



# **IMPACTO DEL SUELO EN LOS SERVICIOS A LOS ECOSISTEMAS APLICADO A LA COMARCA DEL CAMP DE MORVEDRE**

Lic. Luis Ernesto Diez Fariñas

Trabajo entregado para la obtención del grado de  
**MÁSTER EN TECNOLOGÍA AMBIENTAL**

Modalidad: Investigación

09 / 2022

Directores:

**Dra. Rosario Vidal**

**Rosario Vidal**, DNI: 21652812 Z y Catedrática, GID-Dept. Mechanical Engineering and Construction, Universitat Jaume I.

**INFORMAN:**

Que el trabajo titulado “**IMPACTO DEL SUELO EN LOS SERVICIOS A LOS ECOSISTEMAS APLICADO A LA COMARCA DEL CAMP DE MORVEDRE**” presentado por **D. Luis Ernesto Diez Fariñas**, con **D.N.I.: Y9037650K**, ha sido realizado bajo mi dirección, y **AUTORIZO** su presentación y defensa como **Trabajo Fin de Máster** (Modalidad: “Investigación”), para el Máster Universitario en Tecnología Ambiental de la Universidad de Huelva.

En Huelva, a 19 de septiembre de 2022

Firmado por MARIA ROSARIO VIDAL NADAL - NIF:21652812Z el día 18/09/2022 con un certificado emitido por ACCVCA-120

Fdo.: Rosario Vidal

## RESUMEN

La preocupación ambiental por parte de las instituciones gubernamentales, estatales y privadas cada vez más va en aumento. La comarca del Camp de Morvedre no está exenta de ello, por lo que se ha propuesto realizar una evaluación del impacto del uso del suelo para los servicios ecosistémicos con el fin de proponer alternativas para una mejor gestión y calidad de los ecosistemas.

Atendiendo al reclamo por parte de los interesados, surge este proyecto, que tiene como objetivo principal identificar las zonas más degradadas en la comarca del Camp de Morvedre, que nos permita proponer estrategias de mejora. Para ello hemos realizado los cálculos pertinentes para poder asignar valores de erosión, filtración mecánica y físico - química, regeneración de acuíferos, producción biótica e índice de calidad del suelo al Camp de Morvedre. Para la diferenciación de cada una de las zonas del territorio de estudio se utilizó el sistema de información geográfico ArcGIS. Nuestro proyecto realiza una aportación científica a la metodología LANCA a escala regional desarrollando los cinco indicadores.

Como resultado se obtuvo que la comarca tenga como valores medio de cada indicador los siguientes:

- Erosión Actual:  $7 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$
- Filtración mecánica:  $135 \text{ cm d}^{-1}$
- Filtración físico – química:  $70 \text{ cmol Kg}^{-1}$
- Regeneración de acuíferos:  $48 \text{ mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$
- Producción Biótica:  $571 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$
- Los valores de SQI oscilan entre los 27.2 a 84.7  $\text{Ptm}^{-2}$ .
- Una gran parte del noreste del Camp de Morvedre presenta una mejor calidad de los suelos con respecto a la zona suroeste del territorio.

Palabras Claves: Análisis del Ciclo de Vida, Modelo Lanca®, Índice de calidad del Suelo.

## ABSTRACT

Environmental concern by government, state and private institutions is increasingly increasing. The region of Camp de Morvedre is not exempt from this, so it has been proposed to carry out an assessment of the impact of land use for ecosystem services to propose alternatives for better management and quality of ecosystems.

In response to the claim by the interested parties, this project arises, whose main objective is to identify the most degraded areas in the Camp de Morvedre region, that allows us to propose improvement strategies. For this, we have made the relevant calculations to be able to assign values of erosion, mechanical and physical –chemical filtration, regeneration of aquifers, biotic production, and soil quality index to Camp de Morvedre. For the differentiation of each of the areas of the study territory, the ArcGIS geographic information system was used, a great contribution of our project to the LANCA methodology since only two of the factors to be considered for this methodology had been included.

As a result, it was obtained that the region has as average values of each indicator the following :

- Current Erosion:  $7 \text{ t ha}^{-1}\text{a}^{-1}$
- Mechanical filtration:  $135 \text{ cm d}^{-1}$
- Physical – chemical filtration :  $70 \text{ cmol Kg}^{-1}$
- Aquifer regeneration:  $48 \text{ mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$
- Biotic Production :  $571 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$
- SQI values range from 27.2 to  $84.7 \text{ Pt/m}^2 * \text{ a}$
- A large part of the northeast of Camp de Morvedre has a better quality of soils compared to the southwest of the territory.

Keywords : Life Cycle Analysis, Lanca® Model, Soil Quality Index.

# ÍNDICE

ÍNDICE .....	v
1 INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Estado del Arte.....	1
1.2 Herramientas de Gestión Ambiental.....	4
1.3 Análisis del Ciclo de Vida .....	5
1.4 Sistema de Información Geográfica.....	5
1.5 Modelo Lanca®.....	6
2 MATERIALES Y MÉTODOS .....	11
2.1 Área en Estudio.....	11
2.2 Metodología.....	14
2.3 Tratamiento de Datos.....	15
3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	17
3.1 Resistencia a la erosión.....	17
3.1.1 Factor de erosividad de la lluvia (R) .....	18
3.1.2 Factor de erosionabilidad (Kst) .....	20
3.1.3 Factor LS.....	22
3.1.4 Factor C .....	23
3.1.5 Factor P .....	24
3.1.6 Erosión Potencial y Erosión Actual .....	24
3.2 Filtración mecánica.....	26
3.3 Filtración fisicoquímica.....	28
3.4 Regeneración de acuíferos .....	29
3.5 Producción biótica .....	31
3.6 NPP a partir de DMP .....	37
3.7 Índice de Calidad del suelo. ....	38
3.7.1 Re-escalado de los factores de caracterización de LANCA® .....	38
CONCLUSIONES.....	44
REFERENCIAS .....	45
ANEXOS.....	48

## Índice de Tablas

Tabla 1: Impactos ambientales provocados por la actividad antrópica.....	2
Tabla 2: Herramientas de gestión ambiental. ....	5
Tabla 3: Indicadores del modelo LANCA® y su defecto con los servicios de los ecosistemas. ....	8
Tabla 4: Planeamiento urbanístico. ....	12
Tabla 5: Cobertura del suelo y superficie en el Camp de Morvedre, 2018. ....	14
Tabla 6: Precipitación anual de las estaciones de AVAMET 2020 y factor R. ....	19
Tabla 7: Tipos de suelo <sup>22</sup> .....	21
Tabla 8: Factor C .....	23
Tabla 9: Pérdida biótica en el Camp de Morvedre para cada tipo de uso del suelo, 2018. ....	34
Tabla 10: Términos para el cálculo de la productividad en CGLS DMP <sup>32</sup> . ....	36
Tabla 11: Percentiles 5th y 95th .....	39

## Índice de Gráficos

Ilustración 1: Incremento de carbón equivalente a partir de la Revolución Industrial <sup>1</sup> . ....	2
Ilustración 2: Emisiones CO <sub>2eq</sub> España 1990 – 2020. <sup>3</sup> .....	3
Ilustración 3: Por ciento de emisiones por España vs 1990. <sup>3</sup> .....	4
Ilustración 4: Representación de la transformación y ocupación del suelo en el modelo LANCA. <sup>14</sup> .....	7
Ilustración 5: Diagrama de causa-efecto de los impactos del uso del suelo en la biodiversidad y las funciones de soporte de los ecosistemas. <sup>15</sup> .....	7
Ilustración 6: Situación y municipios del Camp Morvedre.....	11
Ilustración 7. Planeamiento urbanístico. ....	12
Ilustración 8: Precipitaciones anuales. ....	13
Ilustración 9: Cobertura del suelo. Land Cover Corine 2018. ....	13
Ilustración 10: Proceso de cálculo de la resistencia a la erosión. <sup>10</sup> .....	18
Ilustración 11: Factor de erosividad de la lluvia. ....	19
Ilustración 12: Factor de erosividad de la Lluvia en Europa. <sup>20</sup> .....	20
Ilustración 13: Factor Kst.....	21
Ilustración 14: Factor K <sub>st</sub> en Europa. <sup>21</sup> .....	22
Ilustración 15: Factor LS. <sup>23</sup> .....	23
Ilustración 16: Factor C. <sup>25</sup> .....	24
Ilustración 17: Erosión potencial (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ) .....	25
Ilustración 18: Erosión actual (t ha <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> ). ....	25
Ilustración 19: Proceso de cálculo de la filtración mecánica. <sup>14</sup> .....	26
Ilustración 20: Mapa M1: Permeabilidad. <sup>10</sup> .....	27
Ilustración 21: Mapa M2: Distancia de acuífero a la superficie. <sup>26</sup> .....	27
Ilustración 22: Sellado. Corine Land Cover 2018. ....	28
Ilustración 23: Filtración mecánica.....	28
Ilustración 24: Proceso de cálculo de la infiltración fisicoquímica. <sup>14</sup> .....	29
Ilustración 25: Filtración fisicoquímica. ....	29
Ilustración 26: Proceso de cálculo de la regeneración de acuíferos. <sup>14</sup> .....	30
Ilustración 27: Recarga anual a las aguas subterráneas (mm m <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ). MITECO. ....	31
Ilustración 28: Balance de carbono orgánico. <sup>27</sup> .....	32
Ilustración 29: Zonas Ecológicas Globales <sup>30</sup> (GEZ 2010). ....	33
Ilustración 30: Potencial de pérdida de producción biótica. ....	34
Ilustración 31: GPP de España, media del período 2004-2018. <sup>35</sup> .....	37
Ilustración 32: Productividad primaria neta anual (g Cm <sup>-2</sup> a <sup>-1</sup> ), 2021. <sup>32</sup> .....	38
Ilustración 33: Re-escalado de la Erosión Actual. ....	40
Ilustración 34: Re-escalado de la Filtración Mecánica.....	41

Ilustración 35: Re-escalado de la Recarga de Acuíferos. ....	41
Ilustración 36: Re-escalado de la Producción Biótica. ....	42
Ilustración 37: Índice de Calidad del Suelo. ....	43

# 1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se tratarán puntos relacionados con la problemática, la legislación ambiental que regula la actividad en España, así como las diferentes herramientas de gestión ambiental. Se hace énfasis en el Análisis del Ciclo de Vida (ACV), la utilización de los Sistemas de Información Geográficos y a detalle se explica el modelo LANCA como herramienta principal para lograr el objetivo del proyecto.

## 1.1 Estado del Arte

A lo largo de los últimos años se ha incrementado sobre todo en los países más desarrollados una conciencia medioambiental, que, a pesar de diferir en iniciativas y resultados, han conseguido una reducción significativa del daño que sufre el medio ambiente.

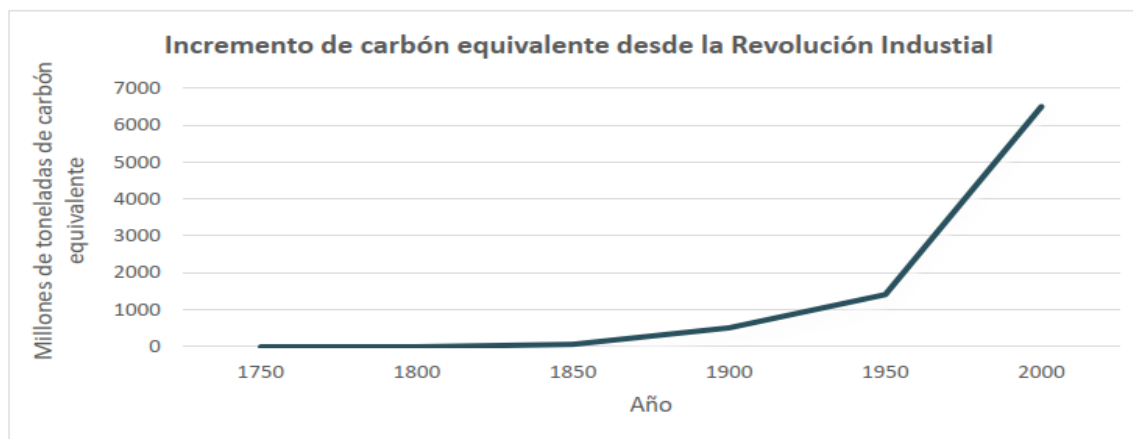
Al hablar de medio ambiente, podemos definirlo como: la interrelación entre el ser humano y los elementos naturales a su alrededor, tanto de lo artificial a lo natural, que contribuye a desarrollar e influir positiva o negativamente nuestras vidas. Por lo que debemos mantener un equilibrio armonioso que permita convivir a ambos conjuntos (natural y artificial), evitando desastres tales como incendios forestales, explotación descontrolada de recursos o contaminación de los mares.

A los problemas ambientales que genera cualquier actividad hay que sumarle el factor social y cultural. Las principales motivaciones para el desarrollo de la sociedad actual se enmarcan en la apropiación y acumulación de riquezas, ya que se insiste en la costumbre de satisfacer sus necesidades sin importar las consecuencias del uso frenético de productos y sin tener en cuenta el ciclo de vida de estos.

La agenda de la gran mayoría de las entidades públicas y privadas del mundo, tienen entre sus primeras líneas de trabajo, el reducir o controlar el impacto al medio ambiente. España, por su parte, se sitúa en el puesto 34 del Índice de Acción Climática, informe que evalúa las políticas contra el cambio climático de los países.

En la *Ilustración 1* podemos observar el incremento de carbón equivalente a partir de la Revolución Industrial. Se puede observar claramente el aumento a niveles extraordinarios, lo que provoca un aumento de la temperatura del planeta, pues, al emitir más CO<sub>2</sub> a la atmósfera, menos rayos del sol se reflejan al espacio y más absorbe la tierra.





*Ilustración 1: Incremento de carbón equivalente a partir de la Revolución Industrial<sup>1</sup>.*

En la Tabla 1, podemos ver algunos de los problemas ambientales causados y acentuados por la actividad del ser humano.

Tabla 1: Impactos ambientales provocados por la actividad antrópica.

Impactos Ambientales			
Cambio Climático	Desertificación	Suelos Contaminados	Contaminación lumínica
Efecto invernadero	Agua contaminada	Contaminación electromagnética	Contaminación Visual
Contaminación térmica	Contaminación espacial	Contaminación Radioactiva	Radioactividad
Deforestación	Reducción ozono	deLluvia ácida	Acidificación
Eutrofización	Menos Biodiversidad	Toxicidad Humana	Uso del suelo

Uno de estos problemas ambientales es el uso del suelo, objeto de estudio de nuestra investigación dada su importancia en los servicios a los ecosistemas. La posible pérdida de los servicios de los ecosistemas y la biodiversidad no son solo de interés científico, sino también político, social y económicamente preocupantes para el futuro del bienestar humano<sup>2</sup>.

## Derecho Ambiental

Todos los países del mundo y las organizaciones internacionales cuentan con una serie de políticas y reglamentos para minimizar los daños al medio ambiente y por supuesto España no está exenta de ello.

El conjunto de la legislación destinada a regular la relación del ser humano con el medio ambiente con el fin de protegerla lo podemos denominar derecho ambiental.

Dentro del derecho ambiental existe un conjunto bien definido de normas jurídicas en forma de tratados, leyes, reglamentos, estatutos, decretos, etc. con un objetivo claro:

proteger al medio ambiente de los impactos ambientales generados por el ser humano. Podemos diferenciar un ámbito internacional, uno europeo y otro español.

España, como país soberano que es, elabora normas jurídicas de carácter medioambiental por medio del parlamento. También adapta los reglamentos y directivas de la Unión Europea al ámbito nacional.

Estas leyes tratan de regular multitud de aspectos como la energía, el consumo, las emisiones de gases de efecto invernadero, el transporte o la gestión de residuos y el reciclaje.

Las emisiones brutas de CO<sub>2</sub> equivalente fueron en 2020 de 271,5 millones de toneladas, lo que supone una disminución de un 13,7% con respecto al año 2019. Es la primera vez que, a lo largo de la serie inventariada en el periodo 1990-2020, las emisiones descienden con respecto al año de referencia, es decir, 1990.<sup>3</sup>

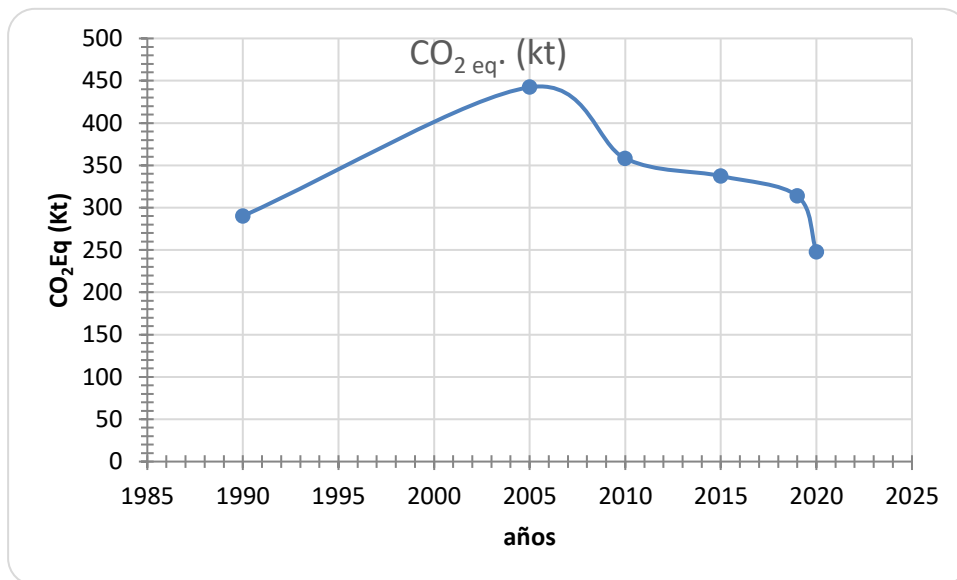


Ilustración 2: Emisiones CO<sub>2</sub>eq España 1990 – 2020.<sup>3</sup>

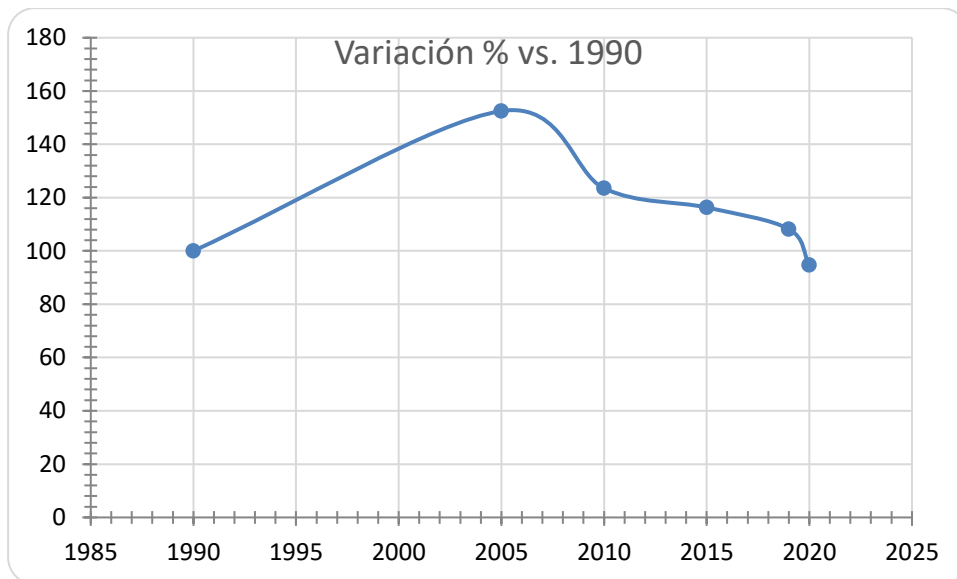


Ilustración 3: Por ciento de emisiones por España vs 1990.<sup>3</sup>

Concretamente, el programa para España dentro de la contribución prevista determinada a nivel nacional consiste en reducir para 2030 en un 26% las emisiones para sectores como el transporte, la agricultura, la generación de residuos o la edificación, y un 43% para otros sectores industriales.<sup>4</sup>

## 1.2 Herramientas de Gestión Ambiental

La gestión ambiental es el conjunto de acciones y estrategias mediante las cuales se organizan las actividades antrópicas que influyen sobre el ambiente con el fin de lograr una adecuada calidad de vida previniendo o mitigando los problemas ambientales.

