



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Dpto. de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

Papel de los gradientes climáticos en el aprovisionamiento de bienes y servicios de los bosques, ¿se ve afectado por el cambio climático?

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente

AUTOR/A: Guaman Hurtado, Elvis Omar

Tutor/a: González Sanchis, María del Carmen

Cotutor/a externo: PEREZ ROMERO, JAVIER

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023

# Trabajo Fin de Máster

## PAPEL DE LOS GRADIENTES CLIMÁTICOS EN EL APROVISIONAMIENTO DE BIENES Y SERVICIOS DE LOS BOSQUES, ¿SE VE AFECTADO POR EL CAMBIO CLIMÁTICO?

**Intensificación: ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE  
CUENCAS**

**Autor:**

ELVIS OMAR GUAMAN HURTADO

**Tutor:**

MARÍA GONZÁLEZ SANCHIS (UPV – Departamento de Ingeniería Hidráulica y  
Medio Ambiente)

**Cotutor:**

JAVIER PÉREZ ROMERO (UPV – Departamento de Ingeniería Hidráulica y  
Medio Ambiente)

**SEPTIEMBRE, 2023**

VALENCIA – ESPAÑA



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería  
hidráulica y medio ambiente  
**mihma**

## AGRADECIMIENTO

A Dios, por su bondad para alcanzar otra de mis metas en el ámbito profesional, por ser quien me direcciona por el mejor camino, me rodea de gente buena y grata, quienes de una u otra forma han influenciado de manera positiva durante mi vida y carrera profesional.

Al cuerpo colegiado de la Universidad Politécnica de Valencia, por permitirme ingresar a esta alma mater de la investigación y conocimiento profesional.

A la Dra. María Gonzáles, con su carisma humanitario, conocimiento y experiencia profesional, ha guiado y enfatizado en los lineamientos investigativos para poder presentar y exponer el presente estudio, su predisposición y recomendación han solventado mis dudas permanentemente.

A Javier Romero, por el tiempo dedicado, la ayuda prestada y la orientación impulsada, y a todo el personal docente y administrativo por haberme permitido progresar en el ámbito profesional, gracias al conocimiento brindado y la guía en herramientas contemporáneas, su aplicación permitirá afrontar de la mejor manera en mi ámbito laboral.

A mis padres Elsa y Luis, quienes han sido y serán mi motor para seguir adelante en todos los ámbitos de mi vida. A mi madre, por ser mi guía y apoyo incondicional y la persona a quién más admiro. A mi padre, por impulsarme a seguir escalando en mi vida personal y profesional a pesar de las adversidades, por sus palabras de ánimo y esfuerzo continuo.

A mi hija Arlette, por demostrarme lo fuerte que puede ser a pesar de su corta edad, y por todas las bendiciones y alegrías que ha traído a mi vida.

A mis tíos, quienes han sido una parte fundamental para poder conseguir esta meta, por su ayuda y apoyo total. De manera especial a mi tía Martha, por ser una persona excepcional, por su cariño, hospitalidad, compañía y palabras de ánimo, que muchas veces me impulsaron a seguir en días difíciles.

## ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTO .....	i
LISTA DE ABREVIATURAS .....	ix
RESUMEN .....	x
ABSTRACT.....	xi
RESUM.....	xii
INTRODUCCIÓN .....	1
SITUACIÓN ACTUAL .....	3
OBJETIVOS .....	4
CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO. ....	5
1.1.  Sistemas de información geográfica (SIG) .....	5
1.2.  Clasificación biogeoclimática .....	5
1.3.  Ecohidrología .....	6
1.4.  Recursos hídricos y producción vegetal.....	6
1.5.  Ecosistema.....	6
1.6.  Modelos ecohidrológicos .....	7
1.6.1.  Validación de modelos ecohidrológicos.....	8
1.7.  Biome-BGCMuSo.....	9
1.8.  Pino carrasco ( <i>Pinus halepensis</i> ).....	9
1.8.1.  Distribución.....	9
1.8.2.  Morfología .....	10
1.8.3.  Ecología .....	10
1.8.4.  Importancia económica.....	11
1.8.5.  Modelo de gestión integrada de pinares.....	11
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	12
2.1.  Identificación de los casos de estudio .....	12
2.2.  Procesamiento de datos .....	13

2.3.	Modelo Digital del Terreno (MDT).....	14
2.4.	Variables meteorológicas.....	15
2.4.1.	Series climáticas.....	16
2.4.2.	Duración de luz solar en el día.....	18
2.5.	Edafología .....	20
2.5.1.	Textura del suelo .....	20
2.5.2.	Porcentaje de limo y arena.....	21
2.5.3.	pH del suelo .....	24
2.6.	Simulación.....	25
2.7.	Modelo Biome-BGCMuSo .....	25
2.7.1.	Archivos de entrada .....	26
2.7.2.	Archivos de salida.....	28
2.8.	Aspectos iniciales de la simulación.....	30
2.9.	Validación de pre-simulación.....	30
2.10.	Lanzamiento de simulación.....	31
2.11.	Simulación bajo escenario de cambio climático.....	32
2.12.	Simulación bajo gestión forestal.....	32
2.13.	Análisis de datos.....	32
CAPÍTULO III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS.....		34
3.1.	Identificación y caracterización de parcelas de estudio .....	34
3.2.	Simulaciones .....	35
3.2.1.	Simulación respecto al Agua.....	38
3.2.2.	Simulación respecto al Carbono .....	39
3.3.	Simulación con gestión .....	41
3.3.1.	Simulación respecto al Agua.....	41
3.3.2.	Simulación respecto al Carbono .....	43
3.4.	Simulación con cambio climático .....	45

3.4.1. Simulación respecto al Agua.....	45
3.4.2. Simulación respecto al Carbono .....	47
3.5. Simulación con cambio climático y gestión.....	49
3.5.1. Simulación respecto al Agua.....	49
3.5.2. Simulación respecto al Carbono .....	51
DISCUSIÓN .....	53
CONCLUSIONES .....	57
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	59
ANEXOS .....	63

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> <i>Esquema Metodológico de la clasificación CLATERES (Roselló Elena, 1997).</i> .....	5
<b>Figura 2.</b> <i>Representación esquemática de la evolución de la ecohidrología (Harper et al., 2008).</i> .....	7
<b>Figura 3.</b> <i>Distribución del pino carrasco (Pinus halepensis Mill.) en la cuenca mediterránea (Santana et al., 2022).</i> .....	9
<b>Figura 4.</b> <i>Morfología del pino carrasco (Pinus halepensis Mill.): corteza, acículas y piña (Ferriol, 2020).</i> .....	10
<b>Figura 5.</b> <i>Tratamiento de clareo para reducción de la densidad del pinar y biomasa (Santana et al., 2022).</i> .....	11
<b>Figura 6.</b> <i>Distribución de Ecorregiones (ER1: Cantábrico-Galaica, ER2: Duriense, ER3: Catalano-Aragonesa, ER4: Litoral Mediterránea, ER5: Extremadurese, ER6: Manchega, ER7: Bética) (Roselló Elena, 1997).</i> .....	12
<b>Figura 7.</b> <i>Parcelas base de estudio.</i> .....	13
<b>Figura 8.</b> <i>Plataforma del Centro de Descargas (CNIG).</i> .....	14
<b>Figura 9.</b> <i>Modelo Digital de Terreno (MDT).</i> .....	14
<b>Figura 10.</b> <i>Mapa temático de los Modelos Digitales de Terreno (MDT).</i> .....	15
<b>Figura 11.</b> <i>Script en R para obtención de series climáticas.</i> .....	17
<b>Figura 12.</b> <i>Plataforma de Astronomía y Desarrollos Tecnológicos.</i> .....	18
<b>Figura 13.</b> <i>Archivo oficial de salida y puesta del Sol.</i> .....	19
<b>Figura 14.</b> <i>Clases texturales del suelo (Rucks et al., 2004).</i> .....	20
<b>Figura 15.</b> <i>Plataforma del Centro Europeo de Datos de Suelo (ESDAC).</i> .....	21
<b>Figura 16.</b> <i>Metadatos de textura del suelo.</i> .....	21
<b>Figura 17.</b> <i>Plataforma SoilGrids.</i> .....	22
<b>Figura 18.</b> <i>Descarga de metadato del porcentaje de limo y arcilla a diferente profundidad.</i> .....	22
<b>Figura 19.</b> <i>Metadatos de arena de 0 – 5 cm de profundidad.</i> .....	23
<b>Figura 20.</b> <i>Regresión polinómica del porcentaje de arena proyectado para la parcela FID_4.</i> .....	24
<b>Figura 21.</b> <i>Regresión polinómica del porcentaje de limo proyectado para la parcela FID_4.</i> .....	24
<b>Figura 22.</b> <i>Metadatos de pH.</i> .....	25
<b>Figura 23.</b> <i>Archivo de inicialización sintetic.ini para la parcela FID_0.</i> .....	27
<b>Figura 24.</b> <i>Archivo de constantes ecofisiológicas (.epc).</i> .....	27

<b>Figura 25.</b> <i>Archivo de propiedades del suelo.</i> .....	28
<b>Figura 26.</b> <i>Archivo de verificación de simulación.</i> .....	29
<b>Figura 27.</b> <i>Archivo de salida del modelo para la parcela FID_0.</i> .....	29
<b>Figura 28.</b> <i>Pre-simulación inicial para cada parcela FID.</i> .....	30
<b>Figura 29.</b> <i>Validación de pre-simulación por parcela.</i> .....	31
<b>Figura 30.</b> <i>Ejemplo de lanzamiento de simulación.</i> .....	31
<b>Figura 31.</b> <i>Parámetros del escenario de cambio climático.</i> .....	32
<b>Figura 32.</b> <i>Modelo de gestión.</i> .....	32
<b>Figura 33.</b> <i>Clúster Dendograma (Árquez Abdalá M, 2020).</i> .....	33
<b>Figura 34.</b> <i>Mapa temático de parcelas de estudio.</i> .....	34
<b>Figura 35.</b> <i>Distribución del índice de sequía.</i> .....	36
<b>Figura 36.</b> <i>Dendograma del índice de sequía.</i> .....	36
<b>Figura 37.</b> <i>Mapa de grupos del Dendograma del índice de sequía.</i> .....	37
<b>Figura 38.</b> <i>Dendograma de Agua.</i> .....	38
<b>Figura 39.</b> <i>Recarga de acuíferos y escorrentía superficial.</i> .....	39
<b>Figura 40.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Agua.</i> .....	39
<b>Figura 41.</b> <i>Dendograma del Carbono.</i> .....	40
<b>Figura 42.</b> <i>Secuestro de C y Biomasa.</i> .....	40
<b>Figura 43.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Carbono.</i> .....	41
<b>Figura 44.</b> <i>Dendograma de Agua con gestión.</i> .....	42
<b>Figura 45.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Agua con gestión.</i> .....	42
<b>Figura 46.</b> <i>Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con gestión.</i> .....	43
<b>Figura 47.</b> <i>Dendograma de Carbono con gestión.</i> .....	44
<b>Figura 48.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Carbono con gestión.</i> .....	44
<b>Figura 49.</b> <i>Secuestro de C y Biomasa con gestión.</i> .....	45
<b>Figura 50.</b> <i>Dendograma de Agua con cambio climático.</i> .....	45
<b>Figura 51.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Agua con cambio climático.</i> .....	46
<b>Figura 52.</b> <i>Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con cambio climático.</i> .....	46
<b>Figura 53.</b> <i>Dendograma de Carbono con cambio climático.</i> .....	47
<b>Figura 54.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Carbono con cambio climático.</i> .....	48
<b>Figura 55.</b> <i>Secuestro de C y Biomasa con cambio climático.</i> .....	48
<b>Figura 56.</b> <i>Dendograma de Agua con cambio climático y gestión.</i> .....	49
<b>Figura 57.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Agua con cambio climático y gestión.</i> .....	50



<b>Figura 58.</b> <i>Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con cambio climático y gestión.</i> .	50
<b>Figura 59.</b> <i>Dendograma de Carbono con cambio climático y gestión.</i> .....	51
<b>Figura 60.</b> <i>Secuestro de C y Biomasa con cambio climático y gestión.</i> .....	51
<b>Figura 61.</b> <i>Distribución de los grupos del Dendograma de Carbono con cambio climático y gestión.</i> .....	52
<b>Figura 62.</b> <i>Caso ejemplo de la parcela FID_63 bajo escenario de cambio climático.</i> .....	55
<b>Figura 62.</b> <i>Dinámica del Agua. Gestión (G), cambio climático (CC), cambio climático y gestión (CCG).</i> .....	56
<b>Figura 63.</b> <i>Dinámica del Carbono. Gestión (G), cambio climático (CC), cambio climático y gestión (CCG).</i> .....	56

## LISTA DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Modelos hidrológicos y ecohidrológicos .....	7
<b>Tabla 2.</b> Variables meteorológicas / definición y unidades de medida .....	15
<b>Tabla 3.</b> Serie climática para la parcela FID_O .....	17
<b>Tabla 4.</b> Segundo de luz para la parcela FID_15 .....	19
<b>Tabla 5.</b> Porcentaje de arena proyectado para la parcela FID_4 .....	23
<b>Tabla 6.</b> Porcentaje de limo proyectado para la parcela FID_4 .....	23
<b>Tabla 7.</b> Capas del suelo y rangos de profundidad (Hidy et al., 2018). .....	26
<b>Tabla 8.</b> Características de las parcelas .....	34

## LISTA DE ABREVIATURAS

<b>IFNs</b>	Inventarios Forestales Nacionales
<b>SE</b>	Servicios ecosistémicos
<b>RCP</b>	Trayectorias de Concentración Representativas
<b>SIG</b>	Sistemas de información geográfica
<b>PPB</b>	Producción primaria bruta
<b>CT</b>	Clases territoriales
<b>ER</b>	Ecorregiones
<b>MDT</b>	Modelo digital del terreno
<b>GPS</b>	Sistemas de posicionamiento global
<b>CNIG</b>	Centro Nacional de Información Geográfica
<b>ESDAC</b>	Centro Europeo de Datos de Suelo
<b>LAI</b>	Índice de Área Foliar
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono
<b>N-dep</b>	Deposición de Nitrógeno
<b>C</b>	Carbón
<b>N</b>	Nitrógeno
<b>CH<sub>4</sub></b>	Metano

## RESUMEN

En la actualidad, el análisis y el estudio del papel de los gradientes climáticos en una zona, región o continente se hace más imprescindible, debido a su influencia directa sobre la capacidad de resiliencia, adaptabilidad y evolución de una especie forestal, con mayor énfasis en especies consideradas de amplia distribución y en áreas geográficas mayormente susceptibles a sufrir cambios significativos por efecto del cambio climático. Los modelos ecohidrológicos son una herramienta en apogeo, al permitir comprender las complejas interacciones entre la vegetación y el flujo hidrológico. Entendiendo que el aprovisionamiento de bienes y servicios ecosistémicos de los bosques (agua y carbono), suplen tanto las necesidades básicas e inmediatas del ser humano como socioeconómicas. Por tal motivo, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el papel de un gradiente climático en el aprovisionamiento de bienes y servicios ecosistémicos de masas adultas de pino carrasco en la Península Ibérica, determinando el efecto del cambio climático y un modelo de gestión por medio de aclarado y extracción de biomasa. El estudio emplea el uso de CLATERES y el modelo Biome-BGCMuSo para analizar y cuantificar los SE. El gradiente climático del índice de sequía al cual se enfrenta esta zona, estableció que el agua es el único de los dos factores considerados, en seguir el mismo patrón, es decir que son parcelas o zonas aptas para la provisión de agua a pesar de sufrir un pequeño cambio bajo el escenario de cambio climático; a diferencia del carbono, el cual se comporta de diferente forma en los cuatro escenarios propuestos, es decir, mejoran sus SE, cuando el índice de sequía es menor, por tanto, cabe destacar la importancia de una gestión sostenible y focalizada, no solo para la persistencia y mejora de los SE, sino también para atenuar los impactos perjudiciales del cambio climático.

**Palabras clave:** Servicios ecosistémicos; modelos ecohidrológicos; cambio climático.

## ABSTRACT

Nowadays, the analysis and study of the role of climatic gradients in an area, region or continent is becoming more essential, due to their direct influence on the resilience, adaptability and evolution of a forest species, with greater emphasis on species considered to have a wide distribution and in geographic areas that are more susceptible to significant changes due to climate change. Ecohydrological models are an emerging tool for understanding the complex interactions between vegetation and hydrological flow. Understanding that the provisioning of ecosystem goods and services from forests (water and carbon), supply both basic and immediate human and socioeconomic needs. For this reason, the present study aims to evaluate the role of a climatic gradient in the provisioning of ecosystem goods and services of adult stands of Aleppo pine in the Iberian Peninsula, determining the effect of climate change and a management model by means of thinning and biomass extraction. The study employs the use of CLATERES and the Biome-BGCMuSo model to analyze and quantify the ES. The climatic gradient of the drought index faced by this zone established that water is the only one of the two factors considered to follow the same pattern, i.e., they are plots or areas suitable for the provision of water despite suffering a small change under the climate change scenario; Unlike carbon, which behaves differently in the four proposed scenarios, i.e., its ES improve when the drought index is lower; therefore, it is important to highlight the importance of sustainable and focused management, not only for the persistence and improvement of the ES, but also to mitigate the adverse impacts of climate change.

**Key words:** Ecosystem services; ecohydrological models; climate change

## RESUM

En l'actualitat, l'anàlisi i l'estudi del paper dels gradients climàtics en una zona, regió o continent es fa més imprescindible, a causa de la seua influència directa sobre la capacitat de resiliència, adaptabilitat i evolució d'una espècie forestal, amb major èmfasi en espècies considerades d'àmplia distribució i en àrees geogràfiques majorment susceptibles a patir canvis significatius per efecte del canvi climàtic. Els models ecohidrològics són una eina en apogeu, en permetre comprendre les complexes interaccions entre la vegetació i el flux hidrològic. Entenent que l'aprovisionament de béns i serveis ecosistèmics dels boscos (aigua i carboni), supleixen tant les necessitats bàsiques i immediates de l'ésser humà com a socioeconòmiques. Per tal motiu, el present estudi té com a objectiu avaluar el paper d'un gradient climàtic en l'aprovisionament de béns i serveis ecosistèmics de masses adultes de pi blanc en la Península Ibèrica, determinant l'efecte del canvi climàtic i un model de gestió per mitjà d'aclarit i extracció de biomassa. L'estudi emprà l'ús de CLATERES i el model Biome-BGCMuSo per a analitzar i quantificar els ES. El gradient climàtic de l'índex de sequera al qual s'enfronta aquesta zona, va establir que l'aigua és l'únic dels dos factors considerats, a seguir el mateix patró, és a dir que són parcel·les o zones aptes per a la provisió d'aigua malgrat patir un xicotet canvi sota l'escenari de canvi climàtic; a diferència del carboni, el qual es comporta de diferent forma en els quatre escenaris proposats, és a dir, milloren els seus ES, quan l'índex de sequera és menor, per tant, cal destacar la importància d'una gestió sostenible i focalitzada, no sols per a la persistència i millora dels ES, sinó també per a atenuar els impactes perjudicials del canvi climàtic.

**Paraules clau:** Serveis ecosistèmics; models ecohidrològics; canvi climàtic.

## INTRODUCCIÓN

Los bosques son ecosistemas primordiales para la supervivencia, biodiversidad del planeta y desarrollo de la humanidad, al ser fuente de múltiples bienes y servicios tales como regulación climática, fertilización de suelos, cantidad y calidad de agua, captura de carbono; además, que son fuente económica, alimenticia, de plantas medicinales, proveedor de aproximadamente el 40% de energía renovable, refugio, madera y productos forestales, recreación y turismo entre otras. En la actualidad los bosques cubren casi un tercio de la tierra en el planeta, albergando la mayor parte de la biodiversidad terrestre de nuestro planeta y proporcionando hábitat para mamíferos, aves y anfibios (FAO & PNUMA, 2020). Las investigaciones y estudios actuales, correlacionan el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos (SE) de los bosques tales, como la productividad, la capacidad de resiliencia, la acumulación y reciclado de nutrientes, a la biodiversidad de una determinada comunidad, debido al papel crítico que ocupa en su articulación tanto de cantidad como de calidad de servicios ecosistémicos, que se ven mermados por eventos extremos cada vez más prolongados e intensos (Ratcliffe, Ruiz-Benito, Kändler, & Zavala, 2016).

España tiene alrededor del 36.94% de superficie forestal, convirtiéndola en el segundo país de Europa con mayor disponibilidad de bosques. En las regiones más cálidas y secas del sur, los bosques en su mayoría están dominados por especies resistentes a la sequía, como el alcornoque (*Quercus suber*) y el pino carrasco (*Pinus halepensis*), que son fuente de madera y corcho; mientras tanto, en las regiones más húmedas y frescas del norte, los bosques están compuestos por especies como el roble (*Quercus sp*) y el haya (*Fagus sylvatica*), capaces de suministrar madera considerada de alta calidad.

Los gradientes climáticos hacen referencia a un cambio gradual en las condiciones climáticas a medida que se desplaza a lo largo de una distancia geográfica espacial. Estos gradientes se hacen invidentes en términos de variables climáticas tales como la precipitación, la temperatura mínima y máxima, el viento, la radiación solar, y las características morfológicas del suelo, que modelan la diversidad genética, estructural y funcional en especies leñosas de amplia distribución (Ignazi, G. Mathiasen, P. Premoli, 2019). Además, actúan como barreras naturales, causando heterogeneidad e interactuando con los procesos biogeográficos, ecológicos, evolutivos y de adaptación en diversas escalas, desde pequeñas hasta escalas continentales (Murga-Orrillo, Jorge, Abanto-Rodríguez, & Lobo, 2021).

En los últimos 50 años en España, se han registrado más de 550.000 incendios forestales, los cuales afectaron a cerca de 8 Mha, lo que hace necesaria una oportuna gestión sostenible basada en objetivos y metas focalizadas, con el fin de mantener y mejorar los SE, evaluar la resiliencia de los ecosistemas al fuego u otros fenómenos externos, y la disminución de la carga y continuidad del combustible vegetal para una reducción de su peligrosidad y propagación, considerando los factores antrópicos en la modificación de ecosistemas (Moreno Rodríguez, José Manuel; R. Urbieta, Itziar; Bedia, Joaquín; Gutiérrez, 2015).

Por tanto, la gestión sostenible y ordenación de los bosques, es esencial para garantizar la conservación de los SE a mediano y largo plazo. En la actualidad, se dispone de instrumentos tales como los Inventarios Forestales Nacionales (IFNs), los cuales refieren las principales características de los bosques en términos de superficie forestal, heterogeneidad del hábitat y diversidad de especies, cantidad de madera y productividad, con el objetivo de obtener una base de datos de forma estadísticamente representativa de la mayor parte de ecosistemas forestales, cubriendo su tipología, condiciones ambientales y condición de manejo (Ratcliffe et al., 2016).

Colateralmente es necesario implementar un sistema que monetice los servicios ambientales de los bosques para que con su comercialización, permitan captar parte de este valor como estrategia para conservarlo (Ruiz Pérez, García Fernández, & Sayer, 2007). Para el analizar del impacto del efecto invernadero sobre la estructura y funcionamiento de los ecosistemas forestales españoles que, por sus distintivos rasgos climáticos, topográficos y edáficos, son muy vulnerables a perturbaciones o anomalías climáticas (Alvarez-Uria, 2011), hace necesario implementar modelos ecohidrológicos para analizar la capacidad futura de brindar beneficios a la sociedad. En tal virtud, este estudio tiene como objetivo cuantificar el aprovisionamiento de bienes y servicios ecosistémicos de una de las principales formaciones boscosas del Mediterráneo, la de *Pinus halepensis*, en la Península Ibérica y analizar el papel del cambio climático y la gestión forestal sostenible en dicha provisión.



## SITUACIÓN ACTUAL

La innegable afectación que genera el cambio climático es una realidad a nivel mundial, que trae consigo una serie de sucesos e impactos significativos en los ecosistemas marinos, mixtos y terrestres entre los cuales se encuentra el forestal. Las actividades humanas son la principal fuente de emisión de gases de efecto invernadero que ha llevado a un incremento en la temperatura superficial global de 1.1 °C, que producirán cambios rápidos, abruptos y pérdida irreversible de biodiversidad en los bosques (IPCC, 2023). El cambio climático representa la principal amenaza a la estructura y dinámica de los ecosistemas forestales, aun mas cuando las predicciones sobre los cambios en la precipitación no son del todo confiables, y por el aumento de temperatura que provee los escenarios denominados Trayectorias de Concentración Representativas (RCP) en la Península Ibérica, debido a su alta vulnerabilidad, especialmente en la región Mediterránea (Ruiz-Benito, Herrero, & Zavala, 2013).

Los impactos en los bosques españoles se ven reflejados por defoliaciones, incremento de mortalidad, reducción en el crecimiento, desplazamiento altitudinal de especies vegetales y alteraciones fisiológicas y fenológicas (Herrero Méndez & Zavala Gironés, 2015). Además, impulsados por la desertificación, ocupación del suelo, plagas, fragmentación de hábitats, incendios forestales y periodos de sequías extensas que amenazan negativamente la salud y resiliencia de los bosques, que cabe mencionar actúan como sumideros de carbono al absorber y almacenar grandes cantidades de Dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), jugando un papel crucial en la mitigación del cambio climático. Entre los árboles que mayor tasa de absorción de carbono presentan, se encuentran el eucalipto y el pino con un estimado de 2 y 1.2 t/ha año respectivamente (Alvarez-Uria, 2011).

Frente a estos retos, los distintos organismos gubernamentales y ambientales de España han implementado un marco normativo frente al cambio climático, enfocándose en dos pilares fundamentales que son la mitigación y la adaptación a los impactos derivados de este fenómeno global (Herrero Méndez & Zavala Gironés, 2015). Una de las herramientas que se propone como alternativa para comprender los impactos y para la toma de decisiones, son los modelos mecanicistas que permiten simular las complejas interacciones (agua, carbono, nitrógeno y otros) entre el ecosistema y la atmosfera, en un área geográfica y durante un tiempo determinado; estudiado ampliamente en el campo de la ecohidrología.

## **OBJETIVOS**

El presente trabajo se centra en tres objetivos generales:

- ▲ Análisis del aprovisionamiento de SE de los bosques a lo largo de la Península Ibérica.
- ▲ Análisis de los efectos del cambio climático en el aprovisionamiento de SE de los bosques.
- ▲ Estudio de alternativas de gestión que mejoren el abastecimiento de SE de los bosques.

# CAPÍTULO I: MARCO TEÓRICO.

## 1.1. Sistemas de información geográfica (SIG)

Son un conjunto de herramientas cuyo objetivo es gestionar, analizar, almacenar y visualizar una gran cantidad de datos geospaciales, que mediante procesos analíticos y el uso de algoritmos definidos, nos permite realizar diversas tareas en el análisis espacial, como modelado, proyecciones futuras, interpolación, llenado de datos y análisis de redes entre otros. A su vez, busca que la interacción entre el sistema y el usuario sea más dúctil, con la finalidad de incrementar la comprensión de los fenómenos que se modelan y su dinámica de comportamiento (Moreno, 2017).

## 1.2. Clasificación biogeoclimática

Son formas de categorizar o diferenciar las regiones geográficas de un espacio definido o de un país, en función de sus características geológicas, biológicas y climáticas (figura 1), con el fin de conocer la distribución de la fauna, vegetación y diferentes zonas de interés en un territorio. En España se lo realizó con el objetivo de obtener un modelo territorial de base ecológica multifactorial que facilitara la investigación, monitorización y evaluación de los recursos forestales, siendo fundamentalmente un inventario nacional, conocida por el acrónimo CLATERES, el mismo que llevaría varios años y con la ayuda de diversos investigadores para su obtención (Roselló Elena, 1997).

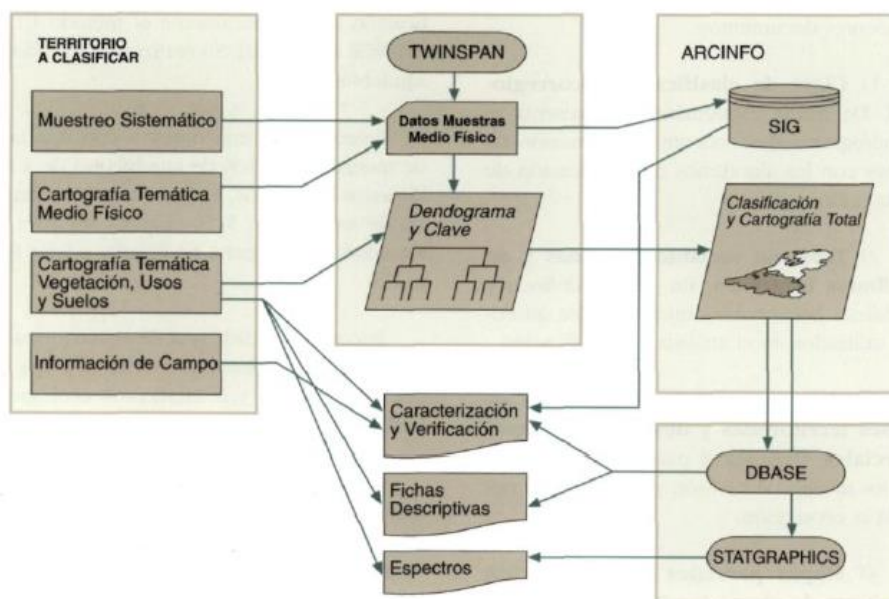


Figura 1. Esquema Metodológico de la clasificación CLATERES (Roselló Elena, 1997).

### **1.3. Ecohidrología**

Es una disciplina innovadora que promueve la interacción entre los conceptos de ecología e hidrología, convirtiéndose en una herramienta valiosa para promover una gestión sostenible y un manejo integrado del agua y de los ecosistemas. Además, la ecohidrología ofrece información sobre los procesos ambientales integrando la biología molecular, química y genética en post de buscar soluciones innovadoras a los problemas que en la actualidad enfrenta la humanidad, ahondados por la forma en que la sociedad trata de utilizar los recursos y un evidente cambio climático global (Harper, Zalewski, & Pacini, 2008). Entender estas interrelaciones es cada vez más trascendental, sobre todo en áreas con problemas de desertificación, degradación y regiones semi áridas en las que un manejo sostenible puede mitigar efectos irreversibles (Maia de Andrade, De Queiroz Palácio, Dos Santos, Brasil, & Navarro Hevia, 2019).

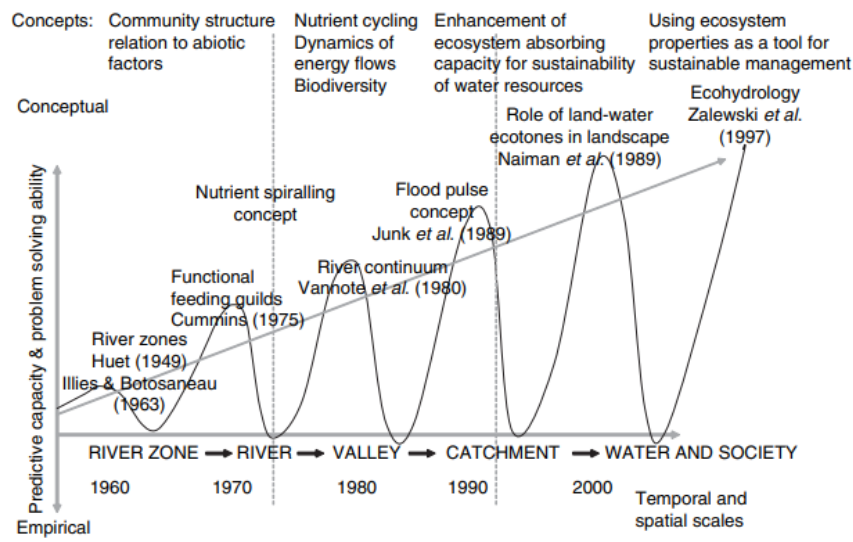
### **1.4. Recursos hídricos y producción vegetal**

En la actualidad, el comprender la relación planta – agua es fundamental en el campo de la ecohidrología, debido a que la planta ocupa un componente clave en el ciclo hidrológico y el agua es un recurso esencial para la vida vegetal, al desempeñar varios roles cruciales en su funcionamiento como transporte de nutrientes, fotosíntesis, transpiración, soporte estructural y reproducción. La relación planta – agua es un equilibrio delicado y esencial para la sobrevivencia de los ecosistemas y la biodiversidad en general. La producción de nueva biomasa en bosques, cultivos o cualquier comunidad vegetal está determinada por la disponibilidad de agua en el suelo, siendo evidente al observar un paisaje natural con las condiciones óptimas para su desarrollo, y otro en el cual las condiciones climáticas afecten directamente la disponibilidad del recurso hídrico (Medrano et al., 2007).

### **1.5. Ecosistema**

Un ecosistema es un sistema complejo con un sin número de interacciones, compuestos por seres vivos, plantas, animales, microorganismo, así como por su entorno físico y químico como el agua, temperatura, suelo y minerales, creando un equilibrio dinámico en el que fluye la energía y circulan los nutrientes. Uno de los progresos más importantes en el entorno del ecosistema, es el vínculo abiótico – bióticos y los ciclos biogeoquímicos, como el ciclo del carbono, nitrógeno y ciclo del agua, a través de la interpretación de la red alimentaria en términos de flujo de energía. Últimamente, los conceptos de ecosistema se han incorporado a las pautas de evaluación de riesgo ecológico, convirtiéndose en una de las bases fundamentales

en la gestión ambiental moderna (figura 2), a la cual, la ecohidrología está contribuyendo con su visión de unidad y atención a la integridad del hábitat (Harper et al., 2008).



