



Universidad de Valladolid

**Escuela de Ingeniería de la Industria Forestal,
Agronómica y de la Bioenergía**

Campus de Soria

GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES

TRABAJO FIN DE GRADO

TITULO: Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

~~~~~

**AUTOR: SANDRA CUENDE ARRIBAS**

**DEPARTAMENTO: CIENCIAS AGROFORESTALES**

**TUTOR/ES: VICENTE FERNANDO ROZAS ORTIZ Y  
FRANCISCO RODRÍGUEZ PUERTA**

**SORIA, OCTUBRE DE 2019**

## ***AUTORIZACIÓN del TUTOR del TRABAJO FIN DE GRADO***

D. Vicente Fernando Rozas Ortiz y D. Francisco Rodríguez Puerta profesores del departamento de ciencias agroforestales como Tutor del TFG titulado:

EFFECTOS DE LA DENSIDAD DE LA MASA, LA CALIDAD DE SITIO, EL CLIMA Y LOS TRATAMIENTOS SILVÍCOLAS SOBRE EL CRECIMIENTO DEL PINO CARRASCO EN ZARAGOZA Y TERUEL.

presentado por la alumna D<sup>a</sup>. Sandra Cuende Arribas da el V<sup>o</sup>. B<sup>o</sup>. y autoriza la presentación del mismo, considerando que cumple con los requisitos necesarios para su entrega y defensa ante el Tribunal de evaluación asignado.

Soria, 1 de octubre de 2019

Los Tutores del TFG,

Fdo.: D.Vicente Fernando Rozas Ortiz

Fdo.:D. Francisco Rodríguez Puerta

# ÍNDICE

|       |                                                                |    |
|-------|----------------------------------------------------------------|----|
| 1.    | RESUMEN .....                                                  | 6  |
| 2.    | PALABRAS-CLAVE .....                                           | 9  |
| 3.    | INTRODUCCIÓN .....                                             | 11 |
| 3.1   | Justificación .....                                            | 11 |
| 3.2   | La especie estudiada: el pino carrasco.....                    | 12 |
| 3.3   | Dendrocronología .....                                         | 22 |
| 3.4   | Crecimiento secundario de los árboles en climas templados..... | 23 |
| 3.5   | Descripción del medio natural .....                            | 25 |
| 4.    | OBJETIVOS .....                                                | 30 |
| 4.1   | OBJETIVO GENERAL.....                                          | 30 |
| 4.2   | OBJETIVOS ESPECIFICOS.....                                     | 30 |
| 5.    | METODOLOGÍA .....                                              | 32 |
| 5.1   | Territorio objetivo .....                                      | 32 |
| 5.2   | Estratificación del territorio .....                           | 32 |
| 5.3   | Localización de los rodales de preselección.....               | 33 |
| 5.3.1 | Protocolo de preselección de rodales.....                      | 33 |
| 5.4   | Atributos de las parcelas y toma de datos .....                | 33 |
| 5.4.1 | Forma y tamaño .....                                           | 33 |
| 5.4.2 | Identificación.....                                            | 33 |
| 5.4.3 | Toma de datos.....                                             | 34 |
| 5.5   | Desarrollo del trabajo en campo.....                           | 34 |
| 5.5.1 | Toma de datos.....                                             | 34 |
| 5.6   | Preparación de muestras .....                                  | 36 |
| 5.7   | Datación .....                                                 | 36 |
| 5.8   | Utilización del VELMEX.....                                    | 37 |
| 5.9   | Trabajo de ordenador .....                                     | 38 |
| 5.9.1 | COFECHA .....                                                  | 38 |
| 5.9.2 | Tratamiento de los datos en EXCEL.....                         | 38 |

|       |                                                                                                                      |     |
|-------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 5.9.3 | Análisis estadísticos.....                                                                                           | 39  |
| 6.    | RESULTADOS .....                                                                                                     | 42  |
| 6.1   | Tamaños, edades y crecimiento de los árboles .....                                                                   | 42  |
| 6.2   | Efecto de la competencia y la calidad del sitio sobre el crecimiento de los árboles ..                               | 45  |
| 6.3   | Efecto del clima sobre el crecimiento a nivel de parcela.....                                                        | 47  |
| 6.4   | Tratamientos silvícolas.....                                                                                         | 52  |
| 6.5   | Modelo de crecimiento del pino carrasco .....                                                                        | 53  |
| 6.6   | Efectos de la densidad de la masa, la calidad de estación y las intervenciones silvícolas sobre el crecimiento ..... | 54  |
| 7.    | DISCUSIÓN.....                                                                                                       | 58  |
| 8.    | CONCLUSIONES .....                                                                                                   | 61  |
| 9.    | REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                     | 63  |
| 10.   | PLANOS .....                                                                                                         | 70  |
|       | PLANO 1. SITUACIÓN.....                                                                                              | 70  |
|       | PLANO 2. LOCALIZACIÓN.....                                                                                           | 70  |
|       | PLANO 3. CALIDAD DE SUELO .....                                                                                      | 72  |
|       | PLANO 4. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE ZARAGOZA .....                                                        | 76  |
|       | PLANO 5. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE TERUEL.....                                                           | 78  |
| 11.   | ANEXOS .....                                                                                                         | 82  |
|       | ANEXO 1.Datos generales de las parcelas.....                                                                         | 82  |
|       | ANEXO 2.Graficas de crecimientos por parcelas .....                                                                  | 87  |
|       | ANEXO 3.Grafica general de liberaciones del crecimiento en Zaragoza.....                                             | 111 |
|       | ANEXO 4.Grafica general de liberaciones del crecimiento en Teruel.....                                               | 113 |
|       | ANEXO 5.Graficas de crecimiento en porcentajes.....                                                                  | 115 |



# **1. RESUMEN**

## 1. RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado se evalúa el crecimiento y la capacidad productiva de 56 repoblaciones de pino carrasco (*Pinus halepensis*) en las provincias de Zaragoza y Teruel. Se estudian los efectos de la calidad de sitio, la densidad de la masa y el clima sobre la productividad y se estima la importancia de las actuaciones silvícolas para el control de la densidad de las masas sobre la capacidad de crecimiento en repoblaciones de esta especie tan importante en el área mediterránea. El valor comercial de la madera de pino carrasco no es muy alto, ya que tiene un crecimiento lento respecto a otras especies de pináceas, pero este árbol es capaz de crecer en zonas semiáridas donde las condiciones ambientales son demasiado severas para otras especies arbóreas. Por lo tanto presenta capacidad productiva y utilidad como especie fijadora de carbono en condiciones en que otras especies apenas pueden crecer. Su capacidad creadora de un ambiente forestal y conservadora del suelo es esencial en el centro y este de España. El objetivo central de esta investigación es determinar la productividad de las repoblaciones de pino carrasco en Zaragoza y Teruel, indicativa de su capacidad como productoras de biomasa y sumideros de carbono.

Para realizar esta investigación se utilizaron datos y muestras obtenidos mediante el "Proyecto RF-64079: Estudio y redacción de modelos de crecimiento e itinerarios silvícolas de las masas repobladas de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.)" realizado por la *spin-off* föra forest technologies S.L.L., que realizó el trabajo de mediciones de campo y barrenado de los árboles. En este proyecto se realizó un estudio del crecimiento radial de esta especie en la comunidad de Aragón, con la intención de poder precisar cuál es la edad de los árboles con máximos crecimientos, teniendo en cuenta las calidades de estación, las condiciones climáticas y los tratamientos silvícolas que se han realizado en cada parcela. Para realizar este estudio se analizaron 20.208 anillos de crecimiento medidos en 464 testigos de madera, muestreado en árboles con una edad media de 44 años. A partir de estas muestras se ajustaron modelos de crecimiento en diámetro en función de la edad de los árboles, se reconstruyó la historia de aclareos aplicada a cada parcela y se calculó su respuesta al clima para conocer los factores que condicionaron en mayor medida su crecimiento.

Los resultados obtenidos mostraron que el crecimiento de *P. halepensis* tiene un patrón común en todas las parcelas estudiadas en Zaragoza y Teruel, siendo la disponibilidad de agua el factor climático que afecta al crecimiento de esta especie en

toda el área de estudio. Los modelos de crecimiento del pino carrasco muestran que las masas menos densas y con mayor calidad de estación son las que tiene un mayor potencial de crecimiento y productividad. El efecto combinado de la densidad de la masa y el índice de sitio explicó un 69.3% del crecimiento en área basal del pino carrasco. Aunque la extracción de biomasa por claras selectivas tiene el efecto positivo de que minimiza el riesgo de incendios forestales, no se ha detectado un incremento en el potencial de crecimiento medio del pino carrasco en las masas con mayor número de intervenciones en comparación con las masas poco intervenidas.

**En conclusión, los resultados obtenidos nos indican que todos los árboles estudiados en Zaragoza y Teruel se comportan parecido en cuanto a su respuesta climática, independientemente de la calidad de estación y de la zona geográfica en que crecen, por lo que se puede hacer una evaluación global muy precisa de sus patrones de crecimiento, productividad, capacidad de fijación de CO<sub>2</sub> y efectos de la calidad de estación, la densidad e la masa y los aclareos en su productividad.**

## **2. PALABRAS-CLAVE**

## **2. PALABRAS-CLAVE**

Bioenergía

Cambio climático

Calidad de sitio

Dendrocronología

Densidad de la masa

Fijación de carbono

Gestión forestal sostenible

Tratamientos silvícolas

# **3. INTRODUCCIÓN**

### **3. INTRODUCCIÓN**

#### **3.1 Justificación**

En este Trabajo Fin de Grado se evalúa el crecimiento de los pinos carrascos en diversas calidades de estación y tras la realización de tratamientos silvícolas de aclareo. Es importante conocer en qué medida la aplicación de técnicas de manejo permiten optimizar los crecimientos de los árboles y conseguir una máxima capacidad de producción de biomasa, y por tanto de fijación de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), en ambientes semiáridos del centro de la Península Ibérica.

Todos los árboles estudiados han sido plantados de forma artificial, o sea, pertenecen a repoblaciones con una densidad máxima de 3200 pies por hectárea, en las que ya se ha controlado la densidad mediante intervenciones de aclareo.

La mayoría de las parcelas estudiadas son principalmente repoblaciones de los años 50 a 70 del siglo XX. En estas repoblaciones existen diferentes clases sociales o de dominancia, siendo los árboles dominantes los más grandes y que más capacidad productiva y de fijación de CO<sub>2</sub> presentan.

Para tener una representación de todas estas clases sociales, en cada parcela se han tomado muestras de árboles con diferente dominancia. Para ello se ha marcado un árbol considerado como base, y alrededor de él los 6 árboles vivos más cercanos. Puesto que el espaciamiento entre los árboles es diferente en las diferentes parcelas, el radio considerado varía entre los 6 m y los 24 m, pero por lo general se consideró un radio de más o menos 8 m para garantizar el muestreo de todas las clases sociales.

Un objetivo central de este TFG, con evidente interés práctico, es conocer en qué medida el crecimiento y la productividad dependen de la calidad del sitio y de la densidad de las masas, por lo que se evalúa también la posibilidad de aplicar diferentes tratamientos a repoblaciones con distinto índice de sitio para maximizar la productividad.

Además de evaluar el comportamiento de esta especie en Aragón, los resultados obtenidos permiten generar una idea global del crecimiento y la productividad del pino carrasco, ya que es probable que independientemente de la localización, todas las repoblaciones de esta especie bajo similares condiciones climáticas y ambientales tengan crecimientos parecidos, ya sea en la provincia de Zaragoza y Teruel como a lo largo de toda la cuenca del mar Mediterráneo.

## 3.2 La especie estudiada: el pino carrasco

### 3.2.1 Descripción botánica

Ceballos y Ruiz de la Torre (1979) describen al pino carrasco (*Pinus halepensis*) como un árbol mediano que puede alcanzar los 22 metros de altura en buenas condiciones, estando muy influenciados la talla y el porte por las condiciones en las que habitualmente vegeta. La copa, primero globosa-apuntada o piramidal, se extiende y abre hacia los 20 años, tomando un contorno lobulado, sinuoso e irregular, y es siempre clara y luminosa debido a la escasa persistencia del follaje (Figura 3.1A). Su corteza es blanquecina, cenicienta o plateada en los árboles jóvenes y en las ramas, tomando coloración oscura más tarde, sobre todo en la base del tronco (Figura 3.1B). Las ramas son delgadas y muy alargadas, horizontales las inferiores y las restantes erecto-patentes. Los ramillos son generalmente uninodales, aunque en climas suaves son frecuentes los multimodales, con metidas en primavera y en otoño. Las yemas son cilíndrico-redondeadas, no resinosas, recubiertas de escamas pardo-rojizas, con pestañas blancas en los márgenes. Las acículas son finas y flexibles, de color verde claro, de 6-12 cm de longitud, aguzadas en el ápice pero no punzantes, siendo más blandas y delgadas las de los pinos peninsulares. Aparecen normalmente envainadas por dos, excepcionalmente por tres o cinco, y agolpadas densamente en el extremo de los ramillos, persistiendo en el árbol poco más de dos años, siendo las de menor duración de entre los pinos españoles.

Los conos masculinos son oblongos, obtusos y amarillentos, y se encuentran agrupados en ramos cilíndricos de 5-8 cm. Los conos femeninos aparecen aislados, apareados o verticilados, son de color verde rosado, de 10-12 mm y erectos sobre pedúnculos largos (Figura 3.1C). Las piñas son aovado-cónicas, alargadas, de 6-12 cm, con apófisis casi planas y ombligos romos y grisáceos. Los piñones tienen un color gris-negruzco, de 5-7 mm, con alas de triple longitud de color pardo clara. El polen de pino carrasco se dispersa de marzo a mayo, según las localidades, madurando las piñas y dispersando las semillas a los dos años de su fecundación. Las piñas persisten varios años sobre el árbol, viéndose con gran abundancia en la copa, lo que constituye un buen carácter distintivo de la especie (Figura 3.1D). Suele dar buena cosecha todos los años, salvo en zonas de gran aridez, donde la diseminación abundante no es regular. El porcentaje de piñas serótinas, que se abren tras un incendio, varía entre regiones de procedencia siendo, p.ej., muy alto en los Monegros (Gil et al., 1996).

La madera de esta especie es muy clara, de grano fino, tenaz y elástica, muy resinosa, muy dura y semipesada (densidad 0.54 g/cm<sup>3</sup>). Entre los pinos españoles, esta



Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

#### INTRODUCCIÓN

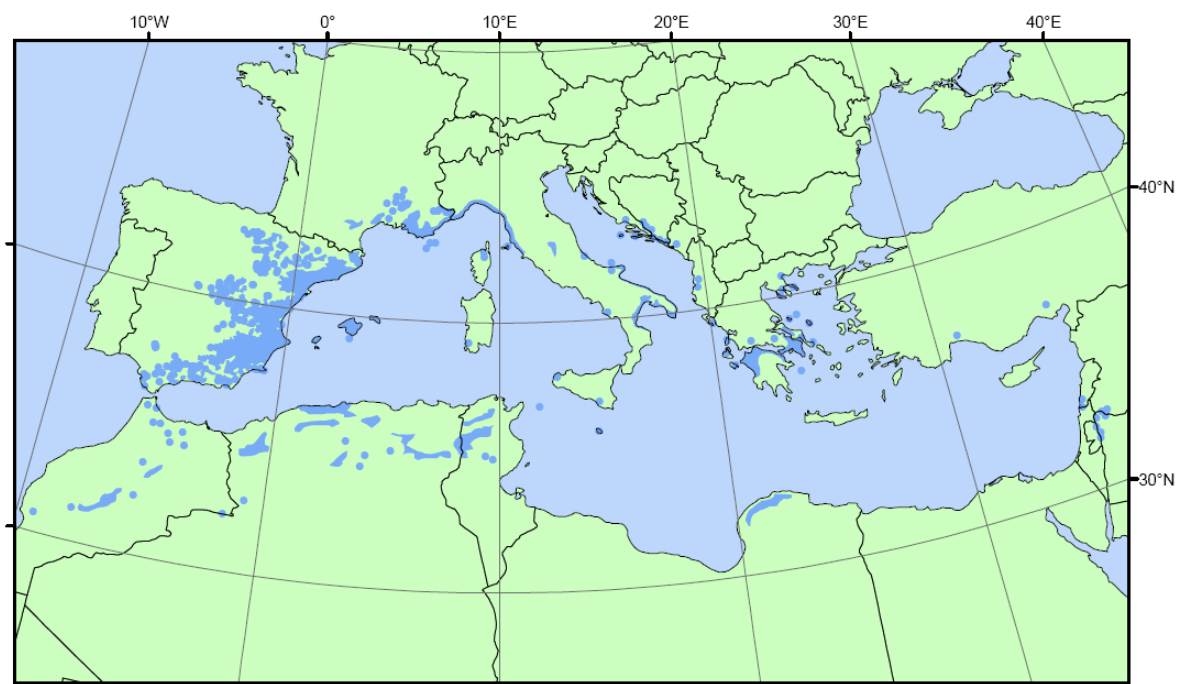
especie muestra un decrecimiento longitudinal relativamente rápido, pero comparativamente presenta una escasa producción volumétrica, lo que limita la obtención de buenas piezas para aserrado. Su longevidad es reducida, pudiendo vivir como máximo 200 ó 250 años, aunque no suele pasar de 150 a 180 años. Nahal (1962) le atribuye una longevidad media de 120 a 130 años, raramente sobrepasando los 150 años.