Partiendo del concepto de desarrollo sostenible se trata de conseguir el equilibrio adecuado para el desarrollo económico, crecimiento de la población, uso racional de los recursos y protección y conservación del medio ambiente. Es un concepto integrador que abarca no solo las acciones a implementar sino también las directrices, lineamientos, y políticas para su implementación. Una adecuada gestión ambiental debería seguir los lineamientos de la Agenda 21.

Debido al carácter antropocéntrico, para la resolución de los problemas, es necesario tener en cuenta diversos factores relacionados a las ciencias sociales además de los relacionados a las ciencias naturales.

En la Tabla 2, tenemos algunas de las herramientas de gestión ambiental utilizadas en el mundo para el tratamiento de los problemas ambientales. En nuestra investigación vamos a tratar el ACV, que se describe en el siguiente apartado.

Tabla 2: Herramientas de gestión ambiental.

<b>Herramientas de Gestión Ambiental</b>		
Análisis del ciclo de vida	Huella de carbono	Huella ecológica
Evaluación de Impacto Ambiental	Etiquetado Ecológico	Auditoría Ambiental
Certificaciones	Legislación	Buenas Prácticas

### **1.3 Análisis del Ciclo de Vida**

En la actualidad ha ido creciendo cada vez más la conciencia ambiental, y junto a ella la necesidad del desarrollo de metodologías que evalúen los impactos asociados a todo tipo de productos en el medio ambiente, una de esas herramientas ha sido el ACV. El ACV entiende que el impacto ambiental de un producto comienza desde la extracción de las materias primas hasta el fin de su vida útil, incluyendo la fabricación, distribución y uso. A toda esta cadena se le denomina ciclo de vida del producto. Con el ACV identificamos toda una serie de impactos ambientales que nos permiten evaluar y llevar a cabo estrategias de mejoras ambientales.

Esta herramienta básicamente se enfoca en el rediseño de los productos, respetando los límites de los recursos energéticos y materias primas. Esto, conlleva a la reducción de residuos generados en cada etapa del producto y, además, los residuos que son imposibles eliminar, el ACV plantea un tratamiento de forma más sustentable.

Por tanto, se puede decir que el ACV es una especie de contador ambiental en la que se cargan a los productos los efectos ambientales negativos, debidamente cuantificados, que son generados a en todo el ciclo vital.

En los últimos años, se han desarrollado métodos para considerar los efectos del uso de la tierra en el medio ambiente y se aplicaron en estudios de casos individuales. Se han recopilado una extensa colección de literatura, que fue complementada en Boss<sup>31</sup> y De Laurentiis et al<sup>17</sup>, entre otros. Ejemplos de métodos son: SALQA-SQ, significa "Swiss Agriculture Life Cycle Assessment – Soil Quality". Es un método multiindicador a nivel de punto medio para su uso en evaluaciones del ciclo de vida de productos agrícolas sin factores de caracterización<sup>2</sup>.

### **1.4 Sistema de Información Geográfica**

Actualmente, el uso de los sistemas de información geográfica juega un papel fundamental en muchas de las disciplinas del conocimiento. Pues es incontable el volumen y la variedad de la información a la que se le pueden asociar una posición en el espacio; adicional a su posición en el espacio, se encuentra información relacionada con el elemento que se está representado espacialmente.

Hoy en día la captura continua de información y los grandes avances en la tecnología son dos de los pilares fundamentales de la sociedad, particularmente son los principales pilares para el buen funcionamiento de un SIG. Los sistemas de información geográfica son la tecnología más adecuada para el manejo de la

información con algún componente espacial y demás elementos básicos necesarios que de alguna u otra manera presentan un componente geográfico que pueda ser aprovechada en la toma de decisiones.<sup>5</sup> De forma general dentro de un SIG se pueden realizar las siguientes operaciones:

- Lectura, edición, almacenamiento y en términos generales la gestión de datos espaciales.
- Análisis de los datos espaciales: Consultas, modelos complejos, todo esto sobre el componente espacial de los datos.
- Generación de resultados gráficos, mapas e informes.

Los Sistemas de Información Geográficos nos permiten la integración de diversas fuentes de información que contengan datos cartográficos, fotografías aéreas, terrestres, imágenes satelitales y datos estadísticos.

Las ventajas de los SIG y el estudio de las diferentes investigaciones nos permitieron integrar cada uno de los indicadores necesarios para el cumplimiento de los objetivos planteados con el modelo LANCA.

## **1.5 Modelo Lanca®**

El suelo se ocupa y transforma desde su función natural primigenia para nuevos usos como cultivos, infraestructuras, viviendas y para otros fines productivos. A pesar de su importancia mundial, los impactos del uso del suelo son raramente abordados, a pesar de que recientemente se han desarrollado métodos para integrar el uso del suelo en la metodología del Análisis del Ciclo de Vida (ACV).<sup>2,14</sup>

Durante la transformación del suelo (también llamada cambio de uso de la tierra, LUC), se modifican las propiedades de un terreno para hacerlo apto para un uso previsto, como la deforestación o el drenaje de la tierra para campos de cultivo. La fase de transformación es relativamente corta y no se tiene en cuenta la dimensión temporal.

Durante la ocupación del suelo, éste se utiliza de la forma productiva prevista (por ejemplo, un campo de cultivo) y se mantienen las propiedades del terreno (por ejemplo, se evita el crecimiento del bosque en un campo de cultivo).

Los impactos del uso del suelo por ocupación y transformación vienen expresados por la diferencia entre la situación de referencia (por ejemplo, sin influencia antropogénica) y la situación de estudio. El impacto del uso del suelo aumenta a medida que la calidad de los ecosistemas disminuye, Ilustración 4, y se ve afectado por la superficie y el tiempo que dura la ocupación.<sup>14</sup>

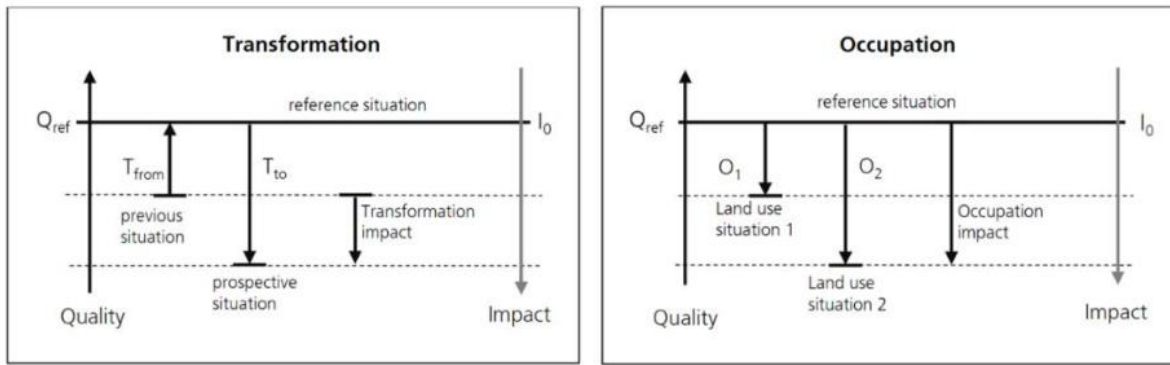


Ilustración 4: Representación de la transformación y ocupación del suelo en el modelo LANCA.<sup>14</sup>

Como consecuencia de la multifuncionalidad de la tierra, la evaluación del impacto del uso de la tierra requiere la modelización de varias vías de impacto que cubran la biodiversidad y los servicios de los ecosistemas, como se muestra en la Ilustración 5, sin olvidar los aspectos estéticos y culturales.<sup>15</sup>

El potencial de daño a la biodiversidad incluye la protección de la diversidad global de especies y también la diversidad funcional de las especies en los ecosistemas. El potencial de daño de los servicios de los ecosistemas se centra en varios impactos: el impacto del ecosistema para producir biomasa (potencial de producción biótica); el impacto en el clima al influir en el secuestro de carbono en la capa superior del suelo y la cubierta vegetal (potencial de regulación del clima); los impactos en la cantidad y calidad del agua (potencial de regulación del agua dulce y potencial de purificación del agua); y los impactos en la cantidad y calidad del suelo (potencial de regulación de la erosión).<sup>16</sup>

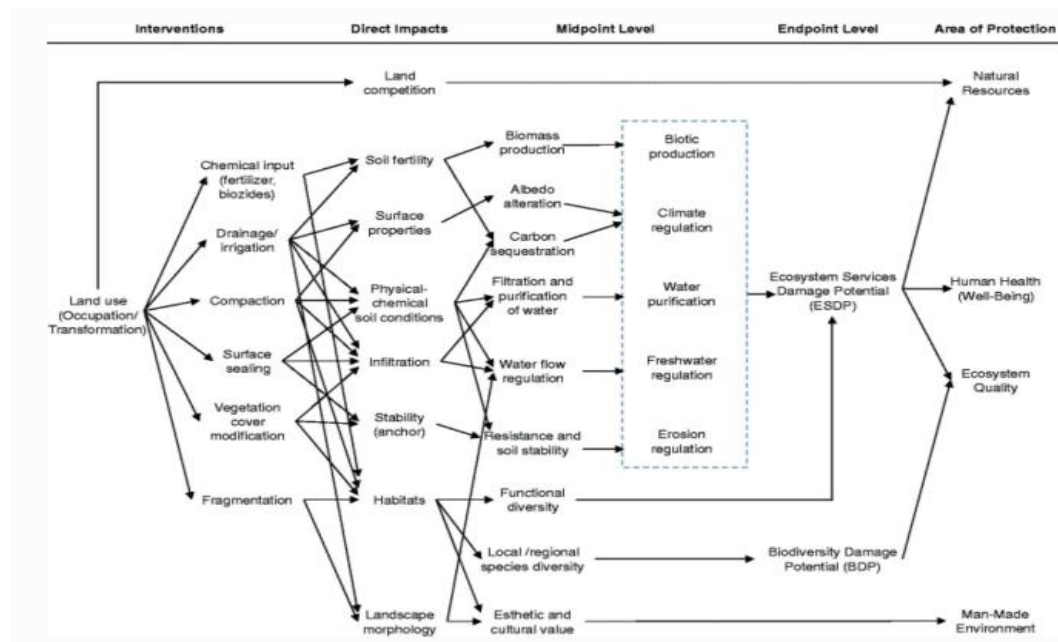


Ilustración 5: Diagrama de causa-efecto de los impactos del uso del suelo en la biodiversidad y las funciones de soporte de los ecosistemas.<sup>15</sup>

Entre los modelos actualmente existentes para el cálculo del impacto del uso del suelo en los servicios de los ecosistemas, el JRC ha recomendado para su utilización en Europa, dentro del marco de la Huella Ambiental (2013/179/UE), el índice de calidad del suelo (Soil Quality Index) que se obtiene agregando los cinco indicadores proporcionados por el modelo LANCA®, recopilados en la Tabla 3.<sup>17</sup>

Tabla 3: Indicadores del modelo LANCA® y su defecto con los servicios de los ecosistemas.

<b>Indicador LANCA</b>	<b>Servicio del ecosistema</b>
Resistencia a la erosión	Regulación de la erosión, formación de suelos
Filtración físico-química	Purificación del agua
Filtración mecánica	Purificación del agua
Regeneración de acuíferos	Regulación del agua, regulación del clima
Producción biótica	Producción primaria, alimento, regulación del clima

El modelo LANCA® se desarrolló originalmente para evaluar el impacto de diferentes intervenciones que implican el uso del suelo en cinco funciones: la producción biótica, la recarga de aguas subterráneas, la resistencia a la erosión, la filtración mecánica y la filtración físicoquímica, sobre la base de datos específicos a nivel nacional.<sup>14,18</sup> Recientemente, se ha publicado una revisión conceptual de esta metodología para el cálculo de factores regionales con el uso de un sistema de información geográfica, desarrollando dos de dichos indicadores, la filtración mecánica y la filtración físico-química.

En la investigación, además de adaptar estos dos indicadores a la comarca del Camp de Morvedre, hemos propuesto el desarrollo de los otros tres indicadores. Esta propuesta y la reducción de la escala de trabajo a una comarca marcan el carácter novedoso y la gran importancia de esta investigación para el área de estudio y futuras investigaciones.

## 1.6 Objetivos

El objetivo principal de este Trabajo Fin de Máster es identificar las zonas más degradadas en la comarca del Camp Morvedre que nos permita proponer estrategias de mejora.

Como objetivo específico tenemos el análisis del cálculo de los indicadores de erosión, filtración mecánica y físico - química, regeneración de acuíferos, producción biótica y el SQI del Camp Morvedre.

Con el fin de lograr los objetivos se establecieron las siguientes tareas de investigación:

1. Recopilación de las capas de información geográficas disponibles.
2. Recopilación de datos no disponibles en formato SIG.
3. Desarrollar los indicadores de erosión, filtración mecánica y físico - química, regeneración de acuíferos y producción biótica.
4. Cálculo de los indicadores.
5. Cálculo del SQI.





## 2 MATERIALES Y MÉTODOS

Este apartado incluye una caracterización del área de estudio, así como la metodología utilizada para el cálculo de los indicadores.

### 2.1 Área en Estudio

El Camp de Morvedre es la comarca litoral más al norte de la provincia de Valencia. Está integrada por 15 municipios con una población total en 2019 de 91662 vecinos, de los cuales destaca Sagunt, su capital con el 72% de la población de la comarca. Los municipios son, ver Ilustración 6: Albalat dels Tarongers, Alfara de la Baronia, Algar de Palància, Algimíad'Alfara, Benavites, Benifairó de les Valls, Canetd'en Berenguer, Estivella, Faura, Gilet, Petrés, Quart de les Valls, Quartell, Sagunt y Torres Torres.

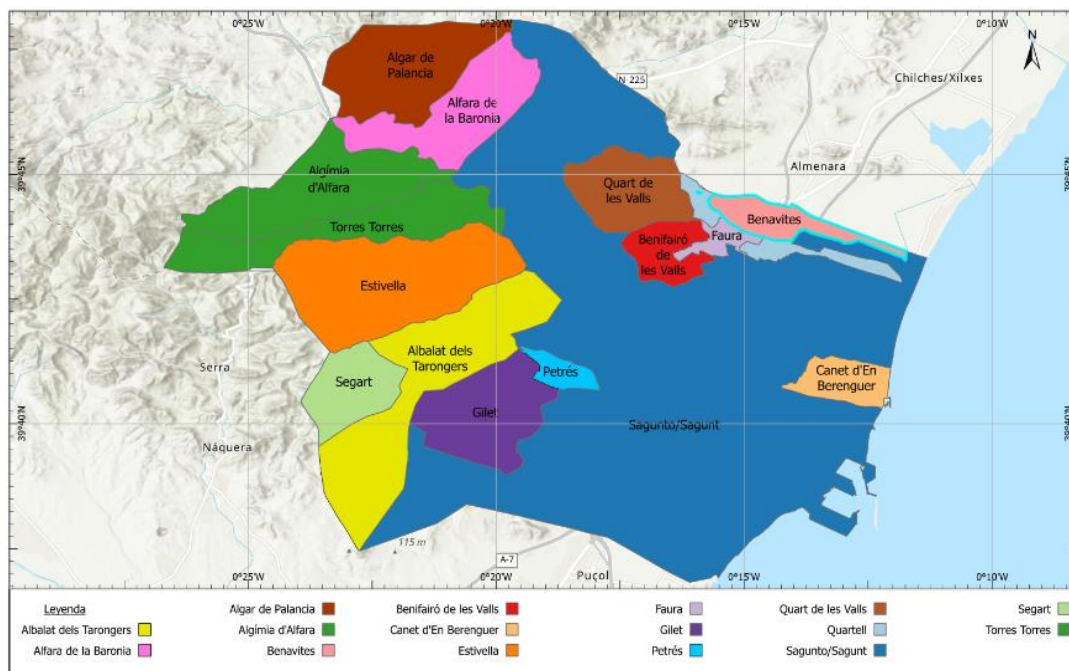


Ilustración 6: Situación y municipios del Camp Morvedre.

La superficie de la comarca es de 272 km<sup>2</sup>. Su planeamiento urbanístico se muestra en la Ilustración 7 y Tabla 4. Destacable es la importancia de la zona rural común y las zonas rurales protegidas que contabilizan el 84.5% de la superficie.

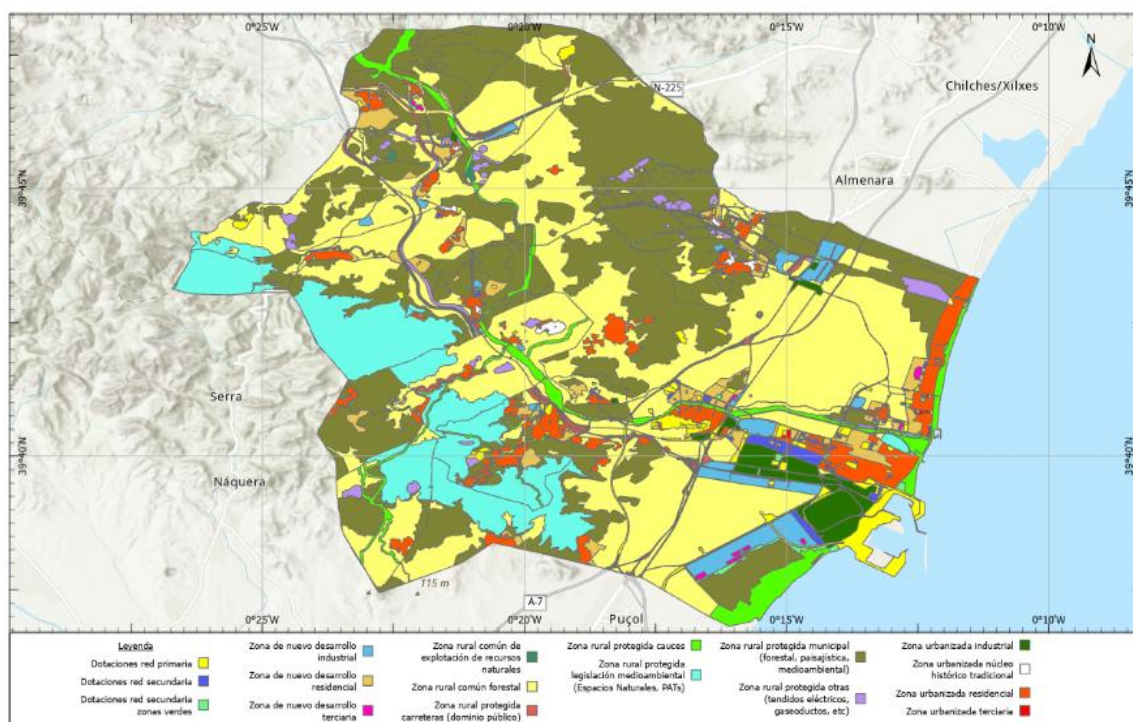


Ilustración 7. Planeamiento urbanístico.