**Figura 2.** Representación esquemática de la evolución de la ecohidrología (Harper et al., 2008).

### 1.6. Modelos ecohidrológicos

Son herramientas que pueden ser desde modelos conceptuales y semi – empíricos hasta modelos basados en procesos físicos y matemáticos más complejos, que buscan comprender como se interrelacionan los procesos hidrológicos con las características de un ecosistema y cómo, a su vez, las condiciones ecológicas conservan la disponibilidad y el flujo de agua. Los modelos ecohidrológicos cuentan con un limitante para la aplicabilidad de los modelos debido a que, en un entorno geográfico existen diferentes especies o grupo funcionales que se comportan de diferente forma bajo condiciones hídricas determinadas, lo que resulta variable para cada tipo funcional, una de las aplicaciones más relevantes de estos modelos es su capacidad para la predicción de cambios bruscos en el estado de los ecosistemas (Pueyo, 2013). Algunos ejemplos de modelos ecohidrológicos incluyen (tabla 1).

**Tabla 1.** Modelos hidrológicos y ecohidrológicos

Modelo	Características
SWAT (Herramienta para la Evaluación del Suelo y Agua)	Modelo ampliamente utilizado que simula los procesos hidrológicos y el ciclo de los nutrientes en una cuenca hidrográfica para modelar los impactos del cambio climático.

InVEST (Valoración integrada de servicios ecosistémicos y compensaciones)	Es una herramienta en reemplazo del modelo SWAT, que evalúa los servicios ecosistémicos, incluida la regulación hidrológica. Ayuda a comprender cómo los cambios en el uso del suelo disminuyen la disponibilidad de agua y otros bienes y servicios.
HEC-HMS (Centro de Ingeniería Hidrológica - Sistema de Modelado Hidrológico)	Modelo utilizado para simular la escorrentía y el flujo de agua en una cuenca, orientado más a ingeniería. Puede considerar el efecto de diferentes condiciones climáticas y el uso del suelo en el régimen hidrológico.
VIC (Capacidad de Infiltración Variable)	Modelo a macro escala semidistribuido que se fundamenta en la interacción entre la atmósfera, vegetación y el suelo al resolver tanto el balance de energía superficial como las ecuaciones del balance de agua.
DHSVM (Modelo de Hidrología Distribuida del suelo)	Modelo de distribución espacial y temporal del flujo de agua en una cuenca, considerando el impacto de la vegetación y el suelo en la hidrología y el potencial impacto del cambio climático.
MIKE SHE	Modelo que se utiliza para simular la interacción entre el flujo de agua subterránea y el flujo de agua superficial, permitiendo que los componentes se adapten a las necesidades propias del entorno a simular.
Biome-BGCMuSo	Modelo biogeoquímico ampliamente utilizado que simula procesos químicos, físicos, geológicos y biológicos del carbono, nitrógeno almacenamiento y flujo de agua entre el ecosistema y la atmósfera, además, de procesos como la nitrificación, desnitrificación y otros procesos que permiten generar una representación de los cambios en el ecosistema.

### 1.6.1. Validación de modelos ecohidrológicos

La validación de modelos ecohidrológicos es un proceso esencial el cual permite garantizar al usuario, que los resultados y predicciones obtenidos sean confiables y representen de la manera más real las condiciones del entorno modelado, comparando las salidas del modelo con datos observados. La validez de un modelo una vez calibrado, se asume como verdadero a un periodo diferente al de calibración considerando condiciones similares a las actuales (Cabrera, 2012). Es un proceso iterativo y continuo en el cual siempre habrá cierto grado de incertidumbre asociado.

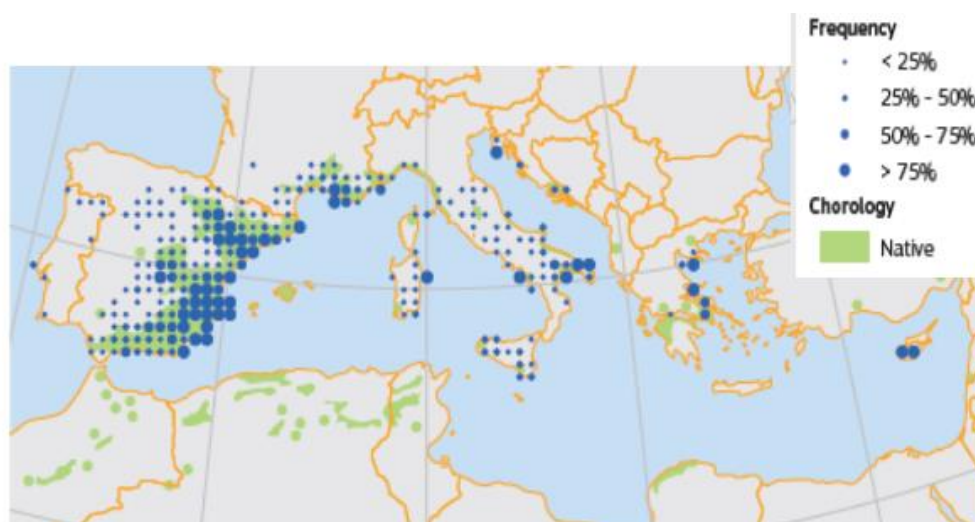
### 1.7. Biome-BGCMuSo

Biome-BGC es un modelo biogeoquímico popular ampliamente utilizado que simula el almacenamiento, ciclo del carbono, nitrógeno y flujo de agua entre el ecosistema y la atmósfera, y dentro de los componentes de los ecosistemas terrestres a nivel de biomasa (por ejemplo, humedales, praderas, bosques, entre otros) (Hidy et al., 2018). Es un modelo que considera factores como la transpiración, fotosíntesis, respiración y dinámica de nutrientes, con base en tres bloques fundamentales como lo son el fenológico, dinámica del suelo y flujo de carbono que, en sus últimas versiones, tiene un alto potencial para implementar situaciones en las que la gestión y la disponibilidad de agua juegan un papel importante, sobre todo en regiones semiáridas y del mediterráneo (Hidy et al., 2016). La versión Biome-BGCMuSo 6.2 ha sido capaz de proporcionar una estimación de los procesos de nitrificación y desnitrificación, además, de una representación mejorada de la hidrología del suelo, que ayudan a tener una percepción amplia de los potenciales cambios en un ecosistema (Hidy et al., 2022).

### 1.8. Pino carrasco (*Pinus halepensis*)

#### 1.8.1. Distribución

El pino carrasco es una especie que pertenece a la familia *Pinaceae*. Es una especie autóctona en la cuenca mediterránea y dominante en zonas de baja altitud y próximas al mar, que ocupa casi un 7% de la superficie forestal arbolada de España y unos 6.8 millones de hectáreas y proliferando sobre todo en países como España, Italia, Grecia, Marruecos y otros lugares con climas mediterráneos (figura3) (Santana et al., 2022)



**Figura 3.** Distribución del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) en la cuenca mediterránea (Santana et al., 2022).

### 1.8.2. Morfología

El pino carrasco es un árbol de tamaño mediano que puede alcanzar alturas de hasta 22m, sus hojas son lineales o aciculares de entre 6 y 15cm, de forma radial agrupadas en parejas por una vaina basal y de color verde claro. En condiciones óptimas su sistema radicular es profundo, mientras que un tronco tortuoso y retorcido, una forma de copa irregular y un sistema radicular superficial, puede ser clara evidencia de que las condiciones de desarrollo son limitadas. La corteza del pino es de color marrón claro a grisáceo, presenta grietas con la edad y suele ser gruesa. Las piñas son alargadas y ovoides que miden de 5 a 12cm de largo y 3 a 5cm de ancho (figura 4), en cuyo interior contienen semillas aladas que se liberan cuando las piñas maduran y se abren (Ferriol, 2020).



**Figura 4.** Morfología del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.): corteza, acículas y piña (Ferriol, 2020).

### 1.8.3. Ecología

El *Pinus halepensis* es una especie heliófila, termófila y xerófila que se considera bien adaptada a las sequías ya que su crecimiento se basa principalmente en la disponibilidad de agua (Olivar et al., 2013), es poco longeva y soporta desarrollarse en suelos calcáreos, margas, dolomías y arena, aunque con baja tolerancia a suelos con alto contenido en sal (Ferriol, 2020), convirtiéndose así en una especie relevante en la investigación sobre la respuesta de los árboles al cambio climático. Es una especie pionera que coloniza áreas degradadas y suelos erosionados, que ayuda a fijar el suelo y proporciona hábitat para diversas especies de animales contribuyendo a la biodiversidad.



#### 1.8.4. Importancia económica

No tiene mucha importancia maderera al ser rica en resina, del cual se obtiene la trementina que se ocupa mayormente como disolvente de pinturas, para limpieza o en la carpintería. Además, se utiliza para la fabricación de cajas de embalaje y para traviesas o durmientes de ferrocarril por su alta resistencia a la compresión (Ayuntamiento. Huesca, 2011). La corteza por su alto contenido en taninos, se emplea para curtir el cuero (Ferriol, 2020).

#### 1.8.5. Modelo de gestión integrada de pinares

Los pinares son formaciones arbóreas que son mayormente afectados por los incendios forestales en España, debido a su alta densidad y acumulación de grandes cantidades de combustible muerto, facilitando la propagación de las llamas al contener abundantes especies de matorrales, a pesar de que el pino es considerado como una especie favorecida por los incendios forestales gracias a su capacidad de persistencia, la misma tiene un límite y frente a perturbaciones concurrentes hace imposible la producción de semillas viables (De las Heras, Alfaro-Sánchez, Hernández-Tecles, Hedo, & Moya, 2011).

Los SE que ofrecen los pinares (figura 5), son inferiores si los comparamos con bosques mixtos, caracterizados por una estructura más heterogénea; por lo que, un correcto manejo y tratamiento silvícola es necesario para reestructurar el funcionamiento de estos ecosistemas a largo plazo, ayudando así, a reducir significativamente el riesgo de incendios (Santana et al., 2022).



**Figura 5.** *Tratamiento de clareo para reducción de la densidad del pinar y biomasa (Santana et al., 2022).*

## CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.

El presente estudio analiza la provisión de SE de masas adultas de pino carrasco a lo largo de toda la Península Ibérica con y sin la influencia del cambio climático y la gestión forestal sostenible. Para ello se han identificado las masas de pino carrasco presentes en las diferentes unidades de clasificación biogeoclimática de CLATERES mediante el Mapa Forestal Español. Dicha identificación ha proporcionado el número de casos similar con el modelo mecanístico BIOME-BGCMuSo, previamente calibrado y validado para la especie en (Mhimdi I, 2022). Cada uno de los casos ha sido simulado bajo los escenarios climáticos actual y futuro (incremento de 2°C en la temperatura y un 10% más de Déficit de Presión de Vapor) con y sin gestión forestal. Dado que el modelo empleado calcula, entre otras cosas, los ciclos del agua y del carbono, los SE considerados son: provisión de agua (escorrentía superficial y recarga de acuíferos), provisión de biomasa y secuestro de carbono.

### 2.1. Identificación de los casos de estudio

Para el presente trabajo se utilizó la Clasificación Biogeoclimática Territorial de España, conocida por el acrónimo CLATERES, cuyo objetivo en la segunda fase consistió en la definición de clases territoriales (CT) y ecorregiones (ER) (figura 6).



**Figura 6.** Distribución de Ecorregiones (ER1: Cantábrico-Galaica, ER2: Duriense, ER3: Catalano-Aragonesa, ER4: Litoral Mediterránea, ER5: Extremadurensis, ER6: Manchega, ER7: Bética) (Roselló Elena, 1997).

Los dos marcos en los que se basa esta clasificación son la geoclimática, que es la información activa (clima y litología) utilizada para la construcción de Clateres y la silvológica, que es la

información pasiva de carácter forestal utilizada para la caracterización de clases territoriales con 17 variables relativas (altitud, precipitación, temperatura, evapotranspiración entre otros); paralelamente se recopila la información forestal de la ocupación relativa de las diversas especies arbóreas (*Quercus faginea*, *Quercus pirenaica*, *Pinus sylvestris*, *Pinus halepensis* y otros), en las 215 clases territoriales (Roselló Elena, 1997).

## 2.2. Procesamiento de datos

El objetivo de este apartado es realizar una intersección de la base de datos entre las CT y el *Pinus halepensis* en todas las ER de la Península Ibérica, mediante la utilización de sistemas de información geográfica (SIG), las mismas que serán debidamente agrupadas e identificadas mediante etiquetas que para fines metodológicos se expondrán como parcelas, de las cuales se obtendrá el área y perímetro, con la finalidad de seleccionar la mayor superficie de *Pinus halepensis* para cada CT. Mencionado proceso, nos muestra como un total de 3941 parcelas de estudio (figura 7).



Figura 7. Parcelas base de estudio.

Al contar con una gran cantidad de parcelas de estudio en diferentes ubicaciones, se decidió segregarlos por su extensión y la clase territorial de cada ecorregión, seleccionando así las de mayor área para cada CT y dejando de lado los pertenecientes a las islas baleares. Seguidamente, para cada parcela se determinaron sus características físicas y edáficas tales como: altitud, coordenadas geográficas, coordenadas concéntricas y textura, que posteriormente serán utilizadas para poder obtener sus datos climatológicos independientes

entre los que consta la temperatura máxima y mínima, precipitación, déficit de presión de vapor entre otros.

### 2.3. Modelo Digital del Terreno (MDT).

Es una representación digital de las elevaciones y formas del terreno en un área geográfica determinada, a la que se aplican técnicas de interpolación y modelado para crear una representación continua del terreno en forma de malla o rejilla de puntos, a partir de datos como imágenes satelitales, levantamientos topográficos, sistemas de posicionamiento global (GPS) y tecnología LiDAR. Para obtener datos de altitud que representen el relieve del territorio nacional, se prefirió recurrir al Centro Nacional de Información Geográfica (CNIG) (figura 8), del cual seleccionamos una cobertura con paso de malla de 25m (figura 9).

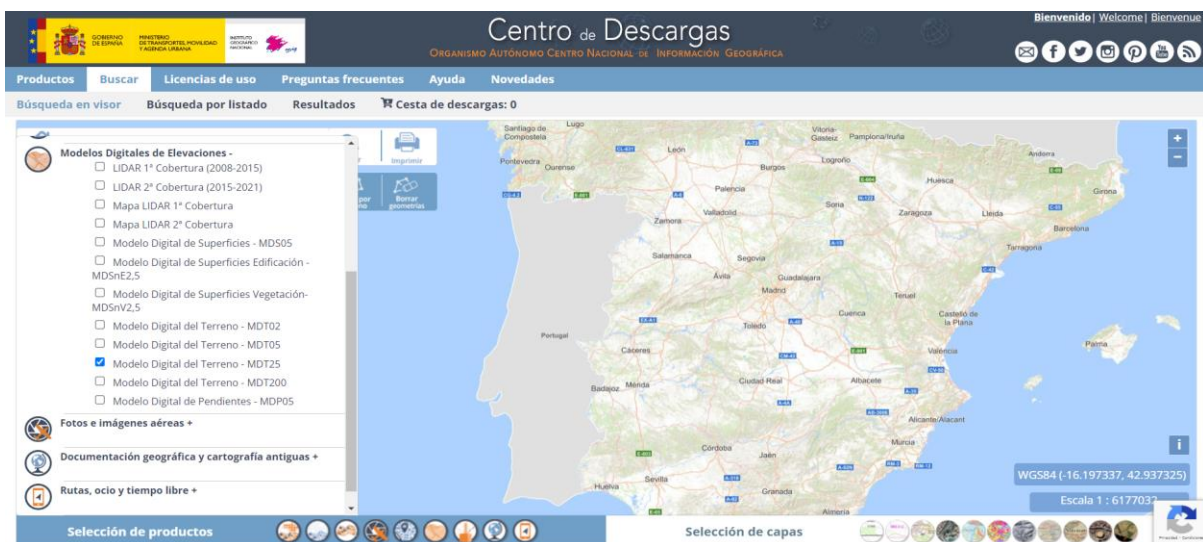


Figura 8. Plataforma del Centro de Descargas (CNIG).

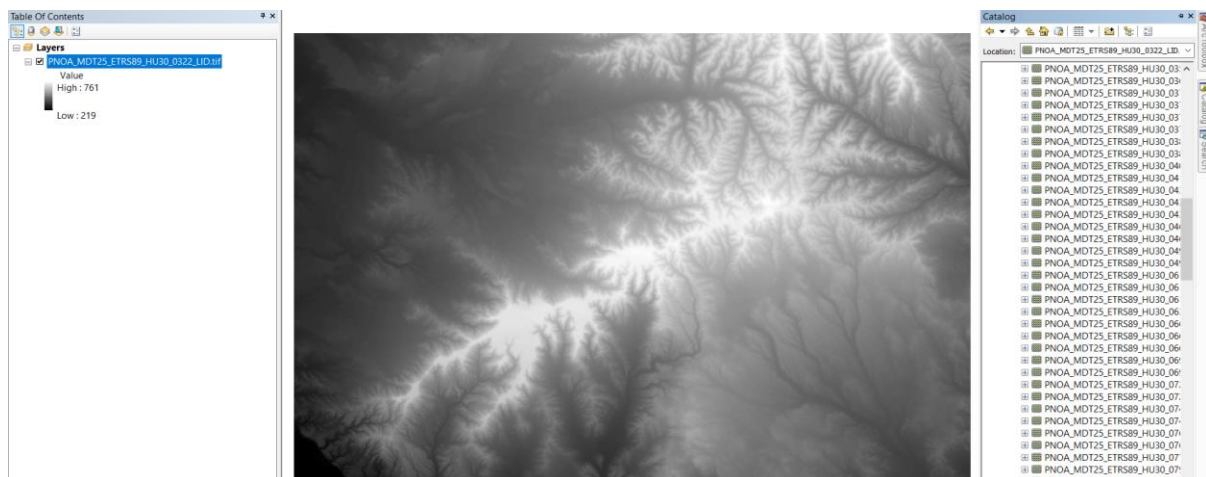
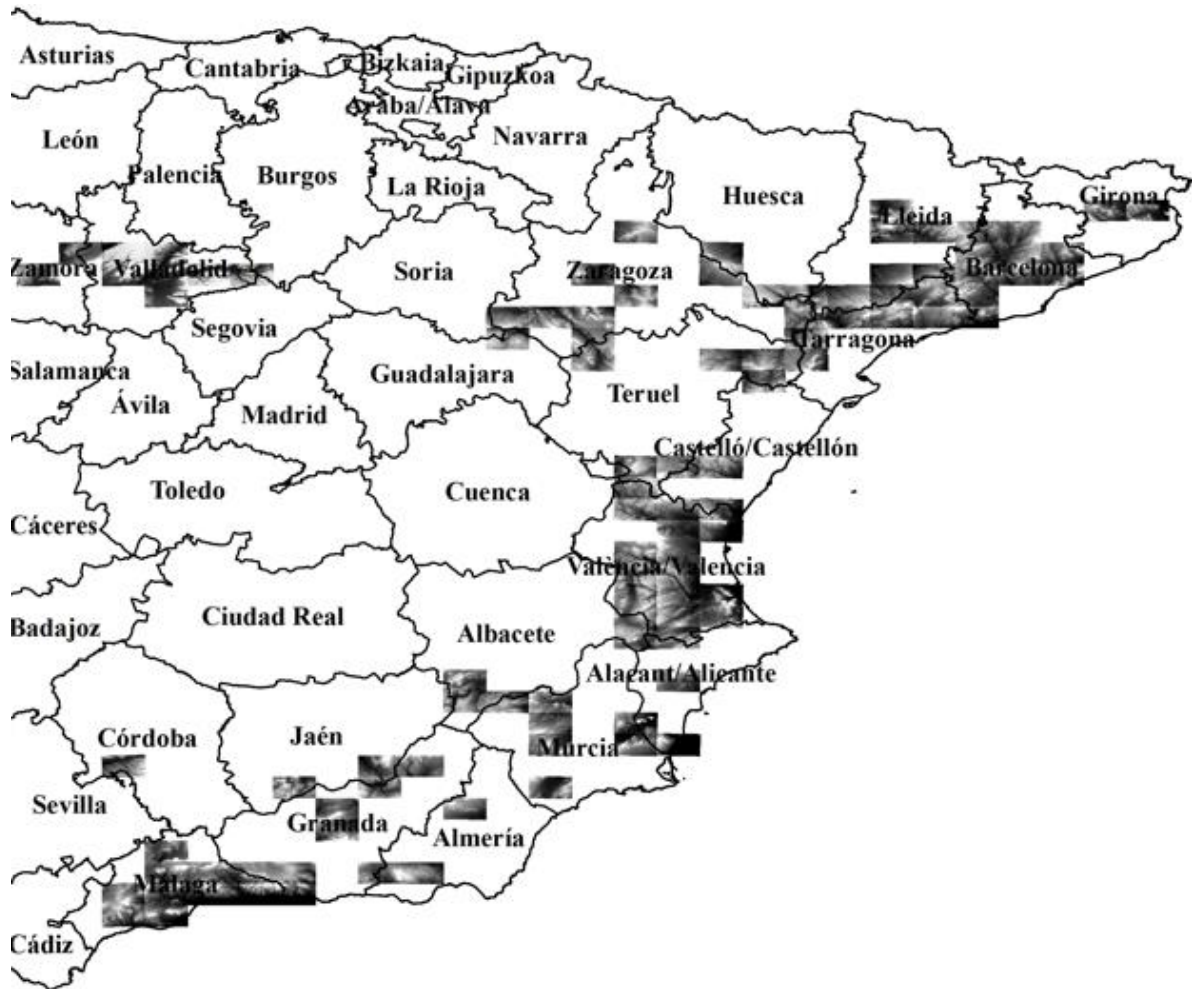


Figura 9. Modelo Digital de Terreno (MDT).

La utilización de herramientas afines para la intersección entre los diferentes MDT y las parcelas de estudio, reflejan una altitud promedio independiente. En el presente mapa temático, observaremos alrededor de 103 metadatos.tiff que se ocuparon (figura 10).



**Figura 10.** Mapa temático de los Modelos Digitales de Terreno (MDT).

#### 2.4. Variables meteorológicas

Las variables utilizadas en el presente estudio serán mencionadas de forma general en la tabla 2.

**Tabla 2.** Variables meteorológicas / definición y unidades de medida

Variables	Definición	Fórmula / Unidad de medida
Temperatura	Se refiere a la temperatura del aire o del entorno circundante en un momento dado y en un lugar determinado, la misma que puede variar según la estación del año, altitud, hora del día, ubicación	Se la mide en grados Celsius (°C) o grados Fahrenheit (F)

$$(1) \quad (^\circ C) = (^\circ F - 32) * \frac{5}{9}$$

$$(2) \quad (K) = (^\circ C) + 273.15$$

(3)

	geográfica y otros factores climáticos.	$T_{media} = \frac{T_{max} + T_{min}}{2}$
	Es el principal indicador de la influencia del cambio climático a nivel global.	Donde: $T_{media}$ = Temperatura media $T_{max}$ = Temperatura máxima $T_{min}$ = Temperatura mínima
Precipitación	Es el proceso por el cual el agua en forma de líquido o sólido cae de la atmosfera y llega a la superficie terrestre.  Se expresa en milímetros (mm) de agua por unidad de superficie y se registra utilizando pluviómetros.	(4) $l/m^2$  Donde: $l$ = litros $m^2$ = metro cuadrado
Radiación	Es la energía electromagnética emitida por el Sol y que se propaga a través del espacio hasta llegar a la Tierra.  Es esencial para sostener la vida en nuestro planeta y tiene un impacto significativo en diversos procesos naturales y humanos.	(5) $W/m^2$  Donde: $W$ = Vatios $m^2$ = metro cuadrado
Déficit de Presión de Vapor (VPD)	Se refiere a la diferencia entre la presión de vapor actual en el aire y la presión de vapor que alcanzaría la saturación, es decir, la cantidad de vapor de agua en el aire en relación con la cantidad máxima que podría contener.	(kPA) (psi)  Donde: (kPA) = kilopascal (psi) = libras por pulgada cuadrada

Las variables citadas anteriormente juegan un papel fundamental y crítico en muchos procesos biológicos y son esenciales para sostener la vida en nuestro planeta, además de ser las bases para la planificación urbana, agricultura, conservación y gestión de recursos naturales.

#### 2.4.1. Series climáticas

Una vez obtenidos las series climáticas de la base de datos ERA5-Land de España, que es una plataforma que ofrece información mundial de más de un centenar de variables ambientales diarias como la precipitación, temperatura, radiación o evapotranspiración entre otras; y la ayuda de un script generado en R (figura 11), permitirá interpolar los datos climatológicos y obtener una nueva serie climática para cada parcela FID, mediante la utilización de sus coordenadas concéntricas. Estas series mantendrán la etiqueta de las clases territoriales (CT) en un inicio, los datos serán sometidos a una validación y posteriormente adecuadas en sus dimensiones para su uso en el modelo biogeoquímico.

```

1 library(magrittr)
2 path <- 'D:/Master Hidráulica/TFM/Clima/'
3 setwd(path)
4
5 Precip_m <- read.csv("Precip_m.csv")
6 rownames(Precip_m) <- Precip_m$Id
7 Precip_m <- Precip_m[,-1]
8 p <- data.frame(t(Precip_m))
9
10 Rad_wm2 <- read.csv("Rad_wm2.csv")
11 rownames(Rad_wm2) <- Rad_wm2$Id
12 Rad_wm2 <- Rad_wm2[,-1]
13 r <- data.frame(t(Rad_wm2))
14
15 Tmax_C <- read.csv("Tmax_C.csv")
16 rownames(Tmax_C) <- Tmax_C$Id
17 Tmax_C <- Tmax_C[,-1]
18 Tx <- data.frame(t(Tmax_C))
19
20 Tmin_C <- read.csv("Tmin_C.csv")
21 rownames(Tmin_C) <- Tmin_C$Id
22 Tmin_C <- Tmin_C[,-1]
23 Tn <- data.frame(t(Tmin_C))
24
25 vpd_Pa <- read.csv("vpd_Pa.csv")
26 rownames(vpd_Pa) <- vpd_Pa$Id
27 vpd_Pa <- vpd_Pa[,-1]
28 v <- data.frame(t(vpd_Pa))
29
30 lista <- list(p,r,Tx,Tn,v)
31 header_weather <- c("Precip","Rad_wm2","Tmax","Tmin","vpd_Pa")
32 pto <- vpd_Pa$Id
33
34 y <- purrr::transpose(lista) %>%
35   lapply(data.table::as.data.table)
36 z <- lapply(y, setNames, header_weather)
37 for (i in seq_along(z)) {
38   name_file <- pto[i]
39   filename = paste(name_file, ".csv")
40   write.csv(z[[i]], filename)
41 }

```

**Figura 11.** Script en R para obtención de series climáticas.

Una vez ordenados los datos del script en R e identificados para cada parcela FID, procedemos a generar carpetas independientes para así lanzar las simulaciones del modelo, en las cuales se incluirán todos los parámetros necesarios entre los que consta entre otros, las series climáticas (tabla 3), datos de CO<sub>2</sub>, de la especie y los sintetic.ini, en los que incluyen la gestión y cambio climático.

**Tabla 3.** Serie climática para la parcela FID\_O

Año	Día	T_max (°C)	T_min (°C)	T_day (°C)	Prpc (cm)	VPD (Pa)	Srad (W/m <sup>2</sup> )
1992	1	9.44	5.73	7.59	0.7	854.44	33.65
1992	2	7.08	4.08	5.58	0.1	768.96	64.98
1992	3	7.3	2.31	4.81	0.3	665.34	63.86
1992	4	6.56	-0.59	2.99	0	620.01	98.87
1992	5	8.29	-0.03	4.13	0	648.44	82.35
1992	6	9.25	6.07	7.66	0	806.62	63
1992	7	8.56	1.8	5.18	0	675.52	84.82
1992	8	8.45	0.8	4.63	0	691.7	87.95
1992	9	7.78	0.54	4.16	0	692.85	78.69
1992	10	6.31	0.04	3.18	0	639.7	86
1992	11	5.36	-2.39	1.48	0	555.26	107.04
1992	12	6.64	-3.24	1.7	0	609.69	109.38
1992	13	7.28	-2.41	2.43	0	663.14	108.42

1992	14	2.4	-1.24	0.58	0	603.98	55.79
1992	15	5.95	-0.26	2.84	0	677.21	62.57
1992	16	3.38	0.81	2.1	0	637.25	55.89
1992	17	2.93	-0.29	1.32	0	581.83	38.57
1992	18	7.58	1.07	4.33	0.5	658.17	69.37
1992	19	6.68	-2.11	2.29	0	566.93	109.67
1992	20	5.49	-3.04	1.22	0	529.96	100.38
1992	21	6.09	-4.09	1	0	565.93	117.09
1992	22	6.06	-2.94	1.56	0	577.63	118.07
1992	23	10.06	-1.9	4.08	0	746.39	83.35
1992	24	11.79	6.36	9.07	0	1015.16	48.57
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...

Temperatura máxima (T\_max), temperatura mínima (T\_min), temperatura media (T\_day), precipitación (Prcp), déficit de presión de vapor (VPD), radiación (srad).

#### 2.4.2. Duración de luz solar en el día

Para calcular la duración de luz solar en el día, se descargará la información de la plataforma de Astronomía y Desarrollos Tecnológicos (figura 12), la cual refleja la hora oficial tanto de salida y puesta de Sol y delimitada por provincias. La elección de año y de las provincias queda definido mediante la georreferenciación de cada parcela FID (figura 13), en el caso de que alguno de estos se encuentre es medio de dos provincias, se optará por seleccionar la provincia en la que la parcela FID tenga mayor superficie.

**Figura 12.** Plataforma de Astronomía y Desarrollos Tecnológicos.



**Figura 13.** Archivo oficial de salida y puesta del Sol.

Del archivo obtenido, se han tomado las horas y minutos tanto de salida como de puesta del sol, generándose un nuevo archivo con los segundos de luz durante el día para cada parcela FID (tabla 4).

**Tabla 4.** Segundo de luz para la parcela FID\_15

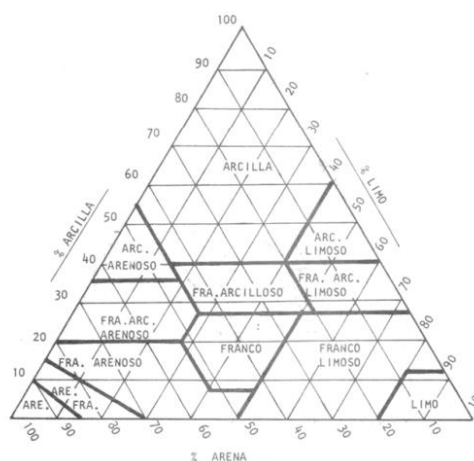
Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	33300	36240	40560	45660	50400	53880	54480	51780	47280	42360	37440	33900
2	33300	36360	40680	45840	50520	53940	54360	51600	47100	42180	37260	33780
3	33360	36540	40860	45960	50700	54060	54360	51480	46920	42000	37140	33720
4	33420	36660	41040	46140	50820	54060	54300	51360	46800	41880	37020	33660
5	33480	36780	41160	46380	50940	54120	54240	51240	46620	41700	36900	33600
6	33600	36960	41340	46500	51060	54240	54240	51120	46440	41520	36720	33540
7	33660	37080	41520	46680	51240	54240	54120	51000	46320	41400	36600	33480
8	33720	37260	41700	46860	51360	54300	54060	50820	46140	41220	36480	33480
9	33780	37380	41880	46980	51480	54360	54000	50700	45960	41040	36360	33420
10	33840	37560	42000	47160	51600	54360	53940	50580	45840	40920	36240	33360
11	33900	37680	42180	47340	51720	54480	53880	50400	45660	40740	36060	33300
12	34020	37860	42360	47460	51840	54480	53820	50280	45480	40500	35940	33240
13	34080	37980	42480	47640	51960	54540	53760	50160	45300	40380	35820	33180
14	34140	38160	42720	47760	52080	54540	53640	49980	45180	40200	35700	33180
15	34260	38280	42900	47940	52200	54540	53520	49860	45000	40080	35580	33180
16	34380	38460	43020	48060	52320	54600	53460	49680	44820	39900	35400	33120
17	34500	38580	43200	48240	52440	54600	53400	49560	44700	39780	35280	33120

18	34560	38820	43380	48480	52560	54600	53280	49440	44520	39600	35160	33120
19	34680	38940	43500	48600	52680	54600	53220	49260	44340	39480	35100	33060
20	34740	39060	43680	48780	52800	54600	53100	49140	44160	39300	34980	33060
21	34920	39240	43860	48900	52920	54600	52980	48960	44040	39120	34800	33060
22	35040	39360	43980	49080	52980	54600	52860	48840	43860	38940	34740	33060
23	35100	39600	44160	49200	53100	54660	52800	48660	43680	38820	34620	33060
24	35220	39720	44400	49320	53220	54600	52740	48480	43440	38640	34560	33060
25	35340	39900	44520	49500	53340	54600	52620	48360	43320	38520	34440	33060
26	35520	40020	44700	49620	53340	54600	52500	48180	43140	38400	34380	33120
27	35580	40200	44880	49800	53460	54540	52380	48060	42960	38160	34260	33120
28	35700	40380	45000	49920	53580	54540	52260	47880	42840	38040	34200	33120
29	35820		45180	50040	53640	54480	52140	47760	42660	37920	34020	33180
30	36000		45360	50280	53760	54480	52020	47580	42480	37740	33960	33240
31	36120		45480		53760		51900	47400		37620		33240

## 2.5. Edafología

### 2.5.1. Textura del suelo

El suelo es una capa superficial de la corteza terrestre compuesta por minerales, agua, aire, materia orgánica y microorganismos, una característica del suelo que determina muchas de sus propiedades físicas, es la proporción relativa de la distribución de los diferentes tamaños de partículas, las que pueden ser arena, limo y arcilla (Fernández & Trillo, 2005), la combinación de estas tres fracciones determina la textura del suelo. Cuando la proporción de los elementos permite la posibilidad de ser un soporte capaz de favorecer la fijación del sistema radicular de las plantas y su nutrición, se lo considera como un suelo con buena textura (Rucks, García, Kaplán, Ponce de León, & Hill, 2004). Para determinar la clase textural de un suelo, cada vez es más cotidiano utilizar los diagramas triangulares (figura 14).