**Figura 3.1.** Copa (A), corteza (B), piña (C) y rama con piñas (D) de pino carrasco (*Pinus halepensis*). Fuente: iniciativa Arbolapp, realizadas en el Real Jardín Botánico de Madrid (CSIC) y financiadas por la Fundación Española para la Ciencia y la Tecnología (FECYT). <http://www.arbolapp.es/en/species/info/pinus-halepensis/>

### 3.2.2 Distribución y características ecológicas

Herranz (2000) recopila las características generales del pino carrasco, destacando que es la especie de su género más ampliamente distribuida por toda el área mediterránea (Figura 3.2). Los pinares más extensos se encuentran en el norte de África, principalmente en Argelia, y en la Península Ibérica, y también hay buenas manifestaciones en Provenza (Francia), Grecia y Marruecos, siendo escaso en Italia y presentando poblaciones dispersas en Siria (de donde procede su nombre científico, concretamente de la localidad del Alepo), Líbano, Israel y Jordania.



**Figura 3.2.** Distribución natural del pino carrasco. Fuente: EUFORGEN 2009, Distribution map of Aleppo pine. [www.euforgen.org](http://www.euforgen.org)

Los pinares de pino carrasco ocupan una banda altitudinal amplia, apareciendo desde el nivel del mar hasta, de forma marginal, los 1.600 m en el Atlas sahariano y en las montañas del sur de España, y a lo largo de un gradiente latitudinal de los 32° a los 46° norte. Dentro de este rango ocupa principalmente las zonas basales xerotérmicas y de altitudes intermedias, con un óptimo de distribución por debajo de los 800 m de altitud (Blanco et al., 1997).

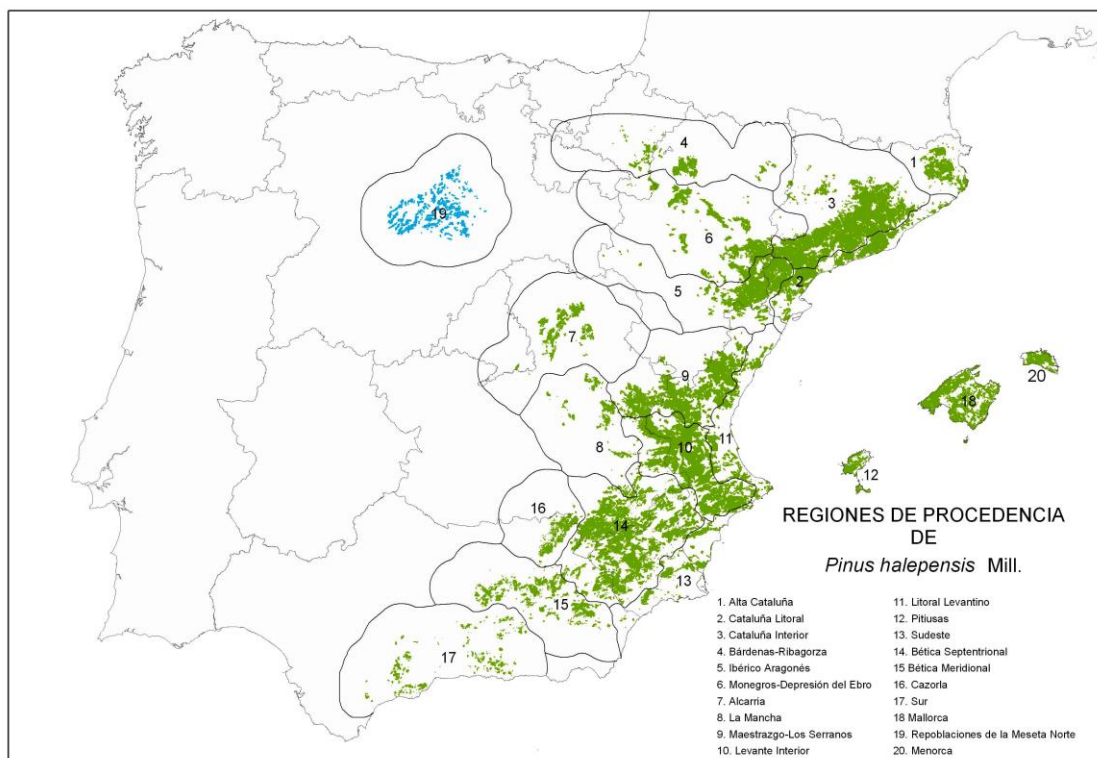
Se trata de una especie heliófila, termófila y xerófila, perfectamente adaptada a la sequía y a los incendios, siendo el árbol más representativo de las zonas semiáridas

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

#### INTRODUCCIÓN

mediterráneas, llegando a soportar 250 mm de precipitación anual y periodos secos estivales de 1 a 5 meses.

Esta especie se encuentra en el este de la Península Ibérica (Figura 3.3) en las zonas más áridas de toda su área de distribución, que reciben solo entre 250 a 350 mm anuales, como son el valle central del Ebro, el sureste y algunas Sierras Béticas. En la mayor parte de su territorio, sin embargo, reciben entre 350 y 500 mm anuales, y en determinados enclaves de la parte oriental de Cataluña y en la Sierra de Cazorla se pueden superar los 700 mm, existiendo en esta situación las mejores masas españolas de pino carrasco. Blanco et al. (1997) insisten en el hecho de que el pino carrasco es la especie arbórea ibérica mejor adaptada a la sequía, llegando a soportar precipitaciones de 150 mm, como sucede en la sierra de Cartagena, donde convive con una población relictica de araar (*Tetraclinis articulata*), no siendo la precipitación un factor determinante en su distribución.



**Figura 3.3.** Distribución del pino carrasco en España. Color verde: masas autóctonas. Color azul: masas no autóctonas. Fuente: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Gobierno de España. [https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/map\\_Pinus%20halepensis\\_tcm30-139372.jpg](https://www.mapa.gob.es/es/desarrollo-rural/temas/politica-forestal/map_Pinus%20halepensis_tcm30-139372.jpg)



El principal factor determinante de su distribución parece ser la temperatura mínima invernal, por lo que su presencia se limita a zonas en que la temperatura media de las mínimas del mes más frío es superior a  $-3^{\circ}\text{C}$ , la temperatura media anual está comprendida entre  $12$  y  $16^{\circ}\text{C}$  y las temperatura del mes más cálido varía entre  $18$  y  $26^{\circ}\text{C}$  (Gil et al., 1996).

El 90% de las masas de pino carrasco se halla sobre suelos calizos, por lo que tradicionalmente se ha considerado especie "calcícola", pero puede vivir también sobre sustratos silíceos como rodenos, pizarras blandas, cuarcitas, granitos y rañas. Es capaz de colonizar sustratos margosos y calcáreo-margosos, en ocasiones con alto contenido en yeso, areniscas y arcillas. También puede establecerse sobre los afloramientos de peridotitas y dolomías del sur de la península, rocas con elevada concentración de magnesio que originan suelos pobres en nutrientes tolerables por coníferas xerófilas, así como sobre suelos esqueléticos y muy secos, colonizando arenales costeros y sustratos móviles de difícil edafización. Sin embargo, no se aviene a vivir en suelos salinizados y tolera mal los sustratos compactos o con contenidos muy altos en arcillas y los permanentemente encharcados (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979; Gil et al., 1996; Blanco et al., 1997).

El estrato arbóreo del pinar de pino carrasco suele tener estructura de bosque semiabierto de 10-15 m de talla con abundantes claros. El pino carrasco forma masas monoespecíficas cuando coloniza suelos incendiados o cultivos abandonados, o bien en enclaves muy áridos o en aquellos donde las condiciones edáficas impiden la instalación de otros árboles más exigentes.

Con frondosas la mezcla más frecuente es con la encina (*Quercus ilex*), que aparece en zonas frescas del litoral mediterráneo y de los pinares continentales. En enclaves ácidos, térmicos y húmedos de Cataluña, Castellón y Valencia se mezcla con el alcornoque (*Quercus suber*), en zonas del Sureste y Levante con acebuche (*Olea europea*), y en umbrías frescas de la Alcarria con quejigo (*Quercus faginea*).

Las mezclas con coníferas están mucho más extendidas. Con *Abies pinsapo* en la sierra de Las Nieves, con *Tetraclinis articulata* en Cartagena, con *Juniperus thurifera* en los Monegros, con *Juniperus phoenicea* y/o *Juniperus oxycedrus* en Levante y sureste, con *Pinus pinea* en Cataluña, Alicante, Valle del Júcar (Cuenca, Albacete) y Andalucía (Granada y Almería), con *Pinus nigra* en la Alcarria, Serranía del Cuenca y Sierras Béticas, y con *Pinus sylvestris* en el Prepirineo catalán, Maestrazgo y Puertos de Beceite.

Citando a Ozenda (1975), se trata de una especie espontánea y ampliamente distribuida en el ámbito mediterráneo, que participa en diversas comunidades con

significados dinámicos variados y que puede llegar a formar bosques climácicos en las zonas basales térmicas de la cuenca mediterránea. Así mismo, se le reconoce el carácter climácico en la Provenza (Francia), Grecia, Siria, Marruecos y España.

Gil et al. (1996) indican que varias publicaciones geobotánicas españolas de la primera mitad del siglo XX le reconocen su papel de vegetación potencial en zonas como los Monegros, Valle del Ebro, Sierra de Mágina o enclaves degradados de la mitad oriental de la Península, carácter que le ha sido reconocido en publicaciones más recientes. Blanco et al. (1997) consideran que puede dar lugar a bosques potenciales en zonas basales donde la sequía estival es muy acentuada, las precipitaciones anuales escasas y los sustratos en numerosas ocasiones limitantes por darse determinadas condiciones edáficas, litológicas o geomorfológicas extremas.

No obstante, Herranz (2000) considera que la mayoría de las veces los pinares de carrasco han sido sistemáticamente ignorados en la literatura fitosociológica española de la segunda mitad del siglo XX, alegando, casi siempre sin pruebas, que tenían su origen en repoblaciones artificiales o que se habían extendido a consecuencia de la destrucción antrópica de los bosques de frondosas. Gil et al. (1996) aportan gran cantidad de evidencias paleobotánicas e históricas que confirman el carácter indígena de los pinares de carrasco en la Península Ibérica, ya que proviene de épocas en las que el hombre carecía de medios poderosos para alterar en gran medida en paisaje vegetal y en las que no se habían iniciado todavía las labores de repoblación a gran escala.

### 3.2.3 Caracterización botánica de los pinares de *Pinus halepensis*

En cuanto a la composición botánica de las masa de pino carrasco en el área de estudio, Blanco et al. (1997) distinguen distintos tipos de pinares de pino carrasco, entre ellos los de zonas basales de ambiente semiárido, entre los que se encuentran parte de los pinares objeto de este Trabajo Fin de Grado, describiendo sus características ecológicas, fundamentalmente el cortejo florístico que acompaña a este pino. Concretamente, para estas zonas semiáridas indican que el pino tiene un desarrollo moderado y que aparece disperso sobre un estrato arbustivo más o menos denso, sin llegar a definir nunca una estructura de bosque cerrado. En estas condiciones tan limitantes esta especie se desarrolla con cierta dificultad, predominando los portes raquíuticos y retorcidos. Dichos autores también ponen de manifiesto que, en zonas muy humanizadas, puede ser complicado determinar si las masas constituyen etapas seriales de pino carrasco, o el aspecto aclarado y de escaso desarrollo de los pinares podría deberse a una larga e intensa destrucción de lo que

en el pasado fueron bosques bien desarrollados. Explican como en la depresión del Ebro, zona de marcada aridez climática, se producen inversiones térmicas que provocan la retirada de especies más termófilas a lugares más elevados; esto ocurre con los pinares de pino carrasco que aparecen predominantemente en lo alto de los cabezos y en las partes más elevadas de las sierras circundantes, donde las mínimas invernales de temperatura son menos extremas, mientras que el sabinar de *Juniperus thurifera* se instala en el fondo de los valles, aunque ambas formaciones suelen contactar en las laderas. Estos pinares con coscoja (*Quercus coccifera*) se localizan aproximadamente en un rango altitudinal de 400-800 m y ocupan sustratos constituidos por calizas margosas y yesos, cuyas condiciones limitantes determinan la estructura aclarada del sotobosque, que está constituido por especies bastante termófilas, entre las que predominan el lentisco (*Pistacia lentiscus*), el espinillo negro (*Rhamnus lycioides*), el aladierno (*Rhamnus alaternus*), el labiérnago (*Phillyrea angustifolia*), el romero (*Rosmarinus officinalis*), la aliaga (*Gestina scorpius*), la romerina (*Cistus clussi*), la estepa blanca (*Cistus albidus*) y la bufalaga (*Thymelaea tinctoria*), siendo frecuentes los ejemplares dispersos de sabina negral (*Juniperus phoenicea*), enebro de la miera (*Juniperus oxycedrus*) y sabina albar (*Juniperus thurifera*), mientras que el estrato herbáceo está dominado por fenal (*Brachypodium retusum*), apareciendo con cierta frecuencia la raspalengua (*Rubia peregrina*).

#### 3.2.4 Importancia económica de *Pinus halepensis* en España

En España, las masas naturales de pino carrasco ocupan 805.953 ha (Ortuño y Ceballos, 1977), lo que representa casi un 7% de la superficie forestal arbolada (Herranz, 2000). Abunda en el litoral mediterráneo (Cataluña, Comunidad Valenciana, Murcia, Andalucía Oriental, Baleares), y remonta el Valle del Ebro hasta Álava. Se adentra por Albacete, Jaén Cuenca y Guadalajara, desbordando la vertiente mediterránea en los valles altos de los ríos Tajo, Guadiana y Guadalquivir (Herranz, 2000).

Entre 1940-1980 se repoblaron con *Pinus halepensis* 452.839 ha (Abello, 1988), siendo Aragón una de las regiones donde mayor superficie se plantó con esta especie. Cámara (2001) indica que las masas naturales de pino carrasco en España cubren entre 800.000 y 900.000 ha, lo que supone aproximadamente un tercio del total mundial de su área natural (3,5 millones de ha), y las repobladas 3 000.000 ha.

El Segundo Inventario Forestal Nacional (Cervera, 1996) da para *Pinus halepensis*, sin distinguir entre masas naturales y artificiales, una superficie de 81.722 ha en Zaragoza, 77.196 ha en Teruel, siendo destacables las 30.312 ha, 49.248 ha

respectivamente, de propiedad particular, sin consorcios, mientras que el resto estaría bajo gestión de la Diputación General de Aragón. Estas superficies representan respectivamente el 41,4% del total de la superficie forestal arbolada de Zaragoza y el 19% en Teruel. Para el conjunto de Aragón supone un total de 158.918 ha y representa el 18,8% de la superficie forestal arbolada.

El Primer Inventario Forestal Nacional (MAPA, 1969) daba para Zaragoza 82.814 ha de *Pinus halepensis*, de las cuales incluía como repoblaciones 53.609 ha, e indicaba que se contaban 11.122 ha de repoblaciones realizadas por el Patrimonio Forestal entre 1956-1965, y 53.702 ha de Teruel. La estadística forestal de España de 1960 (MA, 1960) asignaba a Zaragoza una superficie de *Pinus halepensis* de 68.319 ha, a Huesca 21.651 y a Teruel 32.101, lo cual representaría para la Comunidad de Aragón el 13,6% de la superficie de esta especie en España. La superficie de pino carrasco respecto al total de coníferas representaba el 53,7%, 6,5% y 17,4%, respectivamente, del total de la superficie de coníferas en cada provincia. Respecto del total de superficie arbolada, representaba el 7,7% para el conjunto de España, y en 29,5 %, el 3,6% y el 10% en cada una de las provincias citadas, respectivamente.