Tabla 4: Planeamiento urbanístico.

Planeamiento	Nº	Área (m <sup>2</sup> )	%
Dotaciones red primaria	405	9018925	3,31%
Dotaciones red secundaria	200	1745827	0,64%
Dotaciones red secundaria zonas verdes	327	1629647	0,60%
Zona de nuevo desarrollo industrial	27	5625269	2,07%
Zona de nuevo desarrollo residencial	80	6744081	2,48%
Zona de nuevo desarrollo terciaria	16	381157	0,14%
Zona rural común de explotación de recursos naturales	2	197374	0,07%
Zona rural común forestal	210	99602649	36,57%
Zona rural protegida carreteras (dominio público)	244	2682957	0,99%
Zona rural protegida cauces	92	9704167	3,56%
Zona rural protegida legislación medioambiental (Espacios Naturales, PATs)	25	27625291	10,14%
Zona rural protegida municipal (forestal, paisajística, medioambiental)	185	85356458	31,34%
Zona rural protegida otras (tendidos eléctricos, gaseoductos, etc)	77	3499021	1,28%
Zona urbanizada industrial	22	5170010	1,90%
Zona urbanizada núcleo histórico tradicional	10	616837	0,23%
Zona urbanizada residencial	106	12627545	4,64%
Zona urbanizada terciaria	14	132609	0,05%

El clima es mediterráneo con precipitaciones medias de 519 mm anuales (Ilustración 8) y una media anual de 16.5 °C de temperatura.

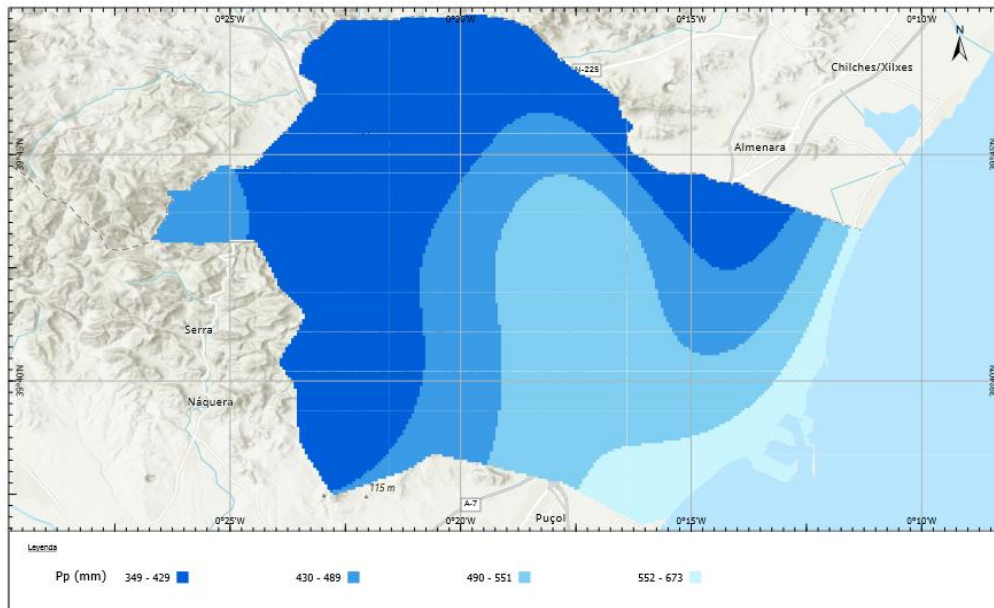


Ilustración 8: Precipitaciones anuales.

En la cobertura del suelo destaca la importancia de la superficie agrícola, 43.4%, preferentemente por el cultivo de naranjos, ver Ilustración 9 y Tabla 5. Además, cuenta con casi 8 km<sup>2</sup> de zonas industriales y de servicios, 2.3 km<sup>2</sup> de zonas portuarias y 4 km<sup>2</sup> de playas.

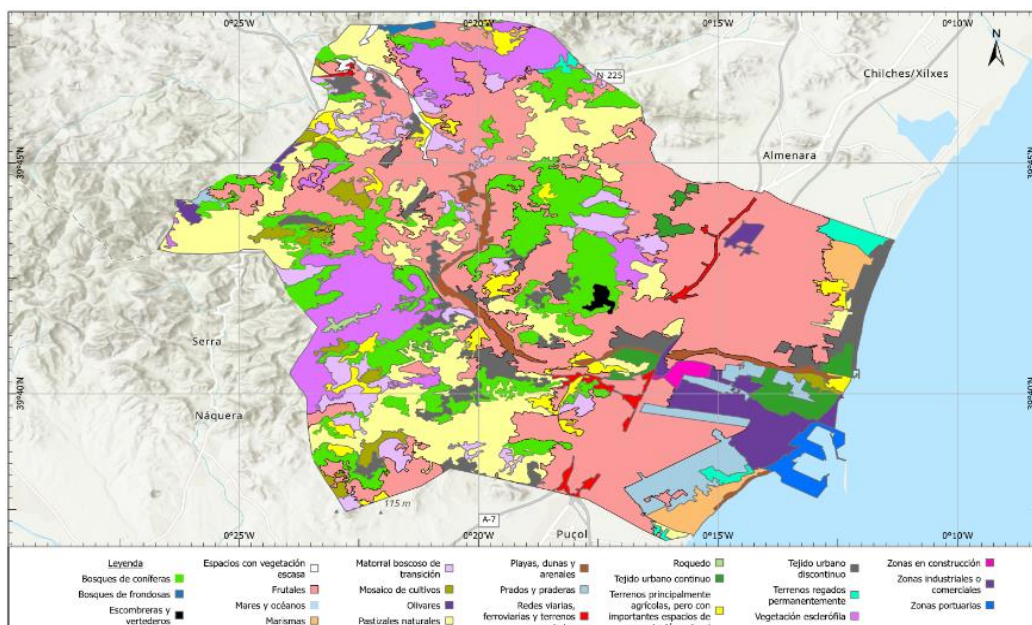


Ilustración 9: Cobertura del suelo. Land Cover Corine 2018.

Tabla 5: Cobertura del suelo y superficie en el Camp de Morvedre, 2018.

ID	Uso de suelo	Frecuencia	Área (m <sup>2</sup> )	%
1	Bosques de coníferas	31	31973319	11,71%
2	Bosques de frondosas	1	409357	0,15%
3	Escombreras y vertederos	1	585780	0,21%
4	Espacios con vegetación escasa	2	1159906	0,42%
5	Frutales	25	103407862	37,88%
6	Mares y océanos	1	143898	0,05%
7	Marismas	2	4289207	1,57%
8	Matorral boscoso de transición	25	11956102	4,38%
9	Mosaico de cultivos	10	4361246	1,60%
10	Olivares	2	751953	0,28%
11	Pastizales naturales	22	39393030	14,43%
12	Playas, dunas y arenales	5	3958989	1,45%
13	Prados y praderas	6	7892632	2,89%
14	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	4	2260521	0,83%
15	Roquedo	1	408487	0,15%
16	Tejido urbano continuo	5	5323792	1,95%
17	Tejido urbano discontinuo	22	12675135	4,64%
18	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	17	7636714	2,80%
19	Terrenos regados permanentemente	4	2375322	0,87%
20	Vegetación esclerófila	7	20881585	7,65%
21	Zonas en construcción	1	899350	0,33%
22	Zonas industriales o comerciales	4	7959171	2,92%
23	Zonas portuarias	1	2311863	0,85%

## 2.2 Metodología

Para cumplir con los objetivos planteados inicialmente como metodología utilizamos el modelo LANCA. Como punto de partida para la realización de la investigación fue la metodología planteada por Beck et al.<sup>18</sup> y Bos et al.<sup>14</sup> donde han podido manipular e insertar los indicadores de resistencia a la erosión, filtración mecánica, filtración fisicoquímica, regeneración de aguas subterráneas y producción biótica, dentro del método LANCA®. Nuestro aporte fue llevar ese estudio a una escala menor e introducir los indicadores restantes en el SIG.

La metodología para cada uno de estos indicadores se explica en el capítulo 3 de este proyecto a medida que se van analizando los resultados obtenidos.

## **Índice de calidad del suelo**

Para el cálculo del índice de calidad del suelo se siguieron los siguientes pasos:

1. Re-escalado de los indicadores obtenidos en el SIG a una escala de 0 a 100 para poder trabajar con ellos en una sola unidad de medida pues cada uno tiene sus unidades de medidas propias.
2. Suma de cada uno de los indicadores re-escalados.

A modo general el proceso metodológico de la investigación se puede resumir en 4 etapas:

### **1. Revisión Bibliográfica**

Se realizó una revisión del estado del arte, que consiste en recopilar, organizar y estructurar la información proveniente de investigaciones realizadas con anterioridad en la región, con especial énfasis en los estudios realizados dentro del territorio ya que ofrecen un conocimiento específico del área, durante esta fase se incluye una revisión general de la información bibliográfica general sobre el tema.

### **2. Determinación de los indicadores**

Teniendo como principal insumo la información secundaria proveniente de fuentes oficiales, se procede a identificar las capas necesarias para calcular cada uno de los indicadores.

### **3. Cálculos del SQI**

Contando con los indicadores calculados se procesa a re-escalar cada uno de los indicadores en valores de 0 a 100 para poder llevarlos a una misma unidad de medida y trabajar en conjunto.

### **4. Análisis de Resultados**

Teniendo en cuenta los resultados obtenidos podemos analizar e identificar cada una de las áreas afectadas, cumpliendo con el objetivo general de la investigación.

### **2.3 Tratamiento de Datos**

Para el tratamiento de los datos obtenidos en este estudio se ha empleado el programa Microsoft Excel y el ArcGIS Pro. Estos nos facilitan el tratamiento, análisis y salidas cartográficas de la información obtenida por diferentes fuentes.



### 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1 Resistencia a la erosión

La erosión del suelo es el proceso por el que se remueven y transportan partículas del suelo por el viento y el agua. La pérdida de suelo cobra gran importancia en los ciclos del agua y nutrientes, en la profundidad de las raíces y en la productividad.

La erosión por agua se estima con la Ecuación Universal de Pérdida de suelo (RUSLE) modificada:<sup>19</sup>

$$A = R \cdot Kst \cdot LS \cdot C \cdot P \quad (1)$$

Donde:

A, Pérdida de suelo dependiente de las precipitaciones [t/ (ha a)]

R, Factor de erosividad de la lluvia [MJ mm/ (ha h a)].

Kst, Factor de erodabilidad del suelo teniendo en cuenta la fracción esquelética del suelo [t ha h/ (MJ ha mm)].

LS, Factor de longitud de la pendiente y de inclinación de la pendiente.

C, Factor de cobertura del suelo y laboreo.

P, Factor de protección contra la erosión.

Si el resultado del cálculo de la resistencia a la erosión es muy pequeño, la erosión es alta porque la resistencia es baja y hay una alta pérdida de suelo.

En los siguientes subapartados se describe la obtención y resultado de cada una de estas variables, conforme a la Ilustración 10.



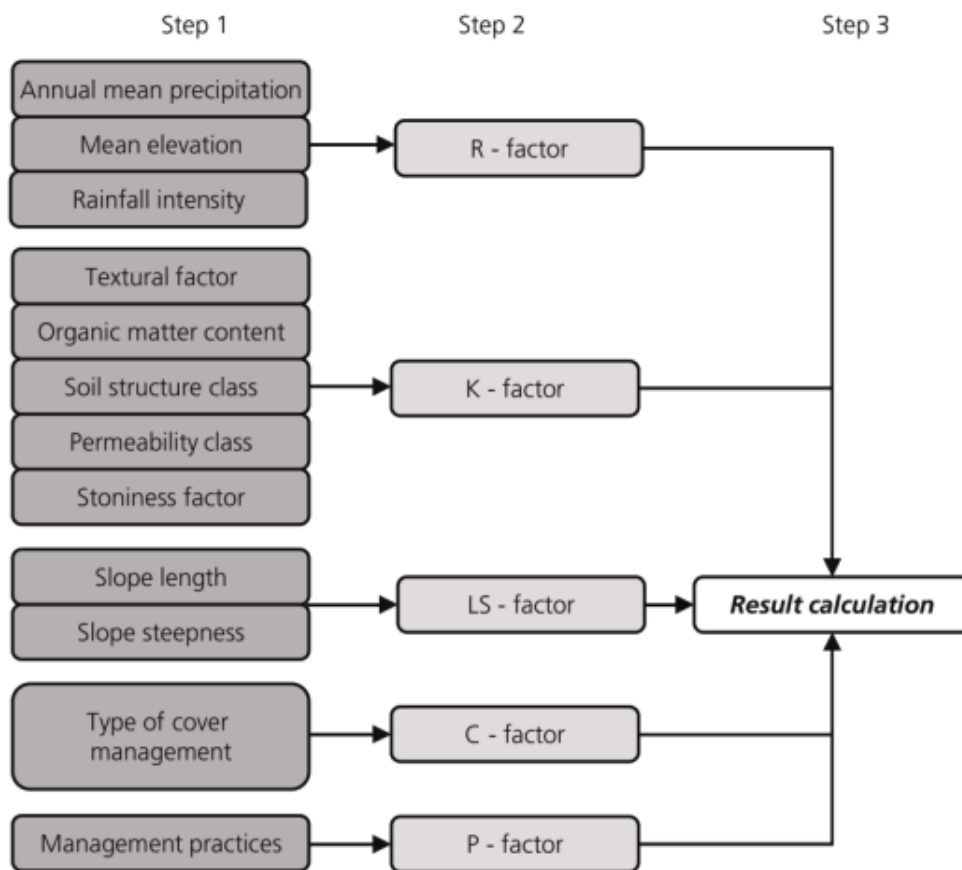


Ilustración 10: Proceso de cálculo de la resistencia a la erosión.<sup>10</sup>

### 3.1.1 Factor de erosividad de la lluvia (R)

El factor R expresa la efectividad de la erosión por lluvia. Depende de la energía cinética de la lluvia y de la intensidad máxima de la lluvia en un evento de precipitación de 30 minutos. Dada la complejidad de su cálculo, también se estima por regresión. En la investigación se ha considerado la misma regresión para hallar el factor R que el PATFOR:<sup>10</sup>

$$R_{anual} = 0.007 \cdot P_{anual}^{1.577} \quad (2)$$

Tabla 6: Precipitación anual de las estaciones de AVAMET 2020 y factor R.

Estaciones	Precipitación anual (mm)	R (MJ mm ha <sup>-1</sup> h <sup>-1</sup> a <sup>-1</sup> )
Benifairó de les Valls	499.0	1258.9
Quartell	390.4	854.9
Algar de Palància	375.0	802.3
Algímia d'Alfara	426.1	981.4
Benavites Marjal	529.3	1381.6
Gilet	470.8	1148.6
Sagunt Pontazco	450.0	1069.6
SAGUNTO H E	525.8	1367.2

Los datos anuales de precipitación y el factor R para el Camp de Morvedre se muestran en la Tabla 6. El factor R se representa en el mapa E1 y la Ilustración 11.

Estos valores están en buena concordancia con el estudio de la erosividad para Europa, cuyo valor medio es de 722 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> y con los valores más altos, superiores a 1000 MJ mm ha<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> en el Mediterráneo,<sup>20</sup> ver Ilustración 12.

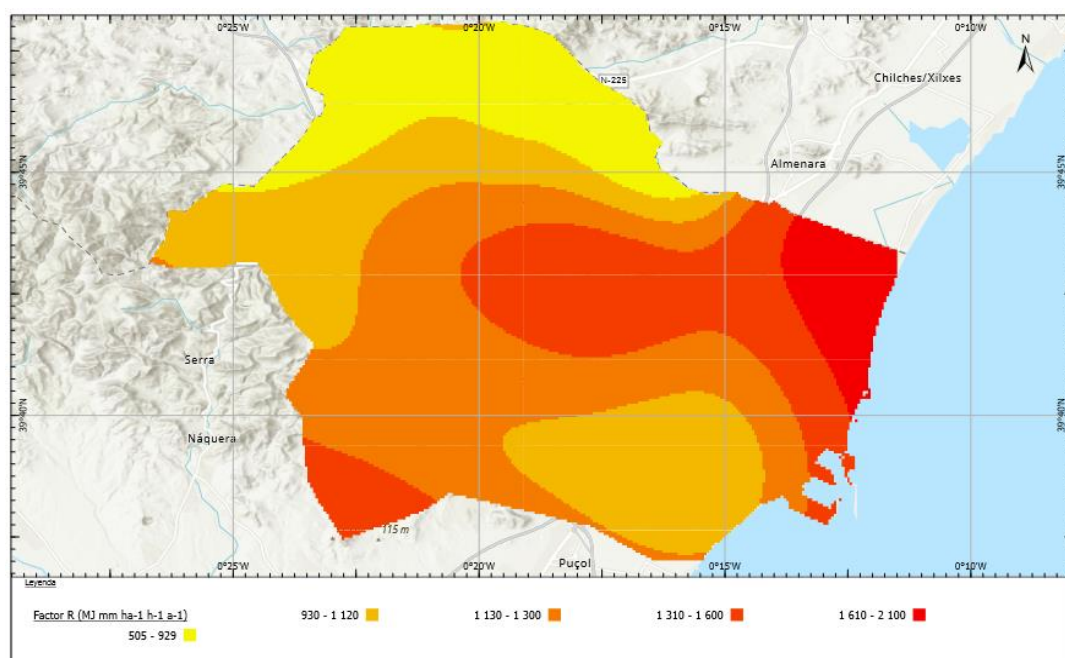


Ilustración 11: Factor de erosividad de la lluvia.