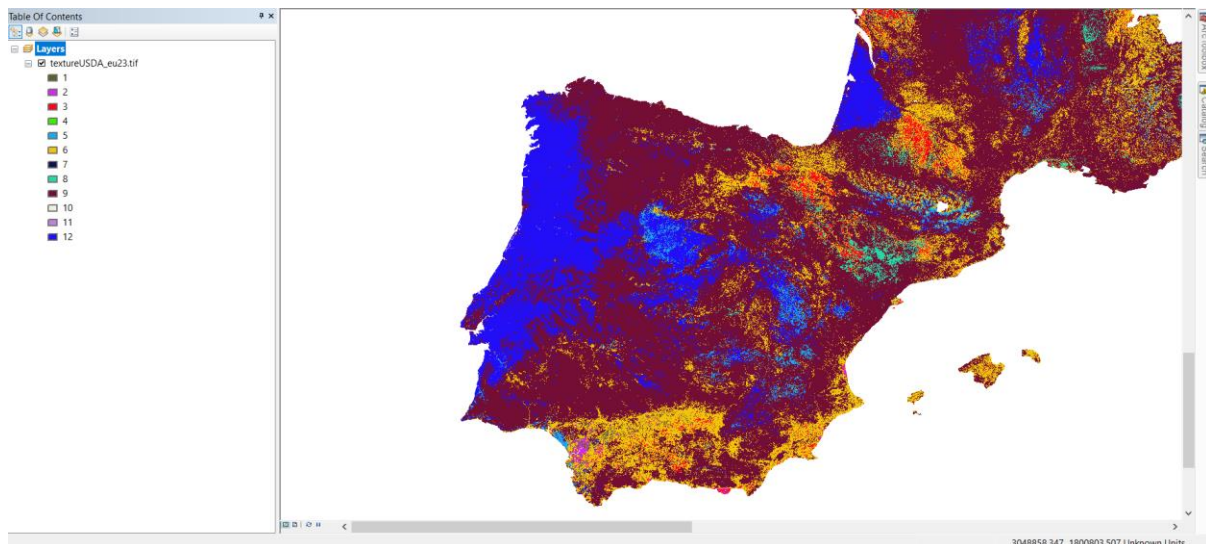


**Figura 14.** Clases texturales del suelo (Rucks et al., 2004).

Para determinar la textura de cada parcela FID de estudio, recurrimos a la plataforma del Centro Europeo de Datos de Suelo (ESDAC) (figura 15), y obtendremos los metadatos del mapa de propiedades físicas de la capa superior del suelo para Europa ( basado en datos de la capa superior del suelo de LUCAS), año 2015, resolución de 500 m y un modelo splines de regresión aditivos multivariantes (figura 16).



**Figura 15.** Plataforma del Centro Europeo de Datos de Suelo (ESDAC).



**Figura 16.** Metadatos de textura del suelo.

### 2.5.2. Porcentaje de limo y arena

Para poder obtener datos del porcentaje de arena y limo, se obtendrá datos de la plataforma SoilGrids y WoSIS (figura 17) que es un sistema de mapeo digital de suelos, basado en una compilación de perfiles y capas ambientales.

El modelo requiere datos a diferente profundidad tanto de arena como de limo, por lo que será necesario descargarse toda la información disponible en la plataforma que tiene como límite 200 cm y posteriormente adecuar los datos mediante regresión para las otras profundidades (figura 18).



Figura 17. Plataforma SoilGrids.

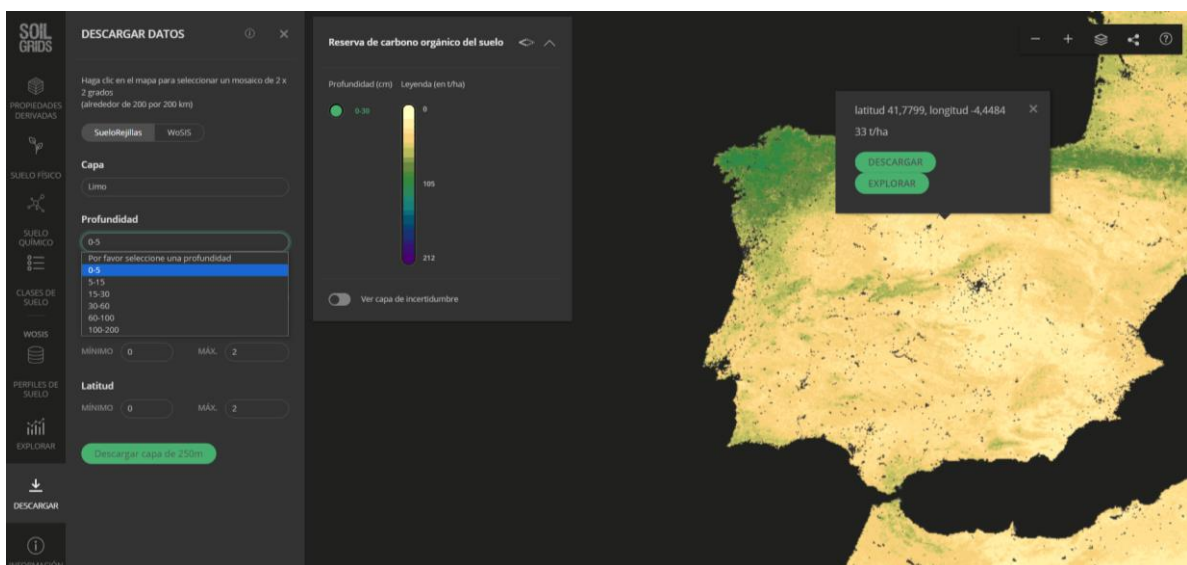
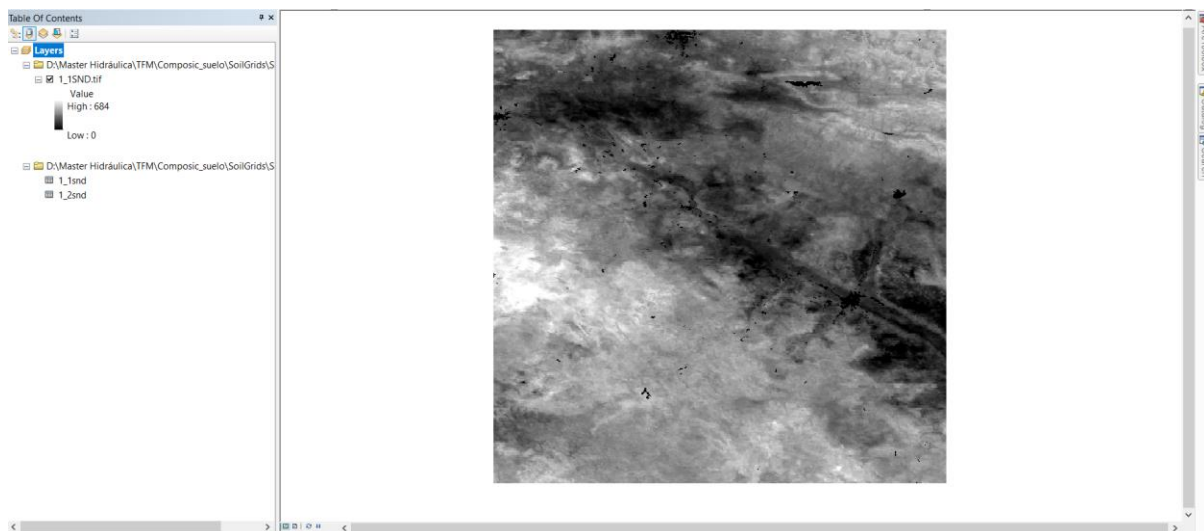


Figura 18. Descarga de metadato del porcentaje de limo y arcilla a diferente profundidad.

El formato de los datos obtenidos hace necesario utilizar sistemas de información geográfica (SIG), que permitan visualizar los porcentajes de las propiedades del suelo y su modificación, para ajustarlos a las parcelas de estudio o clases territoriales; así como, la posibilidad de manipular las capas (unión) por la localización de las áreas de estudio (figura 19).



**Figura 19.** Metadatos de arena de 0 – 5 cm de profundidad.

Los datos bibliográficos, denotan valores máximos y mínimos para cada área geográfica, por lo cual, se realizó una extracción de datos pertenecientes a cada parcela FID. Finalmente, debido a que los datos de profundidad iniciales solo abarcan hasta 200 cm, se ha proyectado los mismos hasta llegar a los 1000 cm, tanto para la arena (tabla 5), como el limo (tabla 6), mediante el uso de regresiones polinómicas (se muestra dos ejemplos en las figuras 20 y 21).

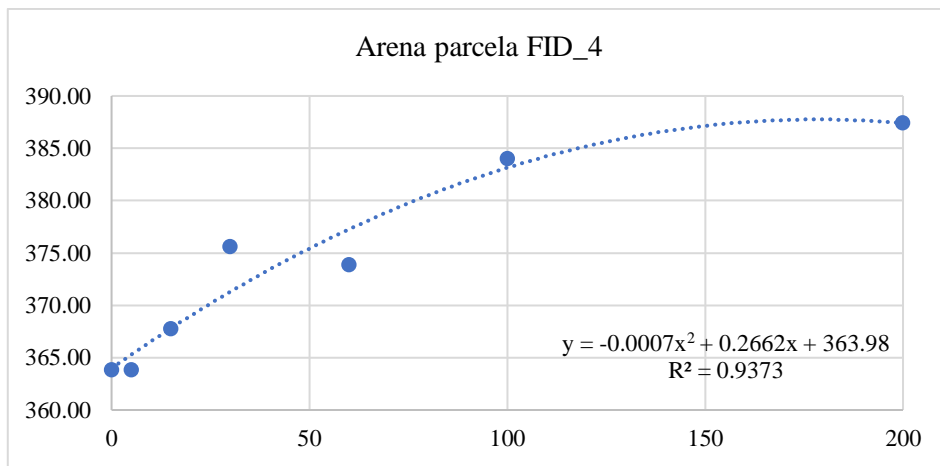
**Tabla 5.** Porcentaje de arena proyectado para la parcela FID\_4

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
4	0	363.8	0	36.4
	5	363.8	3	36.5
	15	367.7	10	36.7
	30	375.6	30	37.1
	60	373.8	60	37.7
	100	384.0	90	38.2
	200	387.4	120	38.6
			150	38.8
			200	38.8
			400	38.8
		1000	38.8	

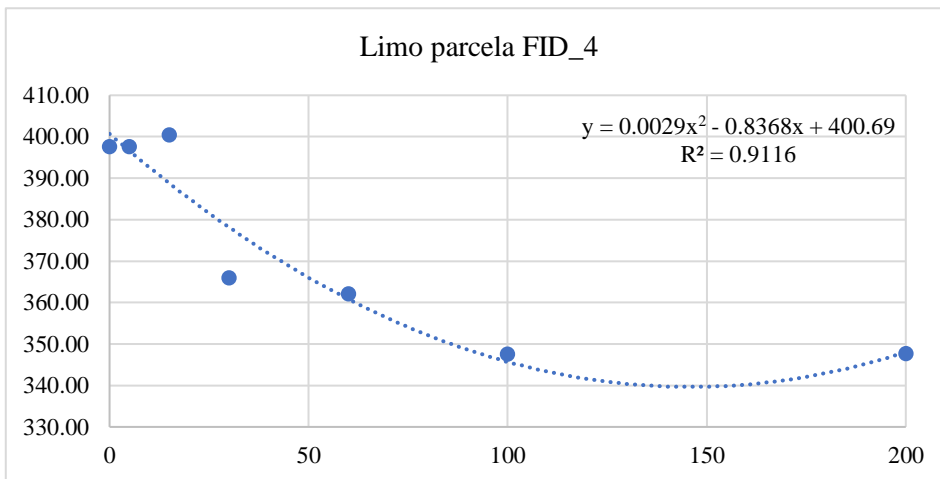
**Tabla 6.** Porcentaje de limo proyectado para la parcela FID\_4

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
4	0	397.6	0	40.1

5	397.6	3	39.8
15	400.4	10	39.3
30	365.9	30	37.8
60	362.1	60	36.1
100	347.5	90	34.9
200	347.7	120	34.2
		150	34.0
		200	34.0
		400	34.0
		1000	34.0



**Figura 20.** Regresión polinómica del porcentaje de arena proyectado para la parcela FID\_4.



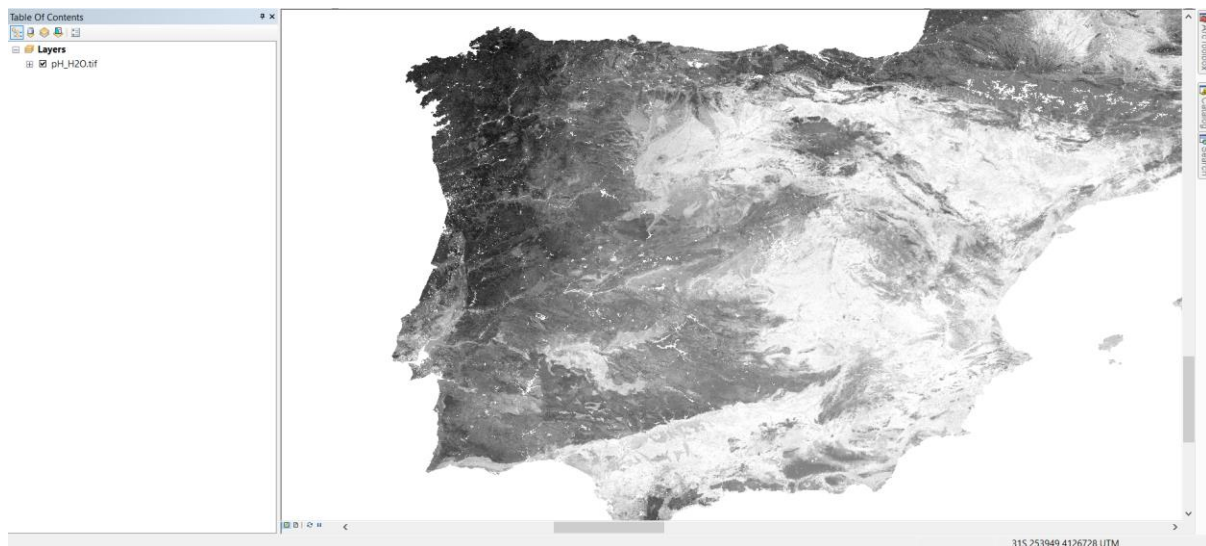
**Figura 21.** Regresión polinómica del porcentaje de limo proyectado para la parcela FID\_4.

### 2.5.3. pH del suelo

El pH es una medida de indica acidez o alcalinidad del suelo que tiene una escala numérica que va desde 0 (muy ácido) hasta 14 (muy alcalino), considerando el 7 como neutro. El pH es un

indicador que influye directamente en la disponibilidad de nutrientes para las plantas y en las actividades de los microorganismos en el suelo, por lo que también afecta el crecimiento y desarrollo de las plantas el cual se expresa a menudo en términos de concentración de iones hidrógeno (Rivera, Sánchez, & Domínguez, 2018), según bibliografía, se considera un suelo apto para las plantas, aquel que se encuentra entre 6.0 a 6.5 e incluso en rangos que van de 5.5 a 7.0.

Los datos serán obtenidos de la plataforma del Centro Europeo de Datos de Suelo (ESDAC) y posteriormente medidos para cada parcela FID de estudio con la ayuda de herramientas y programas, que permitan la manipulación adecuada de los metadatos ya que la información obtenida abarca toda la península ibérica (figura 22).



**Figura 22.** Metadatos de pH.

## 2.6. Simulación

El objetivo de la simulación es cuantificar el aprovisionamiento de SE (agua y C) de la especie arbolea de *Pinus halepensis* en la Península Ibérica, para lo cual utilizaremos el modelo biogeoquímico Biome-BGCMuSo en condiciones actuales, y sucesivamente se realizará la simulación de un escenario bajo condiciones de cambio climático con un modelo de gestión.

## 2.7. Modelo Biome-BGCMuSo

Es un modelo que utiliza un paso de tiempo diario y se basa en datos de precipitación, temperatura (máxima y mínima), radiación solar y déficit de presión de vapor con la misma escala temporal. Además, utiliza datos meteorológicos propios del área geográfica, ecofisiológicos, datos de deposición de Nitrógeno (N-dep) y concentración de dióxido de

carbono para simular los procesos biogeoquímicos del bioma como fotosíntesis, hojarasca, nitrógeno (N), carbono (C) y dinámica del agua en la planta, hojarasca y suelo (Hidy et al., 2018).

Es un modelo que considera a la planta, suelo y hojarasca como las partes principales del ecosistema, por tanto se basa en tres bloques que son de flujo de carbono, bloque fenológico y flujo de suelo, siendo el primero el encargado de calcular la producción primaria bruta (PPB) por medio de la fotosíntesis, el segundo bloque calcula el desarrollo del follaje y el tercer bloque, describe la descomposición del material vegetal muerto y las reservas de carbono del suelo, que en su nueva versión implementa un submodelo de suelo de diez capas con espesores de 0 a 1000 cm (tabla 7) (Hidy et al., 2018).

**Tabla 7.** Capas del suelo y rangos de profundidad (Hidy et al., 2018).

Layer 1	0 - 2 cm
Layer 2	2 - 5 cm
Layer 3	5 - 10 cm
Layer 4	10 - 20 cm
Layer 5	20 - 50 cm
Layer 6	50 - 100 cm
Layer 7	100 - 150 cm
Layer 8	150 - 200 cm
Layer 9	200 - 400 cm
Layer 10	400 - 1000 cm

### 2.7.1. Archivos de entrada

El modelo usa cuatro archivos de entrada para cada simulación. El archivo base o de entrada se llama archivo de inicialización (.ini), el cual proporciona una información general incluida las características climáticas y físicas del sitio, se establece el rango o lapso de tiempo para la simulación, los parámetros de control del dióxido de carbono y deposición de nitrógeno, además, de la posibilidad de implementar un modelo de gestión, cambio climático y el nombre de los archivos de entrada necesarios y lista de variables para almacenar en los archivos de salida (Hidy et al., 2018) (figura 23).

El segundo archivo, contiene datos diarios meteorológicos como la temperatura del aire (máxima, mínima), precipitación, déficit de presión de vapor, radiación y fotoperíodo en el sitio de simulación; estos datos pueden contener cualquier número de años (Hidy et al., 2018).



```

sintetic.ini: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
BEGCMuSo simulation

MET_INPUT
Clim_0.txt (filename) met file name
2 (int) number of header lines in met file
0 (int) number of simdays in last simyear (truncated year: <= 365)

RESTART
0 (flag) 1 = read restart; 0 = dont read restart
1 (flag) 1 = write restart; 0 = dont write restart
hhs_MuSo3.endpoint (filename) name of the input restart file
hhs_MuSo3.endpoint (filename) name of the output restart file

TIME_DEFINE
30 (int) number of simulation years
1992 (int) first simulation year
1 (flag) 1 = spinup run; 0 = normal run
6000 (int) maximum number of spinup years

CO2_CONTROL
1 (flag) 0=constant; 1=vary with file
290.0 (ppm) constant atmospheric CO2 concentration
CO2.txt (filename) name of the CO2 file

NDEP_CONTROL
1 (flag) 0=constant; 1=vary with file
0.000200 (kgN/m2/yr) wet+dry atmospheric deposition of N
Ndep.txt (filename) name of the N-dep file

SITE
781.0 (m) site elevation
43.30 (degrees) site latitude (- for S.Hem.)
0.20 (DIM) site shortwave albedo
15.00 (Celsius) mean annual air temperature
9.96 (Celsius) mean annual air temperature range
0.50 (prop.) proportion of NH4 flux of N-deposition

SOIL_FILE
hhs_cal_0.txt (filename) SOIL filename

```

**Figura 23.** Archivo de inicialización sintetic.ini para la parcela FID\_0.

El tercer archivo, contiene datos de las constantes ecofisiológicas (.epc) (figura 24), que describen a la vegetación o especie en específico de la cual se va a realizar la simulación, incluido parámetros como la conducta estomática, la proporción C:N de la hoja, la frecuencia de mortalidad por incendios y no incendios (Hidy et al., 2018).

```

piha.epc: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
ECOPHYS FILE - C3 grass muso6
-----
FLAGS
1 (flag) biome type flag (1 = WOODY 0 = NON-WOODY)
1 (flag) woody type flag (1 = EVERGREEN 0 = DECIDUOUS)
1 (flag) photosyn. type flag (1 = C3 PSN 0 = C4 PSN)
-----
PLANT FUNCTIONING PARAMETERS
90 (yday) yearaday to start new growth (when phenology flag = 0)
310 (yday) yearaday to end litterfall (when phenology flag = 0)
0.8 (prop.) transfer growth period as fraction of growing season (when transferGDD_flag = 0)
0.8 (prop.) litterfall as fraction of growing season (when transferGDD_flag = 0)
7.5 (Celsius) base temperature
0 (Celsius) minimum temperature for growth displayed on current day (-9999: no T-dependence of allocation)
11 (Celsius) optimal1 temperature for growth displayed on current day (-9999: no T-dependence of allocation)
25 (Celsius) optimal2 temperature for growth displayed on current day (-9999: no T-dependence of allocation)
45 (Celsius) maximum temperature for growth displayed on current day (-9999: no T-dependence of allocation)
0 (Celsius) minimum temperature for carbon assimilation displayed on current day (-9999: no limitation)
12 (Celsius) optimal1 temperature for carbon assimilation displayed on current day (-9999: no limitation)
25 (Celsius) optimal2 temperature for carbon assimilation displayed on current day (-9999: no limitation)
45 (Celsius) maximum temperature for carbon assimilation displayed on current day (-9999: no limitation)
0.2 (1/yr) annual leaf and fine root turnover fraction
0.2 (1/yr) annual live wood turnover fraction
0.001 (1/yr) annual fire mortality fraction
0.01 (1/vegper) whole-plant mortality fraction in vegetation period
60.5 (kgC/kgN) C:N of leaves
70.5 (kgC/kgN) C:N of leaf litter, after retranslocation
143.0 (kgC/kgN) C:N of fine roots
70.5 *(kgC/kgN) C:N of fruit
0.0 (kgC/kgN) C:N of soft stem
200.5 *(kgC/kgN) C:N of live wood
651.0 *(kgC/kgN) C:N of dead wood
0.5 (kgC/kgDM) dry matter carbon content of leaves
0.5 (kgC/kgDM) dry matter carbon content of leaf litter
0.5 (kgC/kgDM) dry matter carbon content of fine roots
0.5 *(kgC/kgDM) dry matter carbon content of fruit
0.5 (kgC/kgDM) dry matter carbon content of soft stem
0.55 *(kgC/kgDM) dry matter carbon content of live wood
0.5 *(kgC/kgDM) dry matter carbon content of dead wood
0.31 (DIM) leaf litter labile proportion
0.45 (DIM) leaf litter cellulose proportion
0.23 (DIM) fine root labile proportion
0.44 (DIM) fine root cellulose proportion
0.30 *(DIM) fruit litter labile proportion
0.29 *(DIM) fruit litter cellulose proportion
0.0 (DIM) soft stem litter labile proportion

```

**Figura 24.** Archivo de constantes ecofisiológicas (.epc).

El cuarto archivo, contiene las propiedad del suelo (figura 25) que ha sido separado con fines metodológicos, describe la profundidad, parámetros del metano (CH<sub>4</sub>), límite de evaporación, la textura del suelo (porcentaje de limo y arena) y la arcilla que se calculada internamente por el modelo para que la suma sea igual a 100% (Hidy et al., 2018).

```

hhs_cal_0.txt: Bloc de notas
-----
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
10 (ppm) C:N ratio of recalcitrant SOM (slowest)
-----
RATE SCALARS
0.39 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (11s1)
0.55 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (12s2)
0.29 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (14s3)
0.28 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (s1s2)
0.46 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (s2s3)
0.55 (DIM) respiration fractions for fluxes between compartments (s3s4)
0.7 (DIM) rate constant scalar of labile litter pool
0.07 (DIM) rate constant scalar of cellulose litter pool
0.014 (DIM) rate constant scalar of lignin litter pool
0.07 (DIM) rate constant scalar of fast microbial recycling pool
0.014 (DIM) rate constant scalar of medium microbial recycling pool
0.0014 (DIM) rate constant scalar of slow microbial recycling pool
0.0001 (DIM) rate constant scalar of recalcitrant SOM (humus) pool
0.001 (DIM) rate constant scalar of physical fragmentation of coarse woody debris
-----
CH4 PARAMETERS
212.5 (DIM) soil CH4 emission bulk density dependence parameter1
1.81 (DIM) soil CH4 emission bulk density dependence parameter2
-1.353 (DIM) soil CH4 emission soil water content dependence parameter1
0.2 (DIM) soil CH4 emission soil water content dependence parameter2
1.781 (DIM) soil CH4 emission soil water content dependence parameter3
6.786 (DIM) soil CH4 emission soil water content dependence parameter4
0.010 (DIM) soil CH4 emission soil temperature dependence parameter1
-----
SOIL PARAMETERS
0.6 (m) depth of soil
6 (mm) limit of first stage evaporation
0.000 (mm) maximum height of pond water
1 (dimless) curvature of soil stress function
-9999 (dimless) runoff curve number (-9999: no , model estimation)
107 (s/m) aerodynamic resistance (Wallace and Holwill, 1997)
-----
SOIL COMPOSITION AND CHARACTERISTIC VALUES (-9999: no measured data)
41.7 41.8 41.8 41.7 41.4 40.7 39.6 38.1 38.1 38.1 (%) sand percentage by volume in rock-free soil
30.6 30.4 30.1 29.2 28.1 27.4 27.0 27.0 27.0 27.0 (%) silt percentage by volume in rock-free soil
7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 7.6 (dimless) soil pH

```

**Figura 25.** Archivo de propiedades del suelo.

### 2.7.2. Archivos de salida

Incluyen archivos de salida con información de resumen anual, que permite visualizar de forma breve los resultados antes de procesarlos con análisis más detallados, para verificar que la simulación del modelo es exitosa, basta con revisar las últimas líneas del archivo de registro que denotan 0 – falla; 1 – éxito (figura 26), o por la generación de archivos de registro (Hidy et al., 2018).

Existen dos tipos de archivos de salida, el primero incluye los archivos de salida de los datos deseados, es decir las variables específicas que el usuario selecciona a través, del archivo de inicialización (figura 27) y el segundo es un archivo tipo texto que utiliza una lista fija de variables de salida (Hidy et al., 2018).

```

EGS data - user-defined from EPC file
WPM data - constant
MSC data - constant
management - NO
groundwater - NO

CRITICAL VWC (m3/m3) AND PSI (MPa) VALUES OF TOP SOIL LAYER
saturation:          0.505    -0.0021
field capacity:      0.405    -0.0272
wilting point:       0.220    -0.2312
hygroscopic water:  0.022    -158.4893
bulk density:        1.460
Clapp-Hornberger b parameter:  7.710

LIMITATION VALUES OF SWC (m3/m3) IN TOP SOIL LAYER
SWC (limit1 and limit2):  0.248    0.453

INFORMATION ABOUT SGS AND EGS VALUES (yday of onday and offday)
SGS value (min and max):  0    0
EGS value (min and max):  364    364

SOME IMPORTANT ANNUAL OUTPUTS FROM LAST SIMULATION YEAR|
Cumulative sum of GPP [gC/m2/year]:          1047.6
Cumulative sum of NEE [gC/m2/year]:         -66.6
Cumulative sum of ET [kgH2O/m2/year]:        544.8
Cumulative sum of SOILEVAP [kgH2O/m2/year]:  398.6
Cumulative sum of TRANSP [kgH2O/m2/year]:    146.2
Cumulative sum of N2O flux [gN/m2/year]:     0.57
Maximum projected LAI [m2/m2]:              2.12
Soil carbon content (in 0-30 cm soil layer) [%]: 0.82
Total soil carbon content [kgC/m2/year]:      4.81
Total litter and cwdc carbon content [kgC/m2/year]: 0.80
Averaged available soil ammonium content (0-30 cm) [ppm]: 0.29
Averaged available soil nitrate content (0-30 cm) [ppm]: 3.29
Averaged soil water content [m3/m3]:          0.39

SIMULATION STATUS [0 - failure; 1 - success]
1

```

**Figura 26.** Archivo de verificación de simulación.

\*Cal.annout: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	year	annprcp	anntavg	anndeppercolation	annrunoff	leaching_root_zone	annET	annmax_lai
					1992	489.000000	13.202644	34.182397	2.738578	21.015139	480.147404	2.394782
					1993	446.000000	12.450493	88.396015	2.131955	58.910348	419.386859	2.186439
					1994	481.000000	12.583548	88.715104	7.479420	5.592864	429.451045	1.933057
					1995	617.000000	11.751589	97.767323	12.490827	67.205723	528.810075	1.782338
					1996	459.000000	13.068603	176.058495	4.251739	42.513947	433.887758	2.005956
					1997	634.000000	13.856904	229.930906	26.481820	101.906528	450.525161	2.165727
					1998	758.000000	12.761616	436.212425	10.511338	220.085260	547.312311	2.027374
					1999	856.000000	13.657164	578.498388	33.440262	233.818818	584.798494	2.386316
					2000	479.000000	13.283452	771.525898	3.479115	33.695237	536.423402	2.649877
					2001	636.000000	12.864822	790.842836	14.790938	10.276322	526.170178	2.885169
					2002	684.000000	12.936123	821.376658	8.724131	113.000771	542.808679	2.839220
					2003	602.000000	12.928781	1102.023465	18.630323	212.353467	474.552750	2.640817
					2004	625.000000	13.337356	1124.742587	5.671497	46.531659	473.161355	2.545367
					2005	745.000000	13.640479	1285.083008	9.647380	230.549419	518.193387	2.217088
					2006	464.000000	12.764548	1393.133935	4.303010	17.051856	483.105373	2.107296
					2007	416.000000	13.016082	1421.329164	14.203951	68.047657	306.736816	2.107519
					2008	598.000000	13.614904	1534.714207	13.906674	167.633770	417.599456	1.443910
					2009	571.000000	12.517356	1666.538066	12.083228	94.089738	478.275831	1.181949
					2010	590.000000	12.515630	1747.049969	7.847714	76.620657	488.782981	1.448102
					2011	544.000000	13.509795	1830.483039	21.620864	135.516849	352.685914	1.716900
					2012	863.000000	12.426219	2181.177594	15.161780	332.858193	530.090300	1.724451
					2013	519.000000	13.679973	2343.213177	1.773923	84.669701	480.838093	2.018835
					2014	506.000000	12.922247	2376.442228	11.336494	41.298499	414.576905	2.386589
					2015	684.000000	12.435534	2504.926780	12.919555	148.373274	518.448284	2.391125
					2016	606.000000	13.672671	2655.814228	3.112230	119.368321	507.383103	2.518667
					2017	497.000000	13.472918	2691.877147	7.998017	16.154890	485.725351	2.619594
					2018	706.000000	13.322041	2815.519110	14.773957	175.322372	493.480349	2.374646
					2019	386.000000	14.136370	2886.219626	6.189431	42.189097	394.692044	2.184336
					2020	695.000000	13.318808	2998.382386	8.611094	110.389844	515.178558	1.994332
					2021	591.586207	13.090930	3067.111079	0.000000	45.241958	544.823296	2.116046

**Figura 27.** Archivo de salida del modelo para la parcela FID\_0.



Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda								
cum_Closs_MGM	cum_Cplus_MGM	cum_Closs_SNSC	cum_Cplus_STDB	vegC	totalC	SOM_C_top30	SOM_C_30to60	SOM_C_60to90				
0.000000	0.000000	0.065765	0.110063	6.831591	11.640335	0.680870	0.222678	0.032106				
0.000000	0.000000	0.080047	0.121676	6.855533	11.688967	0.683227	0.222324	0.031989				
0.000000	0.000000	0.084498	0.133695	6.863197	11.727281	0.688284	0.222313	0.031658				
0.000000	0.000000	0.053714	0.113492	6.961378	11.829535	0.690725	0.222382	0.031514				
0.000000	0.000000	0.100062	0.146361	7.047667	11.946751	0.694663	0.221960	0.031303				
0.000000	0.000000	0.137306	0.182500	7.072498	12.028447	0.701248	0.223107	0.031248				
0.000000	0.000000	0.080521	0.157684	7.158085	12.132367	0.705263	0.224796	0.031579				
0.000000	0.000000	0.098700	0.165829	7.298931	12.295466	0.708367	0.226491	0.031961				
0.000000	0.000000	0.103965	0.182018	7.397354	12.450525	0.716113	0.226159	0.031731				
0.000000	0.000000	0.143390	0.207189	7.368702	12.486114	0.726950	0.227240	0.031412				
0.000000	0.000000	0.119926	0.181460	7.425462	12.576038	0.733545	0.228790	0.031429				
0.000000	0.000000	0.132080	0.195563	7.401786	12.609211	0.739687	0.230278	0.031775				
0.000000	0.000000	0.116885	0.175842	7.346006	12.573564	0.747416	0.231464	0.031575				
0.000000	0.000000	0.085310	0.140637	7.303967	12.507616	0.747389	0.232804	0.032006				
0.000000	0.000000	0.071360	0.122602	7.317994	12.524619	0.749187	0.231707	0.031751				
0.000000	0.000000	0.116559	0.144402	7.125367	12.367032	0.752495	0.231862	0.031610				
0.000000	0.000000	0.052147	0.097938	7.033893	12.233476	0.750027	0.232142	0.031780				
0.000000	0.000000	0.022233	0.064655	7.061675	12.195294	0.743343	0.230743	0.031765				
0.000000	0.000000	0.046709	0.081165	7.139508	12.245592	0.738040	0.229464	0.031668				
0.000000	0.000000	0.099636	0.131819	7.157388	12.281328	0.736975	0.229720	0.031740				
0.000000	0.000000	0.052905	0.113875	7.210581	12.309131	0.732000	0.231547	0.032457				
0.000000	0.000000	0.087454	0.143465	7.333160	12.451768	0.733324	0.230905	0.032403				
0.000000	0.000000	0.118776	0.169072	7.357516	12.524824	0.738614	0.231379	0.032158				
0.000000	0.000000	0.093153	0.161695	7.425717	12.609584	0.741894	0.232356	0.032296				
0.000000	0.000000	0.130043	0.193624	7.491992	12.723744	0.747956	0.233170	0.032339				
0.000000	0.000000	0.112789	0.176202	7.454973	12.721683	0.755555	0.233299	0.032022				
0.000000	0.000000	0.100713	0.152535	7.461955	12.734326	0.757551	0.234697	0.032269				
0.000000	0.000000	0.124998	0.167002	7.437762	12.761230	0.763757	0.234243	0.032060				
0.000000	0.000000	0.077939	0.135530	7.443179	12.750200	0.765060	0.235389	0.032089				
0.000000	0.000000	0.091337	0.151342	7.505012	12.826864	0.768257	0.234979	0.031863				

Figura 29. Validación de pre-simulación por parcela.