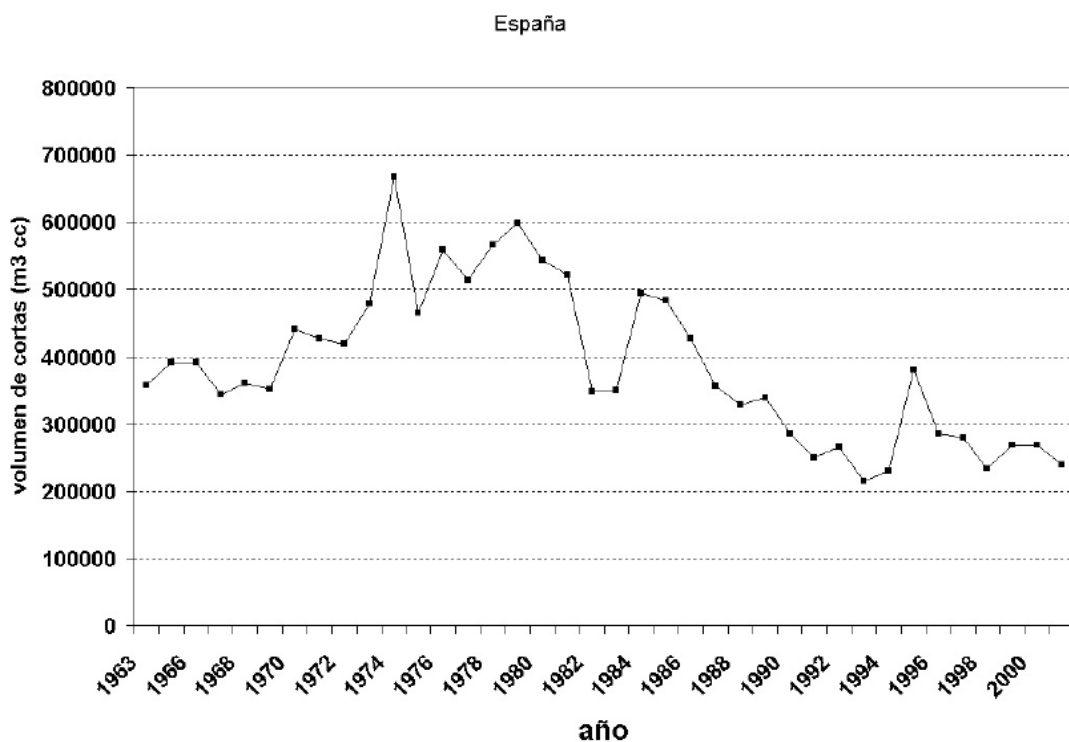
Del análisis del Mapa Forestal de Aragón (DGA, 2000), se determina que las masas de *Pinus halepensis* en el conjunto de la Comunidad Autónoma de Aragón representarían una superficie de 225.820 ha, de las cuales 68.468 serían repobladas y el resto de carácter natural.

La función principal que brindan las masas de esta especie es la protección ecológica, quedando en un segundo término la producción, que en general es muy baja (Alía et al., 2000). Sin embargo, sus aprovechamientos maderables no tienen por qué ser despreciables a escala local, máxime si se consideran como complementarios de otros usos como el piscícola, cinegético, recreativo, micológico, etc. Aunque la madera de pino carrasco, por su baja productividad en general, ha sido de las menos estudiadas de las coníferas españolas.

Ceballos y Ruiz de la Torre (1979), describe los usos de la madera de *Pinus halepensis*, como buena para calefacción, cajería y traviesas de ferrocarril, pero que su dureza y riqueza en resina limitan su utilización en carpintería y la forma tortuosa de sus fustes hace que sea poco usada en la construcción, salvo la de buenas estaciones y rodales más densos. Sus leñas se han empleado para calefacción en las zonas de su área donde falta o escasea la encina. También indican que es el pino que más resina produce después de *P. pinaster*, y que en otros tiempos se extraía pez destilando las cepas. Destacan además el importante papel de esta especie en aspectos ornamentales y socio-recreativos, tanto por ser una de las especies

fundamentales del jardín mediterráneo como por poder constituir bosques naturales o artificiales hasta la vecindad del mar y en las sierras de las zonas más áridas y deforestadas. Igualmente, subrayan su valor como especie protectora, ya que su rusticidad y sobriedad le permiten ser instalada en las condiciones más adversas, aunque tiene en contra los defectos de formar poco humus y ser muy inflamable.

Puede observarse en la Figura 3.4 una evolución creciente de las cortas hasta finales de la década de los 70, para iniciar entonces un declive que continúa hasta la actualidad.



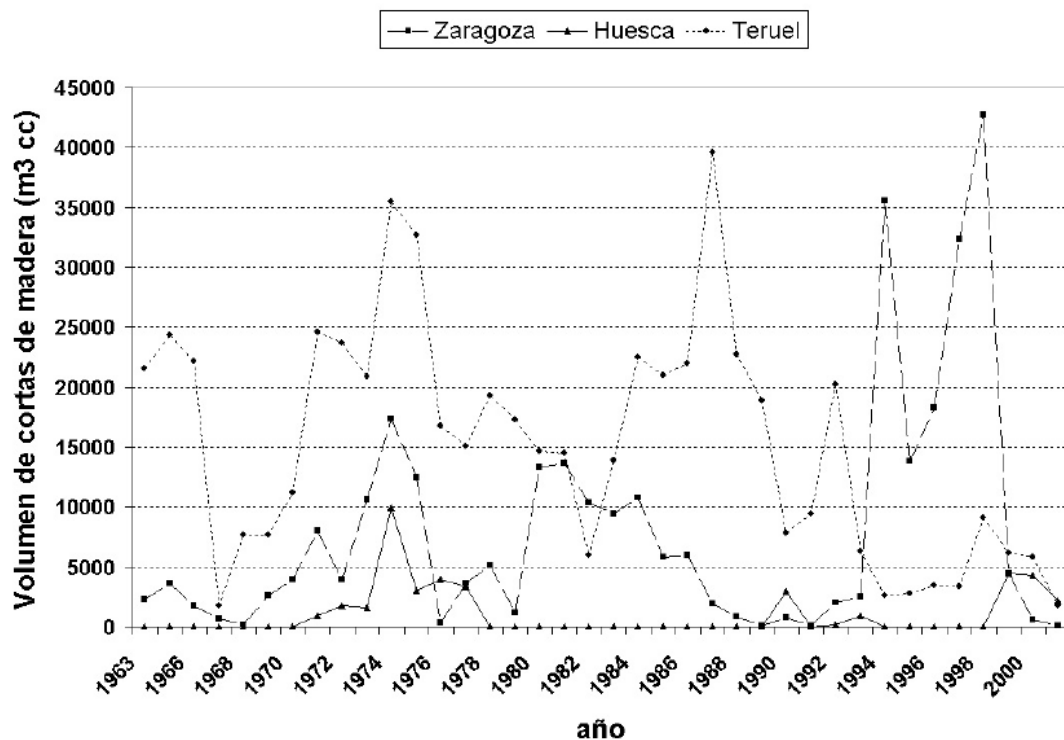
**Figura 3.4** Evolución nacional de las cortas de madera de *P. halepensis* en m<sup>3</sup>. Fuente: Estadística nacional forestal.

La producción de esta especie está infravalorada, dado que es frecuente que numerosas cortas de madera se clasifiquen como leñas debido a la escasa dimensión de los productos obtenidos, lo que supone que puede que no está representada en esta gráfica.

Las cortas de pino carrasco en Aragón suponen, un 6% del total nacional para la especie, siendo la provincia de Teruel la más productiva, con un 66% del total de cortas en Aragón, seguida de Zaragoza con un 28%.



En la Figura 3.5 puede apreciarse un comportamiento cíclico en las cortas de madera de la especie por provincias, con periodos de subida y bajada, con una clara tendencia a la baja para Teruel en el último periodo y, sin embargo, un remonte importante para Zaragoza, que después cae en picado.



**Figura 3.2** Evaluación de las cortas de madera de *P. halepensis* en m<sup>3</sup> por provincia en la CCAA de Aragón. Fuente: Estadística nacional forestal.

### 3.2.5 Generalidades silvícolas de la especie

Entre las funciones más importantes de las masas forestales se pueden destacar, las siguientes:

- Ecológicas: control de la erosión, recarga de acuíferos, conservación de suelos, hábitats, especies de flora y fauna, preservación de la biodiversidad.
- Económicas: aprovechamientos maderables, leñosos, cinegéticos, micológicos, pascícolas.
- Socioculturales: recreativas, paisajísticas, deportivas, sanitarias.

En los años 80 del siglo XX, el continuo y progresivo deterioro del estado de salud de los bosques registrados en Europa suscito una preocupación general en la sociedad. Para cuantificar los daños e investigar las causas de esta degradación se estableció el

Programa de Cooperación Internacional para la Evaluación y Seguimiento de los Efectos de la Contaminación Atmosférica en los Bosques, con una red sistemática de observación internacional de gran escala, en la que se lleva a cabo con periodicidad anual el análisis del estado de salud del arbolado y de los principales factores que actúan negativamente sobre el mismo (MMA, 2006).

El informe para 2006 de la Red Europea de seguimiento de daños en los bosques (nivel I) indica que en España se ha detectado un cierto nivel de decaimiento y muerte puntual de árboles, relacionadas con el sostenido e intenso déficit hídrico, combinado con sequías puntuales, principalmente en el Levante, Sureste peninsular y en áreas centrales de ambas mesetas. Las especies más afectadas han resultado ser las del género *Quercus* entre las frondosas y el pino carrasco entre las coníferas, probablemente porque es el árbol más frecuente en zonas especialmente sensibles de clima semiárido (Camarero et al., 2004).

Así, sólo la diversificación de estructuras y productos, y su utilización eficiente, permitirá conseguir la estabilidad ecológica, económica y social (San Miguel, 2003). Sin embargo, existen tendencias claras de variación norte-sur en la respuesta del pino carrasco al cambio climático, con una estructuración en tres grupos principales de procedencias en función de su respuesta a la sequía, estando esta variación relacionada con los principales requerimientos ambientales de la especie: aridez y termófila (Alía et al., 2000).

### 3.3 Dendrocronología

La dendrocronología es la ciencia que usa los anillos de crecimiento de los árboles, datados al año exacto de su formación, para analizar e interpretar la información que contienen (Kaennel Dobbertin y Schweingruber, 1995).

Las primeras evidencias de la observación de los anillos de crecimiento en los árboles se estiman en el año 322 a.C., cuando el griego Theophrastus escribe el libro *History of plants* y los menciona en dos especies de abetos. Después de él, en el siglo XV Leonardo da Vinci observa en los árboles cortados el carácter anual de los anillos de crecimiento y establece unas primeras relaciones cualitativas entre el grosor de esos anillos y la variabilidad climática. En el año 1737 el francés Henri-Louis Duhamel du Monceau investiga las causas de la excentricidad de los anillos de crecimiento observados al cortar los árboles (Duhamel du Monceau y Conde de Buffon, 1737).

Más recientemente, la investigación basada en los anillos de crecimiento se ha integrado mundialmente en la investigación del cambio global (Eddy, 1992).

En la actualidad hay una cantidad grande de grupos usando la dendrocronología con diferentes objetivos como el clima (Tejedor et al., 2015), la ecología (Cherubini et al., 2003), la geomorfología (Gärtner et al., 2004) o la hidrología (Copini et al., 2015) entre otros.

La introducción de esta disciplina en España es más reciente, sobre los años 70 se empieza a utilizar. Los primeros trabajos datan de Creus y Puigdefábregas (1976) y han sido utilizados principalmente para la reconstrucción del clima pasado con la información a partir de árboles que crecen en zonas de alta montaña, línea de investigación continuada por Saz-Sánchez (2003), Fernández y Manrique (1997) o Génova Fuster (2000), hasta los últimos trabajos de Cortesi et al. (2014), Esper et al. (2015a) o Tejedor et al. (2017), entre otros.

La dendroecología tiene especial interés en el contexto de cambio climático y de la gestión forestal en caracterizar patrones de crecimiento de los árboles y estudiar aspectos como decaimiento del bosque, estructura y dinámica forestal, ataques de insectos, incendios, perturbaciones etc.

La anatomía del anillo de crecimiento es sin embargo muy variable en sus diferentes fases de desarrollo, que van desde la aparición de nuevas células (células post-cambiales) hasta la completa formación de la pared celular secundaria (células maduras) (Rossi et al., 2006a).

### 3.4 Crecimiento secundario de los árboles en climas templados

Los árboles crecen en dos direcciones, una terminal (crecimiento primario) y otra radial (crecimiento secundario). A la hora de estimar la edad de los árboles se tiene en cuenta la dirección radial, ya que producen un anillo de crecimiento por año. En el clima templado, que es en el que se ha realizado este estudio, los crecimientos secundarios comienzan en primavera, concluyendo en otoño.

En coníferas, este anillo se puede dividir en madera temprana y tardía. La madera temprana está compuesta principalmente por traqueidas, con un lumen de mayor tamaño y una pared celular de menor grosor que se forman desde el inicio de la estación de crecimiento hasta el verano. Posteriormente, desde el verano hasta el final de la temporada de crecimiento, se forman células de madera tardía caracterizadas por un menor diámetro de lumen y una pared celular de mayor grosor. La definición de Mork (Denne, 1988) diferencia las células de madera temprana de las células de madera tardía a través de un criterio sencillo. Así, una traqueida es clasificada como

perteneciente a la madera tardía cuando el grosor de su lumen es menor que el doble del grosor de su pared celular.

Los grosores y las características anatómicas de los anillos de crecimiento (madera temprana, madera tardía, canales de resina, transiciones entre anillos) están relacionadas con las temperaturas y precipitaciones en las que se desarrolla el ciclo de crecimiento y con otros factores como son la tendencia de crecimiento de los árboles la cual es el efecto de la edad y del tamaño (De Luis et al., 2011).

Otros factores que también influyen en el crecimiento y en los tipos celulares presentes son los factores bióticos asociados a los ataques de insectos, plagas de hongos, polución del aire y los eventos extremos que pueden tener diferentes orígenes.

#### 3.4.1 Influencia de la selvicultura sobre la fijación de carbono en biomasa

Existe un gran abanico de estudios realizados de carbono en los diferentes compartimentos de un ecosistema forestal (suelo, biomasa arbórea, madera muerta, arbustos, etc.), destacando los realizados por Montero et al. (2005) y la posterior mejora de los mismos por Ruíz-Peinado (2013) en cuanto a la influencia de la selvicultura en el ciclo del carbono y de los modelos de su cuantificación en las principales especies españolas. Cabe mencionar la cuantificación realizada por Rodríguez-Murillo (1994) del carbono total almacenado en los bosques españoles.

Heras et al. (2013) obtuvieron resultados que confirmaron que la aplicación de un aclareo temprano intensivo era un método útil para gestionar de forma sostenible los rodales de *Pinus halepensis* regenerados de forma natural tras incendios forestales. A corto plazo y a nivel de rodal, el carbono almacenado en la biomasa viva disminuyó. Sin embargo, en un medio plazo, el efecto positivo sobre la productividad permitió restaurar y superar la cantidad inicial de carbono. Para futuras investigaciones se debe tener en cuenta los arbustos, la madera muerta y los desechos para conseguir una perspectiva de biomasa más realista (Jiménez et al. 2011), así como tener en cuenta escenarios de CC a largo plazo que sirvan de apoyo a las decisiones sobre el tipo de selvicultura a aplicar.

En la actualidad, es una labor prioritaria compatibilizar la prevención de incendios y los nuevos modelos de GFS, en los que se ha de tener en cuenta la fijación de carbono. De este modo, el ingeniero forestal valorará la conveniencia de la aplicación de estos tratamientos según prioridades y objetivos fijados (Madrigal et al. 2006).

### 3.5 Descripción del medio natural

#### 3.5.1 Fisiografía

El área de estudio comprende las provincias de Zaragoza y Teruel, con una superficie total de 19.425 m<sup>2</sup>, por lo que las características generales de las parcelas varían de una zona a otra y poseen diferente relieve, pero las altitudes se centran en un estrecho rango entre 600-700 m, siendo esta una característica donde la variación no influyó excesivamente en el comportamiento de la especie, por lo que no se ha tenido en cuenta en este trabajo para evaluar su influencia sobre el crecimiento.

#### 3.5.2 Geología

A partir del Mioceno medio se abrió la cuenca endorreica del Ebro hacia el Mediterráneo, estructurándose el drenaje que va ser el fundamental de la cuenca y comenzando la erosión alternada con otras épocas de sedimentación que le dieron la morfología definitiva, formándose relieves, conocidos como muelas, caracterizados por ser estructuras no erosionadas debido a la protección de un estrato superior algo más duro (en general calizas) que los subyacentes a los que protege (Pedrochi, 1998).

De acuerdo con el Mapa Geológico de España, Hojas 322, 323, 355, 356 y 385 (Esnaola y Gil, 1998), el área de estudio presenta en su mayor parte terrenos pertenecientes al Mioceno Aragoniense, aunque también aparecen algunos terrenos del Cuaternario, en concreto del Pleistoceno.

#### 3.5.3 Edafología

Según el Mapa de Suelos de España (Guerra et al., 1966), el tipo de suelos que aparecen en estas zonas son:

En la zona de los montes de Zaragoza:

- Suelos con horizonte de humus muy poco desarrollado sobre materiales calizos. Suelo pardo calizo sobre materiales no consolidado. Asociaciones con zonas pedregosas.
