	6,77	11198,93
VALLADO			60.731,99
Postes metálicos de acero galvanizado de 2,5 m de altura con malla metálica de 2 m de alto de simple torsión galvanizada en caliente, de trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por Inmersión de 48 mm de diámetro (m)	2.685	22,62	60.731,99
TOTAL			7.070.111,98

De acuerdo con la tabla 15, el presupuesto de ejecución material asciende a la cantidad de 7.070.111,98 €. Sin embargo, el Real Decreto 1098/2001 indica que, a los efectos de obtención del presupuesto base de licitación en los contratos de obra, los porcentajes de entre 13-17% en gastos generales, y 6% de beneficio industrial, incrementan el presupuesto de ejecución material de la obra. De esta forma, al incrementar el presupuesto de ejecución por contrata en un 13% en concepto de gastos generales y un 6% en beneficio industrial, se obtiene un presupuesto de licitación de 8.413.433,25 €.

10. CONCLUSIONES

En el presente estudio se ha planteado el uso de una herramienta de análisis espacial multicriterio para optimizar la ubicación de un vertedero de residuos industriales no peligrosos. Se ha utilizado en el mismo el uso del Sistema de Información Geográfica (SIG) con una metodología de análisis multicriterio para obtener la ubicación óptima del vertedero.

De acuerdo a las características y criterios más apropiados del terreno para la localización óptima del vertedero de residuos industriales no peligrosos se ha utilizado como referencia los criterios establecidos en el PIRCV y en el Decreto 55/2019. De esta manera, se han implementado dos tipos de criterios para la selección de áreas para la disposición final de residuos industriales en el vertedero, los cuales han sido: criterios de restricción y criterios de evaluación. Así pues, por medio de los mismos se han podido determinar los lugares aptos mediante la utilización del Sistema de Información Geográfica (SIG).

Con referencia a la ubicación de áreas más adecuadas para la instalación del vertedero, y según el análisis multicriterio que se ha realizado, se han seleccionado 9 zonas dentro del área de estudio, de las cuales la zona 6, que pertenece al municipio de Benassal, se ha considerado la zona óptima con 56,89 ha y con un subsuelo ocupado en su mayoría por margas.

A la vista de los cálculos realizados se ha obtenido que el volumen de material de impermeabilización es de 490.765,90 m³, mientras que el volumen de material de sellado adquiere un valor de 5.847,45 m³/año. De esta forma y sabiendo que el vaso de vertido del vertedero posee una capacidad de 2.417.062,32 m³, se ha calculado un volumen de residuos de 1.920.449 m³ estimando así una vida útil del vertedero de aproximadamente 17 años.

En cuanto a la construcción y explotación del vertedero, por un lado, se ejecutarán tareas como, las obras de acondicionamiento e impermeabilización de la celda de vertido, así como el de las instalaciones auxiliares con el fin de cumplir todas las medidas necesarias según la legislación. Por otro lado, en la explotación del vertedero se ha tenido en cuenta principalmente la descarga, el extendido y la compactación de los residuos, considerando las medidas de las bermas y taludes.

Finalmente, tras haber calculado el presupuesto de ejecución material, teniendo en cuenta el incremento por los porcentajes de los gastos generales y beneficios industriales, se ha obtenido un presupuesto de licitación de 8.413.433,25 €.