## 2.10. Lanzamiento de simulación

Con los datos bibliográficos y obtenidos en plataformas especializadas, se realizará las simulaciones necesarias para cada parcela FID determinado al inicio del estudio, para lo cual crea nuevas bases de datos independientes para un mejor manejo de los resultados generados (figura 30).

```

-----
Year: 2010
-----
Year: 2011
-----
Year: 2012
-----
Year: 2013
-----
Year: 2014
-----
Year: 2015
-----
Year: 2016
-----
Year: 2017
-----
Year: 2018
-----
Year: 2019
-----
Year: 2020
-----
Year: 2021
-----
INFORMATION FROM THE LAST SIMULATION YEAR
Maximum projected LAI [m2/m2]:                2.1
Total litter and cwdc carbon content [kgC/m2]:  0.8
Total soil carbon content [kgC/m2]:           4.8
jogae@LAPTOP-P8U8E70B:/mnt/c/SIMU/FD_0$

```

Figura 30. Ejemplo de lanzamiento de simulación.

## 2.11. Simulación bajo escenario de cambio climático

En el modelo biogeoquímico existe una opción de simular escenario de cambio climático para cada parcela FID. En el archivo de inicialización se puede encontrar un apartado de cambio climático, en el cual se puede cambiar variables como temperatura, precipitación, déficit de presión de vapor y radiación. El escenario propuesto se basará en (figura 31):


- Incremento de temperatura máxima en 2 grados
- Multiplicar el déficit de presión de vapor (VPD) por 1.1 (incremento del 10%)

```
CLIM_CHANGE
3.0 (degC) - offset for Tmax
0.0 (degC) - offset for Tmin
1.0 (degC) - multiplier for PRCP
1.5 (degC) - multiplier for VPD
1.0 (degC) - multiplier for RAD
```

**Figura 31.** *Parámetros del escenario de cambio climático.*

## 2.12. Simulación bajo gestión forestal

Para visualizar la dinámica que puede sufrir el aprovisionamiento de servicios ecosistémicos mediante una gestión forestal, se realizará una simulación con dos escenarios y un modelo, el cual consta de tres intervenciones en los años 2000, 2009 y 2018 con una intensidad de corta del 30%, de la que se extrae el 80% de la biomasa obtenida para fines comerciales, y el 20% restante se deja en el monte. Se aplicará la misma gestión tanto para la situación climática actual, como para el escenario de cambio climático descrito anteriormente (figura 32).

 thinning.txt: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda
DATE	THNrate_w(%)	THNrate_nw(%)	transPART_w(%)	transPART_nw(%)
2000.02.25	30	30	80	0
2009.02.25	30	30	80	0
2018.02.25	30	30	80	0

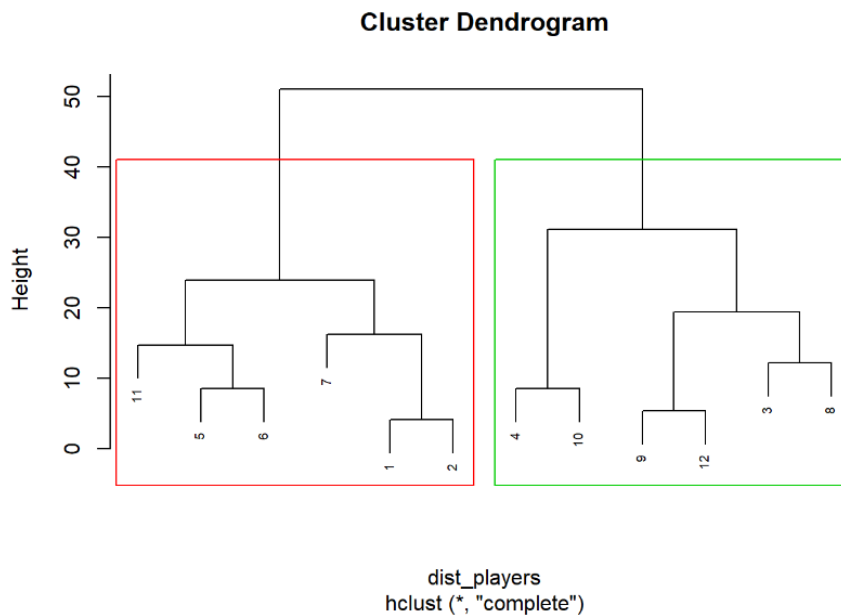
**Figura 32.** *Modelo de gestión.*

## 2.13. Análisis de datos

Dado que se pretende estudiar la provisión de SE de las masas adultas de pino carrasco a nivel de la Península Ibérica, se ha analizado la existencia de algún gradiente, climático, altitudinal o edáfico, en dicha provisión. Para ello se ha realizado análisis clúster con cada una de las simulaciones (climas y gestión / no gestión forestal) y grupo de SE considerando (agua y

carbono). El análisis clúster, es un conjunto de técnicas utilizadas para clasificar observaciones en subgrupos que comparten características definidas (figura 33).

Algunas de las consideraciones que se tomaron en cuenta para realizar esta agrupación sistemática, es inicialmente comparar variables de igual naturaleza, ya sea por sus dimensiones o unidades y una tipificación previa de las variables para no generar errores en el método de similitud.



**Figura 33.** *Clúster Dendrograma (Árquez Abdalá M, 2020).*

## CAPÍTULO III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### 3.1. Identificación y caracterización de parcelas de estudio

El análisis y clasificación final de CLATERES que presentan masas adultas de Pino carrasco (*Pinus halepensis*) en las diversas ecorregiones, dio como resultado un total de 59 zonas (parcelas) en la Península Ibérica, las mismas que serán representadas mediante un mapa temático (figura 34).



Figura 34. Mapa temático de parcelas de estudio.

Los resultados de la caracterización de las 59 parcelas seleccionadas para el presente estudio muestran entre algunas de sus particularidades (tabla 8), que la textura predominante de suelo es franca, que la altitud media general es de 658 m, siendo los FID 65, 66 y 69 con 1148, 1266 y 1519 m respectivamente, los que mayor cota presentan, además, y que el FID 47, 16 y 39 son los de mayor extensión.

Tabla 8. Características de las parcelas

FID	AREA (km <sup>2</sup> )	Perímetro (km)	CT	Textura del suelo	Coordenadas			Altitud z
					x	y		
1	0	5.20	12.06	213	Franco	318527	4627690	723.9
2	1	6.68	17.27	211	Franco	363885	4621880	769.4
3	2	11.49	23.95	218	Arcilla - Franco	348134	4616430	823.4



4	3	5.31	15.91	210	Franco	364761	4616850	808.5
5	4	8.22	19.28	209	Franco	337328	4616340	831.5
6	5	1.45	5.61	220	Franco	392998	4613480	827.8
7	6	4.45	13.91	226	Franco	393253	4611050	774.8
8	7	3.22	9.05	214	Franco	324294	4606940	727.9
9	8	5.21	13.87	224	Franco	408967	4606360	817.9
10	9	1.35	5.48	208	Franco	330935	4603640	806.3
11	10	0.69	3.56	204	Franco arenoso	278952	4601560	634.5
12	11	6.50	17.31	221	Franco	409150	4597490	851.2
13	12	1.77	6.83	227	Franco arenoso	366758	4592270	757.5
14	13	150.78	178.96	310	Arcilla - Franco	990153	4677420	104.6
15	15	18.56	29.08	332	Franco	841954	4657720	652.7
16	16	474.92	466.27	316	Franco	882737	4620740	530.7
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...
...	...	...	...	...	...	...	...	...

CT = Clases territoriales. Coordenadas = UTM

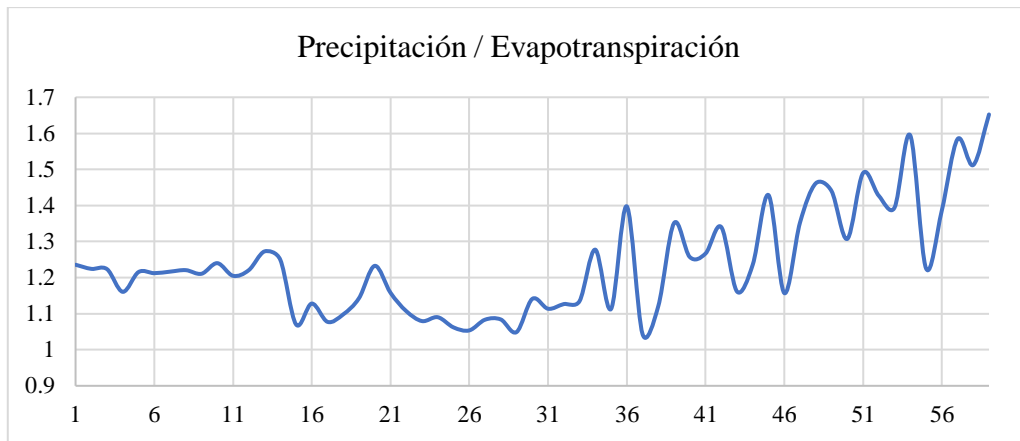
### 3.2. Simulaciones

Se ha realizado 236 simulaciones en las cuales constan la situación de partida, gestión forestal, cambio climático y gestión forestal con cambio climático, que han sido los cuatro escenarios propuestos para el presente estudio, dándonos como resultado clústeres de las parcelas con una determinada distribución de su gradiente climático.

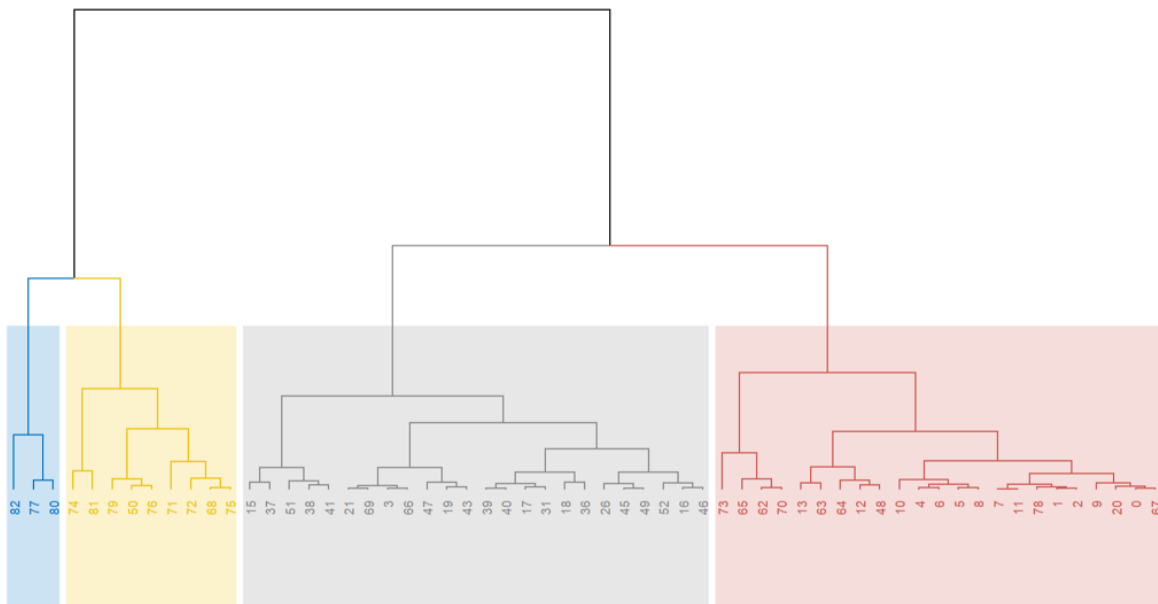
Para analizar si existe algún gradiente climático en las 59 parcelas utilizadas, se ha empleado el índice de sequía basado en la ratio entre precipitación y evapotranspiración (P/ET). Dicho índice, además de ser uno de los índices más usados habitualmente en las regiones mediterráneas con climas secos y cálidos, muestra la severidad de una sequía meteorológica a partir de datos de precipitación y demanda de agua por parte de la atmosfera, en los que están inmersos procesos de evaporación, que se define como la pérdida de humedad del suelo y de la transpiración vegetal, que es la liberación de vapor de agua por medio de los estomas de las hojas. Por lo tanto, usaremos el gradiente climático de este índice de sequía para comprobar si el agua y el carbono siguen el mismo patrón, mediante la evaluación de los resultados generados para cada parcela por el modelo biogeoquímico referente a la escorrentía superficial, recarga de acuíferos, el secuestro de carbono y producción de biomasa.

Con fines metodológicos se ha decidido dividir los clústeres en cuatro grupos, los cuales se analizarán independientemente y serán descritos e identificados de izquierda a derecha. A nivel global podemos observar (figura 35) que el índice de sequía obtenido durante el lapso de 30

años de simulación para cada parcela se encuentra entre 1.04 y 1.65, revelando que existen zonas o parcelas con cocientes altos y otras no tanto, lo que se traduce en la mayor o menor disponibilidad de agua. Mediante el análisis clúster se obtuvo un Dendograma de índice de sequía (DIS) (figura 36).



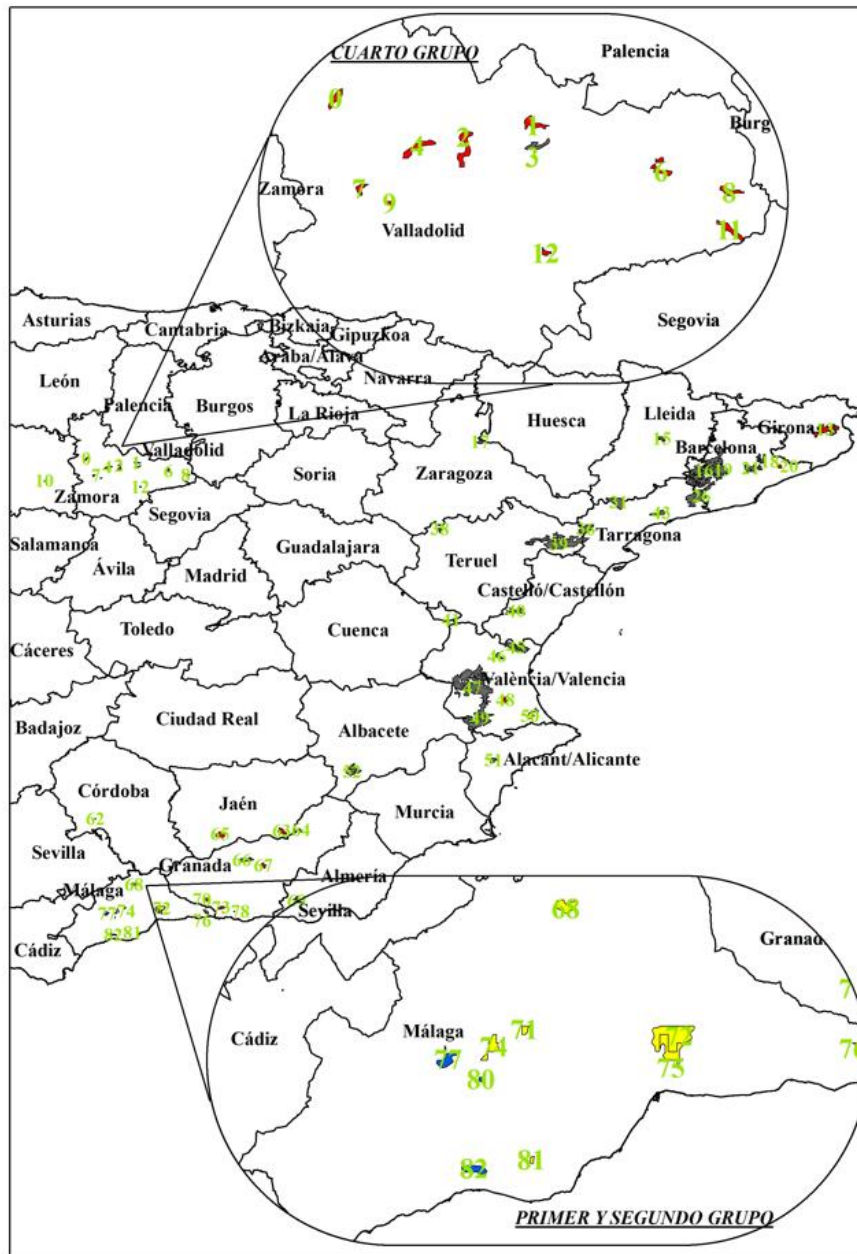
**Figura 35.** Distribución del índice de sequía.



**Figura 36.** Dendograma del índice de sequía.

Estos valores se agrupan de la siguiente manera mediante el clúster. El primer grupo presenta valores de entre 1.65 y 1.58 para las parcelas 82 y 80, respectivamente, siendo los mayores coeficientes de todos los grupos, inmediatamente el segundo grupo en los que sus cocientes están entre 1.39 y 1.51 distribuidos en un total de 9 parcelas, el tercer grupo siendo el más grande con 24 parcelas presenta una media de 1.11 y el cuarto grupo con valores entre 1.21 y 1.35 y 23 parcelas, las cuales demuestran la distribución inicial del estudio.

En el siguiente mapa se visualiza que el grupo tres se encuentra aglomerado entre las Ecorregiones Catalano – Aragonesa y Litoral Mediterránea, mientras que el grupo cuatro, uno y dos se localizan en las Ecorregiones de Duriense y Bética (figura 37).

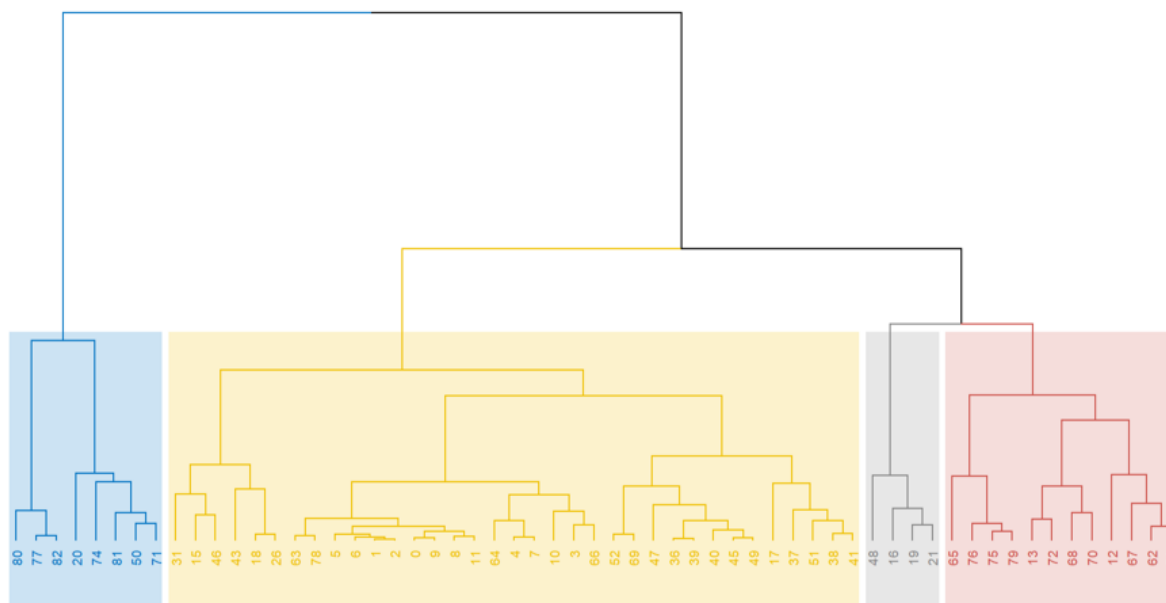


**Figura 37.** Mapa de grupos del Dendograma del índice de sequía.

Para analizar el comportamiento de las parcelas en un gradiente climático, se presentarán los resultados tanto para la dinámica del agua como del C, con el objetivo de poder identificar si persiguen el mismo patrón en la distribución de clústeres o tienden a cambiar bajo ciertos escenarios de gestión y cambio en los elementos del clima.

### 3.2.1. Simulación respecto al Agua

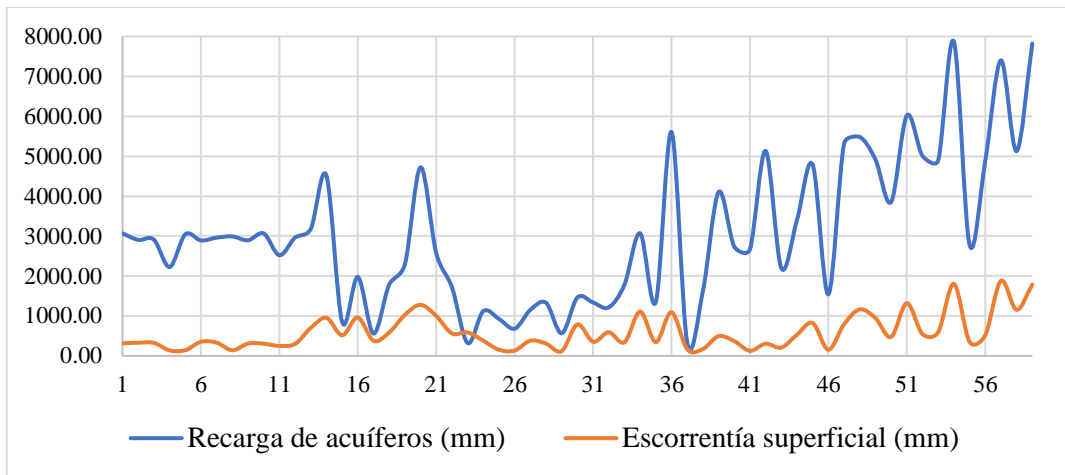
Para entender la dinámica con respecto al agua, analizaremos los datos obtenidos de las simulaciones del modelo biogeoquímico de escorrentía superficial y recarga de acuíferos para cada parcela (figura 38).



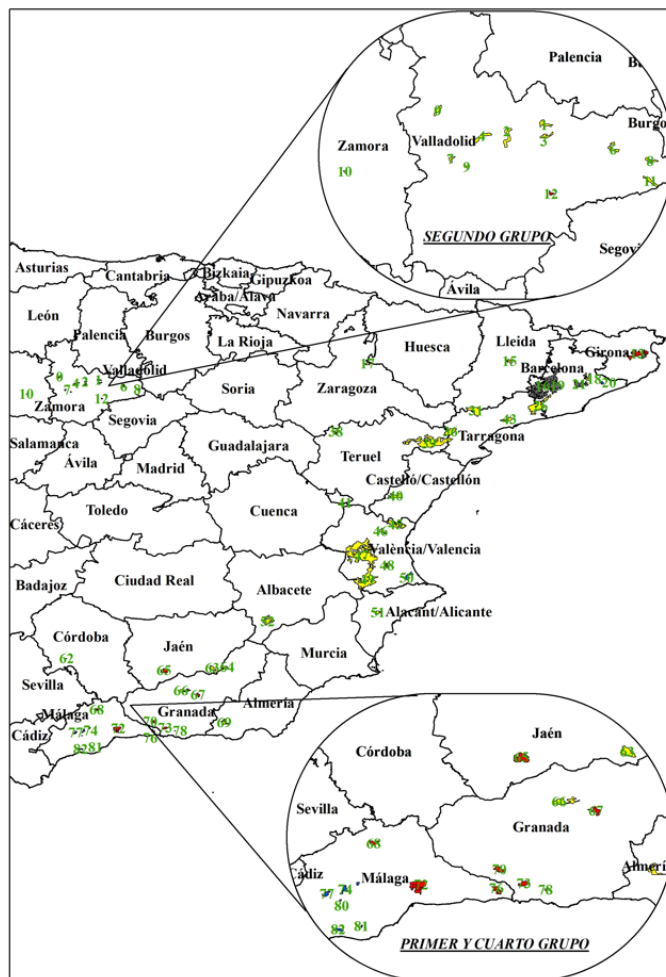
**Figura 38.** Dendrograma de Agua.

Los resultados se agrupan de nuevo en 4 grupos. El primero grupo abarca valores entre 7867.02 y 4722.21 mm en recarga de acuíferos y con escorrentías superficiales de 1879.80 a 1093.81 mm, cuyo máximo pertenece a la parcela FID 82, una de las que mayor ratio P/ET presentaba. El segundo grupo con un total de 35 parcelas consta con una media de 1900.08 mm en recarga de acuíferos y 324.12 mm para escorrentía superficial. El tercer grupo presenta valores de 1108.89 a 961.33 mm en escorrentía superficial y 3069.73 a 1976.60 mm en recarga de acuíferos para las parcelas FID 48,16,19 y 21. Finalmente, el último grupo consta de una media de 4497.45 mm en recarga y 640.75 para escorrentía de 12 parcelas. La figura 39 muestra una gráfica con la representación de los datos de recarga de acuíferos y escorrentía superficial (figura 39). Además, de la distribución del Dendrograma en la Península Ibérica (figura 40).

Al comparar con el Dendrograma del índice de sequía (DIS) (figura 36), del cual obtenemos el gradiente climático, donde, el primer grupo del Dendrograma de agua (DA) que coincide en un 100%, con las parcelas FID 82, 77 y 80 correspondientes a los máximos. El segundo grupo del (DIS) coincide en un 56% con el cuarto grupo del (DA). Por último, el tercer grupo del (DIS) coincide en un 88% con el segundo grupo del (DA).



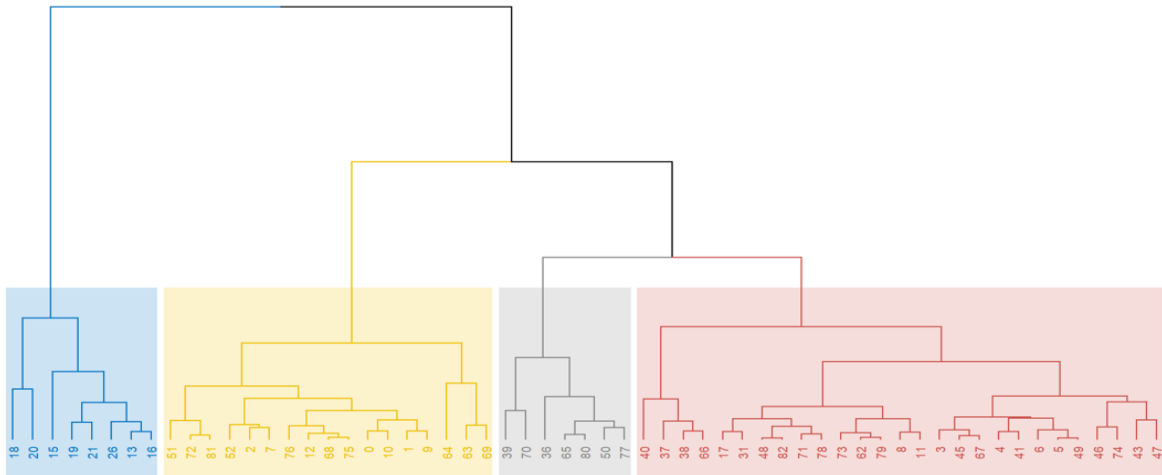
**Figura 39.** Recarga de acuíferos y escorrentía superficial.



**Figura 40.** Distribución de los grupos del Dendrograma de Agua.

### 3.2.2. Simulación respecto al Carbono

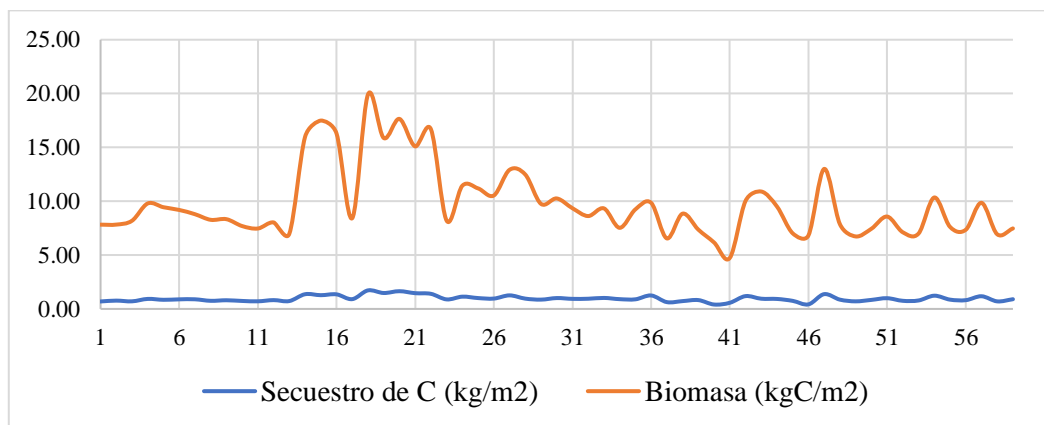
Para analizar la dinámica con respecto al C, escogeremos los datos de la simulación del modelo respecto al secuestro de C y Biomasa (figura 41).



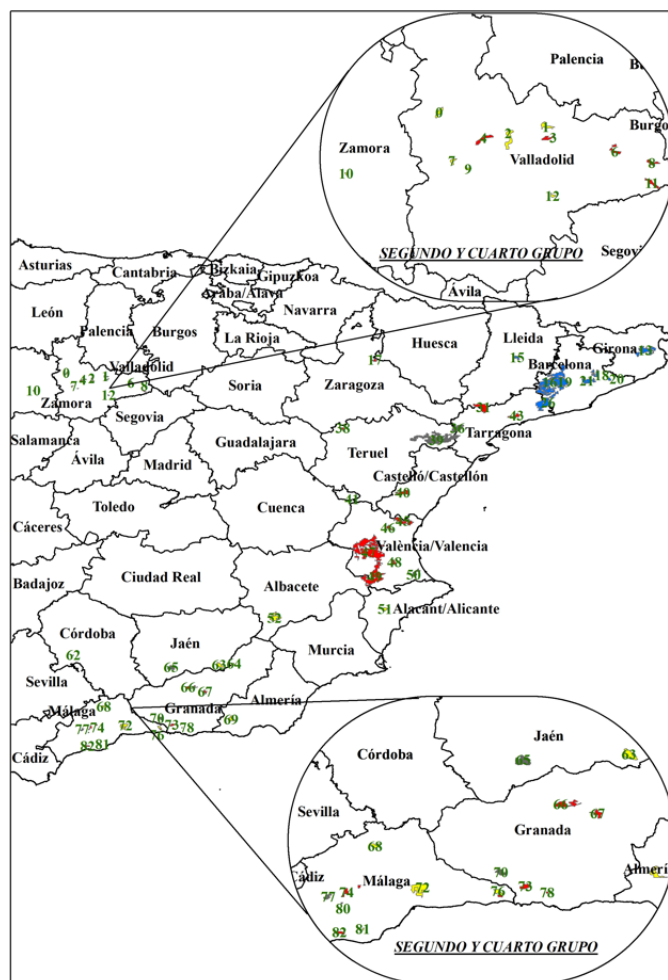
**Figura 41.** Dendrograma del Carbono.

El primer grupo, que consta de 8 parcelas, presenta valores con una media de 1.46 kg/m<sup>2</sup> de secuestro de carbono y 16.87 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa. El segundo grupo abarca valores entre 0.77 y 0.41 kg/m<sup>2</sup> en secuestro de carbono y entre 8.85 y 4.73 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa. El tercer grupo contiene valores entre 1.37 y 1.14 kg/m<sup>2</sup> en secuestro de carbono y de 13.00 a 9.85 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa. Finalmente, el cuarto grupo consta con una media de 0.90 kg/m<sup>2</sup> de secuestro de carbono y 8.99 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa para un total de 27 parcelas. A continuación, se muestra una gráfica con la representación de los datos de secuestro de C y Biomasa (figura 42). Además, de la distribución del Dendrograma en la Península Ibérica (figura 43).