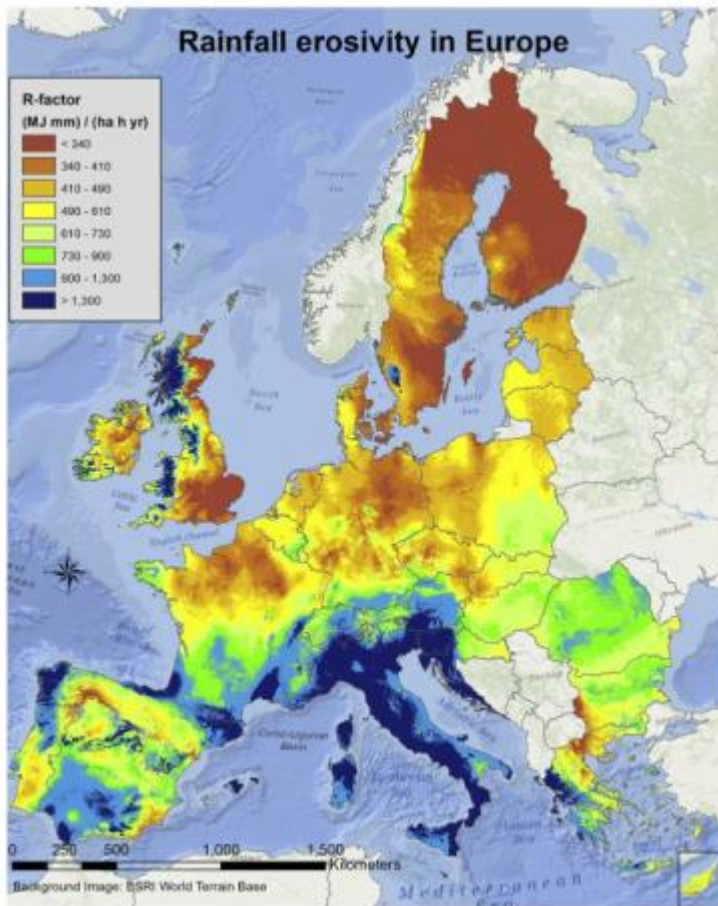


Ilustración 12: Factor de erosividad de la Lluvia en Europa.<sup>20</sup>

### 3.1.2 Factor de erosionabilidad (K<sub>st</sub>)

El factor K<sub>st</sub> es el factor de erosionabilidad que indica la susceptibilidad natural del suelo a la erosión dependiendo de su textura. El factor K<sub>st</sub> puede determinarse mediante la ecuación:<sup>21</sup>

$$K_{st} = \left( \frac{2.110^{-4} \cdot M^{1.14} \cdot (12 - OM) + 3.25 \cdot (S - 2) + 2.5 \cdot (p - 3)}{100} \right) \cdot 0.1317 \cdot e^{-0.04 \cdot (R_c - 10)} \quad (3)$$

Donde:

M, el factor textural con  $M = (msilt + mvfs) \cdot (100 - mc)$ ;

mc [%], contenido de la fracción arcilla (b0,002 mm);

msilt [%], contenido de la fracción limo (0,002-0,05 mm);

mvfs [%], contenido de la fracción arena muy fina (0,05-0,1 mm);

OM [%], el contenido de materia orgánica;

s, la clase de estructura del suelo (s = 1: granularidad muy fina, s = 2: granularidad fina,

s = 3, granularidad media o gruesa, s = 4: bloqueada, laminar o masiva)

p, la clase de permeabilidad (p = 1: muy rápida, ..., p = 6: muy lenta;

R<sub>c</sub>, es el porcentaje de cobertura de piedras con 10% <R<sub>c</sub>< 100%.

La Tabla 7 muestra los datos para la obtención del factor K<sub>st</sub> para el Camp Morvedre a partir de la información de la base de datos de la FAO<sup>22</sup>, utilizando solamente las características y valores del horizonte A, pues es el que está expuesto a la erosión. Para tener en cuenta la cobertura de piedras y obtener K<sub>st</sub> a partir de K se ha considerado el dataset de ESDAC.<sup>21</sup> El factor K<sub>st</sub> y los tipos de suelos están mapeados en los mapas E2 (Ilustración 13) y E3. Los resultados son comparables a los valores obtenidos para Europa, Ilustración 14.<sup>21</sup>

Tabla 7: Tipos de suelo<sup>22</sup>

Tipo de suelo	MC	msilt	mvfs	OM	s	p
BK 2	25.5	15.1	59.5	0.77	3	2
BK 3	49.7	40	10.3	0.84	2	4
JE 3	42.2	36.9	21	2.61	2	4

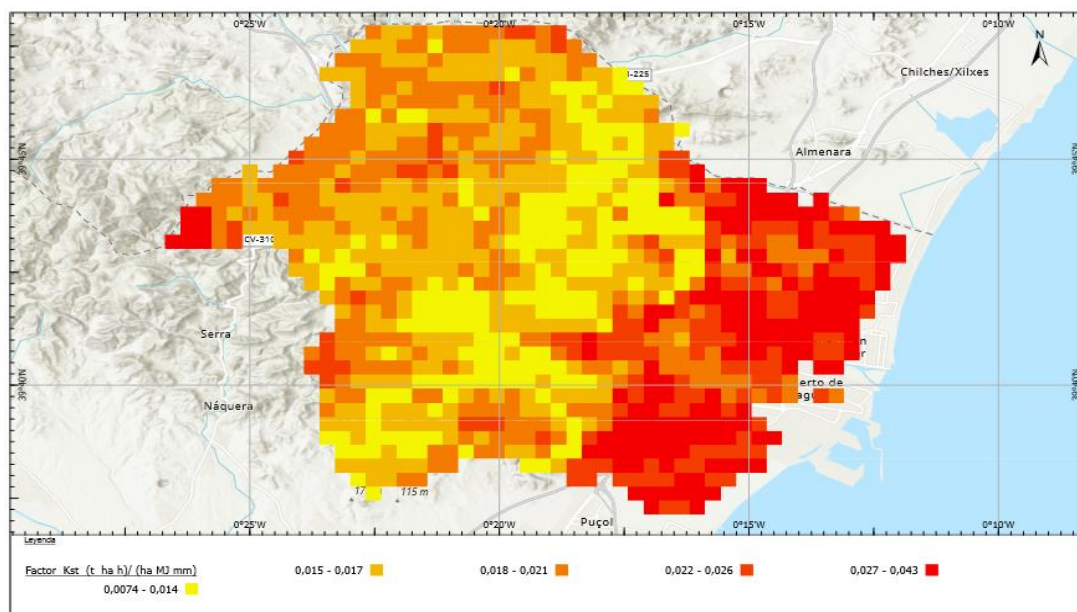


Ilustración 13: Factor Kst

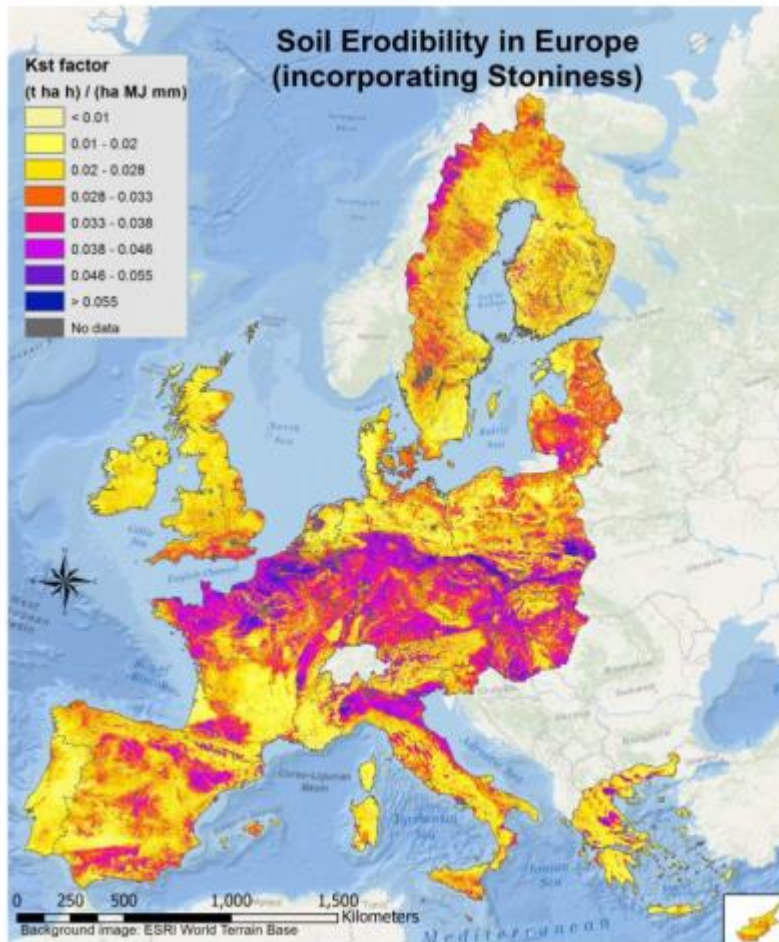


Ilustración 14: Factor  $K_{st}$  en Europa.<sup>21</sup>

Los valores más altos del factor  $K_{st}$  se dan en la zona de la plana.

### 3.1.3 Factor LS

El factor LS se refiere a la topografía del lugar y depende de la longitud de la pendiente (L) y la inclinación (S). LS es adimensional y tiene valores mayores o iguales a cero. Se ha utilizado el dataset de ESDAC con una resolución de 25 m implementando el software SAGA,<sup>23</sup> Ilustración 15.

El factor LS presenta valores muy bajos en la zona de la plana, compensando el impacto de erosión por los altos valores de los factores R y  $K_{st}$ .

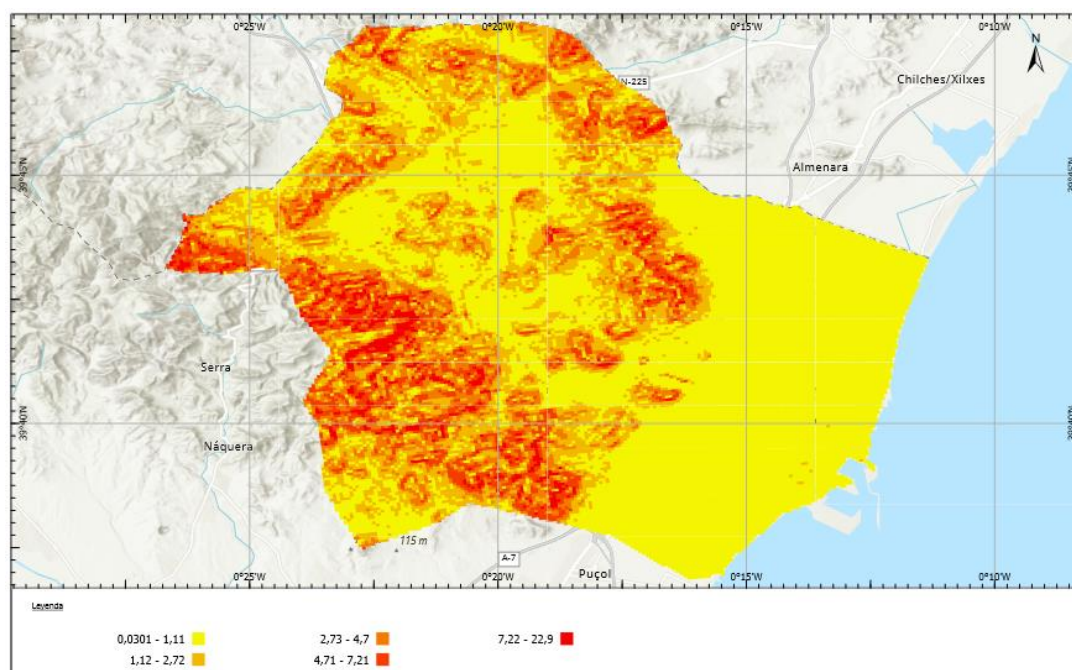


Ilustración 15: Factor LS.<sup>23</sup>

### 3.1.4 Factor C

El factor C, el factor de cobertura y labranza del suelo o el factor de gestión, aborda la cobertura de la superficie terrestre específica. El factor C tiene una gran influencia en la erosión y varía entre 0 y 1.20

Para asignar el valor del factor C a cada uso del suelo, se ha considerado el Mapa de Estados Erosivos.<sup>25</sup> Cabe destacar que se ha asignado el valor de cero a edificaciones, láminas de agua y roquedos, teniendo en cuenta que su cobertura no genera arrastre. Los valores finales del factor C se muestran en la Tabla 8:

Tabla 8: Factor C

Uso de Suelo	Factor C
Láminas de agua, humedales y zonas pantanosas	0
Zonas verdes urbanas	0,005
Bosque de frondosas, coníferas y mixto (arbolado)	0,041
Bosque de frondosas y mixto (arbolado ralo)	0,086
Pastizales naturales y praderas	0,13
Vegetación esclerófila	0,153
Landas y matorrales	0,153
Matorral boscoso de transición	0,153
Bosque de frondosas, coníferas y mixto (desarbolado)	0,3
Tierras de labor en seco	0,435
Terrenos principalmente agrícolas con vegetación natural	0,435
Mosaico de cultivos	0,435

Cultivos anuales asociados con cultivos permanentes	0,435
Terrenos regados permanentemente	0,507
Viñedos, olivares y frutales	0,525
Espacios con vegetación escasa	0,6
Tejido urbano continuo y discontinuo	0
Redes viarias y aeropuertos	0
Zonas industriales o comerciales	0
Zonas de extracción minera, escombreras y vertederos	0
Playas, dunas, arenales y roquedos	0

Al procesar los datos en el SIG, da como resultado la Ilustración 16.

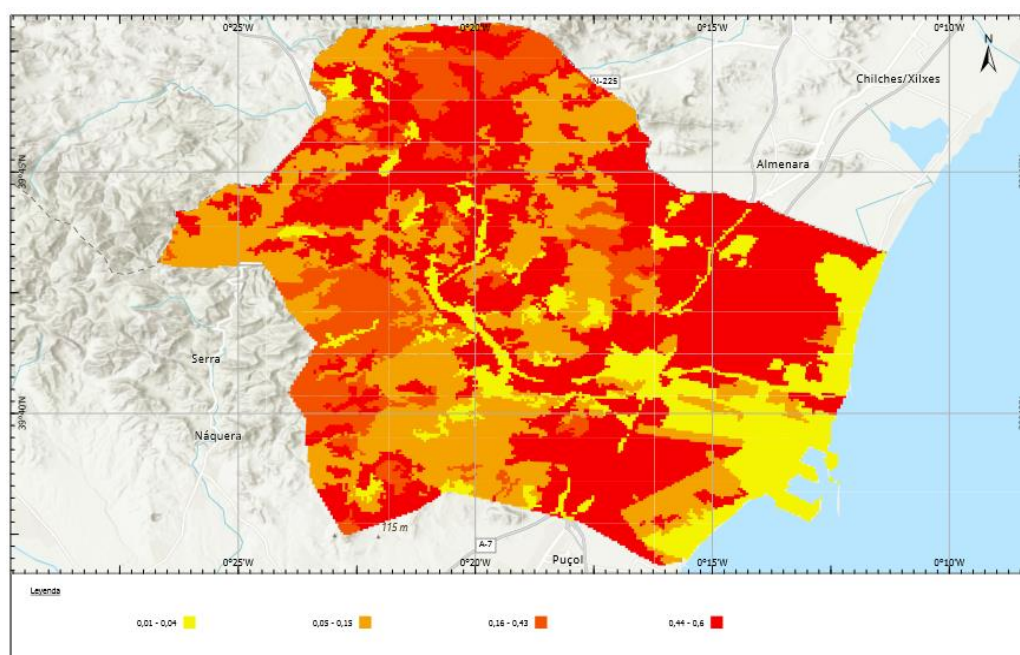


Ilustración 16: Factor C.<sup>25</sup>

### 3.1.5 Factor P

El factor P es el factor de protección contra la erosión y describe los diferentes impactos de las medidas de gestión. Por ejemplo, el tradicional sistema valenciano de cultivo en terrazas o abancalado contribuye positivamente a reducir la erosión.<sup>24</sup>

El factor P se establece entre 0 y 1. Los valores se han obtenido de European Soil Data Centre (ESDAC). Sólo se ha considerado como práctica de conservación el abancalado (se le ha tratado como cultivos a nivel) y para pendientes mayores del 25% se ha asignado al factor P el valor 1.

### 3.1.6 Erosión Potencial y Erosión Actual

La erosión potencial es la calculada suponiendo que los factores C y P son iguales a 1, Ilustración 17. El valor medio es de 34.7 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup> llegando a valores máximos 483 t ha<sup>-1</sup> a<sup>-1</sup>.

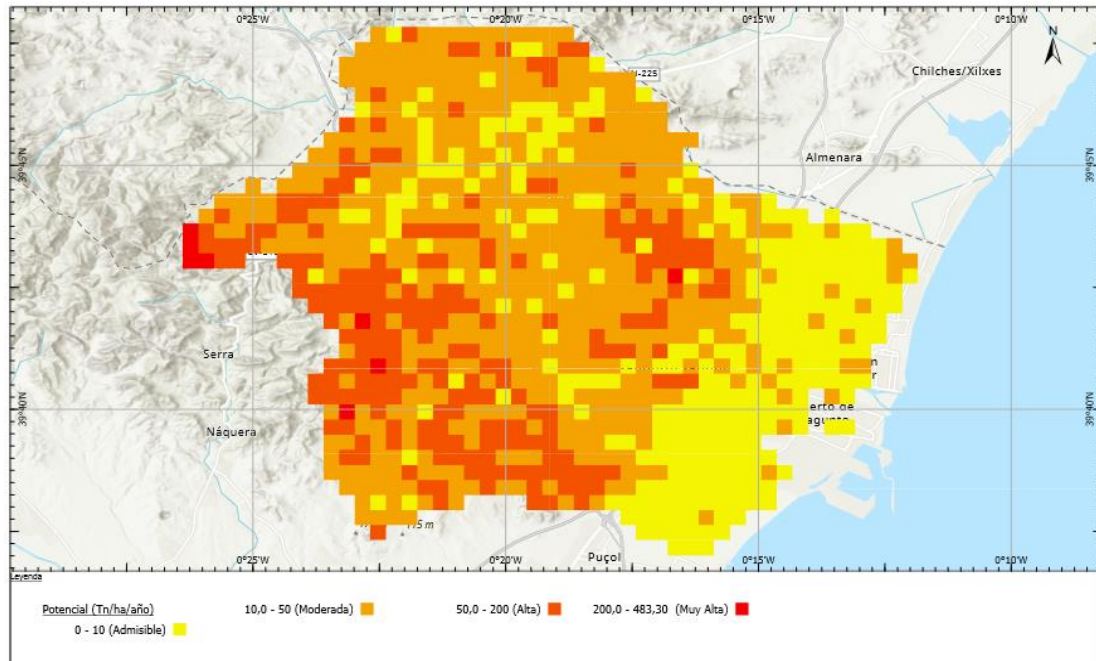


Ilustración 17: Erosión potencial ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ )

Al considerar los valores asignados de los factores C y P, que tienen en cuenta la cubierta vegetal y la gestión, se obtiene el mapa de erosión actual, Ilustración 18. En este escenario, el valor medio ha descendido significativamente a  $7\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$  y el valor máximo también se ha reducido a  $277\ t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ . La erosión máxima se concentra en las zonas de mayor pendiente. La segunda fase de la investigación indagará en las áreas de erosión actual muy alta y alta.