- Suelos rendziniiformes sobre margas yesíferas y yesos.
- Suelos con horizonte de humus muy poco desarrollado sobre materiales calizos. Suelo pardo o pardo rojizo calizo con horizonte de costra caliza.

En la zona de los montes de Teruel:

- Suelos con horizonte de humus muy poco desarrollado sobre materiales calizos. Suelo pardo calizo sobre materiales no consolidados. Suelos asociados con yeso.

- Suelos con horizonte de humus muy poco desarrollado sobre materiales calizos. Suelo pardo o pardo rojizo calizo con horizonte de costra caliza.

En cuanto a la productividad potencial forestal, ambas zonas se encuentran en las clases V (entre 1,5 y 3 m<sup>3</sup>/ha/año) y, en menor medida, en la Clase IV (entre 3 y 4,5 m<sup>3</sup>/ha/año), según el Mapa de Productividad Potencial Forestal (Gandullo y Serrada, 1977).

#### 3.5.4 Clima

Según el Atlas Fitoclimático de España (Allué, 1990) toda la zona de estudio se encuentra distribuida en tres Subregiones diferentes, de la siguiente forma:

- Zona de Zaragoza: la mitad sur se encuentra en la Subregión IV1 y la norte se distribuye entre la IV3 (en la zona más central) y la VI(IV)1.

- Zona de Teruel: la vertiente sur se encuentra en la Subregión IV3, mientras que a la norte le corresponde la VI (IV)1. Las Subregiones IV1 y IV3 corresponden a un clima mediterráneo genuino, con

atributos fitológicos infra-árbores estépico, el primero de ellos, y arbóreos, de bosques ilicinos exclusivos y genuinos, con clima típico más seco, el segundo.

La Subregión VI(IV)1 corresponde a un clima nemoral nemoromediterráneo, con atributos fitológicos de planicaducifolia obligada subesclerófila.

De acuerdo con la información del Mapa Geológico de España, Hoja 355 (Esnaola y Gil, 1998), la clasificación climática de Papadakis indica que el clima dominante en la región es mediterráneo templado a seco, semiárido. La temperatura media para el período 1949-1985 estuvo comprendida entre 13 °C y 14 °C, con medias invernales de 2 a 4 °C, alcanzándose las temperaturas máximas en los meses de julio y agosto, con acusados contrastes térmicos a lo largo del año, y con diferencias máximas entre los meses de verano e invierno de 20 °C. La diferencia térmica entre el Cantábrico y el Mediterráneo es la causa del Cierzo, viento dominante, de componente noroeste, en toda la cubeta central del Ebro. La pluviometría media fue de 400 mm/año para el período 1949-1985. Las precipitaciones presentaron dos máximos en otoño y primavera y un mínimo relativo en invierno. La evapotranspiración potencial estuvo comprendida entre los 750 y 800 mm/año.

La escasez e irregularidad de las precipitaciones es el rasgo climático que mejor define el clima de esta zona. La cuenca del Ebro es una fosa de hundimiento de forma

triangular rodeada de tres cordilleras, Cantábrica, Ibérica y Costero-Catalanas, que aíslan del efecto termorregulador que ejercen las masas de agua circundantes de la Península, creando frecuente nubosidad de estancamiento y efecto foehn que hacen que el aire que alcanza la depresión sea cálido, tenga escasa humedad relativa y, en consecuencia, estén muy reducidas las posibilidades de precipitación. Por el contrario, incrementa su capacidad evaporante y somete a un fuerte estrés a las distintas formas de vida (Creus, 1998).

### 3.5.5 Vegetación potencial y regiones natural

Según las Series de Vegetación de España (Rivas-Martínez, 1987) la mayor parte de la zona de los montes de Zaragoza, y la parte más norte y alta de la Sierra de Teruel, pertenecen a la Serie mesomediterránea manchega y aragonesa basófila de *Quercus rotundifolia* o encina (*Bupleuro rigidi-Querceto rotundifoliae sigmetum*), mientras que en las estribaciones más bajas de los montes del sur de Teruel se encuentra la Serie mesomediterránea-murciano-almeriense, guadiciano-bacense, setabense, valenciano-tarraconense y aragonesa semiárida de *Quercus coccifera* o coscoja (*Rhamno lycioydi-Querceto coccifera sigmetum*). A la parcela de Gudar Javalambre le corresponde la Serie supramediterránea manchega y aragonesa de la sabina albar o *Juniperus thurifera* (*Junipereto phoeniceo-thuriferae sigmetum*).

Si se tienen en cuenta las Series de regresión de Luis Ceballos, de 1941 (cit. En Montero de Burgos et al., 1981), el nivel máximo de madurez que puede alcanzarse en estas zonas se correspondería con la etapa de los pinares, en la Serie de la encina (*Quercus ilex*) sobre terreno calizo, correspondiendo a masas naturales de *Pinus halepensis*, acompañado del matorral invasor heliófilo (*Pistacia lentiscus*, *Rosmarinus officinalis* y *Quercus coccifera*) y matorral colonizador (*Cistus albidus* y *Cistus libanotis*).

En este mismo sentido se manifiestan Ceballos y Ruiz de la Torre (1971), explicando que “los contactos del pino carrasco con otras especies (que concretan) se deben a diferencias de suelo, de altitud o de aridez, o a sucesión por degradación. Al deteriorarse la estación, el pino sucede a *Quercus* (no se incluye en la relación *Q. coccifera*), *Olea* y *Pinus* y es sucedido por *Juniperus phoenicea*. El pinar de carrasco puede representar la climax de vegetación en regiones de acusada aridez, en posición intermedia entre los robles o restantes pinos y las sabinas, pero en buena proporción de sus manifestaciones representa una etapa sucedánea heliófila de especies de temperamento más delicado, teniendo, por tanto una significación interserial subordinada a dichas especies (encina, quejigo, acebuche).

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

#### INTRODUCCIÓN

De acuerdo con el Mapa Forestal de España (Ruiz de la Torre, 1990-1992), se correspondería con un nivel de madurez 6, bosque puro o mixto de especies no principales, pinar xerófilo.

Igualmente, se distinguen tres cinturones de vegetación correspondientes a tres grandes comunidades vegetales climáticas (clímax), que se disponen más o menos concéntricas alrededor del centro de aridez situado entre Zaragoza y los Monegros, correspondiéndole así a una gran parte de la zona de estudio, en general, la clímax del pinar con coscoja (*Rhamneto-Cocciferetum cocciferetosum*). Estos autores describen diferentes asociaciones y subasociaciones existentes en las masas objeto de esta tesis.

Por otra parte, la zona se encuentra dentro de la región natural II del mapa de Gandullo et al. (1972) para *Pinus halepensis*. Además, se corresponde con la Región de Procedencia Monegros-Depresión del Ebro (Gil et al., 1996), representando probablemente más del 80% de las masas de dicha procedencia.



## **4. OBJETIVOS**

## 4. OBJETIVOS

### 4.1 OBJETIVO GENERAL

El objetivo general del TFG es realizar un análisis comparativo de las masas forestales repobladas con pino carrasco (*Pinus halepensis*) en Zaragoza y Teruel, evaluando su capacidad de crecimiento en función de la densidad de la masa, la calidad del sitio, el clima y los tratamientos silvícolas, indicativa de su potencialidad para la fijación de CO<sub>2</sub> y su aprovechamiento bioenergético.

### 4.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

Para alcanzar el objetivo general, el TFG persigue los siguientes objetivos específicos:

- ✓ Describir los patrones de variación del tamaño, la edad y el crecimiento de 56 parcelas de repoblaciones de pino carrasco estudiadas en las provincias de Zaragoza y Teruel.
- ✓ Cuantificar la dependencia del crecimiento del pino carrasco respecto a la variación interanual del clima en el área de estudio.
- ✓ Reconstruir la historia de intervenciones silvícolas de cada una de las parcelas mediante la detección de liberaciones bruscas de la tasa de crecimiento de los árboles estudiados.
- ✓ Ajustar un modelo medio de crecimiento de diámetro del tronco en función de la edad de todos los árboles estudiados
- ✓ Estimar el efecto relativo y combinado de la densidad de las masas, la calidad de la estación y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco.

# **5. METODOLOGÍA**

## 5. METODOLOGÍA

El primer paso para poder realizar este trabajo fin de grado, es el análisis de los datos obtenidos, junto con las muestras facilitadas por la empresa *föra forest technologies S.L.L.* A continuación se expone la información textual facilitada por dicha empresa:

### 5.1 Territorio objetivo

La primera etapa fue establecer el diseño del muestreo consistiendo en definir lo más precisamente el territorio objeto del trabajo. Dado que por parte de la Delegación del Gobierno de Aragón (DGA) se estableció, que todo el muestreo se realice dentro de los límites de montes gestionados por la administración, el primer nivel de acotación del territorio lo constituye la capa de montes facilitada por la DGA, en la que se incluyen tanto montes de utilidad pública como consorcios, siempre de las provincias de Teruel y Zaragoza.

Posteriormente se acotó, dentro de las teselas seleccionadas en la etapa anterior, el territorio correspondiente a repoblaciones con *P. halepensis* como especie principal dominante. Para ello se utilizó el Mapa Forestal de España (MFE), extrayendo las teselas en las que se cumplieran simultáneamente las condiciones SP1=24 correspondiente a *P. halepensis* y DEFINICIÓN='Bosque\_plantación'. Para rechazar los rodales de repoblación mixtos se calculó un nuevo campo correspondiente a la importancia relativa, en % cobertura, de *P. halepensis* dentro de la tesela:  $P\_PHP=100*O1/(O1+O2+O3)$ , escogiéndose sólo aquellas teselas con  $P\_PHP \geq 80$ .

Por último, se añadió a la selección las repoblaciones más antiguas, en las cuales, en general, su naturalización y espesura hace imposible la identificación de su origen artificial mediante ortofotografía, por lo que en el MFE aparecían clasificadas como de origen natural. Siguiendo las indicaciones de los técnicos de la DGA, dichas repoblaciones antiguas se concentran en la Cuenca del Jiloca, entre Teruel y Zaragoza, el Santuario de Borja y Anento. De esta manera, se llegó a un territorio objetivo de 33.728 ha.

### 5.2 Estratificación del territorio

Con el objetivo de que la muestra de parcelas fuera lo más representativa del territorio objetivo se procedió a estratificarlo según tres criterios: calidad de estación, cobertura y estado de desarrollo (edad), combinando la información disponible en las capas raster (resolución de 10 m) de variables LiDAR y la de edad de las repoblaciones

facilitada por la DGA. Para cada uno de los criterios de estratificación se definieron tres clases. Se prestó especial atención a recoger la máxima variabilidad, en particular a conseguir datos de masas de alta calidad y edad avanzada.

### 5.3 Localización de los rodales de preselección

#### 5.3.1 Protocolo de preselección de rodales

Una vez establecidos los estratos y su localización espacial, para la ubicación concreta de cada parcela se identificaron en gabinete los puntos donde las condiciones de la masa eran lo suficientemente homogéneas en un área sensiblemente superior al tamaño previsto de parcela. Otro aspecto trascendente a la hora de establecer definitivamente una parcela es que el personal de campo se asegure de que no se han realizado intervenciones silvícolas en los últimos 10 años (fundamentalmente, claras), lo cual puede hacerse comprobando la existencia de tocones y consultando al personal de la DGA.

### 5.4 Atributos de las parcelas y toma de datos

#### 5.4.1 Forma y tamaño

El tamaño de parcela se estableció por defecto en 400 m<sup>2</sup> (parcela circular de radio 11.28 m), ya que a la luz de los valores medios de espesura de las parcelas del Inventario Forestal Nacional (IFN) se previó que entrarán 30 árboles por parcela de media. No obstante, se estableció que, en caso de que fuera necesario por exceso o falta de densidad en algún punto de muestreo, se cambiara el radio a 8.46 ó 14.10 m (correspondientes a una superficie de 225 m<sup>2</sup> y 625 m<sup>2</sup>, respectivamente), de tal manera que entren al menos 20 pies en cada parcela, pero tampoco se disparara el número de pies a inventariar.

#### 5.4.2 Identificación

Con el fin de incrementar el valor del trabajo de campo realizado en el proyecto, se llegó al acuerdo con la DGA de establecer el colectivo de puntos de muestreo del presente proyecto como parcelas permanentes. Esta red de parcelas podrá ser pues remedida en el futuro, lo cual supone un enorme valor añadido para el proyecto, ya que la información proveniente de una red de parcelas permanentes es siempre mucho más fiable, robusta y prolija que la de parcelas temporales.

El método de identificación de las parcelas se apoyó en dos fundamentos; en primer lugar, en una precisa toma de coordenadas, cotejadas sobre el terreno y mediante ortofotografía, lo cual es factible gracias a que el equipo de campo fue equipado con una tablet que permitía una geolocalización precisa. Y, en segundo lugar, se marcaron todos los pies inventariables con una T invertida a 1.30 m y se les clavó una chapa con un número identificativo, el cual se anotó en el estadillo. De esta manera es sencillo volver al punto de muestreo y, si se considerara conveniente en el futuro, levantar las coordenadas de cada pie.

### 5.4.3 Toma de datos

En cada punto de muestreo se recogió la siguiente información:

- Todos los diámetros normales (Dn) con precisión milimétrica. El diámetro mínimo inventariable fue de 7.5 cm.
- Crecimientos radiales de los últimos 10 años a la altura del pecho de los 6 árboles más cercanos al centro de la parcela, tomados con barrena Pressler. Para asegurar el sistematismo en la toma de las barrenas, éstas se extrajeron siempre de tal manera que el operario diera la espalda al centro de la parcela.
- Altura total de los 6 árboles más cercanos al centro de la parcela, además de la de los 4 pies más gruesos (equivalente a los 100 más gruesos por hectárea). Obviamente, alguno de los pies más gruesos coincidió con los 6 más cercanos al centro de la parcela. Por consiguiente, el número de alturas medidas ha oscilado entre 6 y 10 por parcela.
- De cada árbol se anotó si estaba vivo o muerto, su clase sociológica y su especie.
- Regenerado. Se anotó el número de pies, por especies y desagregado por los siguientes tamaños:
  - Pies de más 1.30 m de altura, y dn entre 2.5 y 7.5 cm.
  - Pies de más 1.30 m de altura, y dn inferior a 2.5 cm.
  - Pies entre 0.50 y 1.30 m de altura.
  - Pies de menos de 0.50 m de altura.

## 5.5 Desarrollo del trabajo en campo

### 5.5.1 Toma de datos

El equipo de campo ha contado con un ordenador portátil en el que poder consultar tanto la cartografía topográfica como las ortofotografías correspondientes a cada

parcela. Tras identificar la ruta de acceso más favorable a la parcela objetivo (en ocasiones con indicaciones de los agentes medioambientales), el equipo se dirigía a pie hacia el punto objetivo mediante la ayuda de un navegador conectado al portátil, de tal manera que podía identificar su posición en tiempo real sobre la ortofotografía.

Una vez situados sobre el punto seleccionado en gabinete, se observaba si existían signos de haberse extraído pies recientemente.

Si se aceptaba el punto, en primer lugar se estimaba de visu o con una medición rápida si las variables dasométricas (FCC y Ho) calculadas en gabinete a partir de la información LiDAR se correspondían aproximadamente con la realidad, para asegurarse de que el equipo se encontraba en el estrato al que pertenecía la parcela en cuestión. Además, se anotó el método de plantación (terrazas, acaballonado, hoyos o subsolado), fácilmente identificable visualmente.

Una vez determinado el punto central de muestreo, se ubicaba en él un trípode y dos componentes del equipo iban identificando con una chapa metálica numerada los pies inventariables (diámetro normal superior a los 75 mm) ubicados dentro de la parcela. Aunque en gabinete se previó un tamaño de parcela de 400 m<sup>2</sup> (radio de 11.28 m), las densidades encontradas han recomendado reducir o aumentar el tamaño con mucha frecuencia. La numeración de pies inventariables oscila entre 0000 y 1731, por lo que la identificación es inequívoca para todo el conjunto de parcelas permanentes, incluso si se prescinde del número de parcela. Si bien dentro de cada parcela la numeración suele ser correlativa, esto no siempre es así, por lo que no debe tomarse como errónea la identificación de un árbol con un número muy distinto al de sus vecinos.

El tercer componente del equipo, mientras tanto, recogía mediante un GPS Trimble submétrico las coordenadas precisas del centro de la parcela (error inferior a un metro. Dado que dicha recogida necesita conexión a datos vía telefonía móvil, la falta de cobertura ha impedido obtener las coordenadas con corrección en tiempo real en todas las ocasiones, si bien la precisión conseguido, incluso en estos casos, se acerca a un metro.