En comparación con el (DIS), se puede visualizar que el tercer grupo del Dendrograma de Carbón (DC) coincide en un 67% con el primer grupo del (DIS). El segundo grupo coinciden en un 44%. Finalmente, con el cuarto grupo coinciden en un 48%. Es decir, que a menor sequía (mayor DIS), las parcelas de estudio tienden a mejorar su capacidad de secuestro de C y producción de biomasa.



**Figura 42.** Secuestro de C y Biomasa.

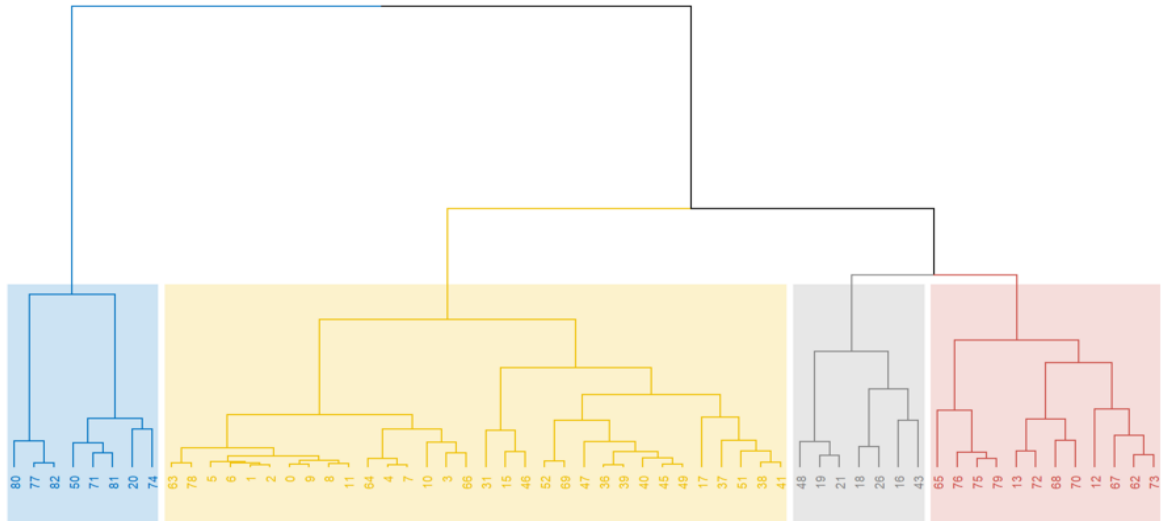


**Figura 43.** Distribución de los grupos del Dendograma de Carbono.

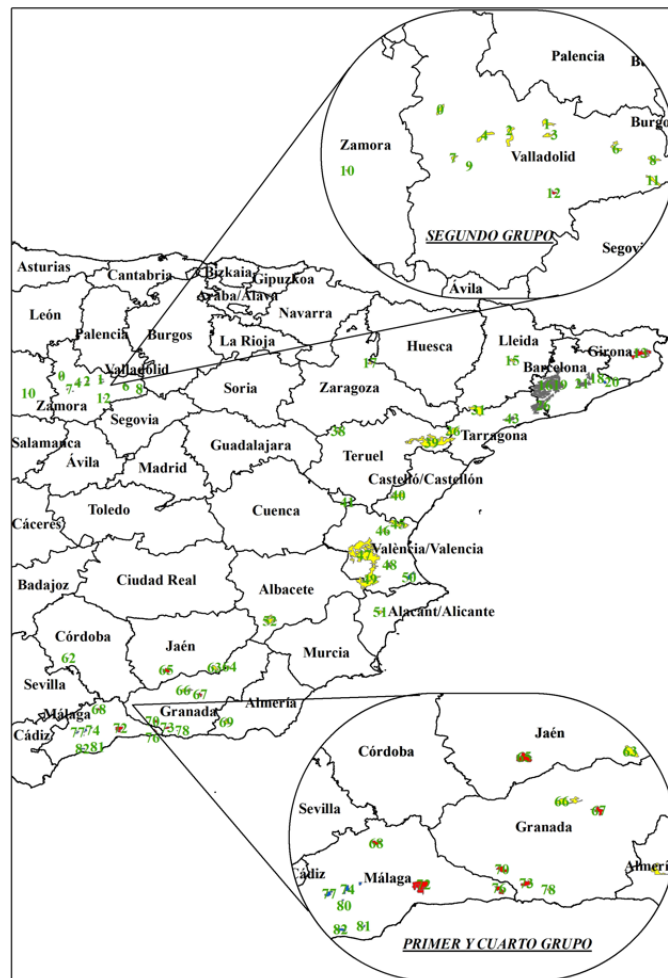
### 3.3. Simulación con gestión

#### 3.3.1. Simulación respecto al Agua

Si empleamos el Dendograma de agua (figura 38), podemos observar que los subgrupos son prácticamente similares con el Dendograma de agua con gestión, con diferentes magnitudes. El primer grupo presenta una media de 6380.05 mm en recarga de acuíferos y 1439.67 mm para escorrentía superficial. El segundo grupo consta con valores entre 3153.26 y 345.89 mm en recarga de acuíferos y con escorrentías superficiales de 591.11 a 120.80 mm. El tercer grupo contiene una media de 2325.11 mm en recarga de acuíferos y 868.72 mm en escorrentía superficial para 7 parcelas. Finalmente, el cuarto grupo que abarca una media de 4607.17 mm en recarga y 643.29 mm para escorrentía (figura 44). A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 46). Además, de la distribución del Dendograma en la Península Ibérica (figura 45).



**Figura 44.** Dendrograma de Agua con gestión.

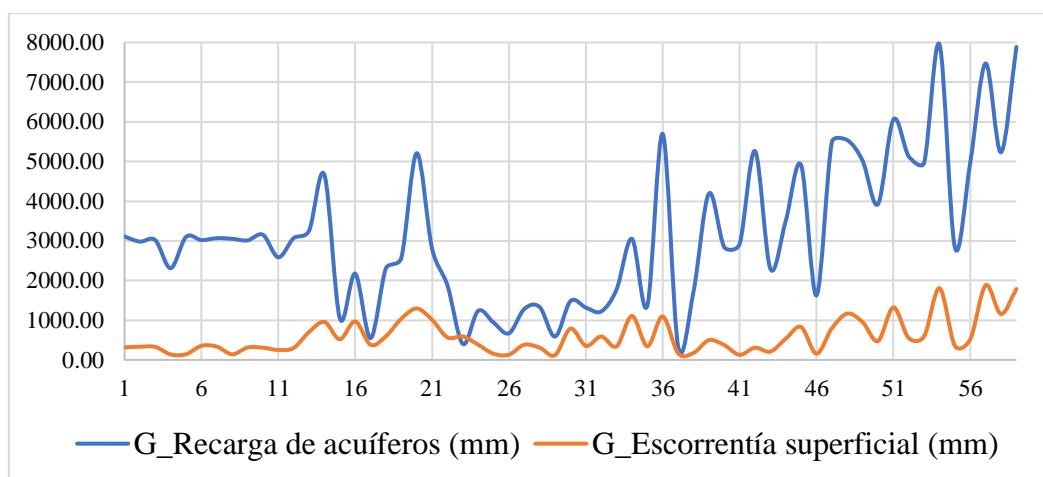


**Figura 45.** Distribución de los grupos del Dendrograma de Agua con gestión.

Al comparar con el (DIS) (figura 36), donde, el primer grupo del Dendrograma de agua con gestión (DAG) coincide en un 100%, correspondientes a los máximos. El segundo grupo del



(DIS) coincide en un 56% con el cuarto grupo del (DAG). Por último, el tercer grupo del (DIS) coincide en un 75% con el segundo grupo del (DAG). Como podemos apreciar, se asemeja al (DA) salvo por el porcentaje del segundo grupo del (DAG), que sufre una disminución del 13%.

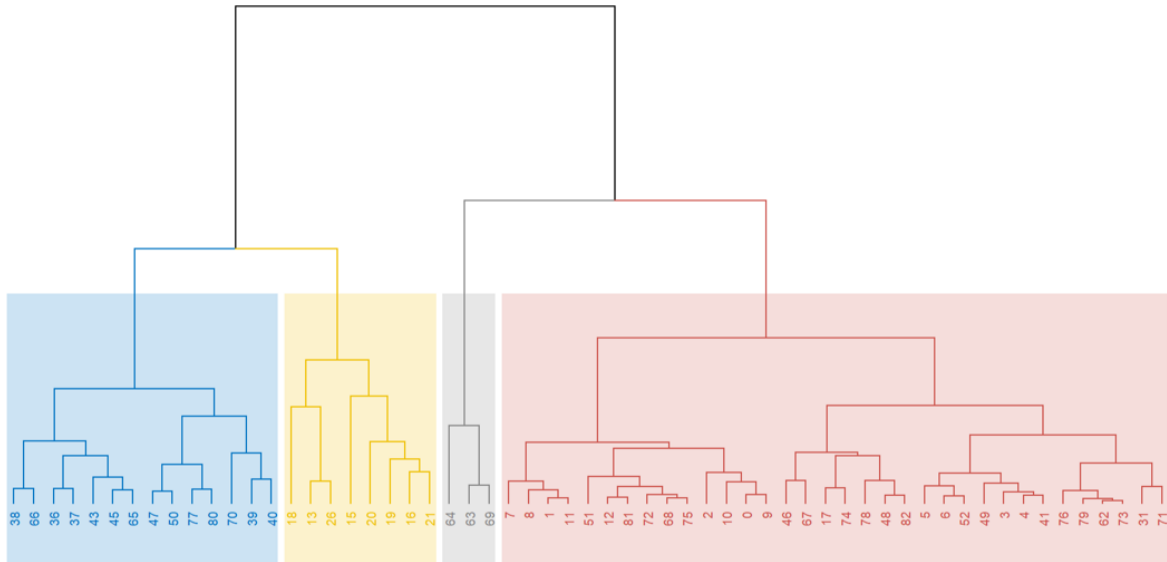


**Figura 46.** Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con gestión.

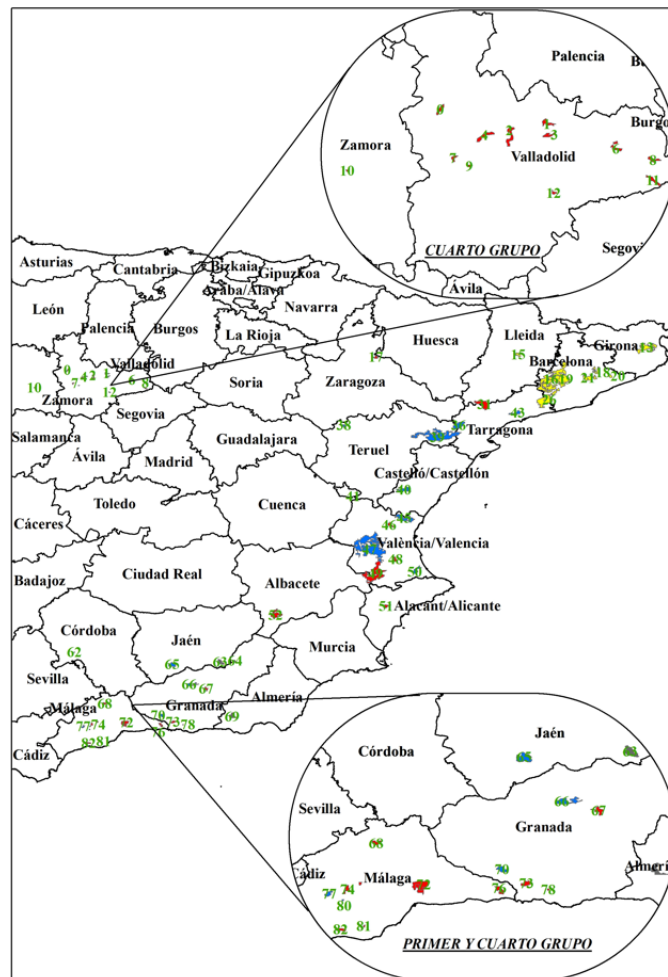
### 3.3.2. Simulación respecto al Carbono

El Dendograma para la dinámica del C con gestión (figura 47), cambia totalmente la distribución de los subgrupos con respecto a la situación inicial. El primer grupo consta con 14 parcelas con una media de 1.07 kg/m<sup>2</sup> de secuestro de carbono y 16.03 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa. El segundo grupo presenta valores entre 1.25 a 0.86 kg/m<sup>2</sup> en secuestro de carbono y entre 29.24 y 22.06 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa. El tercer grupo abarca valores de 0.25, 0.36 y 0.39 kg/m<sup>2</sup> en secuestro de carbono y 6.47, 9.41 y 9.97 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa para las parcelas FID 64, 63 y 69 respectivamente. Por último, el cuarto grupo consta con una media de 0.78 kg/m<sup>2</sup> en secuestro de carbono y 11.91 kgC/m<sup>2</sup> en biomasa para un total de 34 parcelas. A pesar de la nueva distribución, las parcelas con mayor secuestro de C y producción de biomasa siguen siendo las pertenecientes al primer grupo del (DC) y segundo grupo del (DCG), seguido por las pertenecientes al cuarto grupo del (DC) y primer grupo del (DCG).

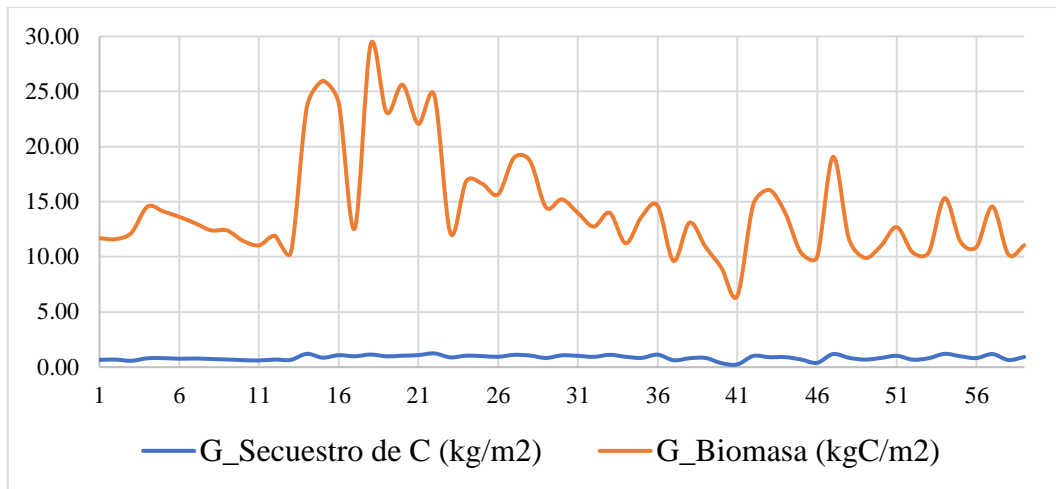
Por tanto, en comparación con el (DIS) (figura 36), se observa que no concuerdan en sus patrones, pero siguen la misma distribución del (DC), por lo que, se concluye que el clúster modifica los grupos de las parcelas, en base a las magnitudes de los factores, agrupándolos a escalas similares, como se observa en el tercer grupo, al ser el menor tanto en secuestro de C, como en producción de biomasa. A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 49). Además, de la distribución del Dendograma en la Península Ibérica (figura 48)



**Figura 47.** Dendrograma de Carbono con gestión.



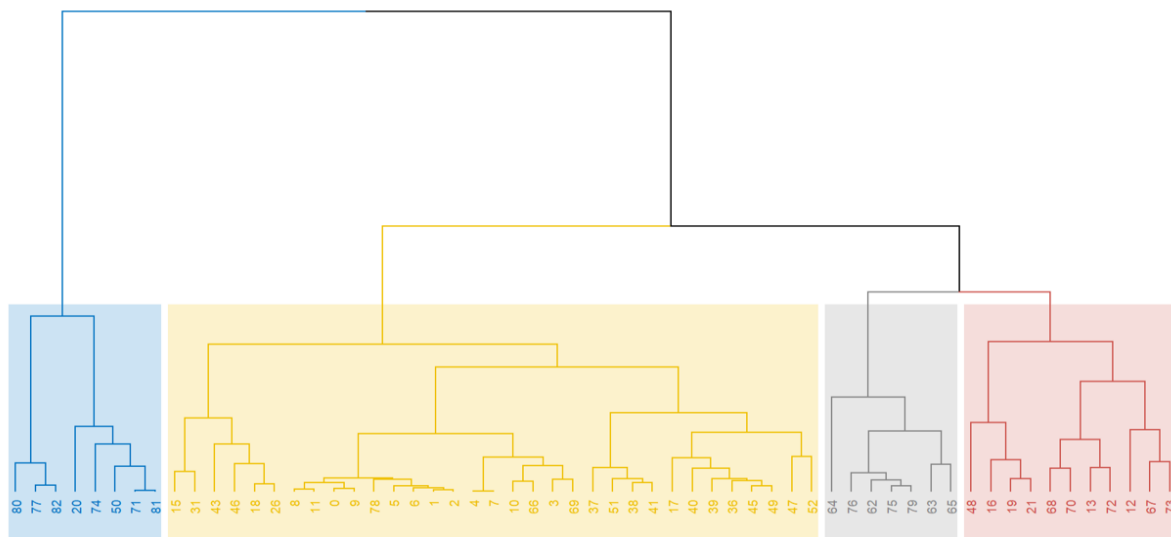
**Figura 48.** Distribución de los grupos del Dendrograma de Carbono con gestión.



**Figura 49.** *Secuestro de C y Biomasa con gestión.*

### 3.4. Simulación con cambio climático

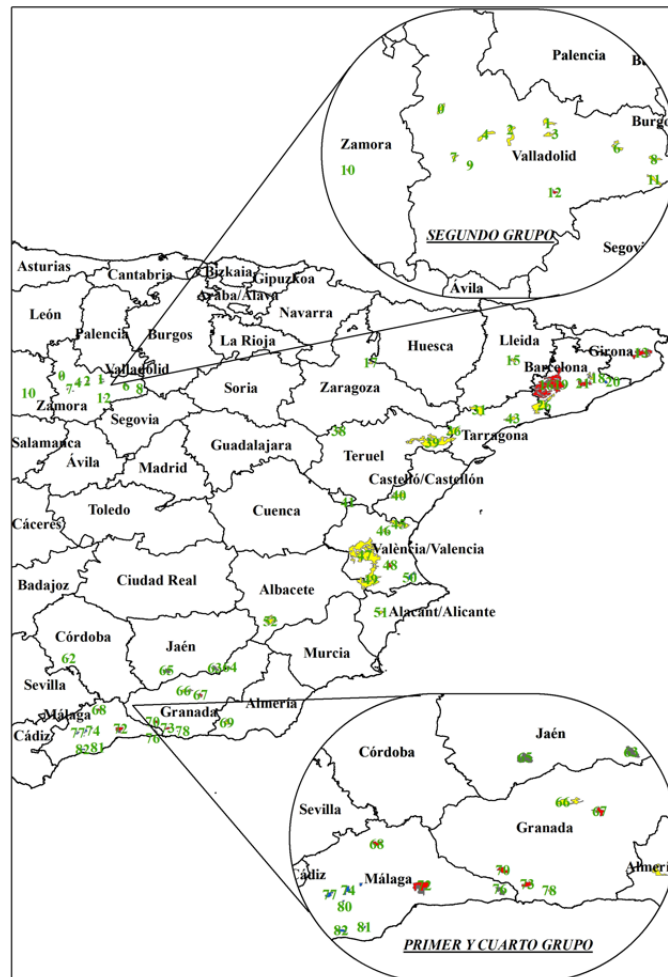
#### 3.4.1. Simulación respecto al Agua



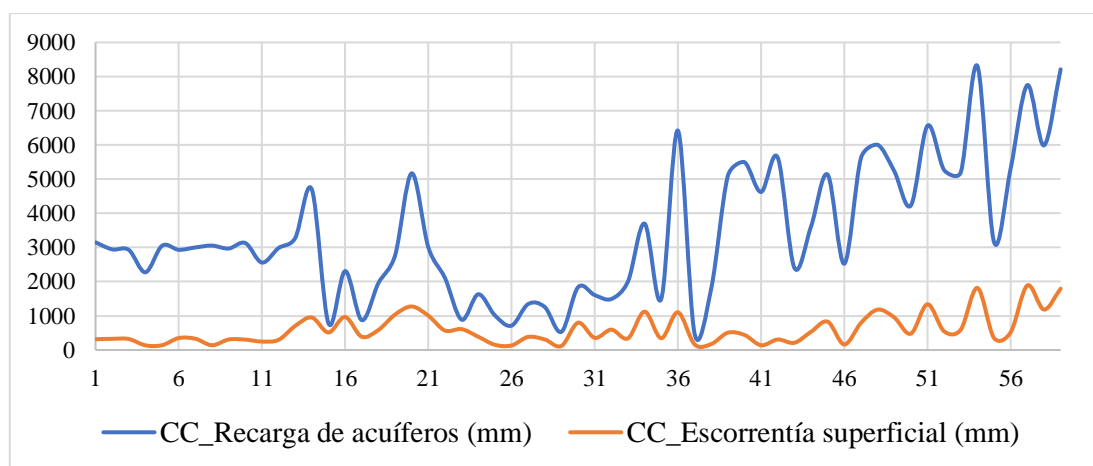
**Figura 50.** *Dendograma de Agua con cambio climático.*

El Dendograma de agua con cambio climático (figura 50), muestra modificaciones en la distribución de los subgrupos con respecto a los anteriores escenarios. El primer grupo consta con valores entre 8307.22 y 5171.40 mm en recarga de acuíferos y 1888.41 a 1102.54 mm en escorrentía superficial. El segundo grupo consta con una media de 2027.01 mm en recarga de acuíferos y 329.73 mm para escorrentía superficial con 33 parcelas, el tercer grupo abarca valores de 596.03 a 140.34 mm en escorrentía superficial y 5628.12 a 4625.06 mm en recarga de acuíferos. Finalmente, el cuarto grupo con una media de 3961.59 mm en recarga y 851.83

mm para escorrentía. A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 52). Además, de la distribución del Dendograma en la Península Ibérica (figura 51).



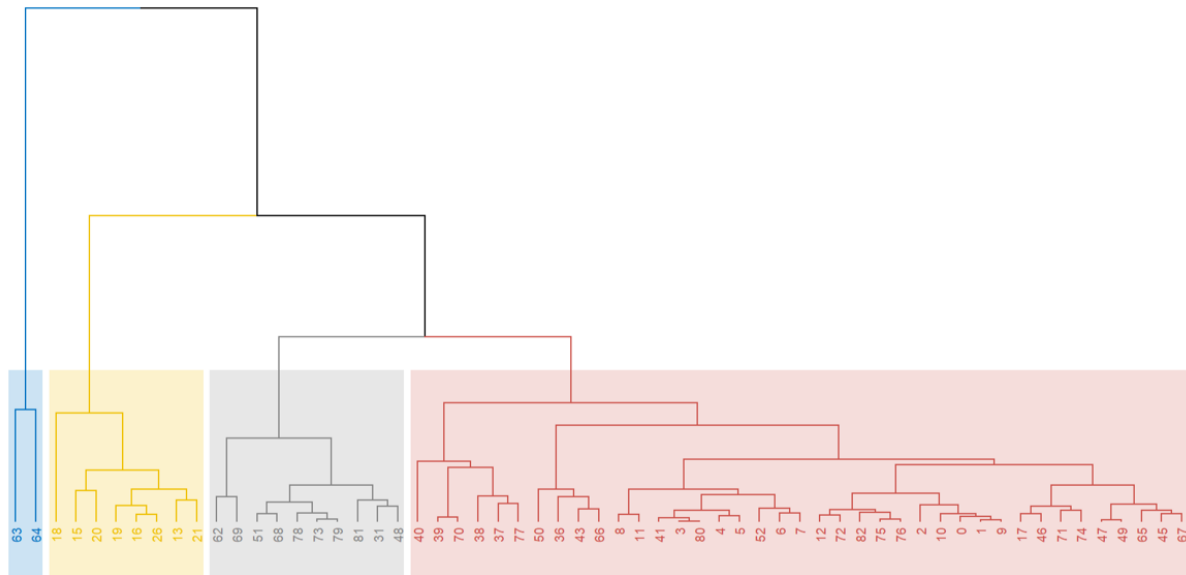
**Figura 51.** Distribución de los grupos del Dendograma de Agua con cambio climático.



**Figura 52.** Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con cambio climático.

Al comparar con el (DIS) (figura 36), observamos que en el primer grupo del Dendograma de agua con cambio climático (DACC) coincide en un 100%, nuevamente con las parcelas FID 82, 77 y 80. El tercer grupo del (DIS) coincide en un 88% con el segundo grupo del (DACC). Por último, podemos mencionar que los demás grupos sufrieron un cambio en su distribución, pasando del segundo grupo del (DIS), al tercer y cuarto grupo del (DACC).

### 3.4.2. Simulación respecto al Carbono



**Figura 53.** Dendrograma de Carbono con cambio climático.

El Dendrograma de Carbón con cambio climático (figura 53), denota que el primer grupo posee valores negativos de  $-3.27$  y  $-2.21$   $\text{kgC/m}^2$  de secuestro de carbono, lo que significa que, en algún año de la simulación bajo las condiciones de este escenario algunos o todas las parcelas tienden a marchitarse, por ejemplo, las parcelas FID 63 y 64 se mueren paulatinamente, generando un valor en su biomasa de  $4.01$  y  $3.02$   $\text{kgC/m}^2$  respectivamente. El segundo grupo consta con valores entre  $0.81$  y  $0.15$   $\text{kgC/m}^2$  de secuestro de carbono y  $19.62$  a  $14.51$   $\text{kgC/m}^2$  en biomasa. El tercer y cuarto grupo también presentan valores negativos, por lo que, simboliza la misma situación antes mencionada, con valores de media de  $6.66$  y  $8.76$   $\text{kgC/m}^2$  en biomasa respectivamente. A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 55). Además, de la distribución del Dendrograma en la Península Ibérica (figura 54).

Al comparar con el (DIS) (figura 36), se observa que en el cuarto grupo coinciden en un 65%. El tercer grupo del Dendrograma de Carbono con cambio climático (DCCC) coincide en un 22% con el segundo grupo del (DIS) entre los más similares, recordando que se ha tomado en cuenta la comparación con grupos diferentes que el (DC) y (DCG).

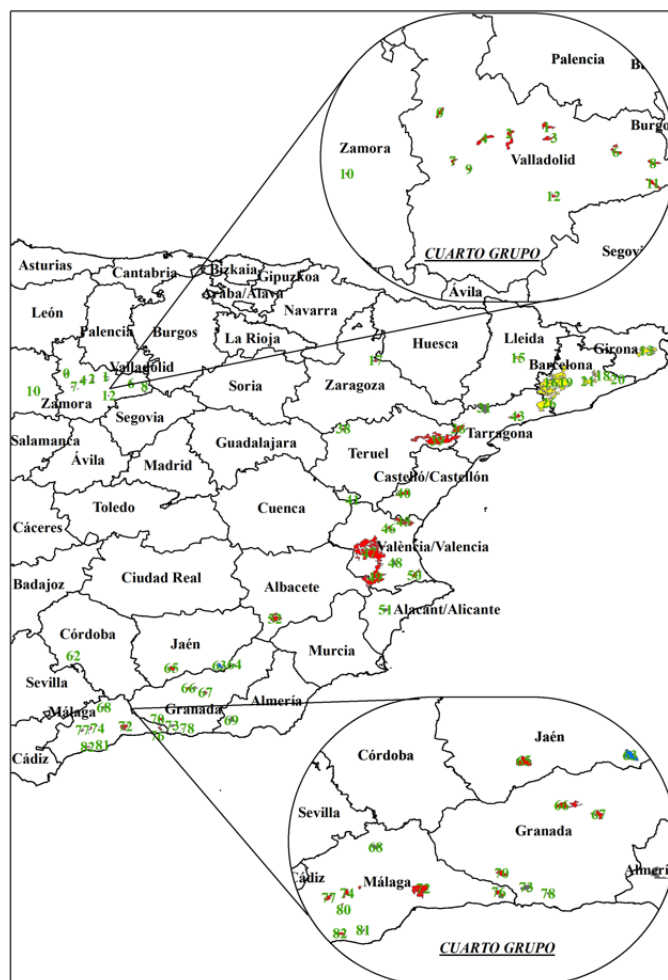


Figura 54. Distribución de los grupos del Dendrograma de Carbono con cambio climático.

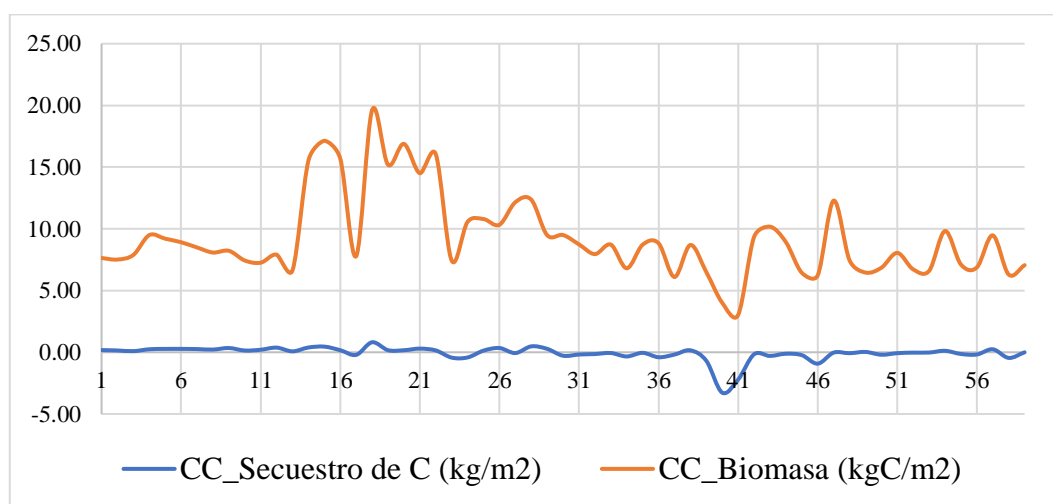
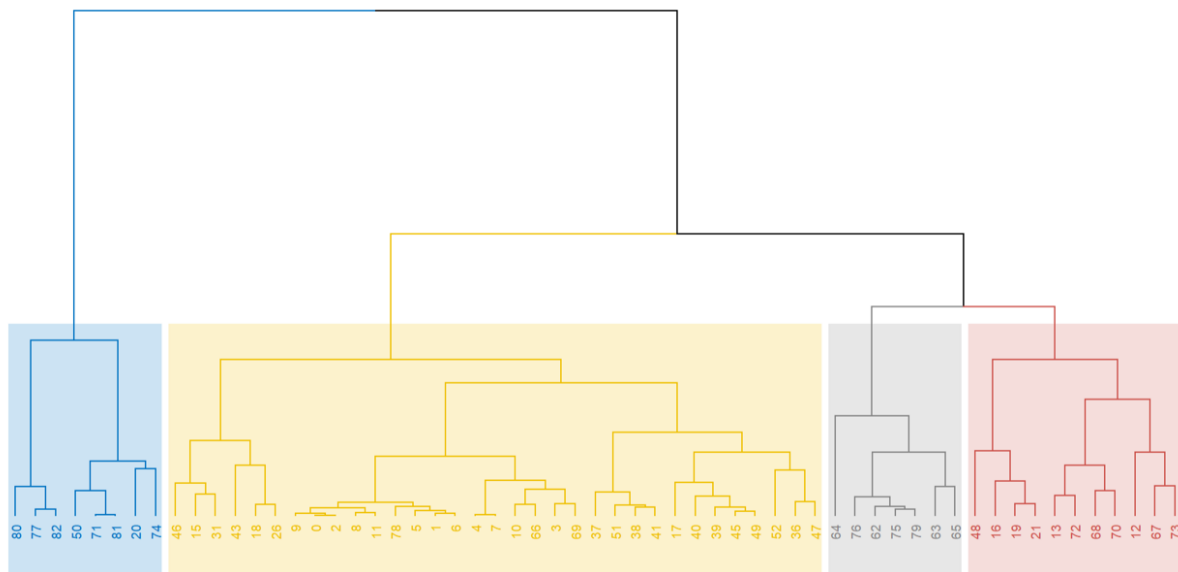


Figura 55. Secuestro de C y Biomasa con cambio climático.