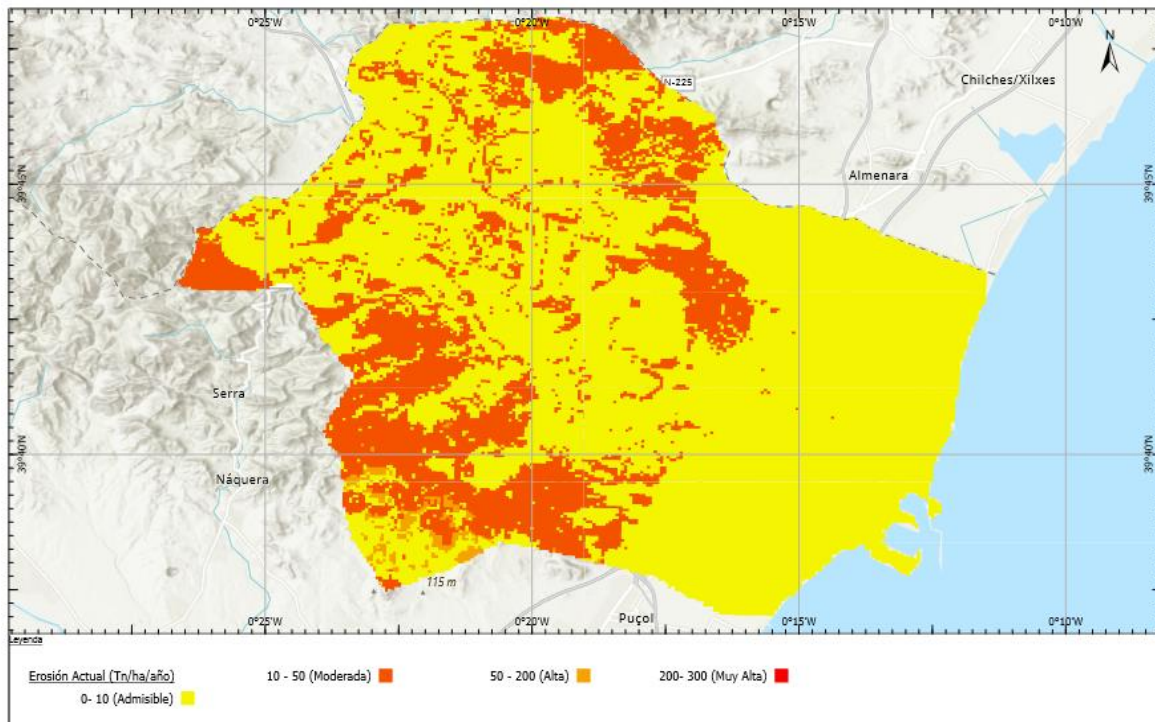


Ilustración 18: Erosión actual ( $t\ ha^{-1}\ a^{-1}$ ).



### 3.2 Filtración mecánica

La función de filtración mecánica describe la cantidad de agua que puede pasar por tiempo (conductividad hidráulica expresada como velocidad del agua a través del suelo). Los datos de entrada necesarios son: textura del suelo, distancia de la superficie al agua subterránea y sellado del suelo.<sup>18</sup>El proceso de cálculo se muestra en la Ilustración 19.

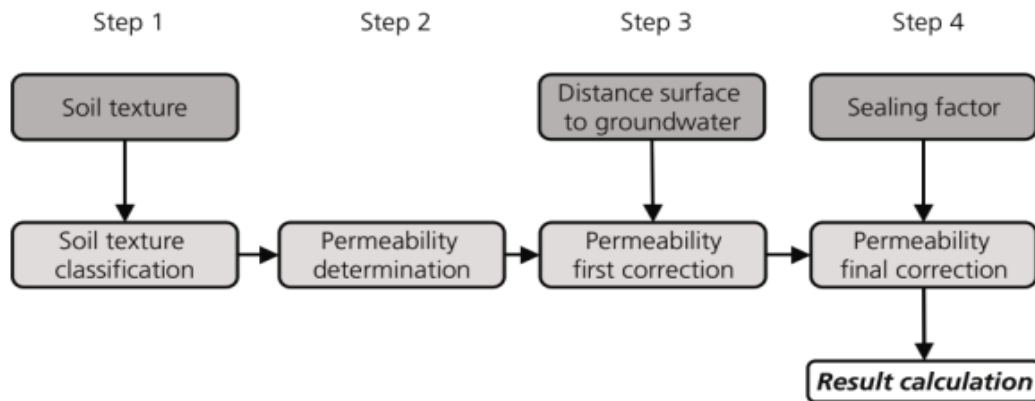


Ilustración 19: Proceso de cálculo de la filtración mecánica.<sup>14</sup>

El PATFOR<sup>10</sup> suministra el mapa de permeabilidad para la Comunidad Valenciana del cual hemos extraído el mapa de permeabilidad del Camp de Morvedre, Mapa M1 e Ilustración 20. Cada grupo tiene asignado un valor medio de permeabilidad ( $\text{cm d}^{-1}$ ). Este mapa se corrige primero por un factor que tiene en cuenta la distancia de la superficie a los acuíferos, Ilustración 21.

Los niveles piezométricos de los acuíferos se han obtenido de la Confederación Hidrográfica del Júcar para el año hidrológico 2019-2020.<sup>26</sup> Una distancia entre 10-30 metros aumenta un nivel el grupo de permeabilidad y una distancia superior a 30 metros aumenta en dos niveles la permeabilidad.

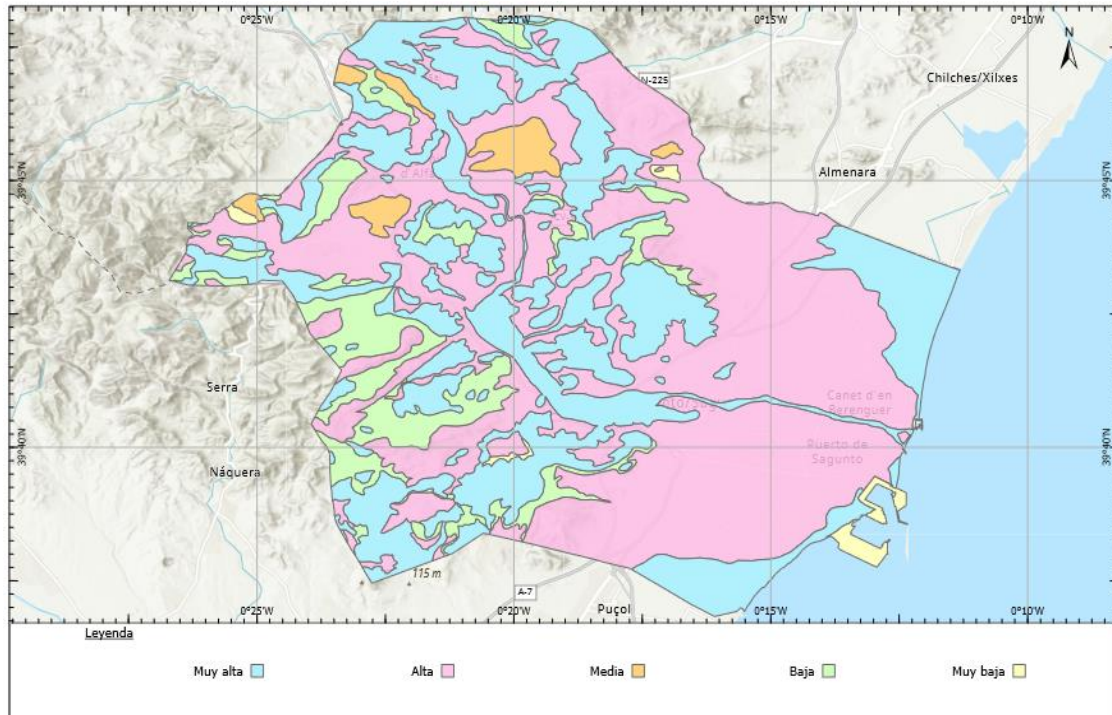


Ilustración 20: Mapa M1: Permeabilidad.<sup>10</sup>

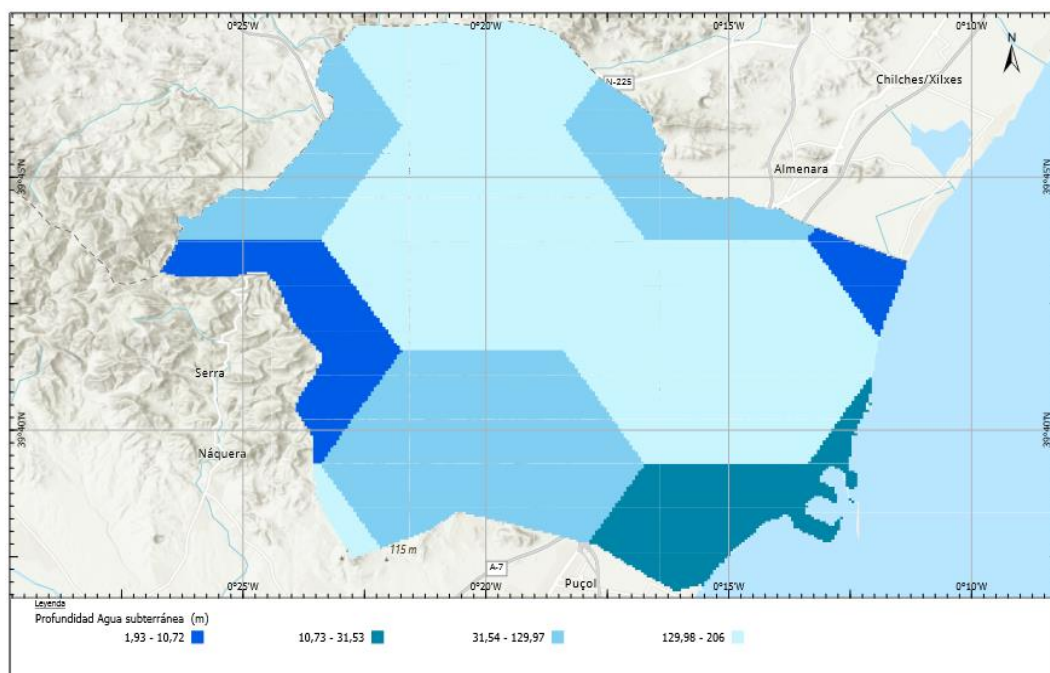


Ilustración 21: Mapa M2: Distancia de acuífero a la superficie.<sup>26</sup>

En segundo lugar, la permeabilidad se corrige por el porcentaje de impermeabilidad obtenido con Corine Land Cover 2018, mapa M3 e Ilustración 22.

La mayor permeabilidad posible es 350 cm/d. El resultado final es el mapa de filtración mecánica M4 y la Ilustración 23. En el resultado final se ve claramente la influencia de la distancia al acuífero, que favorece la filtración mecánica, reflejando los mayores valores de filtración donde mayor es la distancia al acuífero.

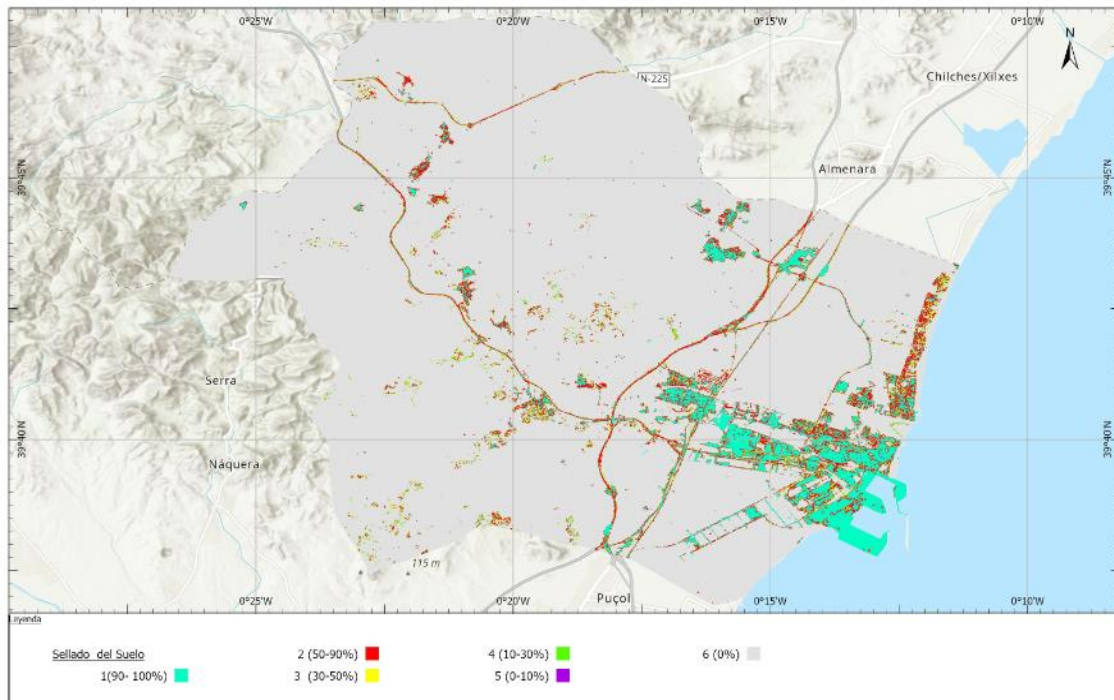


Ilustración 22: Sellado. Corine Land Cover 2018.

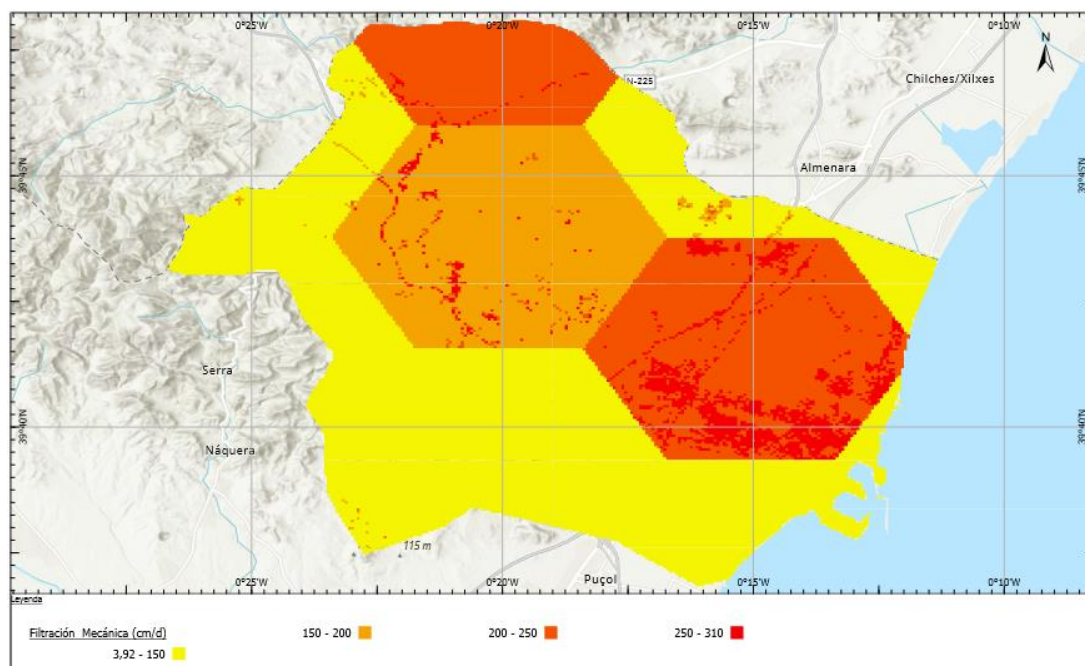


Ilustración 23: Filtración mecánica.

### 3.3 Filtración fisicoquímica

La filtración fisicoquímica se calcula mediante la capacidad efectiva de intercambio catiónico dependiendo del tipo de suelo, en particular el contenido de arcilla, la proporción de suelo orgánico y el valor de pH. El proceso de cálculo se muestra en la Ilustración 24.<sup>14</sup> Se ha partido de los tipos de suelo utilizados anteriormente para el cálculo de la erosión, más los dataset de ESDAC para obtener los valores de materia

orgánica y pH. También se ha aplicado el mapa M3 para el sellado. El resultado final es el mapa Q1 y la Ilustración 25. Claramente los valores finales están influenciados por el tipo de suelo.

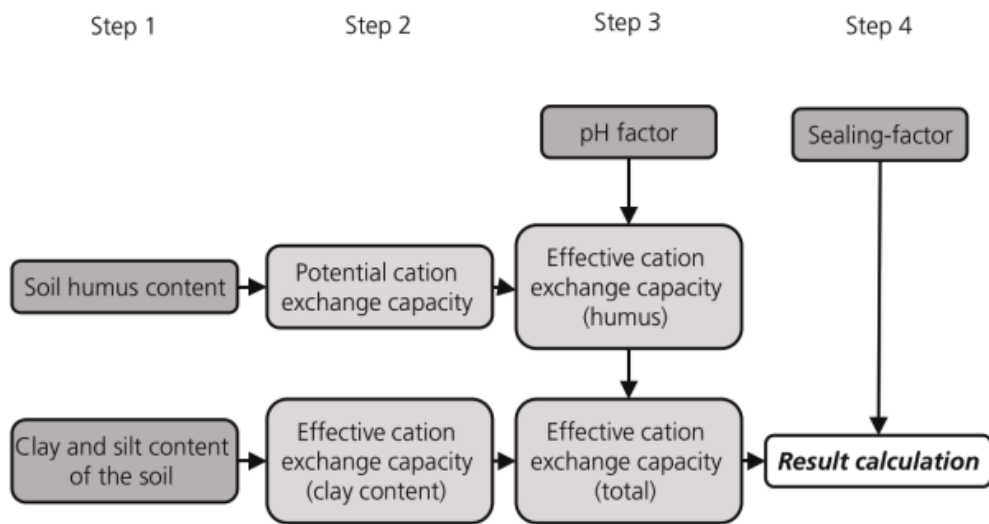


Ilustración 24: Proceso de cálculo de la infiltración fisicoquímica. 14

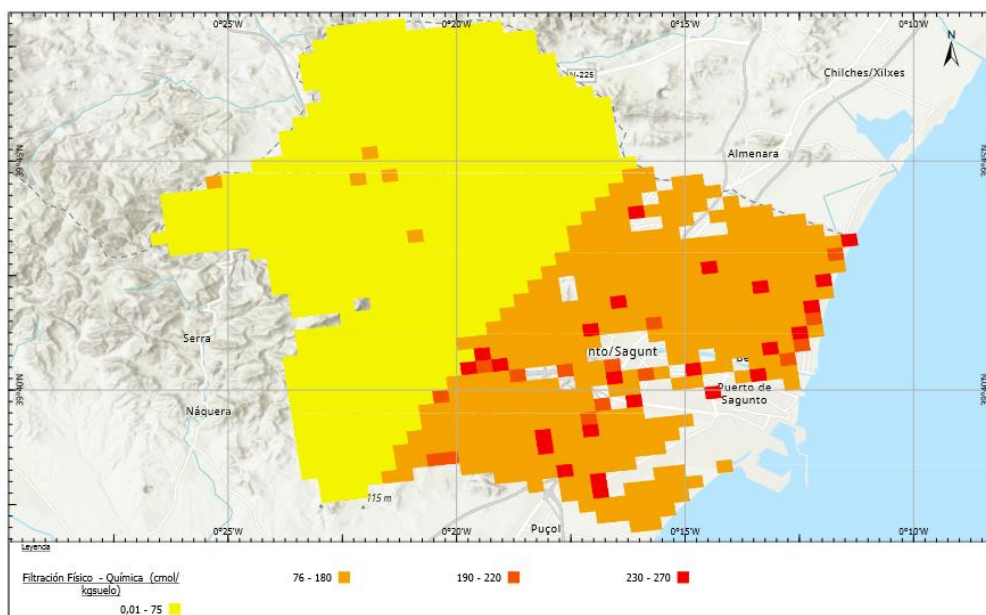


Ilustración 25: Filtración fisicoquímica.

### 3.4 Regeneración de acuíferos

La regeneración de acuíferos se define como el acceso del agua infiltrada a los acuíferos. Esta capacidad depende principalmente de la vegetación superficial, la zona climática y la estructura del suelo. Para el cálculo de este parámetro se utilizan 3 variables: las precipitaciones, la evapotranspiración, el sellado y la escorrentía, conforme a la ecuación:<sup>2</sup>

$$GWR = (P - E) - (1 - SR) \quad (4)$$

Donde,

GWR, Regeneración de agua subterránea [ $\text{mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ].

P, Precipitación [ $\text{mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ].

E, Evapotranspiración [ $\text{mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ].

SR, Coeficiente de escorrentía superficial.

El proceso de cálculo se muestra en la Ilustración 26.