A cada árbol inventariable se le marcó, mirando hacia el centro de la parcela, una T invertida a la altura donde se le midieron sendos diámetros en cruz. Así mismo, a los seis pies más cercanos al centro de la parcela se les extrajeron sendos testigos mediante barrena Pressler con iniciador de barrenado, igualmente a la altura de la T invertida. Además, a dos de estos árboles se les extrajeron sendos testigos en la base con el fin de corroborar la edad de la masa. Todos los testigos se protegieron y etiquetaron debidamente para su medición en gabinete. A esos mismos 6 árboles, así como a los cuatro árboles más gruesos (caso de no estar entre esos 6 árboles

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel  
METODOLOGÍA  
centrales) se les midió la altura total y la altura de inicio de la copa viva (hicv) mediante Vertex IV Haglöf.

A continuación, se expone la metodología que se ha llevado a cabo en el laboratorio para la elaboración de este Trabajo Fin de Grado, con la finalidad de determinar la influencia de los parámetros estudiados: la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas, tienen sobre el crecimiento del pino carrasco en las parcelas analizadas en las provincias Zaragoza y Teruel.

De las cincuenta y ocho parcelas estudiadas inicialmente, se procedió al descarte de dos de ellas como consecuencia de las diferentes condiciones específicas del suelo que presentaban. En consecuencia, al no ser representativas, se procedió al estudio de las cincuenta y seis parcelas restantes.

## 5.6 Preparación de muestras

El primer paso a realizar fue el encolado de los testigos sobre soportes de madera con la fibra orientada en dirección vertical, seguidamente se procedió a un lijado de la madera, para poder ver con nitidez los anillos de crecimiento, cambiando de lijas desde granulación gruesa hasta llegar a una muy fina con una granulación de 800, donde se puede apreciar con la lupa binocular claramente el leño tardío, el leño temprano y las características anatómicas de la madera. Esta operación es de vital importancia ya que si no, se puede llegar a confusiones con los anillos respecto a las fluctuaciones de densidad presentes en muchos de los anillos.

## 5.7 Datación

Una vez lijadas todas las muestras, se procedió a la datación, donde se utiliza una lupa binocular para poder asignar cada anillo a su año de formación (Figura 5.1).

Este procedimiento es bastante laborioso, ya que no todas las muestras presentaban la parte más externa del árbol donde aparece la corteza y donde el primer anillo de crecimiento es del año 2016, esto ocurre debido a la rotura de esta ya que es más débil que la madera, teniendo que extrapolar datos extraídos de otros testigos, por ejemplo, un año muy característico es el 1999, ya que en la mayoría de las muestras existen dos fluctuaciones, por lo que en algunos casos se tomaba como punto de partida para poder estimar la edad.



Otro problema que se encontró en algunas muestras fueron los nudos presentes en el testigo, ya que cuando se llega a este tipo de madera los anillos crecen de forma irregular, creando falsos anillos y de grosores no correspondientes con la realidad.

Para datar estos árboles existen unas reglas, para que cualquier otra persona que no sea quien está realizando este trabajo, sea capaz de interpretar los años, sin tener que volver a contar, la norma es la siguiente:



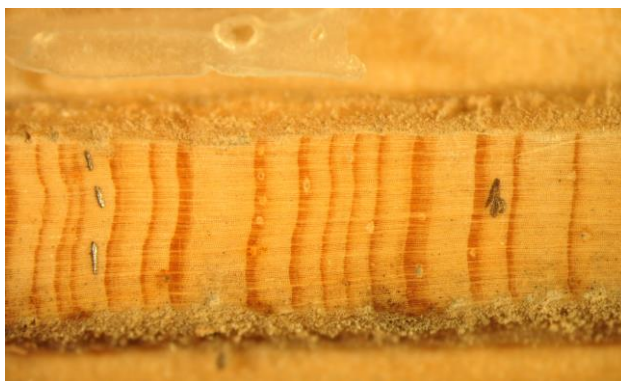
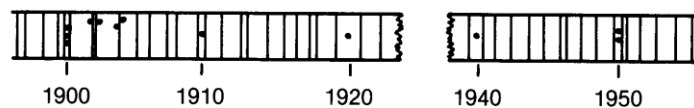
Un punto en cada década



Dos puntos en la mitad de siglo



Tres puntos en los siglos



**Figura 5.1.** Anillos de crecimiento y datación.



**Figura 5.2.** Medición de anillos.

## 5.8 Utilización del VELMEX

Después de datar se emplea un aparato llamado VELMEX que consiste en una plataforma móvil de medición digital conectada a un ordenador, para poder medir de forma micrométrica el grosor de los años (Figura 5.2). Para ello se decidió medir las series de crecimiento de medula a corteza, por lo que los testigos eran medidos desde

el primer año del que se tiene constancia más próximo a la médula, hasta el 2016, que es el año situado junto a la corteza y en el que se muestrearon los testigos. Para poder realizar esta actividad se necesita de nuevo una lupa, en este caso es más precisa. Esta parte es la más importante, ya que con estas medidas se sacan todas las conclusiones, que después se reflejan en los programas de ordenador utilizados.

## 5.9 Trabajo de ordenador

### 5.9.1 COFECHA

Una vez medidas las muestras con el VELMEX se registran en un programa de control de calidad, el software llamado COFECHA, donde se realiza un chequeo sobre la correspondencia de cada serie de crecimiento con todas las demás empleando técnicas de correlación, obteniéndose finalmente un patrón de crecimiento común a todos los árboles.

En nuestro caso todos los testigos siguen un patrón común, aproximadamente con un 59% de coincidencia, esto supone que los árboles tienen un crecimiento parecido en todas las parcelas debido a una señal climática compartida.

Este programa también permite identificar las parcelas o los árboles que no siguen este patrón común, como por ejemplo la parcela 31615 situada en un antiguo cultivo de cereales, con crecimientos muy superiores a la media y que no eran comparables con el resto de parcelas, por lo que fue desechada.

Existe otro tipo de casos donde también se eliminaron testigos, pero estos ya a nivel de individuos aislados dentro de las parcelas, donde a la hora de extraer el testigo, había coincidido con nudos, que generan confusión porque los anillos de crecimiento no se forman regularmente.

### 5.9.2 Tratamiento de los datos en EXCEL

Cuando los datos, tanto de campo como de crecimiento anual de los testigos, ya están disponibles, se pasan a hojas de Excel, donde es posible ordenarlos y organizarlos para poder para trabajar mejor, realizar gráficas y poder expresar los resultados de forma que sean más visibles.

El tipo de expresar los resultados se ha dividido de tres formas:

- Las parcelas de forma conjunta, valorando los aspectos generales como son las actuaciones silvícolas, las condiciones atmosféricas y el suelo.
- Separando las actuaciones por provincias, en este caso Zaragoza y Teruel

- De forma individual, las parcelas que han actuado de forma dispar a la media general.

### 5.9.3 Análisis estadísticos

Las series brutas de crecimiento radial fueron estandarizadas en índices de crecimiento mediante el software ARSTAN para minimizar las tendencias debidas al aumento del tamaño y la edad. Las cronologías de cada parcela y la cronología media global obtenidas fueron utilizadas para calcular correlaciones con series mensuales de registros climáticos. Las series climáticas utilizadas fueron obtenidas del modelo CRU TS 3.2 (Climate Research Unit, University of West Anglia) a partir de la web del Royal Netherlands Meteorological Institute (<http://climexp.knmi.nl/>), que utiliza la red de registros climáticos disponibles en todo el mundo para elaborar una base de datos depurada y normalizada de observaciones meteorológicas desde 1901 hasta 2017 con una precisión geográfica de 0.5° de latitud x 0.5° de longitud. Las variables climáticas utilizadas consistieron en la precipitación (mm), el índice de sequía de Palmer (PDSI) y el contenido de agua en el metro más superficial de suelo (kg/m<sup>2</sup>). Las relaciones entre tamaños, tasas de crecimiento y series climáticas se realizaron mediante análisis de correlación de Pearson, obteniéndose el coeficiente de correlación (R) y su probabilidad estadística asociada (p).

Las series de anchuras de anillos fueron transformadas en series de incremento en área basal (BAI), suponiendo un crecimiento concéntrico de los árboles, utilizando la fórmula:

$$BAI = \pi (r_t^2 - r_{t-1}^2)$$

Donde r es el radio del árbol y t el año de formación del anillo. Para identificar las intervenciones en cada masa, se detectaron aumentos bruscos en las series de anchuras de anillos de cada parcela mediante la siguiente fórmula del filtro de porcentaje de cambio en el crecimiento (PGC):

$$PGC = ((M2 - M1)/M1) \times 100$$

Donde M1 y M2 son las tasas de crecimiento previa y posterior al evento considerando períodos de 5 años. Finalmente, se ajustaron modelos de crecimiento de forma global, y a las diferentes subpoblaciones de árboles clasificados por categorías de densidad

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel

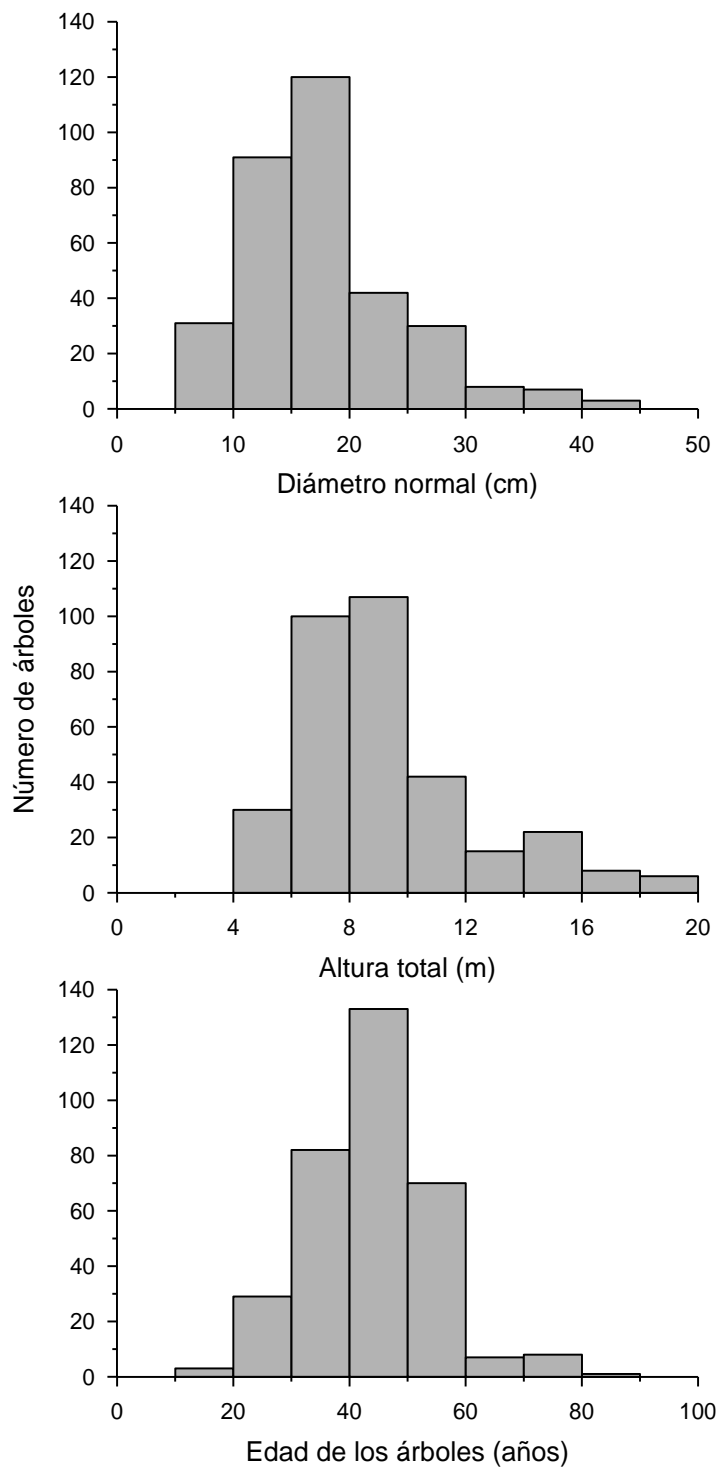
METODOLOGÍA

de la masa, calidad de estación, y número de intervenciones de aclareo en la masa. Se utilizó el software SPSS para realizar ajustes de modelos de tipo potencial a los crecimientos acumulados de cada categoría de individuos, así como regresiones múltiples para comprobar en qué medida la tasa de crecimiento (anchura media de los anillos, BAI) depende de la densidad de la masa, la calidad de estación y el número de intervenciones silvícolas.

## **6. RESULTADOS**

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Tamaños, edades y crecimiento de los árboles



**Figura 6.1.** Distribuciones, en número de individuos, del diámetro, la altura total y la edad de todos los árboles estudiados.

Los diámetros de los árboles estudiados variaron entre 7.5 y 44.4 cm, la altura total varió entre 4.1 y 19.8 m, la altura de la primera rama viva varió entre 0 y 15.5 m, la profundidad de la copa entre 1.5 y 12.8 m, y la edad de los árboles entre 13 y 87 años (Tabla 6.1).

**Tabla 6.1.** Media, desviación estándar (SD), mínimo y máximo valores de diámetro normal (Dn), altura total (Ht), altura de la primera rama viva (Hpv), profundidad de copa y edad de todos los árboles estudiados.

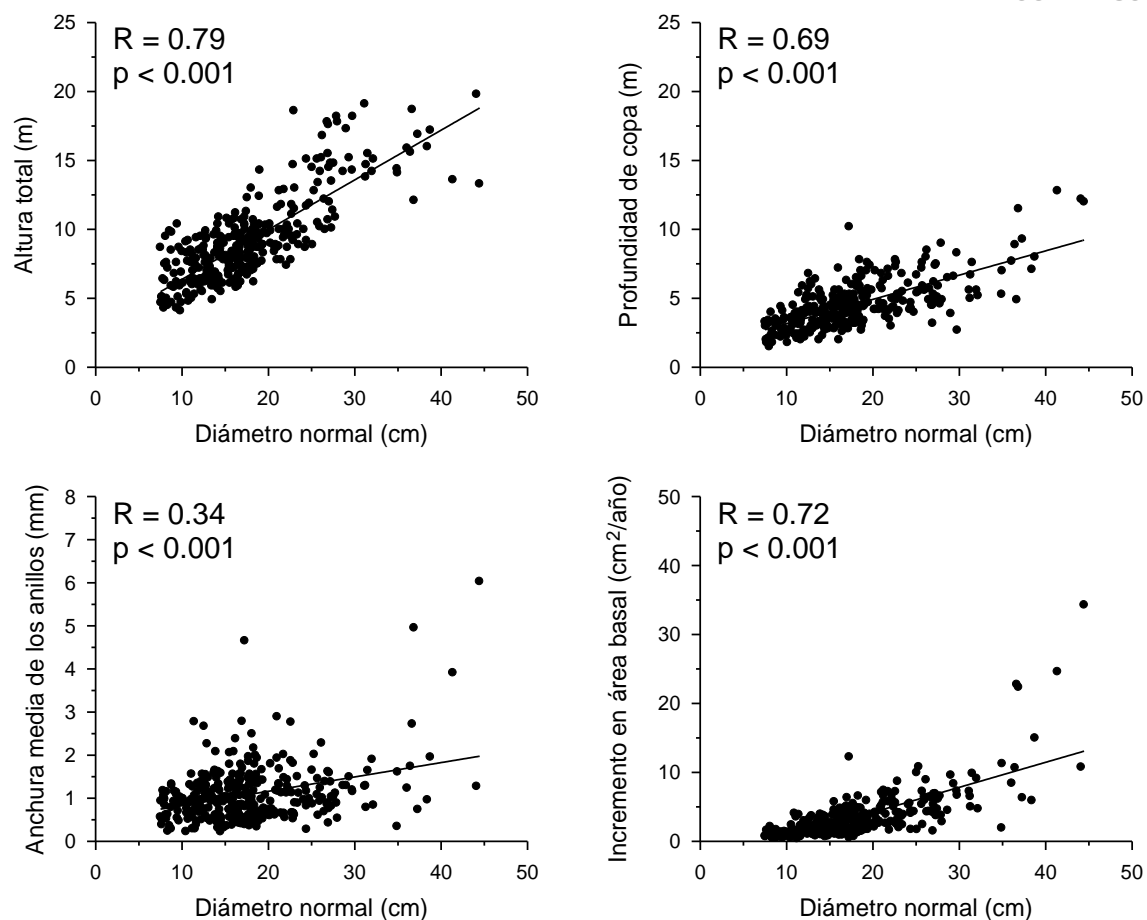
|               | <b>Dn (cm)</b> | <b>Ht (m)</b> | <b>Hpv (m)</b> | <b>Prof. Copa (m)</b> | <b>Edad (años)</b> |
|---------------|----------------|---------------|----------------|-----------------------|--------------------|
| <b>Media</b>  | 17.78          | 9.19          | 4.65           | 4.54                  | 43.27              |
| <b>SD</b>     | 6.77           | 3.07          | 2.67           | 1.72                  | 10.92              |
| <b>Mínimo</b> | 7.50           | 4.10          | 0.00           | 1.50                  | 13                 |
| <b>Máximo</b> | 44.45          | 19.80         | 15.50          | 12.80                 | 87                 |

La mayoría de los árboles muestreados presentaron un diámetro entre 5 y 30 cm, con un máximo entre 15 y 20 cm, una altura total entre 6 y 10 m y una edad entre 20 y 60 años, con un máximo entre 40 y 50 años (Figura 6.1).