11. BIBLIOGRAFÍA

- Ambiental, D. G. (s.f.). *Memoria de Información PIRCV*.
- Bosque Sendra, J. (2011). *SIG y evaluación multicriterio*. [Fecha de consulta: 28 marzo 2020] Obtenido de <https://www.geogra.uah.es/joaquin/ppt/Evaluacion-multicriterio.pdf>
- Bouzas, A., & Borrás, L. (Mayo de 2019). Vertederos controlados.
- *Centro Nacional de Información Geográfica*. (s.f.). [Fecha de consulta: 1 abril 2020] Obtenido de <http://centrodedescargas.cnig.es/>
- Conselleria de Agricultura CV. (2009). *PATFOR*. [Fecha de consulta: 5 abril 2020] Obtenido de http://www.agroambient.gva.es/auto/montes-bosques/PATFOR/01_MEMORIA/PATFOR_Memoria_version_final.pdf
- Dirección General de Calidad Ambiental. (s.f.). *PIRCV*. [Fecha de consulta: 5 abril 2020] Obtenido de <http://www.agroambient.gva.es/documents/20549779/92789153/Memoria+Informacion/a3ed44e9-be46-4246-9851-10f46c09cb58>
- Fernandez , A., & Muguruza, C. (2015). *Ordenación del territorio. Análisis y diagnóstico*.
- GVA. (2004). *Inventario y catálogo de residuos*. [Fecha de consulta: [6 mayo 2020] Obtenido de GVA: https://www.cma.gva.es/areas/residuos/inventario_y_catologo_residuos_CV/INF_DIGITAL/GD.htm
- IDEV. (s.f.). *IDEV*. [Fecha de consulta: 3 abril 2020] Obtenido de http://www.icv.gva.es/auto/aplicaciones/icv_geocat/#/?lang=spa
- IGME. (s.f.). [Fecha de consulta: 15 abril 2020] Obtenido de <http://www-naweb.iaea.org/napc/ih/documents/LIBRO%20ISOTOPOS/PDF%20Isotopos-IV/Seccion%20IV-%201.pdf>
- *Instituto Cartográfico de Valencia*. (s.f.). [Fecha de consulta: 5 abril 2020] Obtenido de <http://www.idev.gva.es/es/>
- *Instituto Geológico y Minero de España*. (s.f.). [Fecha de consulta: 18 abril 2020] Obtenido de <http://www.igme.es/>

- PIRCV. (2019). *DECRETO 55/2019, de 5 de abril, del Consell, por el que*. [Fecha de consulta: 30 marzo 2020] Obtenido de http://www.dogv.gva.es/datos/2019/04/26/pdf/2019_4208.pdf
- Plana, A. d. (2016). [Fecha de consulta: 18 junio 2020] Obtenido de http://www.castello.es/archivos/731/16_47%20CEIP%20Enric%20Soler%20i%20Godes%20161024%20Proyecto%20parte%202.pdf
- PyG Estructuras Ambientales, S. (2020).
- RD 1481/2001. (s.f.). *BOE*. [Fecha de consulta: 17 marzo 2020] Obtenido de <https://www.boe.es/buscar/pdf/2002/BOE-A-2002-1697-consolidado.pdf>

12. ANEXOS

La agrupación de algunas de las zonas PIR97 en los planes zonales y su nomenclatura basada en números romanos ha puesto de manifiesto dificultades en la identificación del ámbito territorial al que se refiere el Plan Zonal o el área de gestión. La nueva nomenclatura de los Planes Zonales según el artículo 16 del Decreto 55/2019 se establece mediante la asignación de números arábigos de forma correlativa de norte a sur de la Comunitat Valenciana. Sin embargo, las áreas de gestión adoptan una nomenclatura unívoca que incluye la primera letra del nombre de la provincia a la que pertenecen, seguida de un número arábigo asignado también de forma correlativa de norte a sur de la Comunitat Valenciana, tal y como se muestra en la siguiente tabla 16. Así pues, la Figura 34 representa la ubicación de cada zona y área de gestión en toda la Comunidad Valenciana.

Tabla 16. Plan zonal y áreas de gestión de la Comunitat Valenciana. Fuente: Decreto 55/2019.