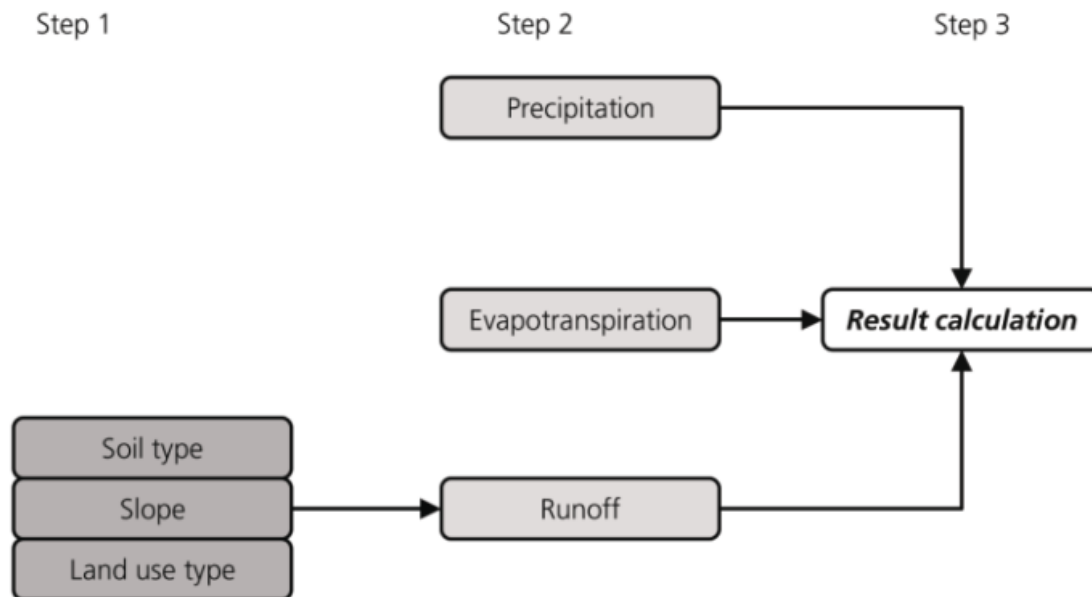


Ilustración 26: Proceso de cálculo de la regeneración de acuíferos. <sup>14</sup>

En la presente investigación hemos utilizado por su excelente calidad el mapa de Recarga a las aguas subterráneas anual (1980/81-2005/06) del MITECO del que hemos extraído la comarca del Camp de Morvedre, mapa A1 y la Ilustración 27.

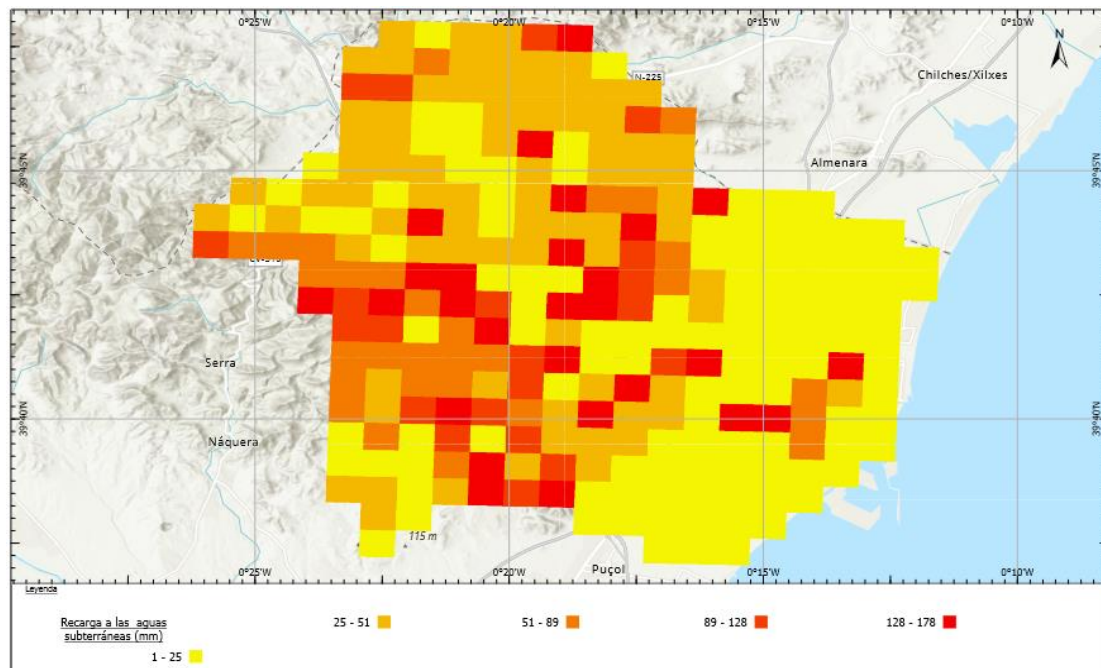


Ilustración 27: Recarga anual a las aguas subterráneas ( $\text{mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$ ). MITECO.

El valor medio de la recarga de acuíferos en el Camp de Morvedre es muy bajo, sólo  $48 \text{ mm m}^{-2}\text{a}^{-1}$ . Esta situación podría empeorar si el nivel de los acuíferos baja, pues los menores valores los encontramos en zonas cercanas al mar y esta situación podría causar la entrada de agua salada, empeorando la calidad de las aguas e incluso podría provocar la pérdida del acuífero. En la segunda fase del proyecto se buscarán alternativas que mejoren esta situación.

### 3.5 Producción biótica

La producción neta del ecosistema (Net Ecosystem Production en inglés, NEP) es una propiedad fundamental de los ecosistemas y se define como la diferencia entre la cantidad de carbono orgánico (C) fijado por la fotosíntesis en un ecosistema (producción primaria bruta, o GPP) y la respiración total del ecosistema  $R_e$  (la suma de la respiración autotrófica,  $R_a$ , y heterotrófica,  $R_h$ ).

Definido de esta manera, NEP representa el C orgánico disponible para su almacenamiento dentro del sistema o su pérdida por exportación u oxidación biológica<sup>27</sup>. El signo de la NEP define si un ecosistema es autotrófico (NEP mayor que cero, como en un bosque o pradera típica) o heterotrófico (NEP menor que cero, como en las ciudades y muchos lagos y ríos).

La producción neta del bioma (NBP) es la cantidad de carbono que permanece en la vegetación tras las eliminaciones antropogénicas y las pérdidas por perturbaciones.

La definición original de NEP como la diferencia entre GPP y  $R_e$  es conceptualmente paralela a la definición de producción primaria neta (NPP), que es la diferencia entre la GPP y la respiración autotrófica.

La productividad de la materia seca (DMP) es un indicador diseñado para representar la tasa de crecimiento de la biomasa seca (MS). Es equivalente a la NPP, pero se ha

adaptado al uso agroestadístico mediante la transformación de las unidades en kilogramos de materia seca producida por hectárea y por día ( $\text{kg MS ha}^{-1}\text{día}^{-1}$ ).

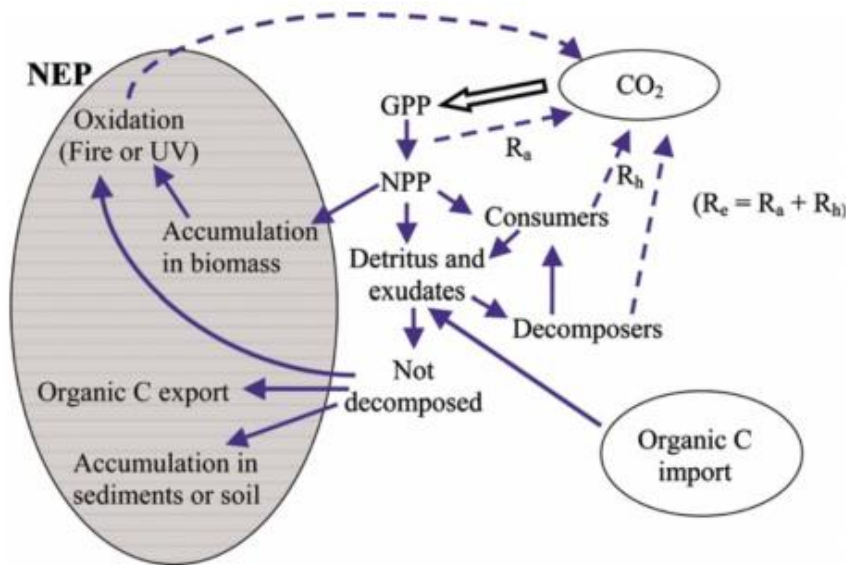


Ilustración 28: Balance de carbono orgánico.<sup>27</sup>

La Ilustración 28 ilustra el balance de carbono orgánico que forma parte de la NEP, más cualquier C orgánico importado en el Sistema. La zona sombreada contiene los componentes de la NEP del sistema, ya sea (a) almacenamiento en el ecosistema, por ejemplo, como un incremento de la reserva de C orgánico en la vegetación, los suelos o los sedimentos; o (b) exportación del ecosistema, por ejemplo, como C orgánico disuelto, C en partículas, o como extracción de material orgánico; o (c) oxidación no biológica por fuego u oxidación UV. Así, el NEP representa el C potencialmente disponible para el almacenamiento dentro de un sistema, pero no todo el NEP se almacena necesariamente. Del mismo modo, parte del C almacenado en un ecosistema puede haber sido importado al ecosistema en lugar de fijarse allí, y no contribuiría a la NEP del sistema.

Las variables de productividad de los ecosistemas más utilizadas en la observación de la Tierra son la GPP y la NPP. Las estimaciones precisas de la NEP y, especialmente, de la NBP con modelos de ecosistemas se ven actualmente obstaculizadas por las elevadas incertidumbres de los resultados de los modelos.

## Métodos para obtener la productividad

Los tres métodos principales utilizados para la estimación de los flujos y el almacenamiento de carbono en la vegetación son las mediciones de campo, inventarios forestales, la modelización biogeoquímica y la teledetección.<sup>28</sup>

Las mediciones de campo son las más precisas y suelen considerarse como la referencia. La técnica "Eddy covarianza" permite estimar el intercambio neto de carbono del ecosistema y la respiración total a partir de mediciones continuas espectrales y micrometeorológicas. Sin embargo, se trata de un método específico del lugar que sólo tiene en cuenta varios cientos de metros cuadrados alrededor del lugar de medición. Para su mejor funcionamiento, las condiciones locales requeridas

incluyen un terreno plano a favor del viento y la ausencia de movimientos horizontales de la masa de aire. Por tanto, no es especialmente útil para el estudio de patrones espaciales. FLUXNET es una red internacional con más de 1000 sitios de medición de flujos activos e históricos, dispersos en la mayoría de los espacios climáticos y biomas representativos.

Los inventarios forestales (tanto a escala regional como nacional) proporcionan estimaciones periódicas de los atributos de los bosques, como el volumen y la biomasa, a partir de los cuales se puede estimar el almacenamiento de carbono y categorizarlo por tipo de bosque, especie y para las diferentes unidades administrativas (por ejemplo, provincia, región y estado). Esta metodología puede aplicarse a gran escala, pero su aplicación es costosa en términos de recursos y tiempo invertidos. Por ejemplo, en el caso de España, sólo se realiza un inventario nacional cada 10 años.

Los modelos biogeoquímicos como Biome-BGC, SCOPE y otros, pueden simular los procesos de la vegetación (incluidos los flujos y el almacenamiento de carbono). Estos modelos requieren una gran cantidad de datos de entrada, y en ocasiones van asociados con teledetección.

## Pérdida de producción biótica

El indicador de producción biótica del modelo LANCA se mide a partir de la productividad primaria neta <sup>18</sup>(NPP). Por ejemplo, para un pinar su producción biótica (igual a NPP) es 800 g m<sup>-2</sup>a<sup>-1</sup>. Sin embargo, la segunda versión del modelo del LANCA10, <sup>18</sup> considera la pérdida de producción biótica respecto a un valor de referencia y sólo para los usos de suelo terrestre (no hay valores para los usos de suelo acuático terrestre o marinos). Así, el bioma de referencia para España son pastizales<sup>2</sup>. En la versión 2.5 se actualizan los factores de caracterización y los valores de referencia se han calculado utilizando la vegetación natural disponible en cada país<sup>29</sup> (media ponderada por superficie basada en la FAO<sup>30</sup>).

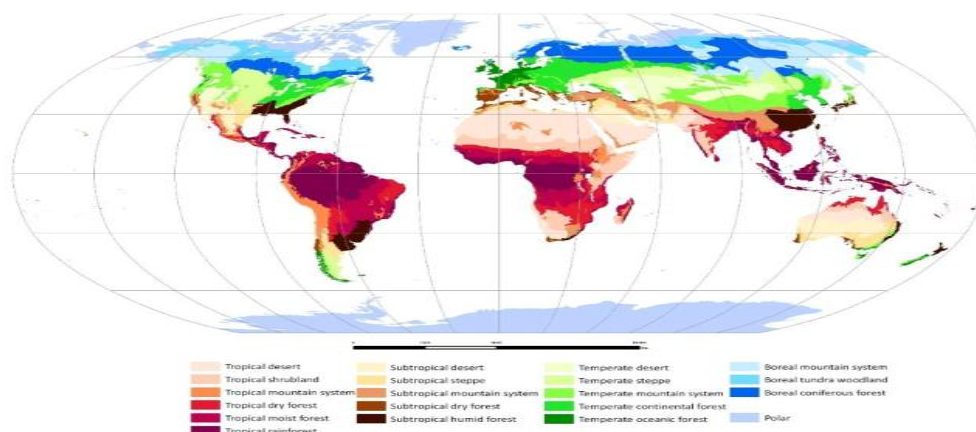


Ilustración 29: Zonas Ecológicas Globales<sup>30</sup> (GEZ 2010).

En España se distribuyen diferentes GEZ, Ilustración 29, cada una con su potencial de vegetación natural, por lo que el valor de NPP de referencia es un valor estadístico ideal y único para España que no diferencia por el tipo de uso del suelo, ver la columna CF Pérdida Biótica de la Tabla 9, y además no aportan información sobre el valor NPP



de referencia considerado<sup>29</sup>. Esta falta de claridad y representatividad puede explicar que otros investigadores implicados en el desarrollo del modelo LANCA<sup>2, 31</sup> no utilicen los factores de caracterización nacionales de la versión 2.5 (Bos<sup>31</sup>; Bos et al.<sup>2</sup>).

En conclusión, el indicador de la pérdida de producción biótica es el que debe considerarse cuando se utilizan los factores de caracterización medios de España. Aunque es más recomendable la utilización de valores locales de productividad primaria neta para el cálculo del indicador de producción biótica como realizamos en el proyecto.

Aplicando los valores medio de caracterización de la pérdida de producción biótica para España y los usos del suelo del Corine Land Cover 2018 se ha elaborado el mapa B1, Ilustración 30y la Tabla 9.

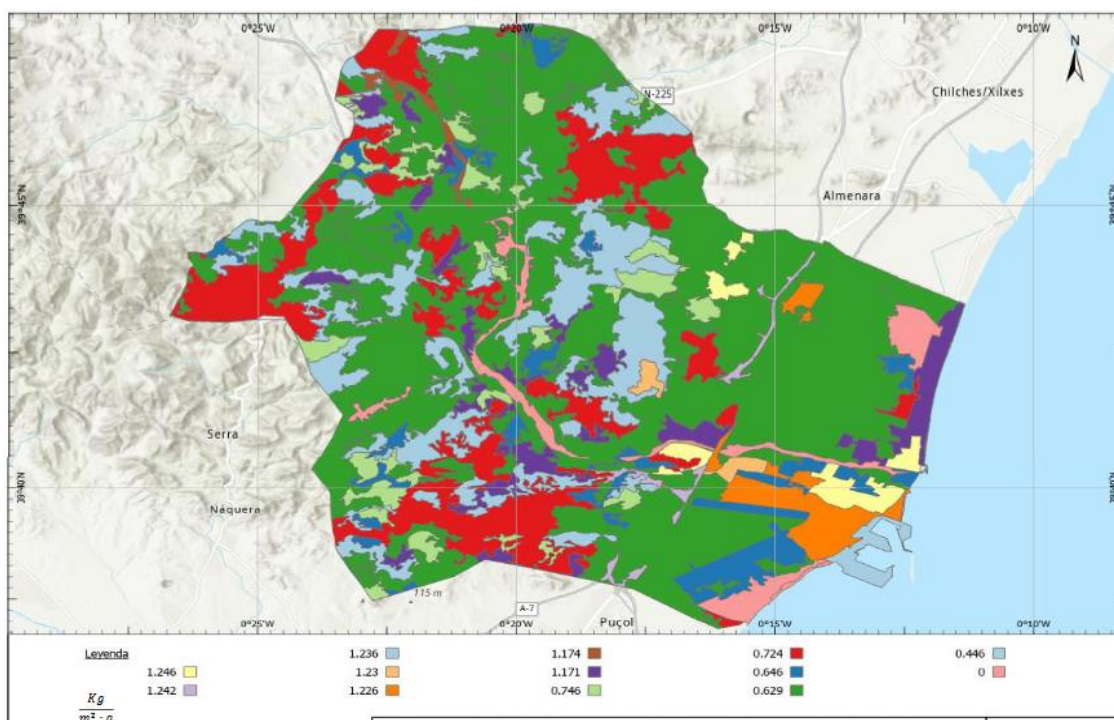


Ilustración 30: Potencial de pérdida de producción biótica.

Tabla 9: Pérdida biótica en el Camp de Morvedre para cada tipo de uso del suelo, 2018.

ID	Uso del suelo	n	Área (m2)	CF. Biótica	Pérdida
1	Bosques de coníferas	31	31973319	0,446	
2	Bosques de frondosas	1	409357	0,446	
3	Escombreras y vertederos	1	585780	1,230	
4	Espacios con vegetación escasa	2	1159906	1,174	
5	Frutales	25	103407862	0,629	
6	Mares y océanos	1	143898	0,000	
7	Marismas	2	4289207	0,000	
8	Matorral boscoso de transición	25	11956102	0,746	

9	Mosaico de cultivos	10	4361246	0,629
10	Olivares	2	751953	0,629
11	Pastizales naturales	22	39393030	0,724
12	Playas, dunas y arenales	5	3958989	0,000
13	Prados y praderas	6	7892632	0,646
14	Redes viarias, ferroviarias y terrenos asociados	4	2260521	1,242
15	Roquedo	1	408487	0,000
16	Tejido urbano continuo	5	5323792	1,246
17	Tejido urbano discontinuo	22	12675135	1,171
18	Terrenos principalmente agrícolas, pero con importantes espacios de vegetación natural	17	7636714	0,646
19	Terrenos regados permanentemente	4	2375322	0,629
20	Vegetación esclerófila	7	20881585	0,629
21	Zonas en construcción	1	899350	1,230
22	Zonas industriales o comerciales	4	7959171	1,226
23	Zonas portuarias	1	2311863	1,236
Total			273015221	0,677

## Teledetección

El papel que desempeñan los datos de observación de la Tierra en la cuantificación de los flujos de carbono ha evolucionado sustancialmente en las dos últimas décadas con el inicio del producto operativo GPP MODIS del programa del Sistema de Observación de la Tierra de la NASA. Desde entonces, se dispone de largas series temporales de productos de diferentes modelos a diferentes escalas espaciales y temporales, entre los que se encuentra MOD17 de la NASA y los productos del europeo Copernicus Global Land Service (CGLS).