Las tasas medias de crecimiento de los árboles estudiados, en el período 1985-2016, variaron entre 0.22 y 6.03 mm por año, en el caso de la anchura media de los anillos, y entre 0.41 y 34.29 cm<sup>2</sup> por año, en el caso de los incrementos en área basal (Tabla 6.2).

**Tabla 6.2.** Media, desviación estándar (SD), mínimo y máximo valores de las tasas de crecimiento, cuantificadas como la anchura media de los anillos (MRW) y el incremento en área basal (BAI), de todos los árboles estudiados.

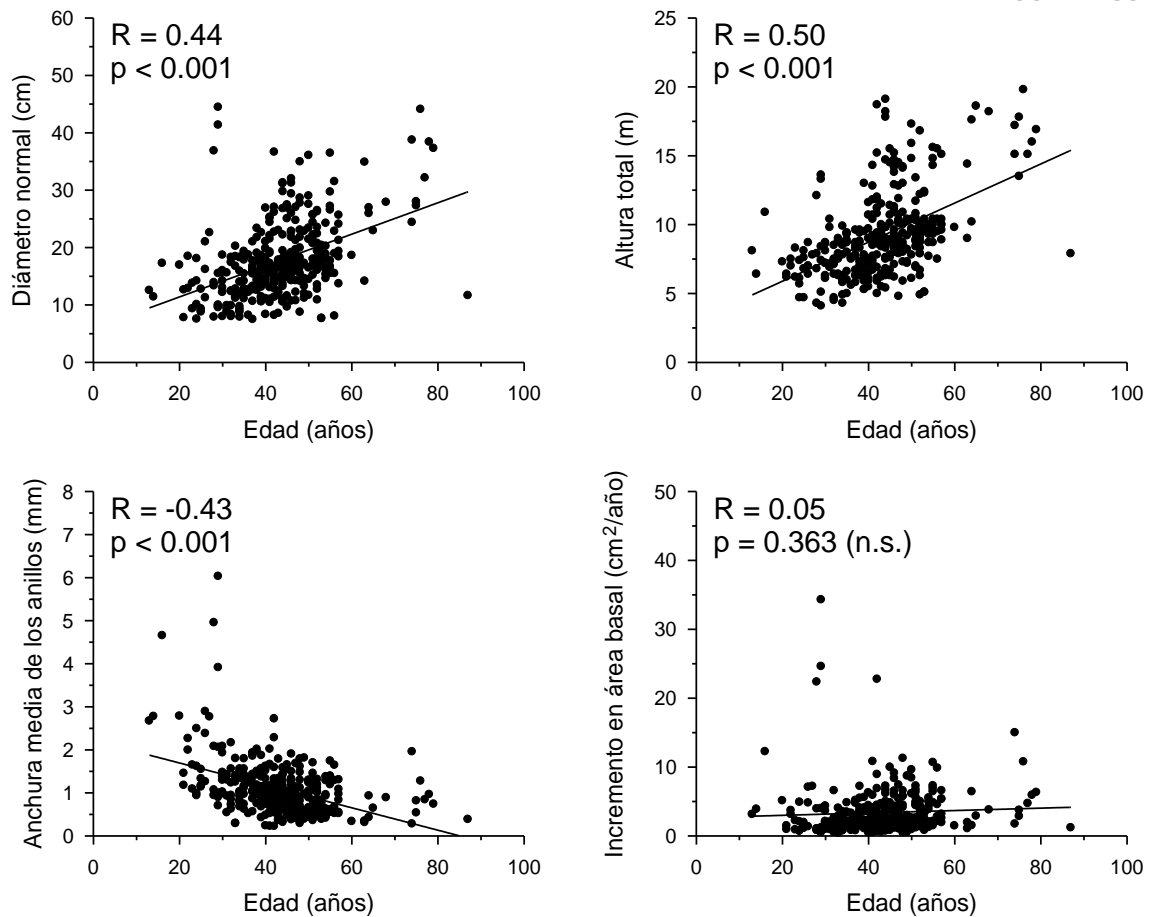
|               | <b>MRW (mm)</b> | <b>BAI (cm<sup>2</sup>)</b> |
|---------------|-----------------|-----------------------------|
| <b>Media</b>  | 1.08            | 3.39                        |
| <b>SD</b>     | 0.66            | 3.41                        |
| <b>Mínimo</b> | 0.22            | 0.41                        |
| <b>Máximo</b> | 6.03            | 34.29                       |



**Figura 6.2.** Relaciones entre la altura total, la profundidad de la copa, la anchura media de los anillos y la el incremento en área basal con el diámetro normal de todos los árboles estudiados. Se indican el coeficiente de correlación (R) y su significación estadística (p).

Las dimensiones de la copa, cuantificadas como la altura total y la profundidad de la copa, y las tasas de crecimiento, cuantificadas como la anchura de los anillos y el incremento en área basal (BAI), mostraron una relación positiva con el diámetro de los árboles (Figura 6.2).





**Figura 6.3.** Relaciones entre el diámetro normal, la altura total, la anchura media de los anillos y el incremento en área basal con la edad de todos los árboles estudiados. Se indican el coeficiente de correlación (R) y su significación estadística (p).

La edad de los árboles determinó el tamaño, cuantificado como el diámetro normal y la altura total, mostrando una correlación positiva. La edad de los árboles también determinó la anchura de los anillos, en este caso con una relación negativa, pero no la tasa de incremento en área basal (BAI), ya que la correlación entre edad y BAI no fue significativa (Figura 6.3).

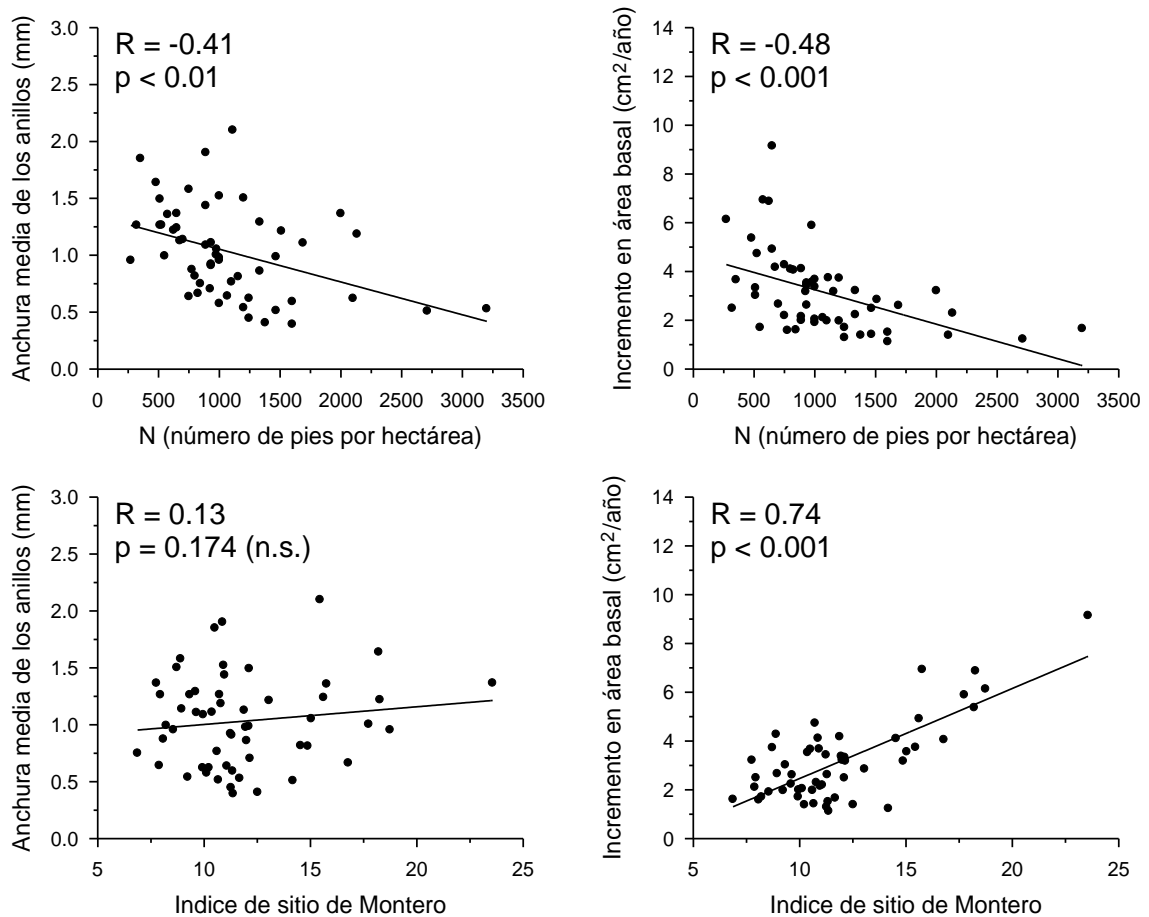
## 6.2 Efecto de la competencia y la calidad del sitio sobre el crecimiento de los árboles

La competencia en cada parcela fue cuantificada como el número de pies por hectárea, el cual varió entre 272 y 3200 pies por hectárea en las parcelas estudiadas, mientras que la calidad del sitio se cuantificó mediante el índice de sitio de Montero,

que varió entre 6.86 para el sitio de peor calidad y 23.56 para el sitio de mejor calidad (Tabla 6.3).

**Tabla 6.3.** Media, desviación estándar (SD), mínimo y máximo valores de la densidad de las parcelas, cuantificada como el número de pies por hectárea (N), y la calidad del sitio, cuantificada como el índice de sitio de Montero (IS.montero) para una edad de referencia de 60 años.

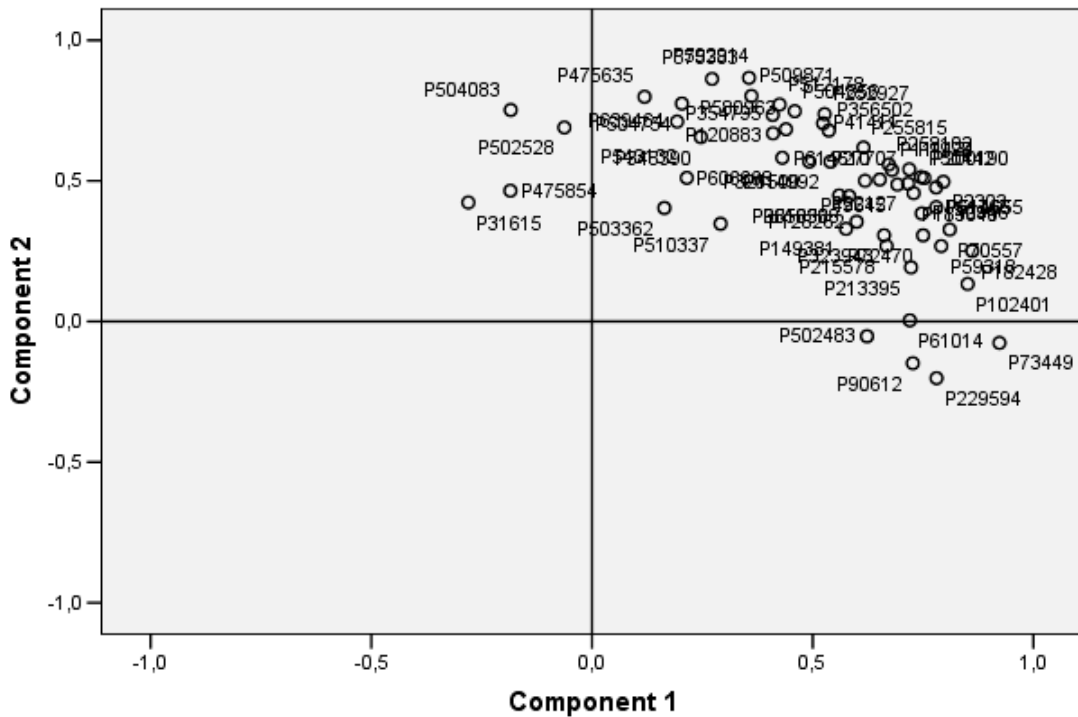
|               | <b>N</b> | <b>IS.montero</b> |
|---------------|----------|-------------------|
| <b>Media</b>  | 1078.73  | 11.85             |
| <b>SD</b>     | 562.82   | 3.3               |
| <b>Mínimo</b> | 272      | 6.86              |
| <b>Máximo</b> | 3200     | 23.56             |



**Figura 6.4.** Relaciones entre la tasa de crecimiento, cuantificada como la anchura media de los anillos y el incremento en área basal de cada parcela, con la densidad (N, número de pies por hectárea) y la calidad de sitio (índice de sitio de Montero). Se indican el coeficiente de correlación (R) y su significación estadística (p).

A nivel de parcela, la tasa de crecimiento, cuantificada tanto en anchura media de los anillos de crecimiento como en incremento medio anual en área basal, mostró una relación negativa con la intensidad de la competencia entre árboles, cuantificada mediante la densidad en número de pies por hectárea (Figura 6.4). El incremento medio en área basal de los árboles de cada parcela mostró una relación positiva con la calidad del sitio, cuantificada como el índice de sitio de Montero, pero la anchura media de los árboles de cada parcela no mostró una correlación significativa con el índice de sitio (Figura 6.4), indicando que la anchura de los anillos es independiente de la calidad del sitio.