### 3.5. Simulación con cambio climático y gestión

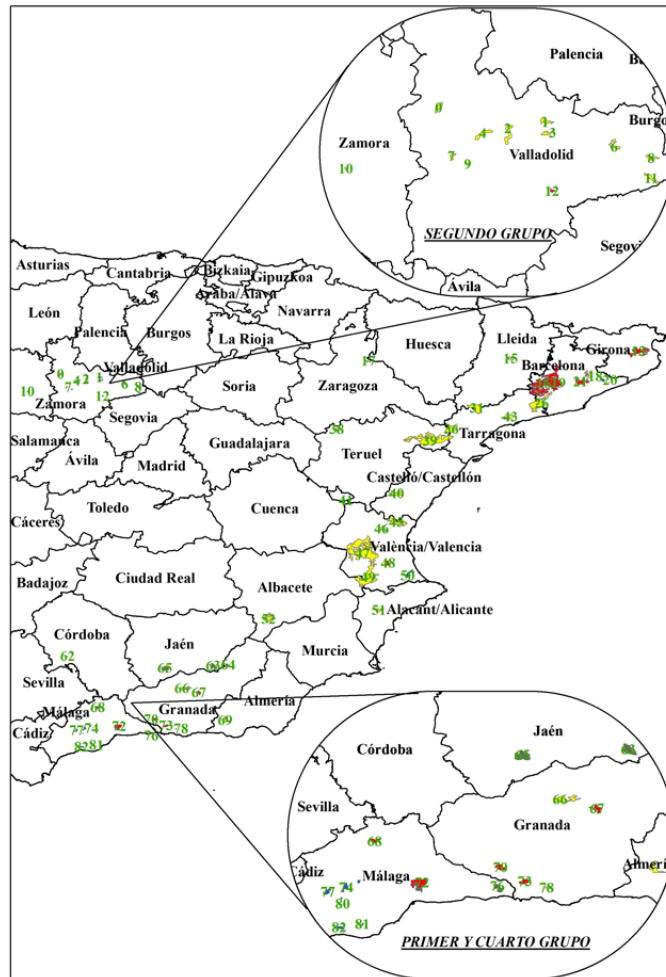
#### 3.5.1. Simulación respecto al Agua



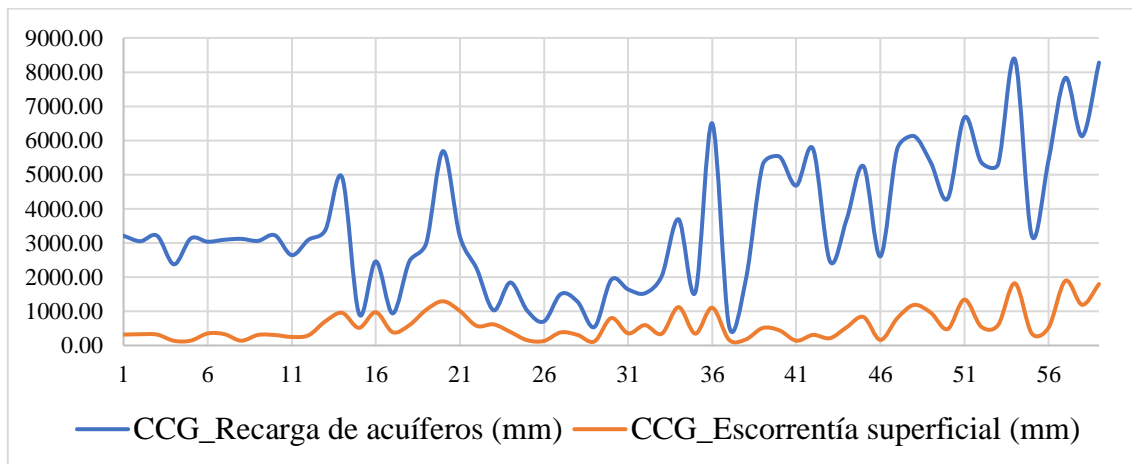
**Figura 56.** *Dendrograma de Agua con cambio climático y gestión.*

En el Dendrograma de Agua con cambio climático y gestión (figura 56), se observa que nuevamente los subgrupos son similares a los Dendrograma obtenidos con respecto al agua. El primer grupo presenta una media de 6949.75 mm en recarga de acuíferos y 1453.21 mm para escorrentía superficial. El segundo grupo abarca valores para escorrentía superficial de 802.50 a 118.95 mm y entre 3225.28 a 541.59 mm para recarga de acuíferos. El tercer grupo contiene una media de 5331.34 mm en recarga de acuíferos y 438.74 mm en escorrentía superficial para 7 parcelas. Finalmente, el cuarto grupo que consta con una media de 4088.53 mm en recarga y 855.91 para escorrentía. A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 58). Además, de la distribución del Dendrograma en la Península Ibérica (figura 57).

Si lo comparamos con el (DIS) (figura 36), se observa que en el primer grupo del Dendrograma de agua con cambio climático y gestión (DACCG) coincide en un 100%, nuevamente con las parcelas FID 82, 77 y 80. El tercer grupo del (DIS) coincide en un 88% con el segundo grupo del (DACCG), y los otros dos grupos son similares a los obtenidos en el (DACC).



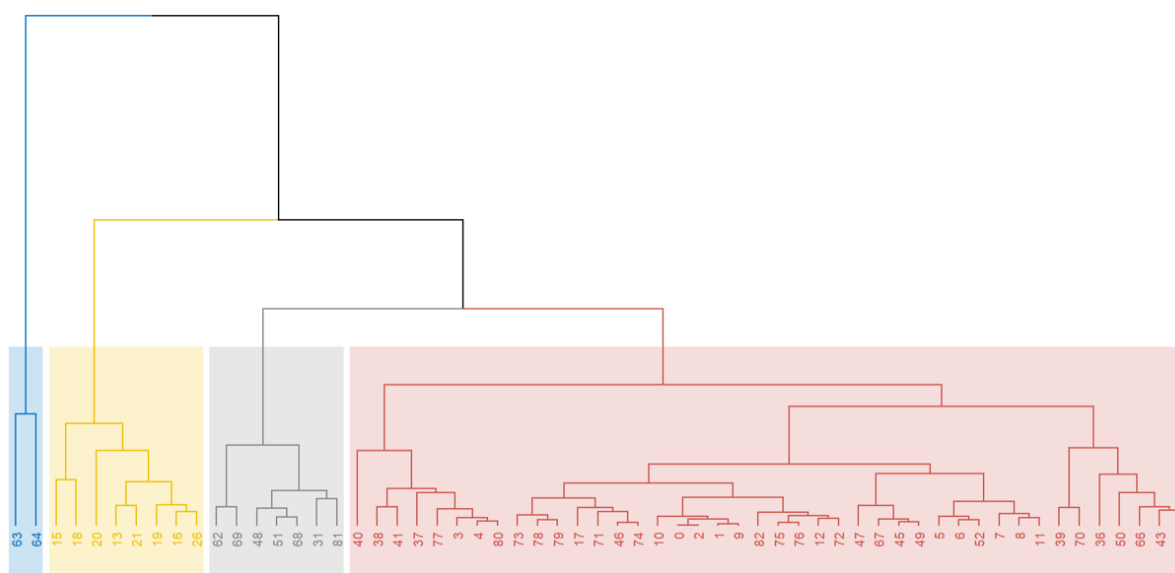
**Figura 57.** Distribución de los grupos del Dendrograma de Agua con cambio climático y gestión.



**Figura 58.** Recarga de acuíferos y escorrentía superficial con cambio climático y gestión.

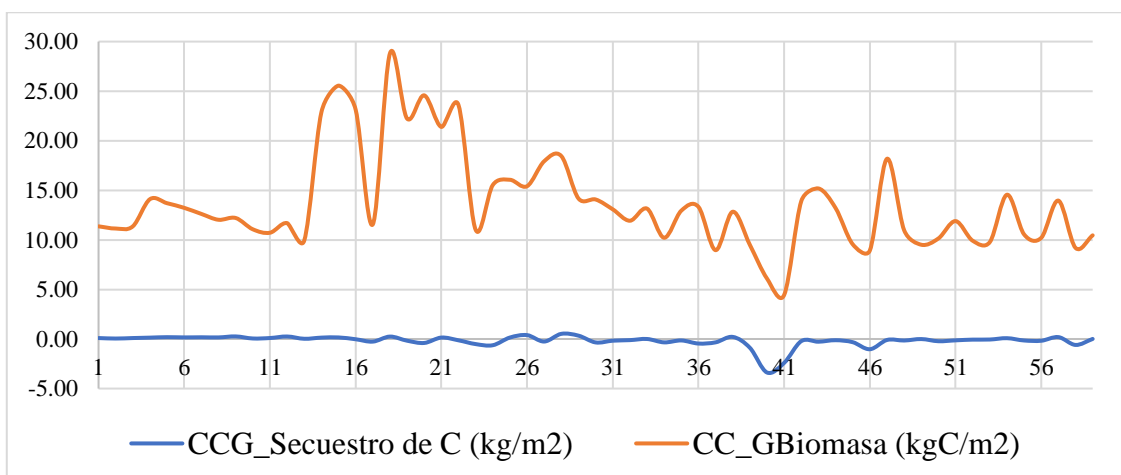


### 3.5.2. Simulación respecto al Carbono



**Figura 59.** Dendrograma de Carbono con cambio climático y gestión.

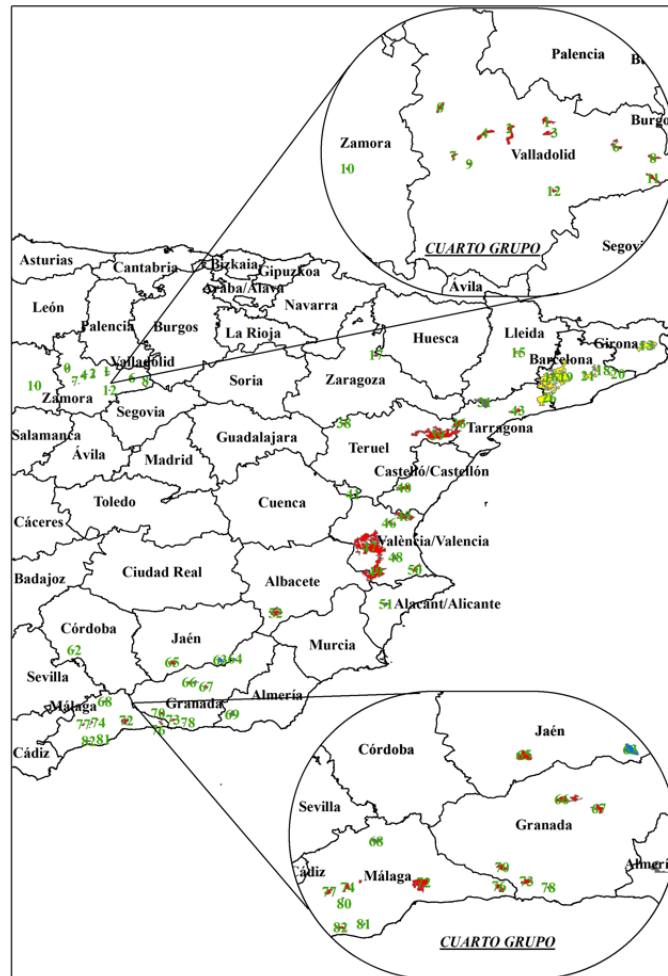
El Dendrograma de carbono con cambio climático y gestión (figura 59), muestra una nueva distribución de los subgrupos y, además, coinciden en que el secuestro de carbono presenta valores negativos como en el Dendrograma de Carbono con cambio climático (figura 53) en los cuatro grupos, por lo que solo se mencionará la media de cada uno con respecto a la biomasa, la cual presenta valores de 5.27, 24.02, 9.62 y 12.81 kgC/m<sup>2</sup> respectivamente. A continuación, se muestra una gráfica referencial (figura 60). Además, de la distribución del Dendrograma en la Península Ibérica (figura 61).



**Figura 60.** Secuestro de C y Biomasa con cambio climático y gestión.

Al comparar con el (DIS) (figura 36), podemos observar que en el cuarto grupo nuevamente coinciden en un 65%. El tercer grupo del Dendrograma de Carbono con cambio climático y

gestión (DCCCG) coincide en un 22% con el segundo grupo del (DIS), los otros dos grupos sufren modificaciones significativas en su distribución de parcelas. Caber recordar que los porcentajes expuestos fueron obtenidos tomando en cuenta diferentes grupos en comparación con el caso del (DC) y (DCG).



**Figura 61.** Distribución de los grupos del Dendrograma de Carbono con cambio climático y gestión.

## DISCUSIÓN

Si nos enfocamos en la necesidad del aprovisionamiento de agua, podemos observar la distribución del gradiente climático (figura 38) y el conjunto de parcelas más idóneas para este fin, según los resultados de la simulación con el modelo Biome BGCMuSo son las pertenecientes a la ecorregión Bética, con una media de recarga de acuíferos de 6254.65 mm que comprenden entre algunas, las parcelas FID 77, 82 y 80 que están ubicados en la provincia de Málaga, cuyas clases territoriales se diferencian por presentar valores de precipitación media anual de 708.13 mm, temperatura media anual de 17.1°C y geología de margas, dolomías, calizas entre otras. Por tanto, se puede justificar la obtención de estos resultados, además, se encuentra cerca de la provincia de Cádiz, considerada la zona más lluviosa de España con una media anual entre 2100 y 4000 mm en los años más húmedos.

Respecto a la escorrentía superficial, podemos notar que sus valores más bajos se encuentran en el segundo grupo, con una media de 324.12 mm en un total de 35 parcelas distribuidas en las ecorregiones Duriense, Catalano – Aragonesa y Litoral Mediterránea, ubicadas en las provincias de Valladolid, Tarragona, Teruel y Valencia en su mayoría, cabe mencionar que las clases territoriales pertenecientes a estas parcelas denotan una precipitación y temperatura media anual de 478.4 mm y 13.17°C, además, de una geología de aluviones cuaternarios, dolomías, caliza, arenas, margas y detríticos mesozoicos; lo cual coincide con el mapa de distribución de precipitaciones medias anuales en la Península Ibérica, siendo su geología la determinante principal debido a su capacidad de infiltración que puede abarcar valores entre el 30 al 65% en determinadas zonas y ahondado por alteraciones antrópicas (Rosado-Carhuancho, 2015).

Refiriéndonos al carbono, tanto en su secuestro como en la generación de biomasa, podemos observar su gradiente climático (figura 41), en el cual sus valores más bajos con respecto al secuestro de C se encuentran en las ecorregiones Duriense y Litoral Mediterránea, con rangos de 0.78 a 0.41 kg/m<sup>2</sup>, donde uno de los factores más visibles y determinantes, es el área que ocupan las distintas clases territoriales con una media de 9.52 km<sup>2</sup> y por las características propias de los CLATERES como temperatura y precipitación media anual de 14.26°C y 509.82 mm respectivamente, los clústeres que están estrechamente relacionados con la producción de biomasa, en las que sobresalen las parcelas pertenecientes al primer grupo, con una media de 16.87 kgC/m<sup>2</sup>, según diversas investigaciones, correlacionan este indicador en tallo, ramas,

hojas y raíces con la precipitación y las necesidades propias de la especie forestal para su desarrollo y crecimiento (Mosquera, Ramos, & Deivís, 2007).

Una vez presentado los resultados iniciales y para poder cumplir con los objetivos de este estudio, precedemos a exponer los datos obtenidos en diversos escenarios de gestión y cambio climático para visualizar su comportamiento, distribución o cambio significativo de ser el caso.

Como primer apartado centraremos el escenario bajo gestión con un aclarado del 30% y una extracción del 80% de la biomasa resultante. Para el caso del agua (figura 44), podemos mencionar que no presenta ninguna modificación significativa en los subgrupos de los clústeres, por lo que consecuentemente siguen el mismo patrón, los datos obtenidos con este escenario generaron un incremento en la recarga de acuíferos del 4.35% en las parcelas pertenecientes a la ecorregión Bética, siendo estos los más relevantes.

De igual manera, al tomar como referencia la escorrentía superficial encontramos un incremento del 0.42% a nivel global, siendo mínima, con respecto a la situación inicial. Para el caso del C bajo el escenario de gestión (figura 47), se observó que existe un cambio total en la distribución de los subgrupos generados por el clúster, consecuentemente su patrón también se ve alterado, los datos generados denotan que, a pesar de esta modificación, los subgrupos son similares, con un incremento del 31.87% respecto a la biomasa y una disminución del 8.89% en el secuestro de C.

Como segundo apartado nos enfocamos en el escenario de cambio climático, al aumentar la temperatura máxima en 2°C y un 10% en el déficit de presión de vapor. Para el caso del agua (figura 50), la dinámica y distribución siguen siendo similares en los grupos uno y dos, salvo con pequeñas modificaciones en los demás grupos, los datos reflejan que la escorrentía superficial sufre un incremento de 0.79% a nivel global y para la recarga de acuíferos un 8.05% en las parcelas pertenecientes a la provincia de Málaga. Para el C (figura 53), la distribución de los subgrupos del clúster cambia significativamente para los cuatro grupos, afectado directamente por la obtención de datos negativos de secuestro de carbono, revelando que, en algún momento durante el lapso de los 30 años, la vegetación muere y por ende libera carbono como el caso de la parcela FID\_63 (figura 62), donde se observa que a partir del año 2011 el Índice de Área Foliar (LAI), que es un indicador de la cantidad de superficie fotosintética, prácticamente desaparece y gradualmente existe una disminución de la biomasa a nivel global de 5.41%.

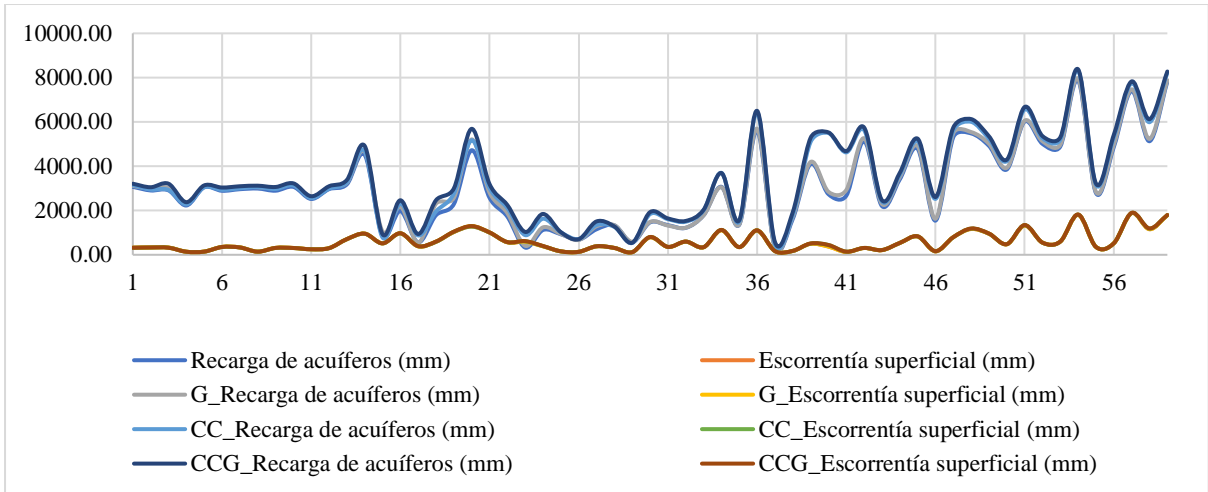
Como último apartado, tenemos el escenario bajo cambio climático y gestión con las mismas consideraciones antes mencionadas. Para el caso del agua (figura 56), la distribución y patrón se mantiene igual al escenario de cambio climático, para la recarga de acuíferos en el primer grupo se incrementa en un 10% al igual que la escorrentía superficial en 1.24%. En el caso del C (figura 59), este sigue el mismo patrón que en el escenario de cambio climático, cabe mencionar que existe una diferencia en cuanto a la biomasa, ya que a nivel global se incrementa significativamente en un 28.57%, cubriendo temporalmente un problema aún mayor relacionada a la disponibilidad del recurso.

En forma general, se presenta una gráfica de dispersión independiente con los datos obtenidos para el agua (figura 63) y carbono (figura 64), con todos los escenarios propuestos en el estudio durante los 30 años, para así visualizar de mejor manera su dinámica interna. Los acrónimos de las gráficas son en base a los escenarios propuestos.

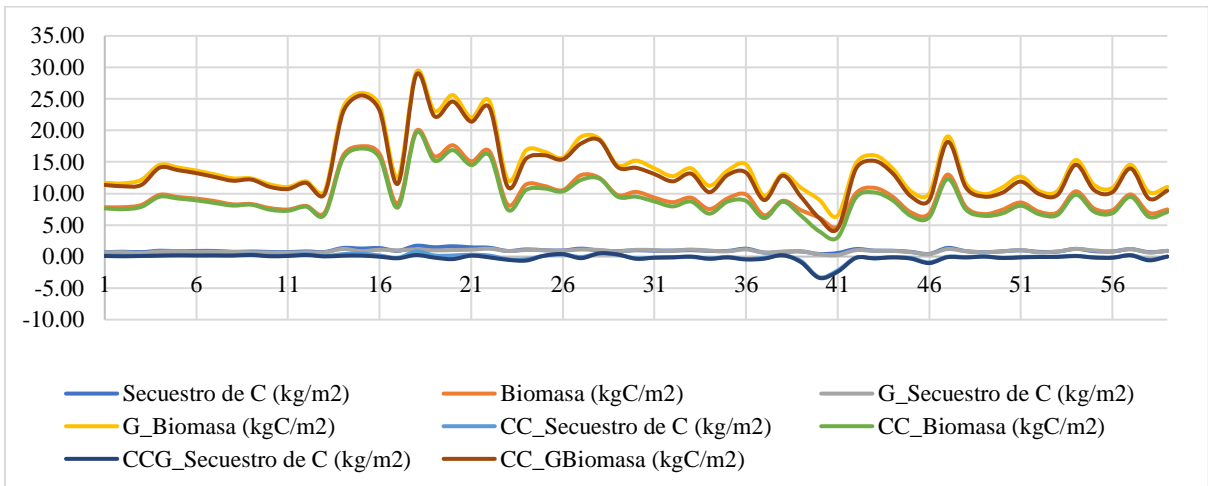
\*Cal.annout: Bloc de notas

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda	year	annprcp	anntavg	anndeppercolation	annrunoff	leaching_root_zone	annET	annmax_lai
					1992	417.000000	16.177397	-29.899252	1.814665	-20.674577	453.141525	2.030151
					1993	463.000000	15.229671	-16.077007	7.722128	28.768296	452.470302	1.676852
					1994	530.000000	14.925959	-21.362298	16.645045	7.143583	484.795410	1.340143
					1995	369.000000	15.031849	-43.849347	0.178872	-25.678194	427.607134	1.519373
					1996	336.000000	16.594096	-83.095421	2.615609	-18.039646	339.741838	1.185350
					1997	344.000000	16.831233	-116.364069	4.780796	-17.232606	263.227878	0.753445
					1998	881.000000	15.655110	128.330580	39.342926	451.406247	389.591960	0.343186
					1999	698.000000	16.542356	535.440377	18.156905	374.918963	304.680372	0.176914
					2000	460.000000	16.030329	776.259149	6.269050	156.825652	348.558453	0.101183
					2001	490.000000	16.258288	875.409803	13.477167	119.242398	315.794841	0.059735
					2002	506.000000	16.529027	1042.000738	10.417471	181.643416	300.382436	0.033602
					2003	570.000000	16.757096	1298.440592	9.938203	248.836842	328.716294	0.019366
					2004	514.000000	16.610164	1466.177149	8.182539	183.129191	305.019723	0.011731
					2005	640.000000	16.507274	1794.290239	12.543739	323.480764	331.465141	0.007736
					2006	493.000000	16.303548	1999.490716	18.555800	176.325583	304.366891	0.004657
					2007	314.000000	16.353575	2074.085101	4.683904	57.898254	256.958497	0.002786
					2008	553.000000	17.072096	2226.450554	12.606884	179.726701	353.134153	0.001550
					2009	543.000000	16.170712	2457.276301	24.280920	214.107858	312.237617	0.000741
					2010	567.000000	16.011260	2617.707524	13.307911	207.453290	337.208486	0.000310
					2011	716.000000	16.544178	2877.327781	40.752332	354.020963	276.243244	0.000095
					2012	915.000000	15.862973	3479.645810	29.297349	544.207096	364.351922	0.000000
					2013	523.000000	16.946945	3759.621724	14.761397	209.887687	330.885000	0.000000
					2014	576.000000	16.406137	4002.622130	22.449238	252.986402	290.134864	0.000000
					2015	705.000000	15.818808	4339.461732	28.842199	308.285764	337.349096	0.000000
					2016	548.000000	16.795603	4584.026070	13.295919	275.363199	291.310287	0.000000
					2017	433.000000	17.226178	4750.421478	21.351277	148.553293	278.440267	0.000000
					2018	607.000000	17.111904	4924.959267	21.124883	236.798460	318.709331	0.000000
					2019	355.000000	17.607836	5090.720725	7.873049	107.130463	255.424336	0.000000
					2020	722.000000	16.225589	5408.455175	15.315049	323.210146	387.139400	0.000000
					2021	544.413793	17.348612	5496.805735	0.000000	85.534008	438.005035	0.000000

**Figura 62.** Caso ejemplo de la parcela FID\_63 bajo escenario de cambio climático.



**Figura 63.** Dinámica del Agua. Gestión (G), cambio climático (CC), cambio climático y gestión (CCG).



**Figura 64.** Dinámica del Carbono. Gestión (G), cambio climático (CC), cambio climático y gestión (CCG).

## CONCLUSIONES

Los análisis generados con el modelo biogeoquímico Biome BGCMuSo, mediante la obtención de clústeres en forma de Dendogramas para un lapso de tiempo de 30 años, nos permitió inicialmente confirmar la existencia de un gradiente climático para las 59 zonas o parcelas seleccionadas para el presente estudio, basándonos en el índice de sequía, el cual correlaciona la precipitación y la evapotranspiración, cuyos valores se encuentran en un rango de entre 1.04 y 1.65, traduciéndose en la escasa o abundante disponibilidad de agua.

En base a este gradiente climático podemos concluir con los datos obtenidos que, el Dendograma de agua en situación inicial y bajo el escenario de gestión, es el que más se asemeja a su patrón, en comparación al Dendograma de Carbono, el cual es completamente diferente en los cuatro escenarios propuestos para el análisis.

Con respecto a los dos escenarios restantes de agua con cambio climático y cambio climático con gestión, se puede observar una pequeña variación en dos de sus grupos, lo cual hace considerar la existencia de una relación directa con la variación de temperatura, al ser una de las modificaciones específicas en este escenario.

Los gradientes climáticos desempeña un papel fundamental en cuestión de aprovisionamiento de bienes y servicios ecosistémicos en España, ya que influye directamente en las condiciones ambientales y ecológicas de cada zona forestal, afectando en su crecimiento, desarrollo, capacidad de resiliencia y adaptabilidad, por tanto, se hace necesario implementar modelos de gestión que claramente mejoran los SE, enfocados en una parte a mantener o proliferar la biodiversidad de ecosistemas que según varios estudios, sirve como control de plagas y enfermedades, siendo uno de los beneficios del *Pinus halepensis* al ser una especie que ayuda a fijar el suelo, colonizadora de áreas degradadas y resistente a los episodios de sequía propios de la Península Ibérica, y por otro, a cubrir las necesidades del ser humano en cuanto a la disponibilidad de agua (calidad y cantidad), como socioeconómicos. Según los resultados, si se quiere obtener agua (valorizar el SE agua) se debe focalizar los esfuerzos en las zonas pertenecientes al primer y cuarto grupo del Dendograma, tanto para gestión como para cambio climático. Para el caso del C, se debe tomar en cuenta su Dendograma, debido a que sus valores óptimos, cambian de grupo en cada clúster, por ejemplo, en la situación inicial están presentes en el primer y tercer grupo, para la gestión, están presentes en el primer y segundo grupo y para cambio climático cambian al segundo y cuarto grupo.

En este último apartado, una de las opciones viables observadas en el presente estudio, se centra en un modelo de gestión adecuado mediante un aclarado que, además de beneficiar en el almacenamiento de agua, ayuda en la reducción del combustible vegetal, al ser el principal factor en la proliferación de incendios forestales a los que España se enfrenta anualmente con la pérdida de miles de hectáreas que, en cuestión de minutos puede liberar el C que almacenaron durante años, ahondado por los efectos del cambio climático que en la actualidad es uno de los mayores desafíos a los que se enfrenta el planeta.

Finalmente, el cuantificar y evaluar los servicios ecosistémicos de los bosques en la actualidad, es fundamental para poder proporcionar una base de información lo más apegada a la realidad de una zona, región o país, con el objetivo de servir de soporte para la toma de decisiones por parte de los planificadores o gestores, en post de los escenarios más favorables.



## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alvarez-Uria, P. (2011). Los bosques en España. Capítulo Especial del informe Biodiversidad en España 2011. (January 2011), 326–401.
- Ayuntamiento. Huesca. (2011). CATALOGO DE ÁRBOLES Y ARBOLEDAS SINGULARES - HUESCA. Pino Carrasco Parque del Isuela (pp. 1–9). pp. 1–9. Huesca.
- Cabrera, J. W. (2012). Validación de Modelos Hidrológicos. Instituto Para La Mitigación de Los Efectos Del Fenómeno El Niño - Universidad Nacional de Ingeniería, 4. Retrieved from <http://www.imefen.uni.edu.pe/modhidro.htm>
- De las Heras, J., Alfaro-Sánchez, R., Hernández-Tecles, E., Hedro, J., & Moya, D. (2011). RESTAURACIÓN Y MANEJO DE PINARES DE PINO CARRASCO TRAS INCENDIO EN EL SURESTE DE LA PENÍNSULA IBÉRICA. 63–79.
- FAO, & PNUMA. (2020). El estado de los bosques del mundo. Roma.
- Fernández, R. J., & Trillo, N. (2005). La textura del suelo como fuente de heterogeneidad ; sus efectos sobre la oferta de agua para las plantas. Researchgate, (January 2005), 171–192. Retrieved from [https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Fernandez-10/publication/319872937\\_La\\_textura\\_del\\_suelo\\_como\\_fuente\\_de\\_heterogeneidad\\_sus\\_efectos\\_sobre\\_la\\_oferta\\_de\\_agua\\_para\\_las\\_plantas/links/59be7c51a6fdcca8e56cacfc/La-textura-del-suelo-como-fuente-de-hete](https://www.researchgate.net/profile/Roberto-Fernandez-10/publication/319872937_La_textura_del_suelo_como_fuente_de_heterogeneidad_sus_efectos_sobre_la_oferta_de_agua_para_las_plantas/links/59be7c51a6fdcca8e56cacfc/La-textura-del-suelo-como-fuente-de-hete)
- Ferriol, M. M. (2020). El pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). Ecosistemas Agroforestales, 1, 1–9.
- Harper, D., Zalewski, M., & Pacini, N. (2008). Ecohydrology: Processes, Models and Case Studies (CAB Intern). UK, USA: British Library, London, UK.
- Herrero Méndez, A., & Zavala Gironés, M. Á. (2015). LOS BOSQUES Y LA BIODIVERSIDAD FRENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO : Impactos , Vulnerabilidad y Adaptación en España Informe de Evaluación (Ministerio).
- Hidy, D., Barcza, Z., Hollós, R., Dobor, L., Ács, T., Zacháry, D., ... Fodor, N. (2022). Soil-related developments of the Biome-BGCMuSo v6.2 terrestrial ecosystem model. Geoscientific Model Development, 15(5), 2157–2181. <https://doi.org/10.5194/gmd-15-2157-2022>

- Hidy, D., Barcza, Z., Hollós, R., Thornton, P. E., Running, S. W., & Fodor, N. (2018). User 's Guide for Biome -BGCMuSo 5 . 0. 1–66.
- Hidy, D., Barcza, Z., MarjanoviÄ, H., Sever, M. Z. O., Dobor, L., Gelybó, G., ... Nagy, Z. (2016). Terrestrial ecosystem process model Biome-BGCMuSo v4.0: Summary of improvements and new modeling possibilities. *Geoscientific Model Development*, 9(12), 4405–4437. <https://doi.org/10.5194/gmd-9-4405-2016>
- Ignazi, G. Mathiasen, P. Premoli, A. C. (2019). Gradientes climáticos modelan la diversidad genética en especies leñosas de amplia distribución: el caso de *Nothofagus pumilio* en los Andes del sur. *Ecosistemas*, 28(2), 35–47.
- IPCC. (2023). *Climate Change 2023: Synthesis Report | UNEP - UN Environment Programme*. Retrieved from <https://www.unep.org/resources/report/climate-change-2023-synthesis-report>
- Maia de Andrade, E., De Queiroz Palácio, H. A., Dos Santos, J. C. N., Brasil, J. B., & Navarro Hevia, J. (2019). Procesos ecohidrológicos y servicios ecosistémicos en regiones secas. *Cuadernos de La Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 45(1), 241–250. <https://doi.org/10.31167/csecfv0i45.19510>
- Medrano, H., Bota, J., Cifre, J., Flexas, J., Ribas-Corbó, M., & Gulías, J. (2007). Eficiencia en el uso del agua por las plantas. (0213–4691).
- Moreno Rodríguez, José Manuel; R. Urbieto, Itziar; Bedia, Joaquín; Gutiérrez, J. M. (2015). Los incendios forestales en España ante al cambio climático. *Los Bosques y La Biodiversidad Frente Al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación En España*, 581–588. Retrieved from <https://ruidera.uclm.es/xmlui/handle/10578/8179>
- Moreno, A. V. (2017). Análisis de las transiciones de los cambios de uso y cobertura del suelo mediante técnicas estadísticas y sistemas de información geográfica de los años (2001-2016) en el Cantón Chambo, provincia de Chimborazo (Tesis de Pregrado). Universidad Nacional de Chimborazo, Riobamba, Ecuador.
- Mosquera, H., Ramos, Y., & Deivís, B. (2007). Cuantificación de la caída de hojarasca como medida de la productividad primaria neta en un bosque pluvial tropical en Salero, Chocó, Colombia. *Revista Institucional Universidad Tecnológica Del Chocó*, (26), 28–41. Retrieved from <http://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/2544438.pdf>

- Murga-Orrillo, H., Jorge, M. F. C., Abanto-Rodríguez, C., & Lobo, F. D. A. (2021). Altitudinal gradient and its influence on the edofoclimatic characteristics of tropical forests. *Madera y Bosques*, 27(3), 1–13. <https://doi.org/10.21829/myb.2021.2732271>
- Olivar, J., Bogino, S., Rathgeber, C., Ordoñez, C., Leporati, J., & Bravo, F. (2013). Efectos de distintas intensidades de clara en el crecimiento secundario del pino carrasco (*Pinus halepensis*) y análisis de la influencia de las variables climáticas a escala inter e intra-anual. (1), 1–14.
- Pueyo, Y. (2013). Aportación de los modelos ecohidrológicos con feedbacks al conocimiento del funcionamiento de los ecosistemas de zonas áridas y semi-áridas. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 39(2), 243–258. <https://doi.org/10.18172/cig.1990>
- Ratcliffe, S., Ruiz-Benito, P., Kändler, G., & Zavala, M. A. (2016). Challenges and opportunities in the use of National Forest Inventories for the study of the relationship between biodiversity and ecosystem services supply in forests. *Ecosistemas*, 25(3), 60–69. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-3.07>
- Rivera, E., Sánchez, M., & Domínguez, H. (2018). pH como factor de crecimiento en plantas. *Revista de Iniciación Científica*, 4, 101–105. <https://doi.org/10.33412/rev-ric.v4.0.1829>
- Rosado-Carhuacho, S. (2015). Rocas que favorecen la infiltración del agua, efectos en el comportamiento geomecánico Mina Zoila- Cerro de Pasco. 1–130. Retrieved from <http://hdl.handle.net/20.500.12894/1367>
- Roselló Elena, R. (1997). Clasificación biogeoclimática de España peninsular y balear. Madrid.
- Rucks, L., García, F., Kaplán, A., Ponce de León, J., & Hill, M. (2004). Propiedades físicas del suelo. *Transactions of the Faraday Society*, 64, 3358–3360. <https://doi.org/10.1039/TF9686403358>
- Ruiz-Benito, P., Herrero, A., & Zavala, M. . (2013). Vulnerabilidad de los boques españoles frente al Cambio Climático: evaluación mediante modelos. 1–9.
- Ruiz Pérez, M., García Fernández, C., & Sayer, J. A. (2007). Los servicios ambientales de los bosques. *Ecosistemas*, 16(3), 81–90. Retrieved from <http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=509&I>
- Santana, V., Alloz, J., Baeza, M., Moghli, A., Morcillo, L., Rodríguez, E., ... Vallejo, V. (2022). Elección de especies y tratamientos de gestión para aumentar la resiliencia en

pinares de pino carrasco. 1-41.