CGLS está previsto como un componente del servicio de vigilancia del suelo que proporciona una serie de productos biogeofísicos sobre el estado y la evolución de la superficie terrestre a escala mundial.

En este Proyecto hemos utilizado el producto “DryMatterProductivityCollection 300m Version 1.1”, que representa el crecimiento diario de la biomasa. Desde enero de 2014 hasta junio de 2020, el DMP Collection 300m Version 1.0 se calculó a partir de la Collection 300m FAPAR V1.0 derivada de los datos del sensor PROBA-V. A partir de julio de 2020, la producción de la Versión 1.1 continúa utilizando el fAPAR V1.1 derivado de los datos del sensor Sentinel-3/OLCI. El producto se calcula globalmente y se pone a disposición del usuario en tiempo casi real cada 10 días. A partir de este producto se puede estimar la GPP y la NPP.<sup>32</sup>

El producto DMP del Copernicus Global Land Service<sup>33</sup> se basa en el enfoque de la Eficiencia del Uso de la Luz (LUE) formulado por primera vez por Monteith<sup>34</sup>, quien afirmó que el crecimiento de la vegetación está completamente definido por la parte de la radiación solar entrante que se utiliza para la fotosíntesis y que es absorbida por

las plantas (Absorbed Photosynthetically Active Radiation, APAR, [kJAP/m<sup>2</sup>/d]) y un factor de eficiencia de conversión real  $\epsilon_{ACT}$ .

$$DMP = APAR \cdot \epsilon_{ACT}$$

La fracción de radiación fotosintética absorbida ( $f_{APAR}$ , [JAP/JP]) se utiliza en combinación con la radiación solar incidente de meteo ( $R$ , [kJT/m<sup>2</sup>/d]), obtenida en MeteoConsult, y con el término  $\epsilon_c$ , que describe la parte de la radiación solar interceptada que es potencialmente adecuada para la fotosíntesis, para formar APAR.  $f_{APAR}$  puede estimarse a partir de la información de reflectancia derivada de sensores ópticos que tienen al menos bandas espectrales en la parte roja e infrarroja cercana del espectro solar. El modelo se basa en  $f_{APAR}$  de 10-días obtenida con el satélite Sentinel-3.

$\epsilon_{ACT}$  expresa la eficiencia real de conversión del CO<sub>2</sub> atmosférico en tejido vegetal. Esta eficiencia real puede subdividirse en un término de eficiencia máxima de uso de la luz específico del tipo de vegetación,  $\epsilon_{LUE}$ , y en una serie de factores de estrés.  $\epsilon_{LUE}$  es la eficiencia de uso de la luz en condiciones óptimas, es decir, cuando hay suficiente agua y nutrientes, la temperatura es óptima para el crecimiento de la vegetación, no hay plagas, enfermedades, etc.  $\epsilon_{LUE}$  es específico para cada bioma y para su cálculo se considera la información sobre la distribución global de los tipos de cobertura del suelo procedente del mapa ESA CCI LandCover.

DMP se computa como:

$$DMP = R \cdot \epsilon_c \cdot f_{APAR} \cdot \epsilon_{LUEc} \cdot \epsilon_T \cdot \epsilon_{CO2} \cdot \epsilon_{AR} \cdot [\epsilon_{RES}]$$

Algunos factores potencialmente importantes, como el estrés por sequía, las deficiencias de nutrientes, las plagas y las enfermedades de las plantas, se omiten en el producto DMP. En consecuencia, el producto podría llamarse mejor DMP "potencial". Tabla 10 contiene el rango de valores para cada término de la ecuación.

Tabla 10: Términos para el cálculo de la productividad en CGLS DMP<sup>32</sup>.

TERM	MEANING	VALUE	UNIT
GDMP	Gross Dry Matter Productivity	0 - 640	kgDM/ha/day
DMP	Dry Matter Productivity	0 - 320	kgDM/ha/day
R	Total shortwave incoming radiation (0.2 - 3.0µm)	0 - 320	GJ <sub>T</sub> /ha/day
$\epsilon_c$	Fraction of PAR (0.4 - 0.7µm) in total shortwave	0.48	J <sub>P</sub> /J <sub>T</sub>
$f_{APAR}$	PAR-fraction absorbed (PA) by green vegetation	0.0 ... 1.0	J <sub>PA</sub> /J <sub>P</sub>
$\epsilon_{LUEc}$	Light use efficiency (DM=Dry Matter) at optimum	Biome-specific	kgDM/GJ <sub>PA</sub>
$\epsilon_T$	Normalized temperature effect	0.0 ... 1.0	-
$\epsilon_{CO2}$	Normalized CO <sub>2</sub> fertilization effect	0.0 ... 1.0	-
$\epsilon_{AR}$	Fraction kept after autotrophic respiration	0.5	-
$\epsilon_{RES}$	Fraction kept after omitted effects (drought, pests...)	1.0	-

GDMP 300m V1.1 se ha validado con los datos de FLUXNET sólo en Europa. El sesgo entre el S3 GDMP300 V1.1 y FLUXNET es pequeño (1,92 kg MSha<sup>-1</sup>día<sup>-1</sup>).

La misma magnitud de sesgo se encuentra entre los distintos conjuntos de datos GDMP de CGLS y los datos de FLUXNET. El sesgo entre MOD17 y FLUXNET es mayor (alrededor de 10 kg MSha-1día-1). Por lo tanto, la precisión es mayor para los conjuntos de datos de CGLS GDMP que para MOD17 en esta comparación.<sup>32</sup>

En España se ha utilizado MODIS para obtener la GPP de España, Ilustración 31.<sup>36</sup> Este modelo y el modelo Biome-BGC se han comparado entre sí y con las mediciones de cuatro sitios representativos de los ecosistemas mediterráneos, utilizando la covarianza de Eddy con resultados satisfactorios.<sup>28,36</sup> De la Ilustración 31 puede deducirse que la GPP para el Camp de Morvedre estaría comprendida aproximadamente entre 0.5-1.5 kg m<sup>-2</sup>a-1 y considerando la NPP como la mitad de GPP estaría comprendida entre 0.3-0.8 kg m<sup>-2</sup>a-1.

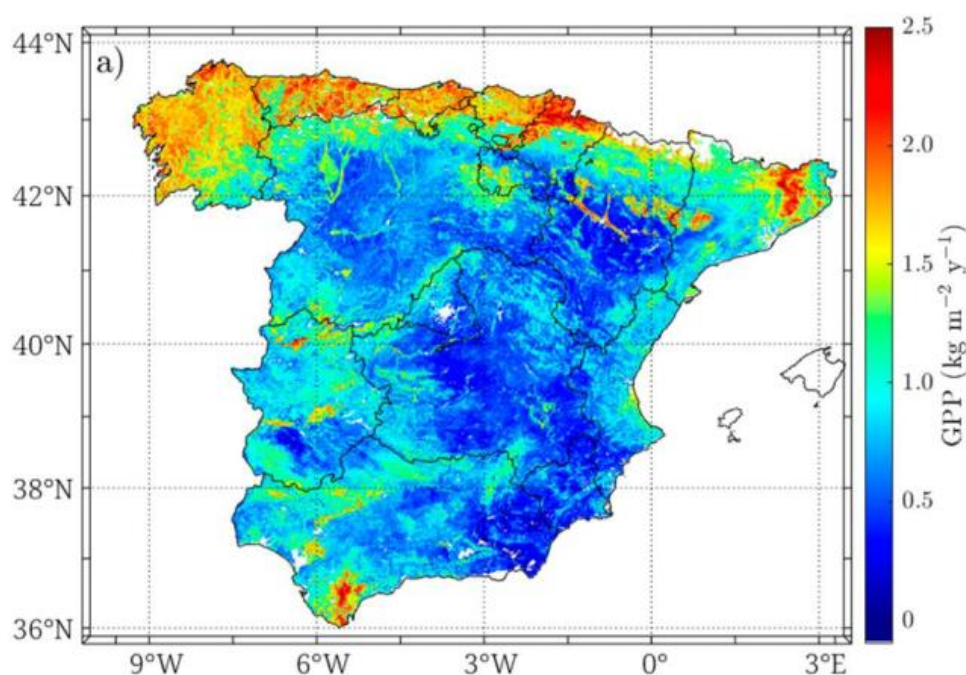


Ilustración 31: GPP de España, media del período 2004-2018.<sup>35</sup>

### 3.6 NPP a partir de DMP

Inicialmente se han obtenido la materia seca anual procesando todos los registros del año 2021 del DMP del Copernicus Global Land Service<sup>33</sup>, disponibles en períodos de diez días.

Según Atjay et al.,<sup>37</sup> la eficiencia de la conversión entre el carbono y la materia seca es en promedio de 0,45 g C/g DM. Por tanto, la NPP y la DMP sólo difieren en una constante. Para escalar la DMP a la NPP hemos hecho el siguiente cálculo:<sup>33</sup>

$$\text{NPP [g C m}^{-2}\text{día}^{-1}] = \text{DMP [kg DM ha}^{-1}\text{día}^{-1}] * 0.45 * 0.1$$

La Ilustración 32 muestra la productividad primaria neta para el Camp de Morvedre. El valor medio de productividad es 571 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>, con un valor máximo de 883 g C m<sup>-2</sup> a<sup>-1</sup>. Debe destacarse la alta productividad relativa de los cultivos de frutales. Aunque

serán las zonas de menor productividad las que centrarán nuestra atención en la segunda fase de este proyecto como la ribera del río Palancia.

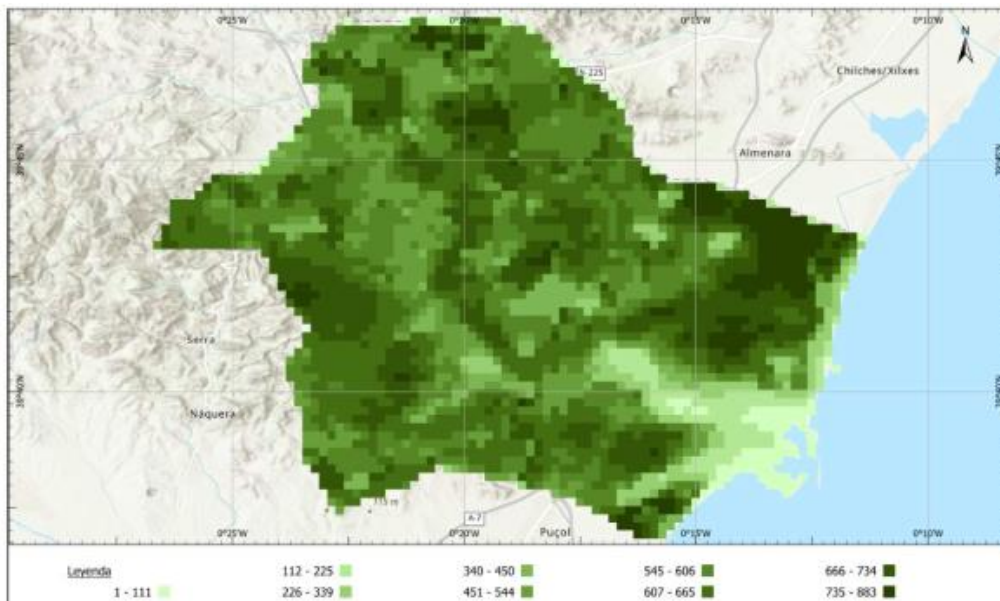


Ilustración 32: Productividad primaria neta anual ( $g\ Cm^{-2}a^{-1}$ ), 2021.<sup>32</sup>

Comparando burdamente los valores de la Ilustración 32 con los valores de la Ilustración 30 puede considerarse que están en el mismo rango.

### 3.7 Índice de Calidad del suelo.

Para el cálculo del Índice de calidad del suelo del camp Morvedre se tuvo como referencia el índice de calidad del suelo de De Laurentiis<sup>17</sup>. Coincidiendo con la investigación anteriormente citada, el indicador de filtración fisicoquímica no se tendrá en cuenta pues da valores aproximados a los de la filtración mecánica y para evitar redundancias decidimos que los indicadores a utilizar serán los siguientes:

1. Resistencia a la erosión
2. Filtración mecánica
3. Regeneración de aguas subterráneas
4. Producción biótica

#### 3.7.1 Re-escalado de los factores de caracterización de LANCA®

Para que los indicadores sean comparables, deben normalizarse (JRC-OCDE, 2008). Debido al significado específico del término “normalización” dentro de la literatura LCA, en esta investigación nos referiremos al proceso de normalización de indicadores usando el término “re-escalado”<sup>17</sup>.

Dado que el proceso de cambio de escala puede verse afectado por valores extremos (es decir, valores atípicos) que podrían convertirse en puntos de referencia no deseados, el primer paso fue eliminar esos valores mediante:

1. Identificar para cada uno de los cuatro indicadores individuales el valor correspondiente a los percentiles 5 (CFi5) y 95 (CFi95) de la distribución de CF específicos de cada país para los flujos elementales de “ocupación” j.

2. Aplicar un corte a todos los CF menores que CFi5 y mayores que CFi95

En el ArcGIS mediante la herramienta “rástercalculator” se realizaron todas las operaciones matemáticas para poder llevar las salidas cartográficas de cada uno de los indicadores a escala de 0 a 100, teniendo en cuenta que 0 es lo peor y 100 es lo mejor.

En la Tabla 11, tenemos los valores de los percentiles utilizados para el re-escalado de cada uno de los indicadores anteriores.

	Cut off values	
	CF 5th	CF 95th
Erosion Actual	263,15	13,85
Filtración Mecánica	6,9808	294,696
Regeneración de Acuíferos	2,77	169,15
Producción Biótica	8,5232	839,784

Tabla 11: Percentiles 5th y 95th

Además, se utilizaron las ecuaciones 5 y 6 para los indicadores crecientes (filtración mecánica, recarga de acuíferos y producción biótica) y decreciente (erosión actual) respectivamente:

$$Y = 100 * \frac{x - (5th)}{(95th - 5th)} \quad (5)$$

$$Y = 100 * \frac{(5th) - x}{(5th - 95th)} \quad (6)$$

Siendo:

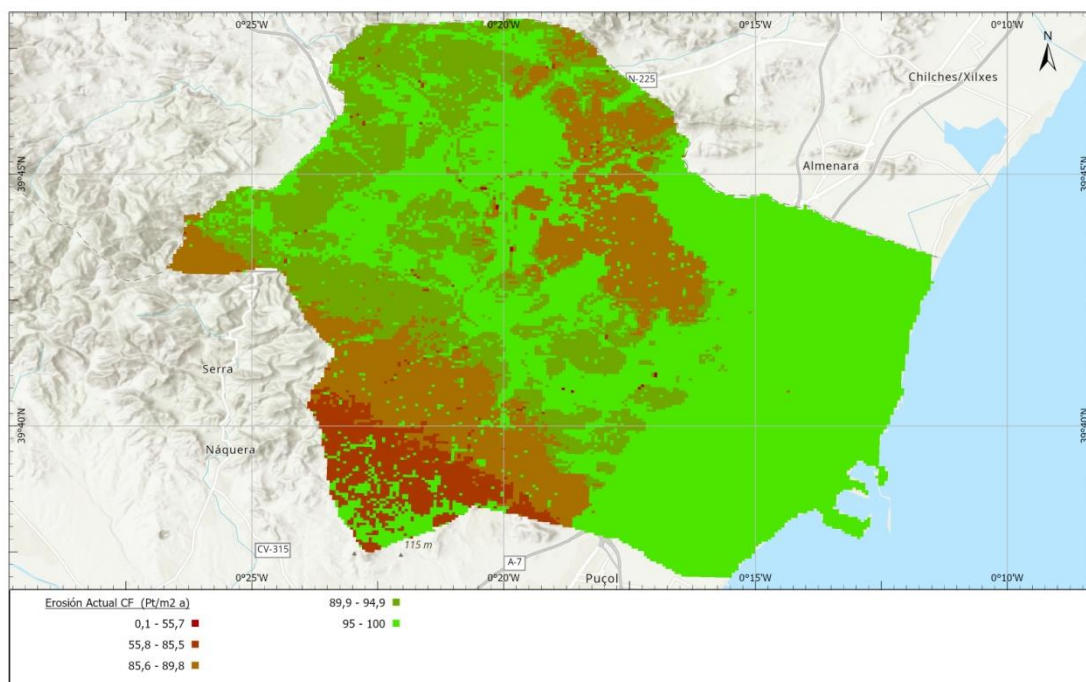
Y: valor del indicador en la escala de 0 a 100

X: valor del indicador original

5th: valor del percentil 5

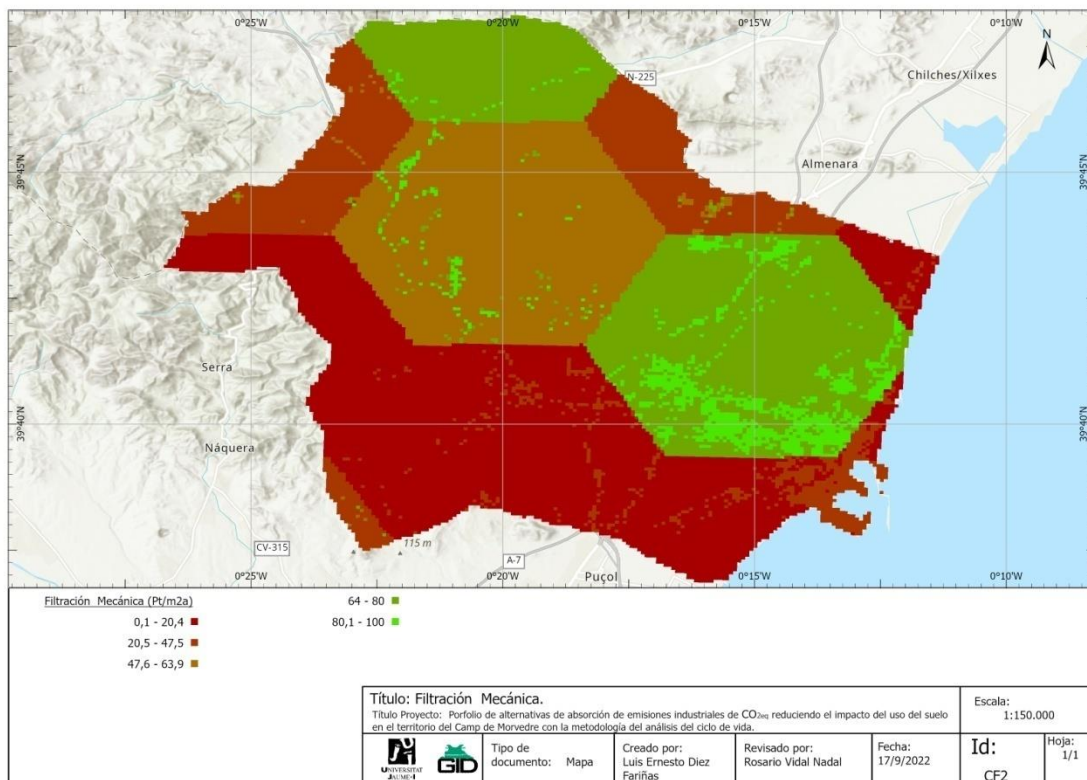
95th: valor del percentil 95

En la Ilustración 33, se puede ver que los valores de erosión más elevada se concentran en las zonas de mayor pendiente.