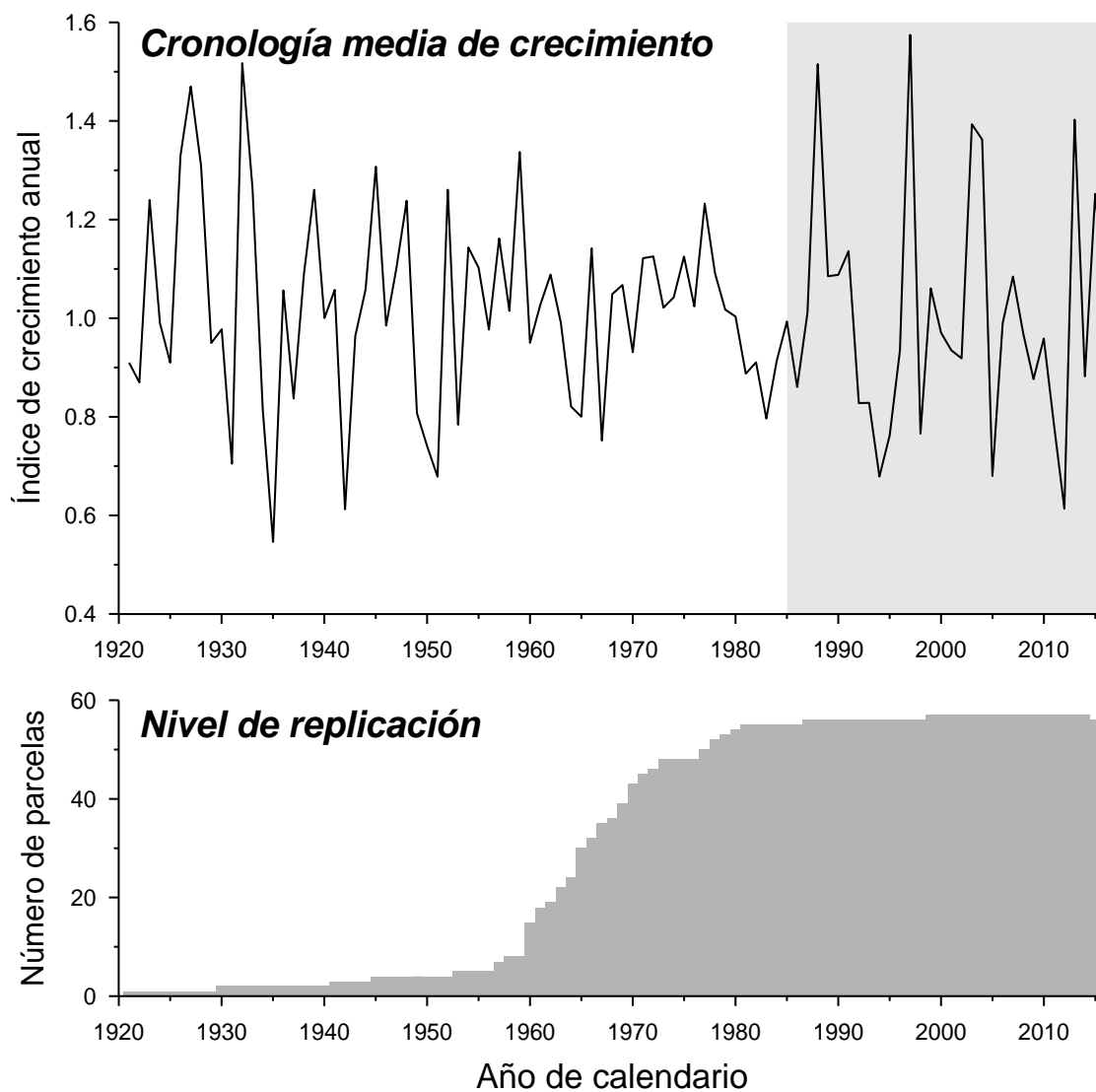
### 6.3 Efecto del clima sobre el crecimiento



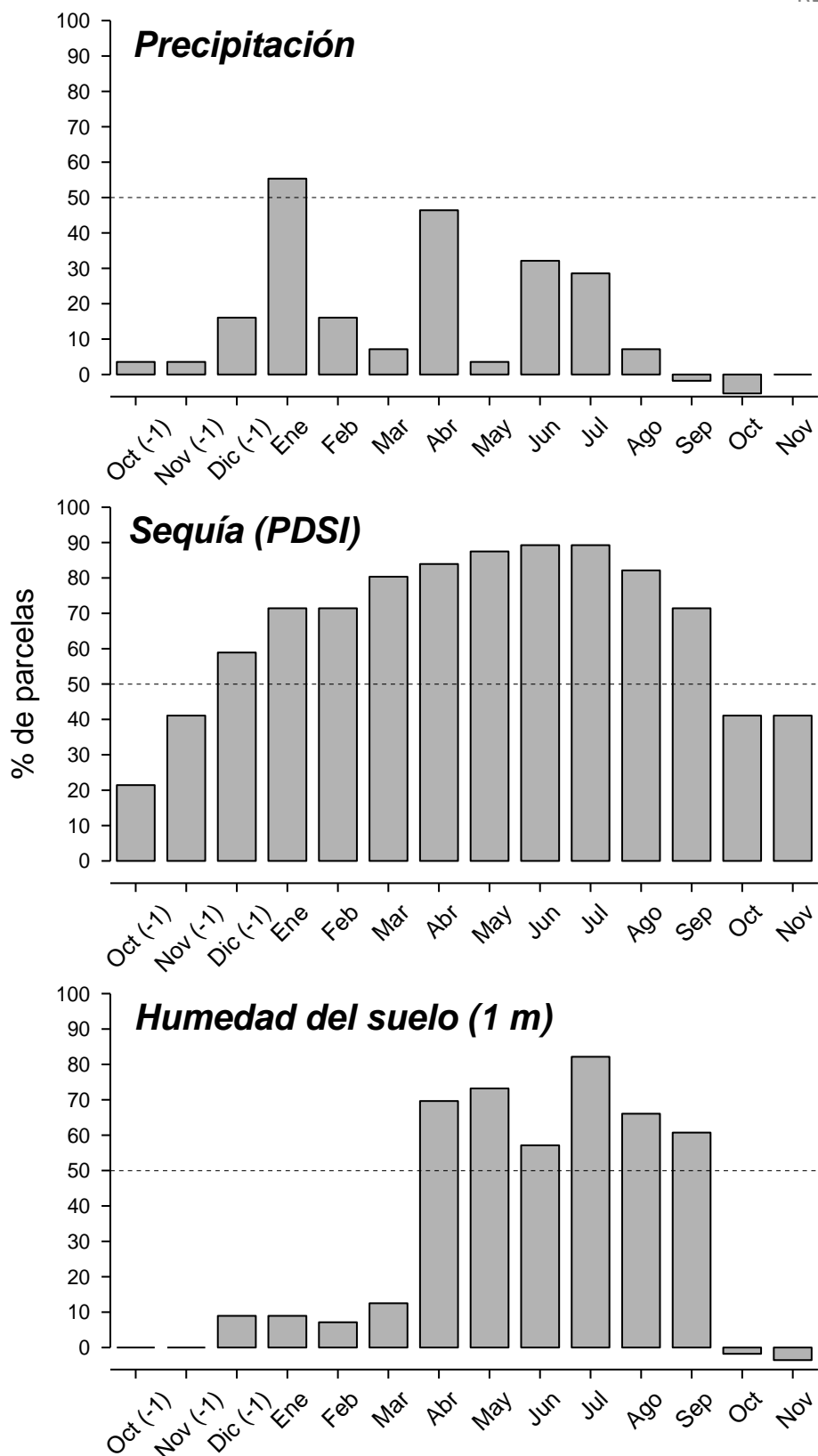
**Figura 6.5.** Ordenación obtenida mediante PCA de las cronologías de crecimiento medio de cada parcela en el período 1985-2016.

Se ha obtenido una correlación media entre las cronologías de crecimiento de todas las parcelas de  $R = 0.59$ , además de una clara ordenación en un solo grupo de las cronologías mediante el análisis de componentes principales (Figura 6.5), lo que significa que independientemente de la localización de las parcelas, todos los árboles

presentaron un patrón de variación interanual del crecimiento muy similar, probablemente debido a una potente señal común de origen climático.

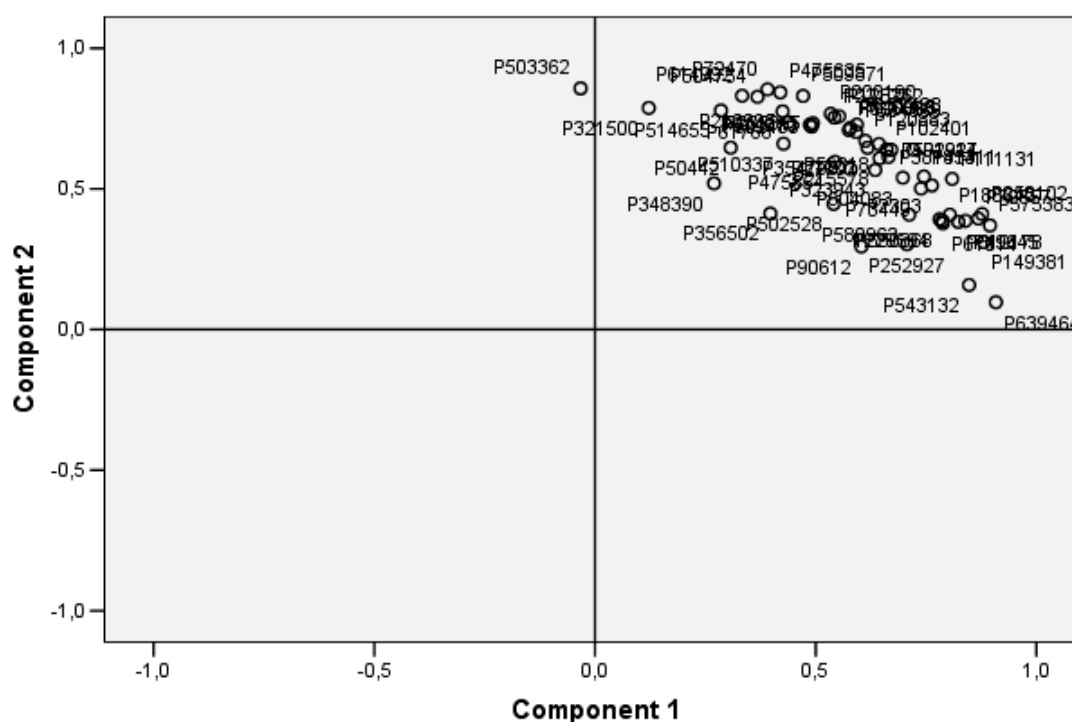


**Figura 6.6.** Cronología media de índices de crecimiento anual de todas las parcelas combinadas y variación anual del nivel de replicación, en número de parcelas por año. En la gráfica superior se indica mediante sombreado el período 1985-2016, considerado para el análisis de los efectos del clima sobre el crecimiento.

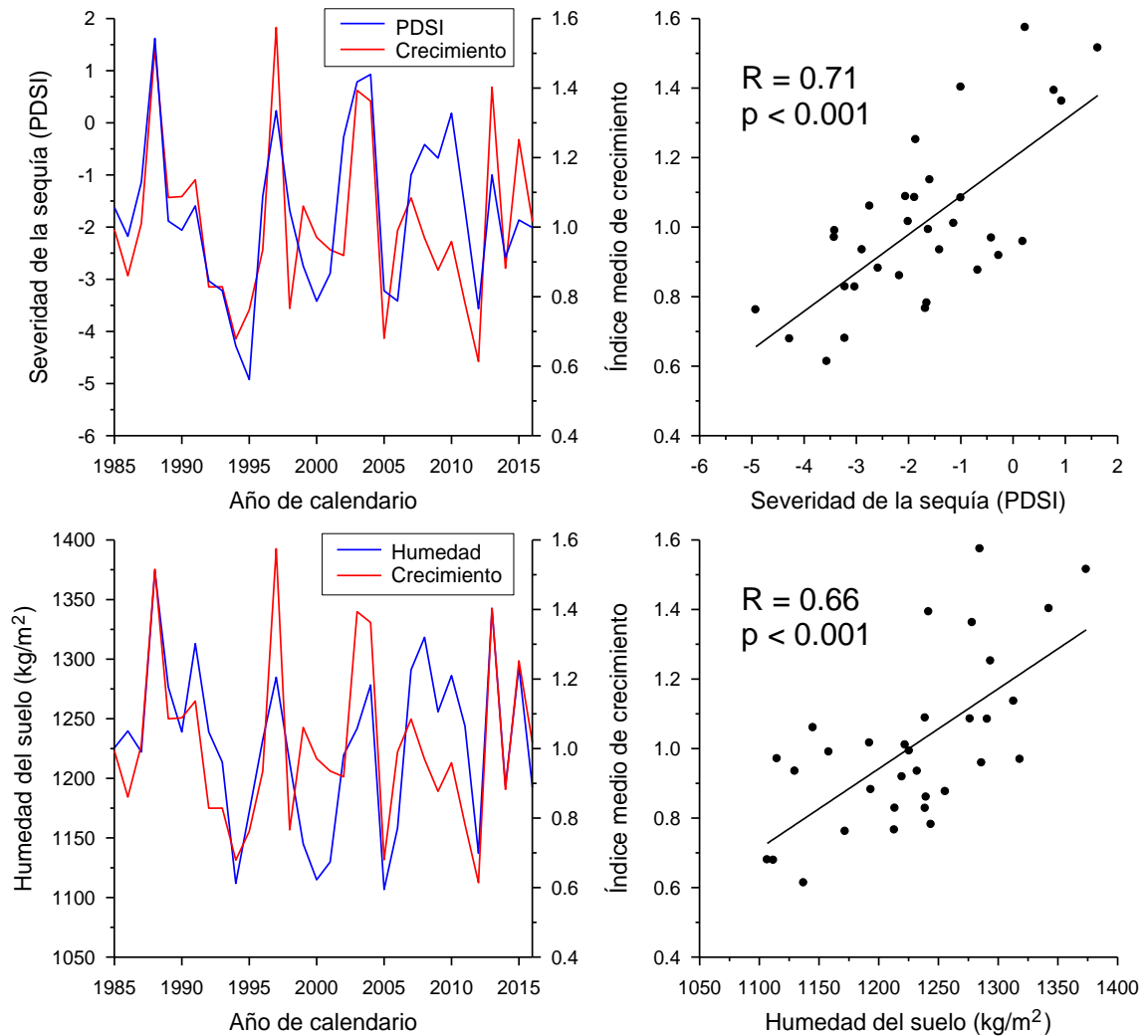


**Figura 6.7.** Porcentaje de parcelas con una respuesta significativa a las variables climáticas mensuales precipitación, sequía (índice de sequía de Palmer, PDSI) y contenido de agua en el suelo. Se indica el 50% de las parcelas mediante una línea horizontal. El signo del porcentaje indica el signo de la respuesta.

Debido a esta gran semejanza en el patrón de variación interanual del crecimiento, se calculó una cronología media de todas las parcelas estudiadas que abarcó desde 1920 hasta 2016, la cual mostró un alto nivel de replicación en el período 1981-2016 (Figura 6.6). Para el análisis de las relaciones de crecimiento con clima se eligió el período 1985-2016, el período común a la mayoría de árboles estudiados. Las relaciones crecimiento-clima mostraron una elevada proporción de parcelas estudiadas con una correlación significativa con la precipitación en enero, abril y junio-julio, mientras que las variables que condicionaron el crecimiento de una mayor proporción de parcelas fueron el índice de sequía (PDSI) de marzo a agosto y el contenido de agua en el suelo de abril a septiembre (Figura 6.7). Cuando se compararon las correlaciones del crecimiento con el clima de todas las parcelas estudiadas mediante análisis de componentes principales, se obtuvo una clara agrupación de todas las parcelas en un solo grupo (Figura 6.8), lo cual indica una respuesta del crecimiento al clima muy similar a lo largo de toda el área de estudio.



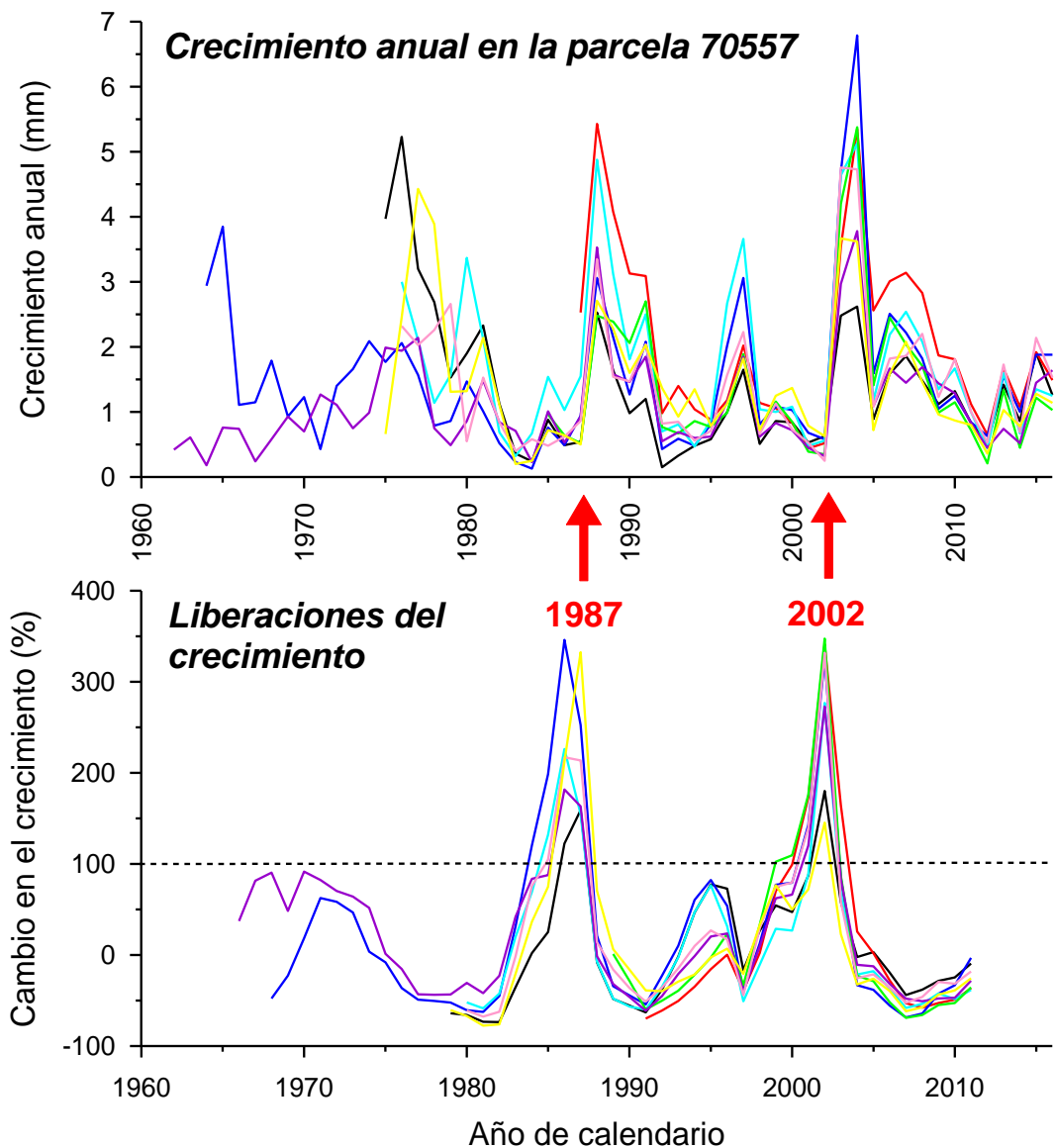
**Figura 6.8.** Ordenación obtenida mediante PCA de las respuestas del crecimiento de cada parcela a la precipitación, sequía (índice de sequía de Palmer, PDSI) y contenido de agua en el suelo hasta una profundidad máxima de 1 m.