## ANEXOS

### Datos climáticos de la parcela FID\_0

year	yday	Tmax (deg C)	Tmin (deg C)	Tday (deg C)	prcp (cm)	VPD (Pa)	srad (W m- 2)	daylen (s)
1992	1	9.44	5.73	7.59	0.70	854.44	33.65	33180
1992	2	7.08	4.08	5.58	0.10	768.96	64.98	33240
1992	3	7.30	2.31	4.81	0.30	665.34	63.86	33300
1992	4	6.56	-0.59	2.99	0.00	620.01	98.87	33360
1992	5	8.29	-0.03	4.13	0.00	648.44	82.35	33420
1992	6	9.25	6.07	7.66	0.00	806.62	63.00	33480
1992	7	8.56	1.80	5.18	0.00	675.52	84.82	33540
1992	8	8.45	0.80	4.63	0.00	691.70	87.95	33600
1992	9	7.78	0.54	4.16	0.00	692.85	78.69	33720
1992	10	6.31	0.04	3.18	0.00	639.70	86.00	33780
1992	11	5.36	-2.39	1.48	0.00	555.26	107.04	33840
1992	12	6.64	-3.24	1.70	0.00	609.69	109.38	33900
1992	13	7.28	-2.41	2.43	0.00	663.14	108.42	34020
1992	14	2.40	-1.24	0.58	0.00	603.98	55.79	34080
1992	15	5.95	-0.26	2.84	0.00	677.21	62.57	34140
1992	16	3.38	0.81	2.10	0.00	637.25	55.89	34320
1992	17	2.93	-0.29	1.32	0.00	581.83	38.57	34380
1992	18	7.58	1.07	4.33	0.50	658.17	69.37	34500
1992	19	6.68	-2.11	2.29	0.00	566.93	109.67	34560
1992	20	5.49	-3.04	1.22	0.00	529.96	100.38	34680
1992	21	6.09	-4.09	1.00	0.00	565.93	117.09	34800
1992	22	6.06	-2.94	1.56	0.00	577.63	118.07	34920
1992	23	10.06	-1.90	4.08	0.00	746.39	83.35	35040
1992	24	11.79	6.36	9.07	0.00	1015.16	48.57	35160
1992	25	12.05	6.42	9.24	0.10	956.55	59.37	35280
1992	26	8.68	5.24	6.96	0.40	794.09	70.02	35400
1992	27	9.90	4.96	7.43	2.10	885.64	28.29	35520
1992	28	6.70	0.34	3.52	0.40	581.94	114.16	35640
1992	29	7.20	0.15	3.67	0.30	622.48	82.54	35760
1992	30	9.38	5.29	7.34	0.10	777.21	56.29	35940
1992	31	9.07	1.90	5.48	0.70	730.01	34.72	36060
1992	32	7.95	1.89	4.92	0.10	694.17	63.80	36180
1992	33	12.70	7.62	10.16	0.60	988.43	58.23	36360
1992	34	12.16	3.90	8.03	0.10	828.85	78.07	36480
1992	35	10.29	3.04	6.67	0.00	871.43	93.92	36600
1992	36	12.38	1.61	6.99	0.00	835.24	132.47	36720
1992	37	11.15	7.47	9.31	0.20	850.58	93.82	36900
1992	38	12.04	7.95	10.00	0.00	877.26	94.59	37020

1992	39	13.82	8.57	11.20	0.00	1126.27	59.23	37200
1992	40	14.43	10.61	12.52	0.00	1177.01	55.18	37320
1992	41	13.16	7.44	10.30	0.10	985.57	60.14	37500
1992	42	8.30	3.80	6.05	0.00	690.63	100.63	37620
1992	43	10.93	7.54	9.24	0.20	852.82	61.50	37800
1992	44	14.79	7.87	11.33	0.00	939.59	138.60	37980
1992	45	12.23	5.13	8.68	0.00	858.26	133.47	38100
1992	46	14.43	3.32	8.88	0.00	954.88	148.43	38220
1992	47	10.45	3.52	6.99	0.00	926.05	89.66	38400
1992	48	12.58	1.34	6.96	0.00	858.09	127.20	38580
1992	49	12.22	1.87	7.04	0.00	812.83	120.08	38760
1992	50	13.64	8.19	10.92	0.10	984.21	89.38	38880
1992	51	14.16	5.29	9.72	0.00	1023.32	109.57	39000
1992	52	15.30	7.21	11.25	0.20	1096.22	114.24	39180
1992	53	16.01	5.89	10.95	0.00	1056.22	161.48	39360
1992	54	18.24	5.48	11.86	0.00	1002.03	171.96	39540
1992	55	18.03	5.36	11.69	0.00	963.81	169.28	39660
1992	56	14.45	7.36	10.90	0.00	908.27	154.19	39840
1992	57	15.07	6.44	10.75	0.00	1002.28	117.49	40020
1992	58	16.81	7.27	12.04	0.00	1074.44	160.53	40200
...	...	...	...	...	...	...	...	...

### Datos climáticos de la parcela FID\_1

year	yday	Tmax (deg C)	Tmin (deg C)	Tday (deg C)	prcp (cm)	VPD (Pa)	srad (W m- 2)	daylen (s)
1992	1	8.67	5.73	7.20	0.70	850.79	31.17	33180
1992	2	7.91	3.25	5.58	0.10	748.49	73.96	33240
1992	3	7.22	2.26	4.74	0.80	670.44	67.93	33300
1992	4	6.31	-0.35	2.98	0.00	610.19	99.17	33360
1992	5	8.13	-0.60	3.77	0.00	616.05	93.62	33420
1992	6	9.21	4.68	6.94	0.00	761.01	71.93	33480
1992	7	7.73	2.48	5.11	0.00	689.05	68.42	33540
1992	8	8.42	1.73	5.08	0.00	693.29	73.05	33600
1992	9	7.28	0.58	3.93	0.00	675.90	83.00	33720
1992	10	6.12	-0.03	3.05	0.00	604.11	94.27	33780
1992	11	5.83	-2.11	1.86	0.00	548.41	108.88	33840
1992	12	7.74	-3.44	2.15	0.00	639.63	109.95	33900
1992	13	7.29	-2.36	2.47	0.00	679.28	107.74	34020
1992	14	1.89	-1.98	-0.04	0.00	605.95	53.85	34080
1992	15	5.80	-0.97	2.42	0.00	682.23	64.07	34140
1992	16	3.62	0.01	1.81	0.00	643.98	63.57	34320
1992	17	2.31	-1.91	0.20	0.00	569.43	62.81	34380
1992	18	6.91	0.63	3.77	0.40	643.37	71.49	34500

1992	19	6.23	-0.90	2.66	0.00	546.53	106.48	34560
1992	20	6.18	-3.46	1.36	0.00	531.03	108.04	34680
1992	21	6.35	-3.50	1.43	0.00	544.19	118.40	34800
1992	22	6.06	-2.18	1.94	0.00	550.22	116.45	34920
1992	23	10.28	-1.63	4.32	0.00	715.90	86.51	35040
1992	24	10.92	7.21	9.06	0.10	1027.56	36.58	35160
1992	25	11.79	6.89	9.34	0.10	945.42	54.33	35280
1992	26	9.18	6.00	7.59	0.40	810.03	69.92	35400
1992	27	10.19	5.17	7.68	1.70	881.00	43.88	35520
1992	28	6.66	0.36	3.51	0.60	589.42	105.09	35640
1992	29	7.71	-0.09	3.81	0.30	598.68	101.53	35760
1992	30	9.36	5.08	7.22	0.10	756.17	58.15	35940
1992	31	9.41	1.98	5.70	0.60	740.62	40.29	36060
1992	32	7.74	1.94	4.84	0.10	668.23	77.68	36180
1992	33	12.75	7.68	10.21	0.40	962.72	59.03	36360
1992	34	11.70	3.40	7.55	0.10	856.87	51.85	36480
1992	35	11.05	2.58	6.81	0.00	878.39	93.59	36600
1992	36	12.87	2.42	7.64	0.00	798.02	134.89	36720
1992	37	11.38	7.85	9.61	0.10	840.82	87.54	36900
1992	38	12.60	7.35	9.98	0.00	852.04	104.92	37020
1992	39	13.50	7.72	10.61	0.00	1066.13	63.91	37200
1992	40	15.43	10.10	12.77	0.00	1184.23	65.28	37320
1992	41	12.71	8.03	10.37	0.10	986.91	67.82	37500
1992	42	8.68	4.93	6.80	0.10	714.31	107.97	37620
1992	43	10.61	7.32	8.97	0.20	847.87	61.51	37800
1992	44	14.28	7.82	11.05	0.00	922.18	138.69	37980
1992	45	11.83	4.81	8.32	0.00	826.95	144.96	38100
1992	46	13.56	3.13	8.34	0.00	909.36	150.01	38220
1992	47	11.46	2.94	7.20	0.00	911.42	115.12	38400
1992	48	13.39	0.83	7.11	0.00	870.41	135.72	38580
1992	49	12.70	1.65	7.18	0.00	805.69	125.57	38760
1992	50	13.73	7.49	10.61	0.10	961.09	95.75	38880
1992	51	14.74	4.44	9.59	0.00	1014.19	120.86	39000
1992	52	15.57	6.87	11.22	0.30	1087.95	135.66	39180
1992	53	16.99	5.57	11.28	0.00	1019.30	165.16	39360
1992	54	19.20	4.83	12.01	0.00	916.32	175.62	39540
1992	55	18.65	4.68	11.67	0.00	913.50	174.74	39660
1992	56	13.93	6.93	10.43	0.00	871.95	147.64	39840
1992	57	13.83	5.60	9.71	0.00	938.58	112.27	40020
1992	58	16.46	7.10	11.78	0.00	1065.90	151.54	40200
...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Datos climáticos de la parcela FID\_2

year	yday	Tmax (deg C)	Tmin (deg C)	Tday (deg C)	prcp (cm)	VPD (Pa)	srad (W m- 2)	daylen (s)
1992	1	8.83	5.57	7.20	0.70	844.10	31.05	33180
1992	2	7.57	3.83	5.70	0.10	757.87	71.39	33240
1992	3	7.14	1.60	4.37	0.70	659.65	66.74	33300
1992	4	6.25	-0.39	2.93	0.00	601.91	98.25	33360
1992	5	8.16	-1.04	3.56	0.00	610.92	89.83	33420
1992	6	9.18	5.01	7.10	0.00	751.81	69.97	33480
1992	7	7.93	1.92	4.93	0.00	658.77	72.46	33540
1992	8	8.51	1.12	4.82	0.00	660.78	76.67	33600
1992	9	7.02	0.57	3.80	0.00	665.96	79.76	33720
1992	10	6.03	-0.19	2.92	0.00	597.27	91.07	33780
1992	11	5.50	-2.65	1.43	0.00	538.00	107.43	33840
1992	12	7.12	-4.08	1.52	0.00	617.10	108.92	33900
1992	13	7.23	-3.11	2.06	0.00	663.98	106.74	34020
1992	14	1.73	-1.95	-0.11	0.00	593.99	51.72	34080
1992	15	5.26	-1.03	2.12	0.00	668.39	63.98	34140
1992	16	3.29	-0.16	1.56	0.00	626.06	60.05	34320
1992	17	2.12	-1.58	0.27	0.00	564.02	55.32	34380
1992	18	7.12	0.68	3.90	0.40	637.14	69.38	34500
1992	19	6.12	-1.22	2.45	0.00	542.47	105.92	34560
1992	20	5.82	-4.02	0.90	0.00	516.54	105.35	34680
1992	21	6.18	-4.17	1.01	0.00	550.65	116.85	34800
1992	22	5.95	-3.25	1.35	0.00	552.77	116.11	34920
1992	23	10.37	-2.23	4.07	0.00	709.57	85.28	35040
1992	24	11.19	7.03	9.11	0.10	1015.76	39.09	35160
1992	25	11.86	6.73	9.30	0.10	937.48	55.43	35280
1992	26	8.99	6.10	7.55	0.40	799.02	69.24	35400
1992	27	9.92	4.87	7.40	1.80	870.14	39.75	35520
1992	28	6.64	-0.12	3.26	0.50	575.16	106.34	35640
1992	29	7.37	0.04	3.70	0.30	588.56	96.98	35760
1992	30	9.38	5.09	7.23	0.10	746.46	58.26	35940
1992	31	9.55	1.85	5.70	0.60	730.59	38.76	36060
1992	32	7.81	1.86	4.83	0.10	662.15	75.24	36180
1992	33	12.80	7.61	10.20	0.40	956.78	57.83	36360
1992	34	11.89	3.42	7.66	0.10	835.32	57.04	36480
1992	35	11.68	2.30	6.99	0.00	891.34	91.23	36600
1992	36	12.73	3.28	8.01	0.00	782.62	133.03	36720
1992	37	11.34	7.61	9.48	0.10	824.51	88.10	36900
1992	38	12.52	7.67	10.10	0.00	846.57	102.63	37020
1992	39	13.98	8.22	11.10	0.00	1092.85	64.63	37200
1992	40	15.50	10.47	12.99	0.00	1183.41	63.48	37320



1992	41	12.78	7.91	10.34	0.10	972.36	65.26	37500
1992	42	8.32	4.60	6.46	0.10	686.40	106.28	37620
1992	43	10.64	7.30	8.97	0.20	835.09	62.14	37800
1992	44	14.12	7.71	10.92	0.00	911.94	136.94	37980
1992	45	11.75	5.03	8.39	0.00	831.51	140.35	38100
1992	46	13.56	3.08	8.32	0.00	912.56	148.35	38220
1992	47	10.97	2.07	6.52	0.00	878.04	106.81	38400
1992	48	13.49	0.32	6.90	0.00	873.76	132.29	38580
1992	49	12.40	1.02	6.71	0.00	779.36	122.50	38760
1992	50	13.59	7.81	10.70	0.10	949.66	92.50	38880
1992	51	14.45	3.66	9.06	0.00	979.90	117.61	39000
1992	52	15.50	6.44	10.97	0.30	1066.40	129.50	39180
1992	53	16.64	6.20	11.42	0.00	1011.70	162.22	39360
1992	54	18.65	5.73	12.19	0.00	894.44	172.26	39540
1992	55	18.32	4.20	11.26	0.00	915.00	170.89	39660
1992	56	13.92	6.93	10.42	0.00	843.41	148.44	39840
1992	57	14.15	5.76	9.95	0.00	945.23	111.30	40020
1992	58	16.40	7.19	11.79	0.00	1068.27	151.52	40200
...	...	...	...	...	...	...	...	...

### Datos climáticos de la parcela FID\_3

year	yday	Tmax (deg C)	Tmin (deg C)	Tday (deg C)	prcp (cm)	VPD (Pa)	srad (W m- 2)	daylen (s)
1992	1	8.66	5.73	7.19	0.70	851.22	31.38	33180
1992	2	7.93	3.24	5.58	0.10	747.51	74.37	33240
1992	3	7.21	2.24	4.73	0.80	671.23	68.08	33300
1992	4	6.31	-0.35	2.98	0.00	611.19	99.32	33360
1992	5	8.10	-0.63	3.74	0.00	615.63	94.09	33420
1992	6	9.20	4.64	6.92	0.00	760.08	72.33	33480
1992	7	7.72	2.49	5.10	0.00	690.97	68.08	33540
1992	8	8.42	1.74	5.08	0.00	694.09	72.56	33600
1992	9	7.26	0.57	3.92	0.00	675.50	83.41	33720
1992	10	6.12	-0.04	3.04	0.00	603.16	94.58	33780
1992	11	5.83	-2.11	1.86	0.00	548.33	109.11	33840
1992	12	7.75	-3.46	2.15	0.00	640.88	110.13	33900
1992	13	7.29	-2.38	2.45	0.00	679.14	107.89	34020
1992	14	1.87	-1.97	-0.05	0.00	606.95	54.07	34080
1992	15	5.82	-0.97	2.42	0.00	683.27	64.18	34140
1992	16	3.62	-0.03	1.80	0.00	643.54	64.20	34320
1992	17	2.29	-1.95	0.17	0.00	569.47	64.15	34380
1992	18	6.90	0.63	3.76	0.40	643.93	71.65	34500
1992	19	6.20	-0.89	2.65	0.00	545.12	106.52	34560
1992	20	6.19	-3.48	1.36	0.00	530.91	108.46	34680

1992	21	6.37	-3.50	1.43	0.00	544.15	118.60	34800
1992	22	6.06	-2.19	1.93	0.00	549.74	116.47	34920
1992	23	10.28	-1.64	4.32	0.00	713.28	86.77	35040
1992	24	10.90	7.23	9.06	0.10	1027.69	36.32	35160
1992	25	11.77	6.90	9.34	0.10	945.28	54.26	35280
1992	26	9.19	6.00	7.59	0.40	811.19	69.98	35400
1992	27	10.21	5.17	7.69	1.60	881.77	44.60	35520
1992	28	6.66	0.34	3.50	0.60	590.42	104.89	35640
1992	29	7.72	-0.10	3.81	0.30	598.15	102.32	35760
1992	30	9.36	5.06	7.21	0.10	756.07	58.30	35940
1992	31	9.42	1.97	5.70	0.60	741.53	40.81	36060
1992	32	7.73	1.93	4.83	0.10	667.65	78.19	36180
1992	33	12.75	7.68	10.22	0.40	962.16	59.29	36360
1992	34	11.68	3.40	7.54	0.10	858.38	51.27	36480
1992	35	11.01	2.57	6.79	0.00	877.14	94.10	36600
1992	36	12.87	2.42	7.65	0.00	796.83	135.16	36720
1992	37	11.39	7.85	9.62	0.00	840.88	87.59	36900
1992	38	12.62	7.34	9.98	0.00	850.77	105.46	37020
1992	39	13.50	7.70	10.60	0.00	1063.44	63.96	37200
1992	40	15.43	10.09	12.76	0.00	1183.51	65.64	37320
1992	41	12.71	8.04	10.38	0.10	987.88	68.06	37500
1992	42	8.69	4.95	6.82	0.10	715.45	108.30	37620
1992	43	10.60	7.31	8.96	0.20	848.85	61.46	37800
1992	44	14.27	7.81	11.04	0.00	921.82	138.87	37980
1992	45	11.83	4.80	8.31	0.00	825.63	145.47	38100
1992	46	13.55	3.12	8.33	0.00	907.14	150.31	38220
1992	47	11.48	2.91	7.19	0.00	909.93	116.46	38400
1992	48	13.39	0.81	7.10	0.00	871.29	136.32	38580
1992	49	12.72	1.66	7.19	0.00	805.92	125.89	38760
1992	50	13.74	7.47	10.60	0.10	961.06	95.97	38880
1992	51	14.76	4.43	9.60	0.00	1015.69	121.42	39000
1992	52	15.60	6.85	11.23	0.30	1089.79	136.14	39180
1992	53	17.01	5.55	11.28	0.00	1019.68	165.39	39360
1992	54	19.22	4.81	12.02	0.00	915.70	175.88	39540
1992	55	18.66	4.67	11.67	0.00	911.76	175.03	39660
1992	56	13.92	6.91	10.41	0.00	871.35	146.98	39840
1992	57	13.81	5.58	9.69	0.00	936.52	112.29	40020
1992	58	16.45	7.09	11.77	0.00	1065.44	151.41	40200
...	...	...	...	...	...	...	...	...

## Concentración de CO<sub>2</sub> en la atmósfera

Año	CO <sub>2</sub> (partes por millón)	Año	CO <sub>2</sub> (partes por millón)	Año	CO <sub>2</sub> (partes por millón)
1900	296.1	1941	310.4	1982	341.13
1901	296.1	1942	310.3	1983	342.78
1902	296.5	1943	310.2	1984	344.42
1903	296.8	1944	310.1	1985	345.9
1904	297.2	1945	310.1	1986	347.15
1905	297.6	1946	310.1	1987	348.93
1906	298.1	1947	310.2	1988	351.48
1907	298.5	1948	310.3	1989	352.91
1908	298.9	1949	310.5	1990	354.19
1909	299.3	1950	310.7	1991	355.59
1910	299.7	1951	311.1	1992	356.37
1911	300.1	1952	311.5	1993	357.04
1912	300.4	1953	311.9	1994	358.88
1913	300.8	1954	312.4	1995	360.88
1914	301.1	1955	313	1996	362.64
1915	301.4	1956	313.6	1997	363.76
1916	301.7	1957	314.2	1998	366.63
1917	302.1	1958	314.9	1999	368.31
1918	302.4	1959	315.79	2000	369.48
1919	302.7	1960	316.61	2001	372.59
1920	303	1961	317.33	2002	374.37
1921	303.4	1962	318.08	2003	378.04
1922	303.8	1963	318.7	2004	380.88
1923	304.1	1964	319.36	2005	383.88
1924	304.5	1965	320.02	2006	385.64
1925	305	1966	321.09	2007	385.76
1926	305.4	1967	321.99	2008	386.13
1927	305.8	1968	322.93	2009	387.37
1928	306.3	1969	324.21	2010	389.85
1929	306.8	1970	325.24	2011	391.62
1930	307.2	1971	326.06	2012	393.82
1931	307.7	1972	327.18	2013	396.48
1932	308.2	1973	328.84	2014	398.61
1933	308.6	1974	329.73	2015	401.01
1934	309	1975	330.73	2016	404.41
1935	309.4	1976	331.83	2017	406.76
1936	309.8	1977	333.25	2018	408.71
1937	310	1978	334.6	2019	411.66
1938	310.2	1979	336.85	2020	414.24
1939	310.3	1980	338.69	2021	416.45
1940	310.4	1981	339.93	2022	418.56

### Datos de pH de las 59 parcelas

Parcela_FID	pH	Parcela_FID	pH	Parcela_FID	pH
0	7.6	41	6.6	82	6.8
1	7.5	42	7.6		
2	7.8	43	7.6		
3	7.7	44	7.5		
4	7.8	45	7.5		
5	8.1	46	8.1		
6	7.9	47	7.6		
7	7.9	48	7.8		
8	7.6	49	7.6		
9	7.8	50	7.1		
10	7.4	51	7.6		
11	8.0	52	7.5		
12	7.7	53	7.7		
13	7.7	54	7.8		
14	7.4	55	7.8		
15	7.7	56	7.7		
16	7.8	57	7.6		
17	7.8	58	7.8		
18	6.9	59	7.8		
19	7.6	60	7.0		
20	7.2	61	7.0		
21	6.6	62	7.3		
22	7.5	63	7.9		
23	7.6	64	8.0		
24	7.6	65	6.7		
25	8.1	66	7.4		
26	7.4	67	7.7		
27	7.8	68	8.0		
28	7.8	69	6.6		
29	7.8	70	7.6		
30	8.0	71	7.4		
31	8.0	72	6.3		
32	8.1	73	6.6		
33	7.7	74	6.9		
34	7.5	75	6.3		
35	7.8	76	6.5		
36	7.9	77	7.4		
37	7.7	78	6.6		
38	6.9	79	6.9		
39	7.7	80	7.2		
40	7.4	81	6.4		

## Datos de porcentaje de limo bibliográfico

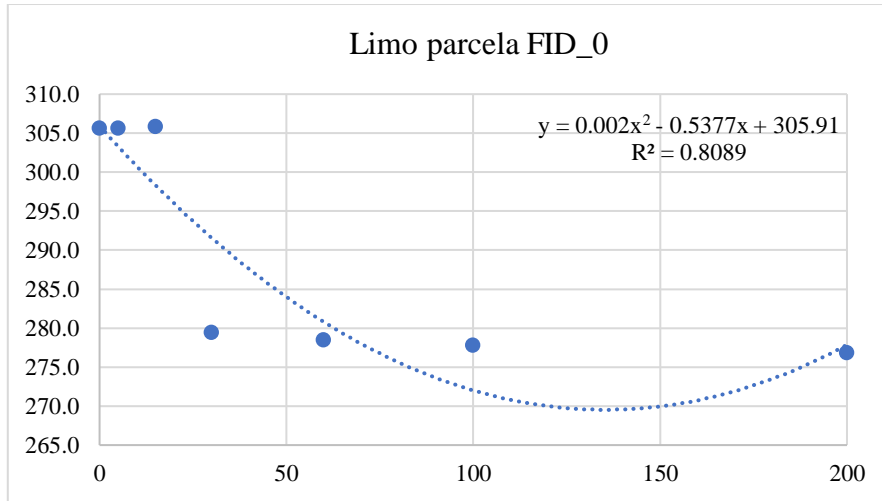
<b>FID/Profundidad (cm)</b>	<b>0-5</b>	<b>5-15</b>	<b>15-30</b>	<b>30-60</b>	<b>60-100</b>	<b>100-200</b>
0	305.6	305.9	279.5	278.5	277.8	276.8
1	343.0	342.4	333.7	326.4	322.1	316.8
2	358.6	355.9	343.4	337.1	327.5	324.1
3	379.7	381.2	366.0	354.2	345.1	334.9
4	397.6	400.4	365.9	362.1	347.5	347.7
5	446.5	444.4	445.6	438.0	431.4	417.6
6	432.6	428.0	420.2	409.6	398.6	387.6
7	305.1	305.4	284.7	268.6	266.6	269.7
8	411.1	413.3	409.5	401.0	390.6	376.7
9	316.5	317.5	311.8	309.1	303.3	303.0
10	266.5	267.4	261.1	254.7	254.5	250.9
11	405.2	402.7	396.3	391.1	386.5	376.7
12	196.8	192.9	184.4	181.6	174.6	176.5
13	407.3	418.3	387.6	361.7	357.7	347.8
15	441.3	437.6	409.5	405.9	409.9	399.5
16	445.9	442.7	423.3	415.2	409.9	400.4
17	442.4	450.2	433.5	427.7	441.0	434.0
18	410.3	413.2	411.1	400.7	393.2	381.4
19	412.7	405.0	385.9	376.9	370.5	377.0
20	341.7	355.1	353.8	328.9	312.8	313.3
21	390.4	399.4	395.9	386.9	376.7	369.2
26	436.8	441.6	431.9	416.0	410.6	405.7
31	483.4	479.2	453.7	450.0	454.4	459.1
36	472.4	468.1	447.9	442.7	442.5	438.6
37	400.0	403.1	390.1	378.7	379.4	373.6
38	403.1	404.5	387.0	373.1	377.2	368.0
39	475.7	474.8	454.4	439.7	439.9	429.8
40	366.9	370.0	355.5	345.0	355.7	348.1
41	439.8	451.0	453.5	430.6	416.8	398.5
43	390.3	383.5	379.4	367.0	366.2	356.9
45	369.3	373.0	354.5	353.1	360.9	342.8
46	343.3	342.9	340.0	337.3	336.7	342.0
47	364.8	366.9	346.6	348.0	359.5	351.4
48	343.2	343.7	320.0	331.1	334.2	340.7
49	381.9	379.3	364.0	361.0	367.4	360.0
50	382.9	380.5	370.7	372.3	382.7	378.3
51	381.9	377.2	359.0	358.5	356.8	353.7
52	361.9	363.6	336.0	331.0	332.2	330.7
62	368.5	383.3	338.4	336.9	331.9	326.6
63	444.3	441.1	421.5	423.7	419.2	417.3
64	395.6	392.5	359.8	341.5	353.8	351.0

65	409.2	421.2	392.4	388.4	385.8	387.2
66	402.3	416.3	378.8	373.5	375.2	373.2
67	343.6	347.5	318.5	300.1	297.5	301.2
68	393.7	396.6	380.4	369.6	370.3	358.5
69	369.3	369.5	350.8	348.3	343.6	337.3
70	401.6	418.7	352.1	347.2	337.5	333.9
71	371.8	358.6	319.3	312.7	313.6	310.7
72	385.0	388.8	333.5	332.2	326.1	326.8
73	352.3	366.7	304.1	301.2	293.2	295.2
74	371.7	370.4	339.3	345.6	347.9	340.2
75	380.5	387.4	321.4	318.2	310.4	315.9
76	339.6	346.4	305.2	309.3	301.6	301.4
77	380.4	377.5	350.8	364.7	366.8	366.7
78	295.0	295.9	269.5	272.6	268.7	268.4
79	338.0	341.8	287.6	296.3	297.5	291.2
80	382.9	380.5	353.0	365.3	358.2	355.6
81	366.0	363.7	332.7	339.4	335.1	337.9
82	340.1	340.3	298.9	301.1	302.2	305.5

**Regresión polinómica y porcentaje de limo proyectado.**

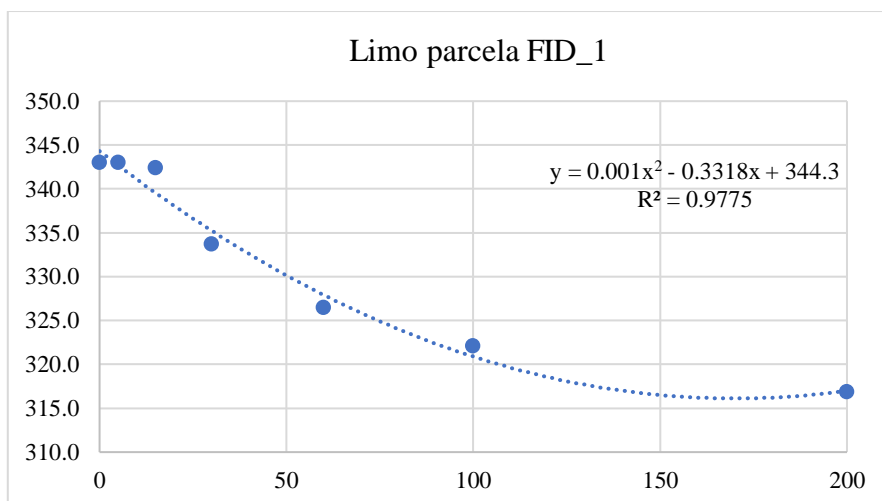
**PARCELA FID\_0**

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
0	0	305.6	0	30.6
	5	305.6	3	30.4
	15	305.9	10	30.1
	30	279.5	30	29.2
	60	278.5	60	28.1
	100	277.8	90	27.4
	200	276.8	120	27.0
			150	27.0
			200	27.0
			400	27.0
		1000	27.0	



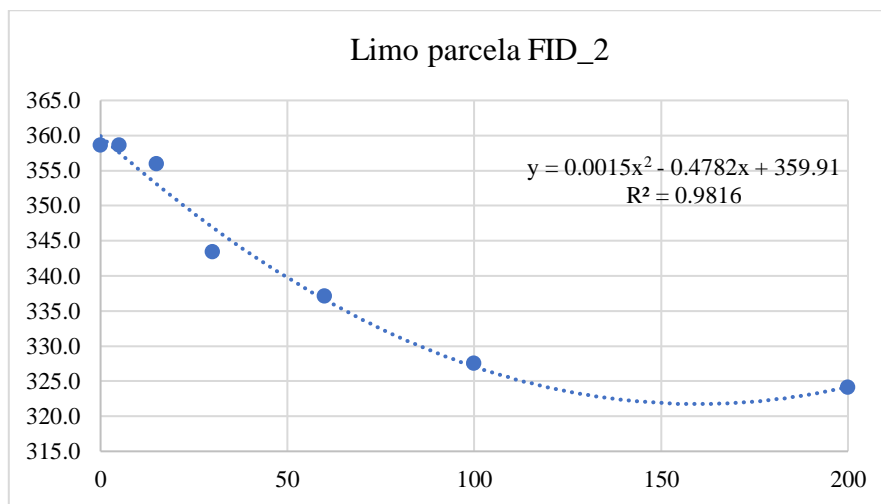
**PARCELA FID\_1**

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
1	0	343.0	0	34.4
	5	343.0	3	34.3
	15	342.4	10	34.1
	30	333.7	30	33.5
	60	326.4	60	32.8
	100	322.1	90	32.3
	200	316.8	120	31.9
			150	31.7
			200	31.7
			400	31.7
		1000	31.7	