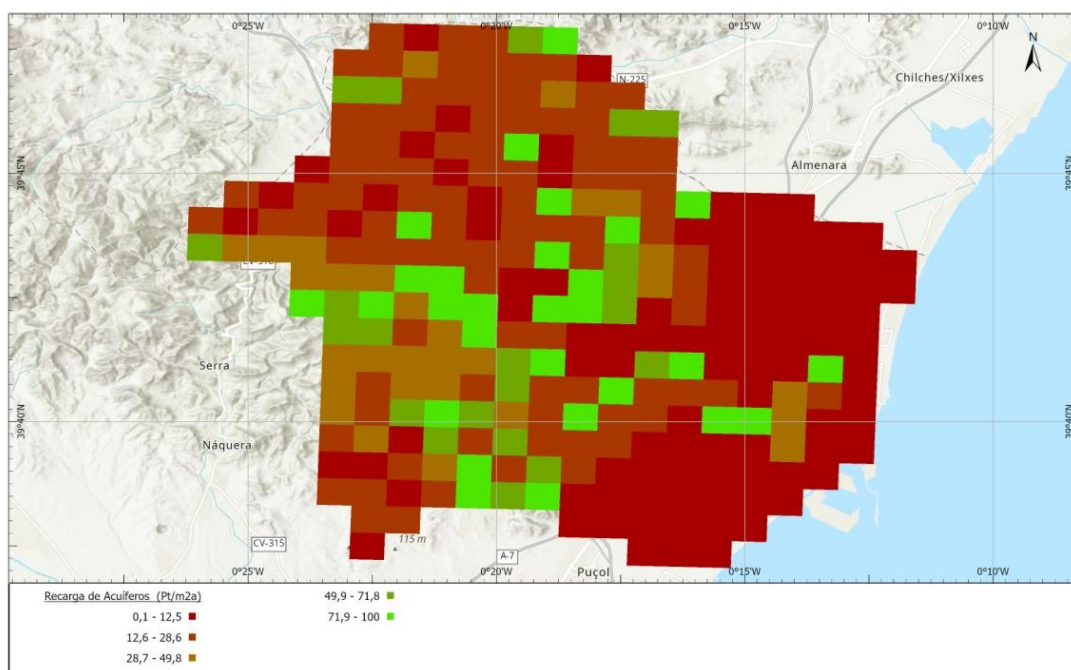
*Ilustración 33:* Re-escalado de la Erosión Actual.

En la Ilustración 34, se puede apreciar que una gran parte del territorio está en los peores valores de filtración mecánica, destacando de forma positiva la zona de Sagunto Sur y Canet de Berenguer, y por la zona norte Algar de la Palancia y Alfara de la Baronia en su región este.



*Ilustración 34:* Re-escalado de la Filtración Mecánica.

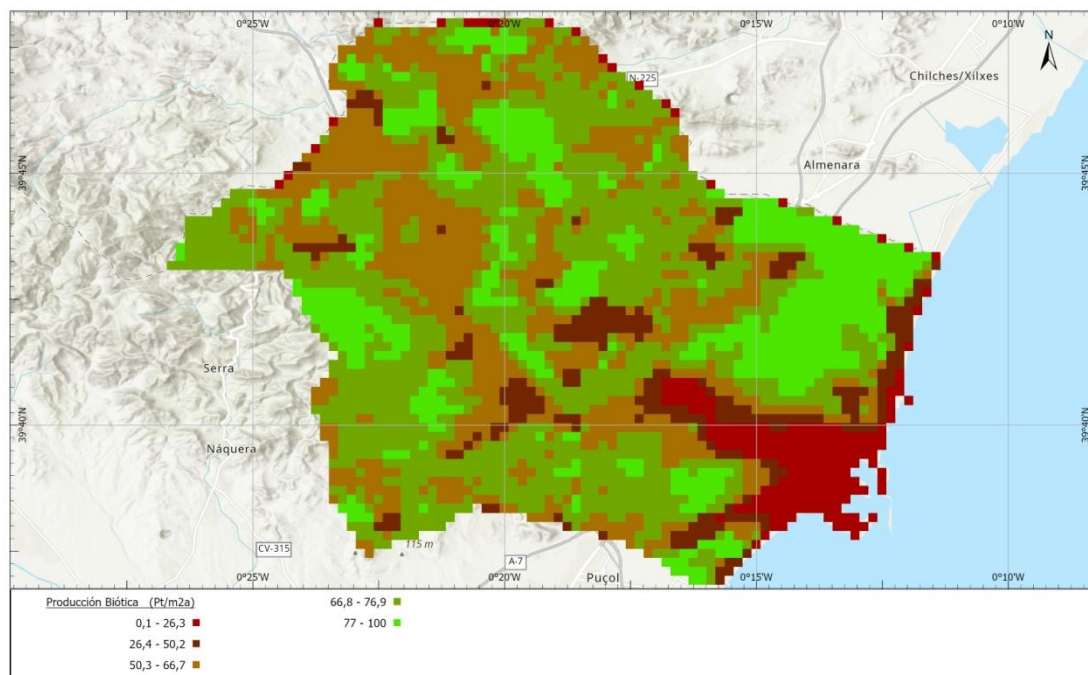
La Ilustración 35, pone de manifiesto el gran problema en la recarga de acuíferos que existe en la comarca, pues casi todo el territorio se encuentra en los peores valores. Presentan mayores riesgos las zonas cercanas a la línea de costa.



*Ilustración 35:* Re-escalado de la Recarga de Acuíferos.



La Ilustración 36, muestra que la peor situación en la producción biótica la encontramos en la zona del puerto y las aéreas de mayor porcentaje de sellado del suelo.

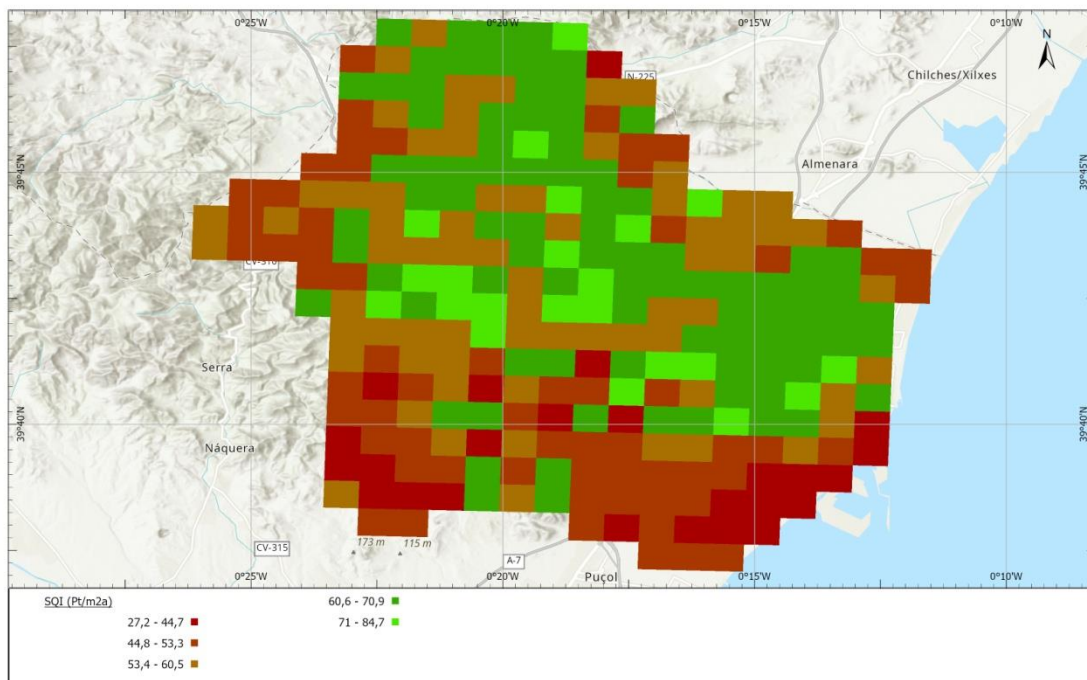


*Ilustración 36:* Re-escalado de la Producción Biótica.

Con el re-escalado de los indicadores anteriores se procedió al cálculo del SQI del Camp de Morvedre. Los valores del SQI oscilan desde los 27.2 a 84.7 Ptm<sup>-2</sup>.

Se puede apreciar en la Ilustración 37 que los valores más bajos de SQI se encuentran en las áreas artificiales (urbanas). Esto se debe al hecho de que las áreas artificiales tienen un alto factor de sellado (es decir, un parámetro utilizado en el cálculo de la filtración mecánica y los indicadores de producción biótica que describen el grado de sellado superficial causado por diferentes usos del suelo). Además, coinciden los valores más altos con las peores zonas de recarga de acuíferos, comprobándose la importancia de estos en la calidad de los suelos.

Por tanto, podemos decir que una gran parte del noreste del Camp de Morvedre presenta una mejor calidad de los suelos con respecto a la zona suroeste del territorio.



Il·lustración 37: Índice de Calidad del Suelo.

## CONCLUSIONES

En línea con el objetivo central de este trabajo de identificar las áreas más degradadas del Camp de Morvedre, en esta sección se indican de forma resumida las conclusiones más importantes de la investigación:

1. Después del cálculo de los indicadores de erosión obtenemos los valores para la erosión potencial y la erosión actual, con valores medios de  $34.7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  y  $7 \text{ t ha}^{-1} \text{ a}^{-1}$  respectivamente.
2. Los menores valores son identificados en la zona de la plana que a pesar de tener elevados valores en los indicadores R y  $K_{st}$  estos son compensados con el factor LS. Los valores más altos los podemos encontrar en las zonas donde el factor LS es mayor.
3. El valor medio de la filtración mecánica es de  $135 \text{ cm d}^{-1}$  aproximadamente, muy influenciada por la distancia a las aguas subterráneas. Las zonas donde la distancia de los acuíferos es mayor se ven beneficiadas por la filtración mecánica, destacando la zona centro de Sagunto y Canet de Berenguer, la zona oeste de los municipios Quart de les Valls y Benifairó de les Valls, y la zona este de Alfara de la Baronia y Algar de la Palancia.
4. Tenemos como valor medio de la filtración físico – química  $70 \text{ cmol kg}^{-1}$ , teniendo los menores valores en las zonas nor-noroeste de la comarca y los valores vacíos en las áreas selladas.
5. La recarga de acuíferos en el Camp Morvedre presenta valores muy bajos, teniendo como valor medio sólo  $48 \text{ mm m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ .
6. La producción biótica presenta como valor medio  $571 \text{ g C m}^{-2} \text{ a}^{-1}$ .
7. Los valores del SQI oscilan desde los 27.2 a  $84.7 \text{ Ptm}^{-2}$ .
8. Una gran parte del noreste del Camp de Morvedre presenta una mejor calidad de los suelos con respecto a la zona suroeste del territorio.

En la segunda parte del proyecto se tendrán en cuenta cada una de las zonas más afectadas para trabajar en estrategias de mejoras y conservación.

## REFERENCIAS

1. Secretaría Confederal de Medio Ambiente y Movilidad de CCOO. Evolución de las Emisiones de gases de efecto invernadero en España (1990 - 2018).1- 24. (2019)
2. Bos, U., Maier, S. D., Horn, R., Leistner, P. & Finkbeiner, M. A GIS based method to calculate regionalized land use characterization factors for life cycle impact assessment using LANCA®. *Int. J. LifeCycleAssess.* 25, 1259–1277 (2020).
3. Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. 2022
4. Efeverde. (2016). España ratifica el Acuerdo de París de lucha contra el cambio climático. Retrieved March 23, 2018, from <https://www.efeverde.com/noticias/acuerdo-paris-espana-cambioclimatico>.
5. Olaya, V. (2014). Sistemas de información geográfica. CreativeCommon Atribución. <https://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Intro.htm>.
6. Ruiz, J., Guillén, J. E., Ramos Segura, A. & Otero, M. M. Atlas de las praderas marinas de España. Observación medioambiental (2015).
7. Pergent-Martini, C. et al. Contribution of Posidonia oceanica meadows in the context of climate change mitigation in the Mediterranean Sea. *Mar. Environ. Res.* 165, 105236 (2021).
8. Morant, D. et al. Influence of the conservation status on carbon balances of semiarid coastal Mediterranean wetlands. *Inl. Waters* 10, 453–467 (2020).
9. Joint Research Centre of the European Commission. The Digital Observatory for Protected Areas (DOPA) Explorer 4.1 [On-line]. [https://dopa-explorer.jrc.ec.europa.eu/dopa\\_explorer#block-block-51](https://dopa-explorer.jrc.ec.europa.eu/dopa_explorer#block-block-51).
10. Colomé Latorre, E., González López, E., de Vicente y López, F. J. & Navarro Baixauli, F. et al. Plan de accion territorial forestal de la Comunitat Valenciana. PATFOR. (2013).
11. Santoro, M., Kay, H., Lucas, R. & Quegan, S. CCI Biomass product user guide (year 3, version 3.0). (2021).
12. Sanderman, J. et al. Soils Revealed soil carbon futures. (2020) doi: 10.7910/DVN/HA17D3.
13. Moran, D. et al. Estimating CO2 emissions for 108000 European cities. *Earth Syst. Sci. Data* 14, 845–864 (2022).
14. Bos, U., Horn, R., Beck, T., Lindner, J. P. & Fischer, M. LANCA® Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment. Version 2.0. (Fraunhofer Verlag, 2016).

15. Koellner, T. et al. UNEP-SETAC guideline on global land use impact assessment on biodiversity and ecosystem services in LCA. *Int. J. Life Cycle Assess.* 18, 1188–1202 (2013).
16. Millennium Ecosystem Assessment. *Ecosystems and Human Well-Being: Opportunities and Challenges for Business and Industry.* (2005).
17. De Laurentiis, V. et al. Soil quality index: Exploring options for a comprehensive assessment of land use impacts in LCA. *J. Clean. Prod.* 215, 63–74 (2019).
18. Beck, T. et al. 'LANCA Land Use Indicator Value Calculation in Life Cycle Assessment – Method Report. (Fraunhofer Verlag, 2010).
19. Renard, K. G., Foster, G. R., Weesies, G. A., Mccool, D. K. & Yoder, D. C. PREDICTING SOIL EROSION BY WATER: A GUIDE TO CONSERVATION PLANNING WITH THE REVISED UNIVERSAL SOIL LOSS EQUATION (RUSLE). (U.S. Dept. of agriculture, Agricultural Research Service, 1997).
20. Panagos, P. et al. Rainfall erosivity in Europe. *Sci. Total Environ.* 511, 801–814 (2015).
21. Panagos, P., Meusburger, K., Ballabio, C., Borrelli, P. & Alewell, C. Soil erodibility in Europe: A high-resolution dataset based on LUCAS. *Sci. Total Environ.* 479–480, 189–200 (2014).
22. Harmonized World Soil Database (HWSD) | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations | Land & Water | Food and Agriculture Organization of the United Nations. <http://www.fao.org/land-water/land/land-governance/land-resources-planning-toolbox/category/details/en/c/1028012/>
23. Panagos, P., Borrelli, P. & Meusburger, K. A new European slope length and steepness factor (LS-factor) for modeling soil erosion by water. *Geosci.* 5, 117–126 (2015).
24. Wischmeier, W. H. & Smith, D. D. Predicting rainfall erosion losses: a guide to conservation planning. U.S. Fresenius Environmental Bulletin (U.S. Department of Agriculture, agriculture handbook no. 537, 1978).
25. MAPAMA. Mapa de Estados Erosivos (1987–2001). (2017).
26. CHJ. Informe de evolución de niveles piezométricos en la demarcación hidrográfica del júcar año hidrológico 2018/19. (2021).
27. Lovett, G. M., Cole, J. J. & Pace, M. L. Is Net Ecosystem Production Equal to Ecosystem Carbon Accumulation? *Ecosystems* 9, 152–155 (2006).
28. Sánchez-Ruiz, S. et al. Remote Sensing and Bio-Geochemical Modeling of Forest Carbon Storage in Spain. *Remote Sens.* 12, 1356 (2020).
29. Horn, R. & Maier, S. LANCA®- Characterization Factors for Life Cycle Impact Assessment, Version 2.5 November 2018. (2018).

30. Food and Agriculture Organization [FAO]. Global ecological zones for FAO forest reporting: 2010 Update. Forest Resources Assessment Working Paper 179 Global. Forest resources Assessment Working Paper 179 (2012).
31. Bos, U. Operationalisierung und Charakterisierung der Flächeninanspruchnahme im Rahmen der Ökobilanz. (Fraunhofer Verlag, 2019).
32. Wolfs, D., Swinnen, E., Van Hoolst, R. & Toté, C. Copernicus Global Land Operations "Vegetation and Energy" "CGLOPS-1". Product usermanual. Dry Matter Productivity (DMP). Gross Dry Matter Productivity (GDMP). Collection 300 m. Version 1.1. Issue I1.10. (2021).
33. Swinnen, E., Toté, C. & Van Hoolst, R. Copernicus Global Land Operations "Vegetation and Energy" "CGLOPS-1". Algorithm theoretical Basis Document: Dry Matter Productivity (DMP). Gross Dry Matter Productivity (GDMP). Collection 300 m. v 1.1. (2021).
34. Monteith, J. L. Solar Radiation and Productivity in Tropical Ecosystems. *Br. Ecol. Soc.* 9, 747–766 (1972).
35. Martínez, B., Sánchez-Ruiz, S., Campos-Taberner, M., García-Haro, F. J. & Gilabert, M. A. Exploring Ecosystem Functioning in Spain with Gross and Net Primary Production Time Series. *Remote Sens.* 14, 1310 (2022).
36. Sanchez-Ruiz, S. et al. Optimized Application of Biome-BGC for Modeling the Daily GPP of Natural Vegetation Over Peninsular Spain. *J. Geophys. Res. Biogeosciences* 123, 531–546 (2018).
37. Ajtay, G. L., Ketner, P. & Duvigneaud, P. Terrestrial Primary Production and Phytomass. in *The Global Carbon Cycle* (eds. Bolin, B., Degens, T., Kempe, S. & Ketner, P.) 129–181 (John Wiley & Sons, 1979).

## ANEXOS

### Listado de mapas

<b>Categoría</b>	<b>Identificación</b>	<b>Nombre</b>
General	G2	Situación y municipios del Camp Morvedre
General	G3	Planeamiento urbanístico
General	G5	Precipitación anual
General	G4	Cobertura del suelo
Erosión	E1	Factor de erosividad de la lluvia (Factor R)
Erosión	E2	Factor de erosionabilidad del suelo (Factor K)
Erosión	E4	Factor LS
Erosión	E5	Factor C
Erosión	E7	Erosión potencial.
Erosión	E8	Erosión Actual.
Filtración		
Mecánica	M1	Permeabilidad del suelo
Filtración		
Mecánica	M2	Profundidad Agua Subterránea
Filtración		
Mecánica	M3	Sellado
Filtración		
Mecánica	M4	Filtración Mecánica
Filtración		
FQ	Q1	Filtración FQ
Recarga		
Acuíferos	A1	Recarga de Acuíferos
Producción		
Biótica	B1	Potencial de pérdida de producción biótica con factores medios de España
Producción	B2	Productividad Primaria Neta (NPP) anual derivada de la Productividad de la Materia Seca (DMP) en Copérnicus
Biótica		
SQI	CF1	Re-escalado de la Erosión Actual
SQI	CF2	Re-escalado de la Filtración Mecánica
SQI	CF3	Re-escalado de la Recarga de Acuíferos
SQI	CF4	Re-escalado de la Producción biótica
SQI	CF5	Índice de Calidad del Suelo