Nomenclatura de los Planes Zonales	Nomenclatura de las áreas de gestión
Plan zonal 1	G1
Plan zonal 2	G2
Plan zonal 3	C3/V1
Plan zonal 3	V2
Plan zonal 4	V3
Plan zonal 5	V4
Plan zonal 5	V5
Plan zonal 6	A1
Plan zonal 7	A2
Plan zonal 8	A3
Plan zonal 9	A4
Plan zonal 10	A5
Plan zonal 11	A6

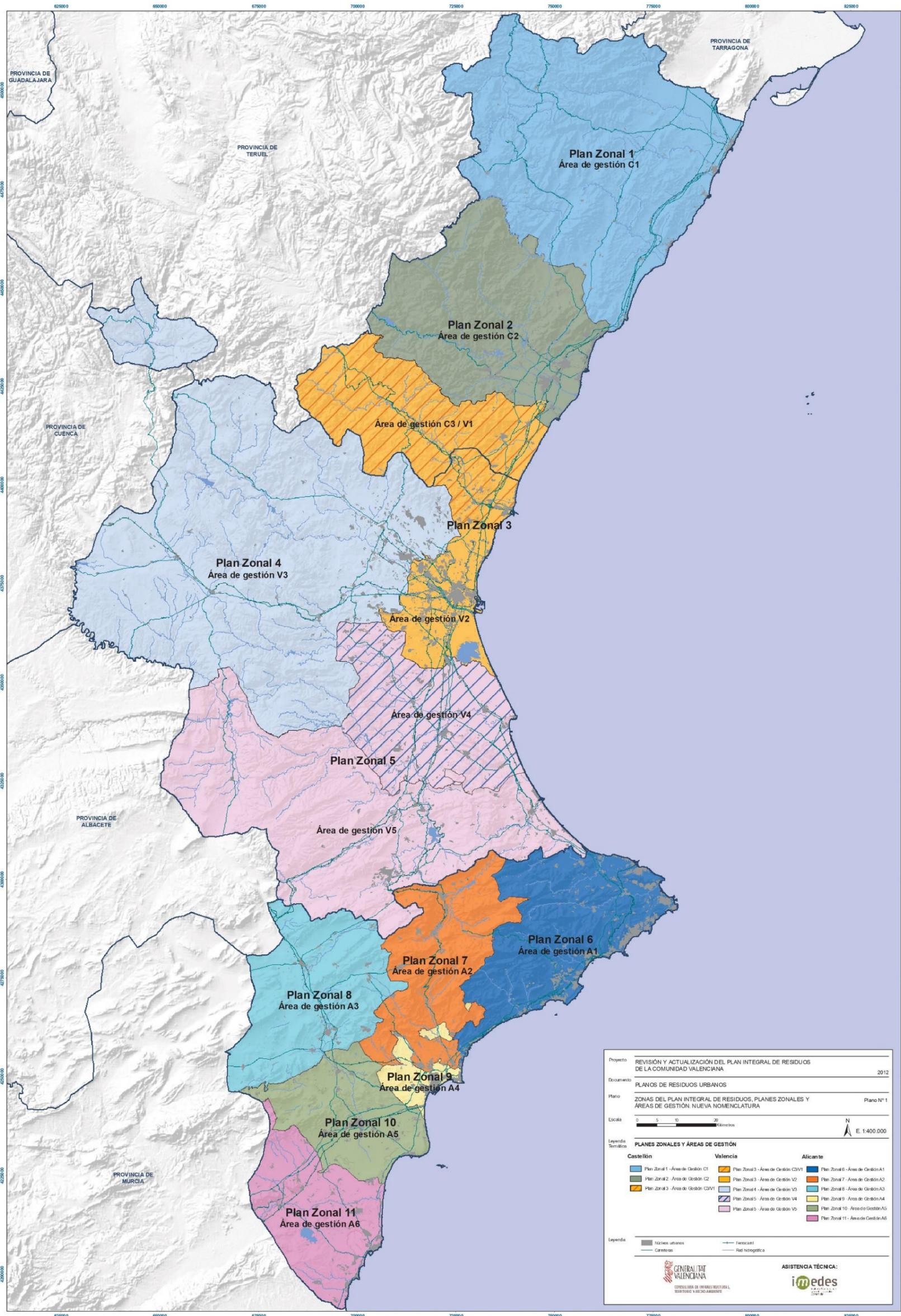


Figura 34. Zonas del Plan Integral de Residuos de la Comunitat Valenciana. Fuente: Generalitat Valenciana-Calidad Ambiental.