### PARCELA FID\_2

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
2	0	358.6	0	36.0
	5	358.6	3	35.8
	15	355.9	10	35.5
	30	343.4	30	34.7
	60	337.1	60	33.7
	100	327.5	90	32.9
	200	324.1	120	32.4
			150	32.2
			200	32.2
			400	32.2
		1000	32.2	

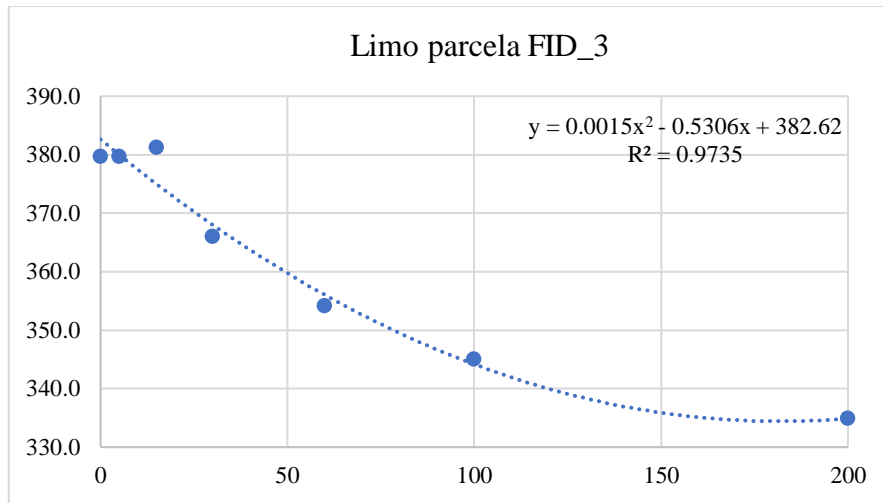


### PARCELA FID\_3

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
3	0	379.7	0	38.3
	5	379.7	3	38.1
	15	381.2	10	37.7
	30	366.0	30	36.8
	60	354.2	60	35.6
	100	345.1	90	34.7
	200	334.9	120	34.1
			150	33.7
			200	33.7



400 33.7  
1000 33.7



**Datos de porcentaje de arena bibliográfico**

<b>FID/Profundidad (cm)</b>	<b>0-5</b>	<b>5-15</b>	<b>15-30</b>	<b>30-60</b>	<b>60-100</b>	<b>100-200</b>
0	415.9	419.7	423.2	419.7	419.4	421.0
1	313.2	312.7	329.6	334.6	339.4	343.2
2	333.1	331.9	349.5	347.2	352.0	359.6
3	363.4	366.0	373.1	377.7	379.9	393.0
4	363.8	367.7	375.6	373.8	384.0	387.4
5	257.1	254.6	269.7	276.5	286.8	299.2
6	288.5	283.5	302.3	308.9	320.9	337.5
7	422.8	430.4	416.3	408.4	413.0	413.2
8	288.7	291.4	299.8	306.4	313.0	330.9
9	402.6	408.4	415.7	413.0	415.2	426.4
10	459.9	455.1	459.9	451.7	451.1	459.8
11	306.9	303.8	316.8	326.5	336.0	339.4
12	368.0	370.9	371.7	359.5	375.1	384.7
13	333.4	341.0	327.3	305.4	307.5	322.6
15	324.2	332.7	309.9	299.9	298.9	278.3
16	281.5	282.7	277.5	268.8	267.1	261.3
17	254.8	254.4	244.3	242.9	240.4	247.7
18	328.2	328.3	326.8	317.5	330.3	337.0
19	306.4	312.5	298.9	286.1	282.1	277.1
20	310.8	328.4	334.9	316.2	328.5	330.0
21	311.3	317.9	322.0	316.9	325.7	330.7
26	302.2	304.4	301.9	297.4	299.4	301.9
31	239.1	234.8	231.3	228.5	233.5	235.7
36	290.0	282.9	292.3	291.1	298.2	300.0

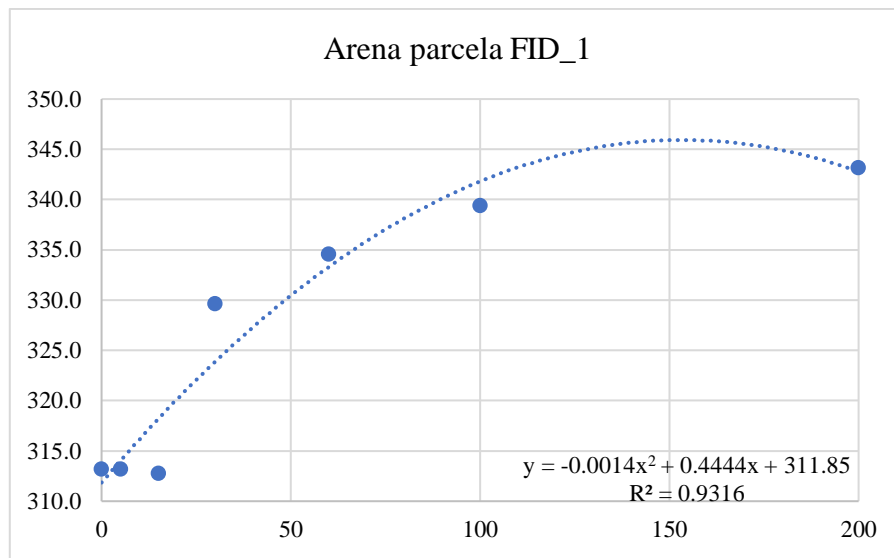
37	372.9	370.9	371.4	371.3	375.0	383.9
38	364.6	365.5	366.2	358.7	359.7	368.7
39	328.9	326.9	324.2	317.7	325.5	336.1
40	391.1	390.4	393.9	389.5	392.5	403.6
41	359.1	356.4	356.8	356.8	369.9	380.5
43	283.4	287.1	284.9	277.1	272.7	283.5
45	392.3	385.5	413.7	422.2	427.0	443.4
46	359.3	361.1	369.5	375.1	372.5	372.1
47	373.9	372.4	382.7	383.5	384.8	397.1
48	350.7	347.8	378.7	384.1	387.6	386.7
49	383.7	379.6	386.6	381.7	386.5	397.6
50	371.7	363.9	391.1	398.1	399.9	409.2
51	380.5	380.6	385.4	378.0	385.9	388.6
52	381.2	380.8	375.5	366.3	380.7	388.2
62	379.3	365.5	384.0	385.8	378.5	379.5
63	259.0	244.0	254.5	264.9	281.7	288.6
64	353.7	352.7	335.8	335.2	344.3	359.5
65	344.8	338.7	345.1	347.3	353.6	358.1
66	351.9	344.7	345.8	346.6	361.1	374.7
67	377.7	373.4	365.8	365.3	389.9	417.3
68	288.8	288.2	291.7	279.5	282.7	291.5
69	451.9	454.1	454.0	461.9	464.0	470.9
70	350.9	351.2	352.5	354.6	369.6	379.2
71	333.6	326.4	320.7	323.0	327.5	330.0
72	322.7	315.4	342.2	341.0	345.0	347.3
73	378.7	372.7	390.4	395.7	411.0	415.8
74	330.8	330.7	333.9	331.4	332.8	329.5
75	349.1	340.4	378.7	374.4	379.0	381.5
76	392.6	381.7	398.8	398.9	409.0	412.1
77	298.0	294.4	296.3	299.3	298.8	300.6
78	453.0	446.6	465.1	457.4	468.5	473.2
79	431.8	416.0	461.0	454.5	456.2	460.2
80	302.4	290.9	293.9	298.7	303.1	306.5
81	306.4	285.0	311.8	320.5	325.9	336.5
82	358.6	344.9	368.1	374.3	372.8	377.9

**Regresión polinómica y porcentaje de arena proyectado.**

**PARCELA FID\_1**

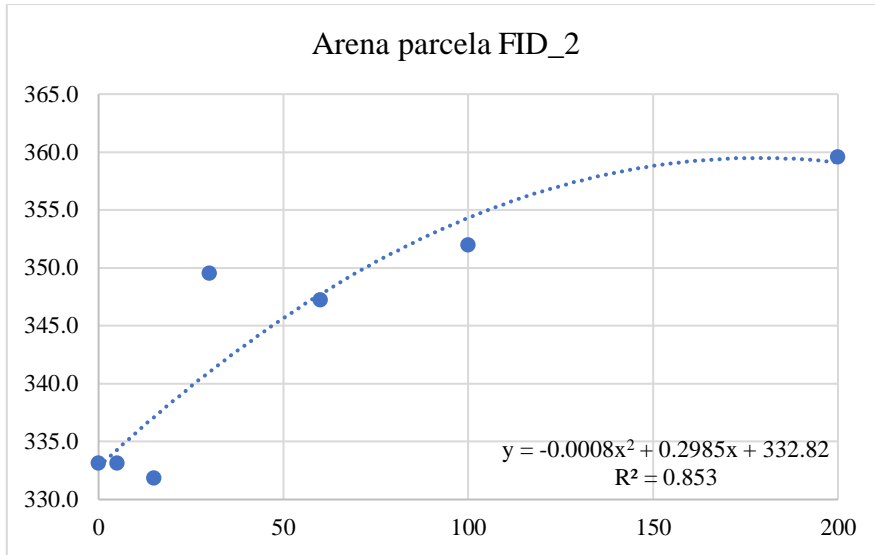
Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
1	0	313.2	0	31.2

5	313.2	3	31.3
15	312.7	10	31.6
30	329.6	30	32.4
60	334.6	60	33.3
100	339.4	90	34.1
200	343.2	120	34.5
		150	34.7
		200	34.7
		400	34.7
		1000	34.7



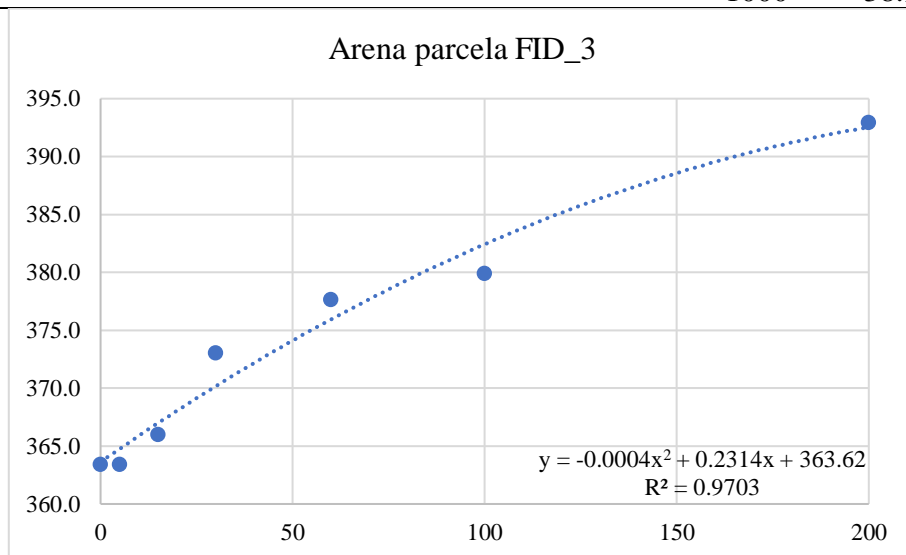
### PARCELA FID\_2

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
2	0	333.1	0	33.3
	5	333.1	3	33.4
	15	331.9	10	33.6
	30	349.5	30	34.1
	60	347.2	60	34.8
	100	352.0	90	35.3
	200	359.6	120	35.7
			150	36.0
			200	36.0
			400	36.0
		1000	36.0	



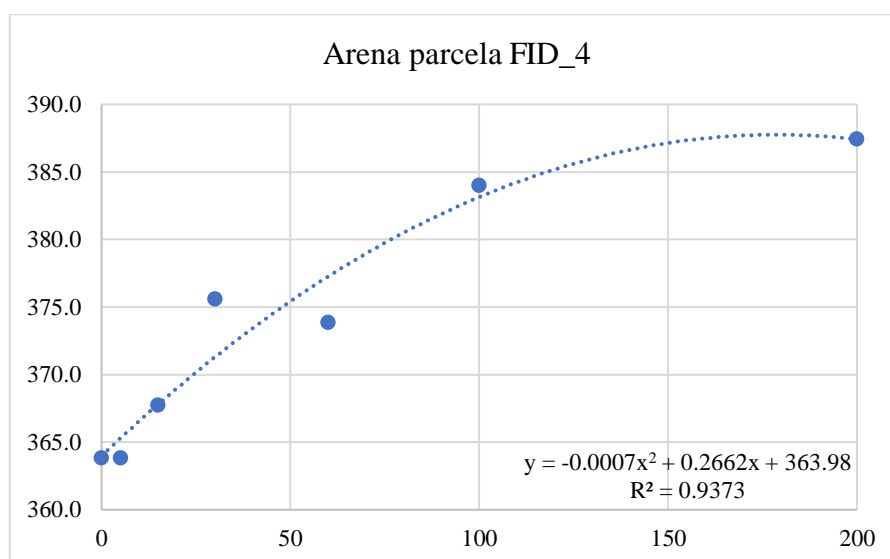
**PARCELA FID\_3**

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
3	0	363.4	0	36.4
	5	363.4	3	36.4
	15	366.0	10	36.6
	30	373.1	30	37.0
	60	377.7	60	37.6
	100	379.9	90	38.1
	200	393.0	120	38.6
			150	38.9
			200	38.9
			400	38.9
		1000	38.9	



### PARCELA FID\_4

Parcela FID	Bibliográfico		Proyectado	
	Profundidad (cm)	Dato (%)	Profundidad (cm)	Dato (%)
4	0	363.8	0	36.4
	5	363.8	3	36.5
	15	367.7	10	36.7
	30	375.6	30	37.1
	60	373.8	60	37.7
	100	384.0	90	38.2
	200	387.4	120	38.6
			150	38.8
			200	38.8
			400	38.8
		1000	38.8	



### Segundos de luz por provincias

#### Provincia de Valladolid

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	33180	36180	40500	45720	50460	54000	54540	51840	47220	42360	37380	33780
2	33240	36360	40680	45840	50580	54000	54480	51720	47100	42120	37260	33720
3	33300	36480	40800	46020	50760	54120	54480	51600	46920	42000	37080	33660
4	33360	36600	41040	46200	50880	54180	54420	51420	46740	41820	36960	33600
5	33420	36720	41160	46320	51000	54300	54360	51300	46620	41640	36840	33540
6	33480	36900	41340	46500	51120	54300	54300	51180	46440	41520	36660	33480
7	33540	37020	41520	46740	51300	54360	54240	51060	46260	41340	36540	33360
8	33600	37200	41640	46860	51420	54360	54180	50880	46140	41160	36420	33300

9	33720	37320	41820	47040	51540	54480	54120	50760	45960	41040	36300	33240
10	33780	37500	42060	47220	51660	54540	54000	50640	45780	40860	36120	33180
11	33840	37620	42180	47340	51780	54540	54000	50460	45660	40680	36000	33180
12	33900	37800	42360	47520	51900	54600	53940	50340	45480	40560	35880	33180
13	34020	37980	42540	47700	52020	54600	53820	50220	45300	40320	35760	33120
14	34080	38100	42660	47820	52140	54660	53700	50040	45120	40200	35640	33060
15	34140	38220	42840	48000	52260	54660	53700	49920	45000	40020	35460	33000
16	34320	38400	43020	48120	52380	54660	53580	49740	44820	39840	35340	33060
17	34380	38580	43140	48360	52500	54720	53520	49620	44640	39720	35220	33000
18	34500	38760	43380	48480	52620	54720	53400	49500	44460	39540	35100	32940
19	34560	38880	43560	48660	52740	54720	53280	49320	44340	39420	35040	33000
20	34680	39000	43680	48780	52860	54780	53160	49200	44160	39240	34860	32940
21	34800	39180	43860	48960	52980	54720	53100	49020	43980	39060	34740	33000
22	34920	39360	44040	49080	53100	54720	53040	48900	43860	38880	34680	32940
23	35040	39540	44160	49260	53160	54720	52920	48720	43680	38760	34560	33000
24	35160	39660	44340	49380	53280	54720	52800	48540	43500	38640	34440	32940
25	35280	39840	44520	49560	53400	54660	52680	48420	43320	38460	34380	33000
26	35400	40020	44700	49680	53520	54660	52560	48240	43200	38340	34200	33000
27	35520	40200	44880	49860	53580	54660	52440	48120	43020	38100	34140	33000
28	35640	40320	45060	50040	53700	54600	52320	47880	42840	37980	34080	33060
29	35760		45240	50160	53700	54600	52200	47700	42660	37860	33960	33120
30	35940		45360	50340	53820	54540	52080	47580	42540	37680	33900	33060
31	36060		45540		53880		51960	47400		37560		33120

**Provincia de Zamora**

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	33240	36240	40500	45720	50460	53880	54480	51840	47220	42300	37440	33840
2	33300	36360	40740	45840	50580	54000	54480	51660	47100	42180	37260	33780
3	33300	36480	40860	46020	50700	54060	54360	51540	46920	42000	37140	33720
4	33360	36660	41040	46200	50880	54180	54360	51420	46740	41820	37020	33600
5	33420	36780	41160	46320	51000	54180	54300	51300	46620	41640	36840	33540
6	33480	36900	41340	46500	51120	54240	54240	51180	46440	41520	36660	33480
7	33600	37080	41520	46740	51240	54240	54180	51000	46260	41340	36540	33420
8	33660	37260	41640	46860	51360	54360	54120	50880	46140	41220	36420	33360
9	33720	37380	41880	47040	51540	54420	54060	50760	45960	41040	36300	33360
10	33780	37500	42000	47160	51660	54420	54000	50640	45780	40860	36180	33300
11	33840	37620	42180	47340	51780	54480	53940	50400	45660	40740	36000	33240
12	34020	37860	42360	47520	51900	54480	53820	50280	45480	40560	35880	33180
13	34080	37980	42480	47640	52020	54540	53760	50160	45300	40380	35760	33120
14	34140	38100	42660	47820	52140	54540	53700	49980	45120	40200	35640	33120
15	34260	38280	42840	47940	52260	54600	53580	49860	45000	40020	35520	33120
16	34320	38460	43020	48120	52380	54600	53520	49680	44820	39900	35340	33060
17	34440	38580	43200	48240	52500	54600	53400	49560	44640	39720	35280	33060
18	34500	38760	43380	48420	52620	54660	53280	49380	44520	39600	35160	33060
19	34680	38880	43560	48660	52740	54660	53280	49260	44340	39420	35040	33000
20	34740	39060	43680	48780	52800	54660	53160	49080	44160	39300	34920	33060

21	34860	39240	43860	48960	52920	54660	53040	48960	43980	39060	34800	33000
22	34980	39360	44040	49080	53040	54720	52920	48780	43860	38940	34680	33060
23	35040	39540	44160	49260	53160	54660	52860	48660	43680	38760	34620	33000
24	35220	39660	44340	49380	53280	54660	52740	48480	43500	38640	34500	33060
25	35340	39900	44520	49500	53340	54660	52620	48360	43320	38460	34380	33000
26	35460	40020	44700	49680	53460	54600	52500	48180	43200	38340	34320	33060
27	35520	40200	44880	49800	53520	54600	52380	48060	43020	38160	34200	33120
28	35700	40320	45060	49980	53580	54600	52260	47880	42840	37980	34080	33060
29	35820		45180	50100	53700	54540	52140	47700	42720	37860	34020	33120
30	35940		45360	50220	53760	54540	52020	47580	42540	37740	33900	33180
31	36060		45540		53880		51960	47400		37560		33240

### Provincia de Girona

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	33060	36060	40500	45720	50520	54120	54660	51960	47340	42360	37320	33660
2	33120	36240	40620	45900	50640	54180	54660	51780	47160	42180	37200	33600
3	33180	36360	40800	46080	50820	54240	54600	51660	46980	41940	37080	33540
4	33240	36480	40980	46200	51000	54300	54540	51540	46860	41820	36840	33480
5	33300	36660	41100	46380	51120	54360	54480	51420	46680	41640	36720	33360
6	33300	36840	41340	46620	51240	54420	54420	51300	46500	41460	36600	33300
7	33360	36960	41520	46740	51420	54480	54420	51120	46380	41340	36480	33240
8	33480	37080	41640	46920	51540	54540	54300	51000	46200	41160	36300	33180
9	33600	37260	41820	47100	51660	54600	54240	50880	46020	40980	36180	33120
10	33660	37440	42000	47220	51780	54660	54180	50700	45840	40860	36060	33060
11	33720	37560	42120	47400	51900	54660	54120	50580	45720	40680	35940	33060
12	33840	37680	42360	47520	52020	54720	54000	50460	45540	40500	35760	33000
13	33900	37860	42540	47700	52140	54720	53940	50280	45360	40320	35640	33000
14	33960	38040	42660	47880	52260	54720	53880	50160	45180	40140	35520	32940
15	34080	38160	42840	48060	52380	54780	53820	49980	45000	40020	35400	32940
16	34140	38340	43020	48240	52500	54780	53700	49860	44820	39840	35280	32880
17	34320	38520	43140	48360	52620	54840	53580	49680	44640	39660	35100	32880
18	34380	38640	43320	48540	52740	54840	53520	49560	44460	39540	34980	32880
19	34500	38820	43560	48720	52860	54840	53400	49380	44340	39360	34920	32820
20	34560	39000	43740	48840	52980	54840	53340	49200	44160	39180	34800	32820
21	34680	39180	43860	49020	53100	54900	53220	49020	43980	39000	34620	32820
22	34860	39300	44040	49140	53220	54900	53100	48900	43800	38880	34560	32820
23	34920	39480	44220	49320	53340	54840	53040	48720	43680	38700	34440	32820
24	35040	39660	44340	49500	53400	54840	52920	48600	43500	38580	34320	32820
25	35160	39840	44520	49680	53520	54840	52800	48420	43320	38340	34260	32820
26	35340	39960	44700	49800	53640	54780	52680	48300	43140	38220	34140	32880
27	35460	40140	44880	49920	53700	54780	52560	48120	43020	38100	34080	32880
28	35520	40260	45060	50100	53760	54780	52440	47940	42840	37920	33900	32940
29	35640		45240	50220	53880	54720	52320	47820	42660	37800	33840	32940
30	35820		45420	50400	53940	54720	52200	47640	42480	37620	33780	33000
31	35940		45540		54060		52080	47460		37440		33000

## Provincia de Tarragona

Día	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1	33420	36300	40560	45660	50340	53760	54300	51720	47220	42360	37500	33960
2	33480	36480	40740	45840	50460	53880	54240	51600	47040	42240	37380	33900
3	33540	36600	40860	46020	50580	53940	54240	51420	46920	42060	37200	33840
4	33600	36720	41040	46140	50760	53940	54180	51300	46740	41880	37080	33720
5	33600	36840	41220	46320	50880	54060	54180	51180	46560	41700	36960	33660
6	33660	37020	41340	46500	51000	54120	54060	51060	46440	41520	36780	33660
7	33720	37140	41520	46620	51120	54120	54060	50940	46260	41340	36660	33600
8	33780	37260	41700	46800	51240	54240	54000	50760	46080	41220	36540	33540
9	33840	37440	41880	46920	51420	54240	53880	50640	45960	41040	36420	33480
10	33900	37620	42060	47100	51540	54300	53880	50520	45780	40920	36300	33420
11	34020	37740	42180	47280	51660	54300	53760	50340	45600	40740	36120	33360
12	34140	37860	42360	47400	51780	54360	53700	50220	45480	40560	36000	33300
13	34200	38040	42540	47640	51900	54360	53580	50100	45300	40440	35880	33360
14	34260	38220	42660	47760	52020	54420	53580	49920	45120	40260	35760	33300
15	34380	38340	42840	47940	52140	54420	53460	49800	45000	40140	35640	33240
16	34440	38520	43020	48060	52260	54480	53400	49680	44820	39960	35460	33180
17	34560	38640	43200	48240	52380	54480	53280	49500	44640	39840	35400	33240
18	34620	38820	43380	48360	52500	54480	53160	49380	44460	39600	35280	33180
19	34800	39000	43560	48540	52620	54540	53160	49200	44340	39480	35160	33120
20	34860	39120	43680	48660	52680	54540	53040	49080	44160	39300	35040	33180
21	34980	39240	43860	48840	52800	54540	52920	48900	43980	39180	34920	33120
22	35100	39420	44040	48960	52920	54480	52800	48780	43860	39000	34800	33180
23	35160	39600	44160	49140	53040	54480	52680	48600	43680	38880	34740	33120
24	35340	39780	44340	49260	53100	54480	52620	48480	43500	38700	34620	33180
25	35460	39900	44520	49440	53160	54480	52500	48300	43320	38520	34500	33240
26	35580	40080	44640	49560	53280	54480	52380	48180	43200	38400	34440	33180
27	35640	40200	44820	49740	53340	54480	52260	48000	43020	38220	34380	33240
28	35760	40380	45000	49920	53460	54420	52140	47820	42840	38100	34260	33300
29	35940		45180	50040	53580	54420	52080	47700	42720	37980	34200	33240
30	36060		45360	50220	53640	54300	51960	47520	42540	37800	34080	33300
31	36180		45540		53700		51840	47400		37620		33360

### Resultados de la simulación del modelo Biome-BGCMuSo

#### PARCELA FID\_0

Año	Precp	ETP	Percolación		Secuestro		
			profunda	Escorrentía	C	Biomasa	
1992	489	480.15		34.18	2.74	0.00	7.50
1993	446	419.39		88.40	2.13	-0.02	7.45
1994	481	429.45		88.72	7.48	-0.05	7.38
1995	617	528.81		97.77	12.49	0.02	7.41
1996	459	433.89		176.06	4.25	0.04	7.45



1997	634	450.53	229.93	26.48	0.05	7.47
1998	758	547.31	436.21	10.51	0.06	7.53
1999	856	584.80	578.50	33.44	0.14	7.66
2000	479	536.42	771.53	3.48	0.13	7.76
2001	636	526.17	790.84	14.79	0.04	7.75
2002	684	542.81	821.38	8.72	0.10	7.82
2003	602	474.55	1102.02	18.63	0.04	7.80
2004	625	473.16	1124.74	5.67	-0.04	7.74
2005	745	518.19	1285.08	9.65	-0.07	7.70
2006	464	483.11	1393.13	4.30	0.02	7.72
2007	416	306.74	1421.33	14.20	-0.17	7.51
2008	598	417.60	1534.71	13.91	-0.14	7.41
2009	571	478.28	1666.54	12.08	-0.05	7.44
2010	590	488.78	1747.05	7.85	0.04	7.51
2011	544	352.69	1830.48	21.62	0.03	7.52
2012	863	530.09	2181.18	15.16	0.02	7.57
2013	519	480.84	2343.21	1.77	0.14	7.68
2014	506	414.58	2376.44	11.34	0.07	7.70
2015	684	518.45	2504.93	12.92	0.08	7.77
2016	606	507.38	2655.81	3.11	0.11	7.83
2017	497	485.73	2691.88	8.00	-0.01	7.79
2018	706	493.48	2815.52	14.77	0.01	7.80
2019	386	394.69	2886.22	6.19	0.02	7.77
2020	695	515.18	2998.38	8.61	-0.02	7.77
2021	591.59	544.82	3067.11	0.00	0.07	7.83

#### PARCELA FID\_1

<b>Año</b>	<b>Prep</b>	<b>ETP</b>	<b>Percolación profunda</b>	<b>Escorrentía</b>	<b>Secuestro C</b>	<b>Biomasa</b>
1992	481	468.43	38.48	2.16	-0.04	7.37
1993	488	427.03	114.55	2.94	-0.05	7.30
1994	514	451.30	116.83	8.45	-0.05	7.25
1995	601	552.90	139.75	5.94	0.03	7.30
1996	477	447.43	208.29	5.87	0.07	7.36
1997	654	459.39	266.55	35.01	0.07	7.38
1998	711	551.47	406.55	10.31	0.08	7.46
1999	829	591.90	541.73	35.78	0.15	7.59
2000	498	549.05	736.46	3.90	0.14	7.69
2001	613	517.01	744.21	11.47	0.00	7.64
2002	680	533.32	758.76	8.46	0.08	7.68
2003	540	451.00	1019.38	11.87	0.02	7.67
2004	612	483.94	1029.65	5.13	-0.04	7.61
2005	707	503.77	1152.99	11.72	-0.07	7.56

2006	443	478.24	1273.93	2.69	0.02	7.58
2007	422	293.17	1292.89	14.20	-0.23	7.30
2008	597	440.51	1397.27	10.99	-0.16	7.21
2009	536	445.95	1535.51	7.36	-0.10	7.20
2010	635	501.04	1613.29	10.30	0.00	7.25
2011	546	385.32	1721.41	18.80	0.04	7.29
2012	834	527.21	2008.28	14.10	0.05	7.37
2013	465	444.85	2153.02	1.64	0.14	7.50
2014	544	450.01	2187.39	8.66	0.13	7.60
2015	769	532.95	2352.66	28.02	0.11	7.69
2016	614	495.98	2545.74	3.52	0.13	7.75
2017	463	493.63	2574.92	9.72	0.06	7.77
2018	719	504.89	2665.95	24.18	0.07	7.82
2019	388	409.20	2744.45	6.45	0.04	7.79
2020	729	513.12	2815.61	11.29	-0.02	7.77
2021	589.97	553.98	2904.78	0.00	0.08	7.83

#### PARCELA FID\_2

<b>Año</b>	<b>Prcp</b>	<b>ETP</b>	<b>Percolación profunda</b>	<b>Escorrentía C</b>	<b>Secuestro</b>	<b>Biomasa</b>
1992	487	474.67	27.67	2.58	-0.02	7.83
1993	479	416.94	105.08	2.70	-0.04	7.76
1994	511	453.10	102.43	8.40	-0.03	7.72
1995	602	547.08	124.52	8.02	0.03	7.78
1996	474	449.03	201.53	5.41	0.08	7.84
1997	647	448.29	253.93	34.48	0.05	7.85
1998	735	559.64	414.85	10.26	0.08	7.92
1999	844	602.95	550.11	35.50	0.14	8.05
2000	499	545.63	746.74	4.27	0.14	8.15
2001	621	523.18	749.28	13.17	0.00	8.10
2002	690	540.31	772.19	8.53	0.08	8.15
2003	567	468.32	1053.32	13.40	0.04	8.15
2004	624	490.68	1052.11	5.66	-0.05	8.07
2005	711	502.51	1187.48	10.95	-0.08	8.01
2006	450	479.67	1309.75	3.02	0.01	8.02
2007	423	299.88	1321.18	15.03	-0.21	7.77
2008	589	431.96	1429.50	10.62	-0.16	7.68
2009	540	455.01	1594.45	8.40	-0.08	7.68
2010	612	503.05	1670.93	9.27	0.04	7.76
2011	541	377.69	1747.41	20.26	0.05	7.79
2012	853	536.85	2036.17	15.08	0.05	7.87
2013	479	458.33	2179.82	1.50	0.14	7.99
2014	533	445.56	2196.48	7.93	0.12	8.07

2015	753	536.65	2348.59	22.27	0.10	8.15
2016	607	502.00	2533.35	2.79	0.11	8.20
2017	468	490.61	2553.61	8.81	0.02	8.18
2018	709	496.39	2662.88	21.09	0.04	8.20
2019	376	394.51	2739.78	6.02	0.02	8.16
2020	720	511.21	2823.65	10.06	-0.04	8.13
2021	591.17	548.26	2909.70	0.00	0.06	8.19

### PARCELA FID\_3

Año	Prcp	Percolación		Secuestro		Biomasa
		ETP	profunda	Escorrentía	C	
1992	482	491.80	-6.47	0.18	0.00	9.30
1993	496	464.17	44.98	0.35	-0.03	9.24
1994	519	455.59	21.96	3.46	-0.06	9.15
1995	606	586.57	23.97	1.99	0.01	9.21
1996	481	482.52	85.07	1.77	0.07	9.28
1997	657	487.80	118.61	20.81	0.10	9.32
1998	716	592.86	246.28	2.68	0.10	9.42
1999	833	629.58	347.64	19.58	0.17	9.56
2000	498	580.34	524.01	0.90	0.14	9.65
2001	609	516.84	499.69	4.95	-0.03	9.54
2002	685	562.15	500.13	2.58	0.04	9.57
2003	547	483.25	757.14	5.07	0.03	9.57
2004	614	488.41	737.14	0.87	-0.04	9.49
2005	712	537.74	871.70	3.48	-0.09	9.44
2006	442	503.75	974.06	0.54	0.03	9.47
2007	424	289.40	961.65	6.02	-0.21	9.19
2008	605	472.54	1062.78	4.07	-0.16	9.11
2009	535	493.82	1201.10	2.00	-0.06	9.16
2010	638	554.32	1247.58	3.69	0.08	9.28
2011	549	432.19	1306.01	9.01	0.11	9.36
2012	832	591.62	1540.24	3.34	0.09	9.47
2013	465	487.57	1647.06	0.22	0.19	9.61
2014	549	462.14	1624.74	2.61	0.09	9.63
2015	773	564.32	1796.51	14.99	0.05	9.68
2016	621	529.10	1954.77	0.54	0.12	9.74
2017	463	513.98	1947.15	4.70	0.03	9.73
2018	725	533.19	2051.33	12.20	0.04	9.77
2019	389	433.13	2096.37	2.45	0.06	9.74
2020	735	541.63	2180.90	3.35	-0.04	9.71
2021	593.10	581.86	2225.58	0.00	0.10	9.79