**Figura 6.9.** Relaciones entre el crecimiento medio de *Pinus halepensis* y la severidad de la sequía (PDSI) en los meses de marzo a agosto (dos gráficos superiores) y entre el crecimiento medio y el contenido de agua en el primer metro de suelo (kg/m<sup>2</sup>) en los meses de abril a septiembre (dos gráficos inferiores). Se indican el coeficiente de correlación (R) y su significación estadística (p).

Las variables climáticas que más mostraron una relación más consistente con el crecimiento medio de las masas estudiadas de pino carrasco fueron el índice de sequía (PDSI) en marzo a agosto y el contenido de agua en el suelo de abril a septiembre, las cuales mostraron una correlación altamente significativa con la cronología media de crecimiento (Figura 6.9).

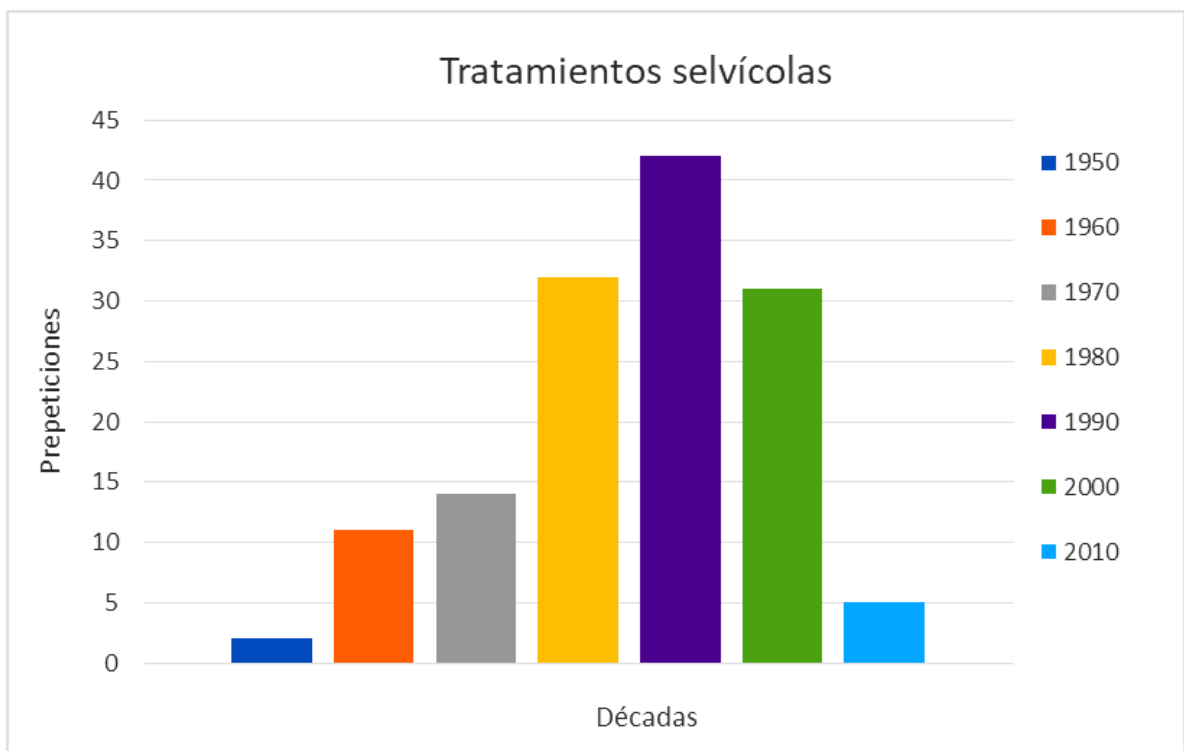
## 6.4 Tratamientos silvícolas



**Figura 6.10.** Ejemplo de identificación de aumentos bruscos del crecimiento correspondientes a aclareos de las parcelas. Se representan todas las series de crecimiento medidas en la parcela 70557 (gráfico superior) y las liberaciones del crecimiento detectadas como aumentos sincrónicos superiores al 100% de la tasa de crecimiento, identificados mediante el filtro de porcentaje de cambio en el crecimiento, comparando períodos de 5 años (gráfico inferior). Se indican los dos aumentos bruscos de crecimiento identificados en todas las series en 1987 y 2002, atribuibles a aclareos de la masa.



El filtro de porcentaje de cambio en el crecimiento permitió detectar los aumentos bruscos sincrónicos entre individuos de cada parcela como valores de PGC mayores al 100% de incremento en la tasa media de crecimiento (Figura 6.10). Se realizó una compilación del número de intervenciones por parcela (Anexo 5) y del número de parcelas con intervenciones de aclareo en cada década, siendo las décadas de 1980, 1990 y 2000 las que mostraron mayor número de intervenciones de aclareo de las masas (Figura 6.11; Anexos 3 y 4).

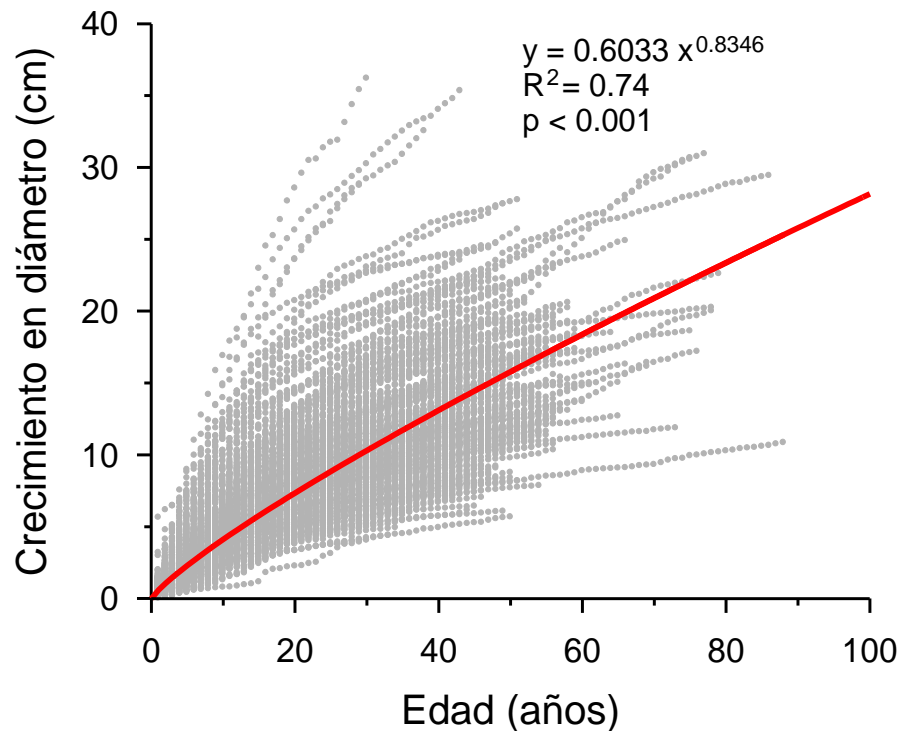


**Figura 6.11.** Número de parcelas con intervenciones de aclareo por década, detectadas como aumentos bruscos en las series de crecimiento de *Pinus halepensis*.

### 6.5 Modelo de crecimiento del pino carrasco

Las series individuales de crecimiento radial, transformadas en crecimiento diamétrico acumulativo, respecto a la edad de los árboles, se ajustan de forma global a un modelo potencial. Según este modelo, la edad de los árboles explica el 74% del aumento en diámetro de todos los árboles estudiados considerados en conjunto (Figura 6.12). En cualquier caso, la distribución real de los datos indica que el crecimiento es muy variable en función de la edad. Por Ejemplo, un árbol de 25 cm

de diámetro puede tener una edad que varía entre 18 y 59 años, probablemente en función de las características del sitio, de la masa o de la historia de actuaciones silvícolas.

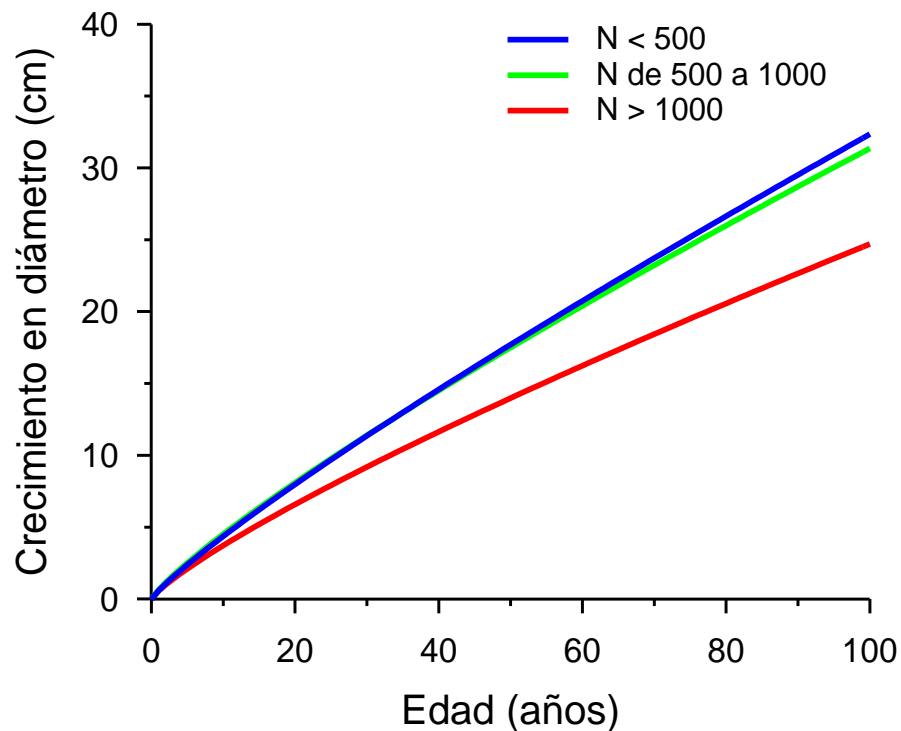


**Figura 6.12.** Modelo potencial (línea roja) ajustado a las series individuales de crecimiento en diámetro respecto a la edad de todos los árboles estudiados. Se muestran la ecuación de ajuste, el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y su significación estadística ( $p$ ).

## 6.6 Efectos de la densidad de la masa, la calidad de estación y las intervenciones silvícolas sobre el crecimiento

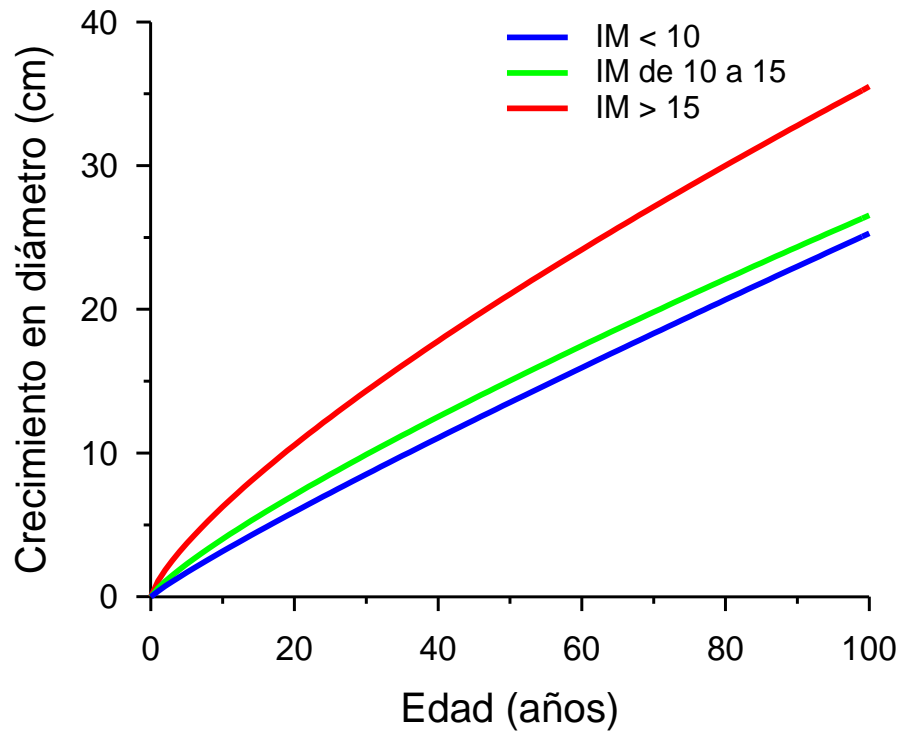
La regresión múltiple para determinar qué parámetros influyen sobre el incremento medio en área basal por parcela mostró que las intervenciones silvícolas no son relevantes, y que son la densidad de la masa y la calidad de estación las variables que más influyen sobre el crecimiento. De hecho el incremento en área basal presenta una correlación con la densidad de la masa de  $R = -0.48$  ( $p < 0.001$ ) y con la calidad de estación, cuantificada como el índice de sitio de Montero, de  $R = 0.74$  ( $p < 0.001$ ), mientras que con el número de intervenciones silvícolas la correlación es de  $R = 0.123$  ( $p = 0.183$ , n.s.). En conjunto, la densidad de la masa más la calidad de

estación explican el 69.3% de la variación del incremento medio en área basal por parcela ( $F_{2,52} = 58.56$ ,  $p < 0.001$ ).



**Figura 6.13.** Modelos potenciales ajustados a las series individuales de crecimiento en diámetro respecto a la edad de los árboles clasificados en tres categorías de densidad de la masa, en función del número de pies por hectárea (N). Se muestran con distintos colores las tres categorías de densidad de la masa diferenciadas.

Para densidades superiores a 1000 árboles por hectárea se observó una disminución del crecimiento en comparación con densidades de la masa inferiores a 1000 individuos por hectárea (Figura 6.13), indicando que las masas menos densas son las que muestran una mayor potencialidad del crecimiento. De forma similar, para valores del índice de Montero superiores a 15 se observó un aumento del crecimiento en comparación con las parcelas con valores inferiores a 15, indicando que las masas con mejores calidades de estación muestran una mayor potencialidad de crecimiento.



**Figura 6.14.** Modelos potenciales ajustados a las series individuales de crecimiento en diámetro respecto a la edad de los árboles clasificados en tres categorías de calidad de estación, en función del índice de sitio de Montero (IM). Se muestran con distintos colores las tres categorías de calidad de sitio diferenciadas.

## **7. DISCUSIÓN**

## 7. DISCUSIÓN

Se considera que la precipitación no es un factor determinante de la distribución del *P. halepensis*, como tampoco lo es el tipo de sustrato, ya que se le puede encontrar sobre varios tipos de suelos (Ceballos y Ruiz de la Torre, 1979). Sin embargo, a pesar de su gran capacidad de adaptación a la sequía, su exigencia de humedad tiene umbrales por debajo de los cuales el árbol no se desarrolla con normalidad, incluso pereciendo en los años más secos (Camareto et al., 2004).

En este estudio queda reflejada la importancia de las precipitaciones, entre las que más destacan se encuentran las lluvias del mes de enero, uno de los más lluviosos del año en el área de estudio, en que el agua de lluvia recarga el suelo, beneficiando a los pinos durante su estación de crecimiento. Las lluvias de abril también son representativas, ya que son las primeras de la primavera, cuando empieza el periodo vegetativo de crecimiento de la especie. Las siguientes lluvias que tienen relevancia son las de junio y julio, cuando el árbol se encuentra en máximos de crecimiento y comienza el período de sequía estival característico del clima mediterráneo. Estos resultados son coherentes con investigaciones previas sobre la respuesta climática de la especie, en que la lluvia en el invierno previo y la disponibilidad hídrica en el período de crecimiento activo son los principales factores limitantes del crecimiento secundario (Pasho et al., 2011; Olivar et al., 2012; Condés y García, 2013; Gazol et al., 2017).

La sequía estival propia del medio mediterráneo puede considerarse como uno de los principales factores causantes de mortalidad durante los primeros años de desarrollo del regenerado, pero desde el tercer año de vida, se estabiliza y resiste las sequías con gran adaptación (Creus y Saz, 2004), por lo que en este estudio no se tiene en cuenta esta mortalidad ya que todos los árboles tienen más de 20 años. Según los resultados de este trabajo y los conocimientos previos (Novak et al., 2013; Olivar et al., 2009), la sequía se refleja negativamente en el grosor de los anillos, siendo estos menores cuando el año ha sido seco. En las parcelas estudiadas, la sequía afecta al crecimiento de *P. halepensis* durante todos los meses excepto a los de otoño, donde hay mayores precipitaciones y la actividad vegetativa disminuye.

Hay que tener en cuenta que factores como la productividad del lugar, la densidad de la masa o la edad, son importantes impulsores de la variación espacial en el crecimiento y los cambios de la masa arbórea (Cámara, 2001; Cabanillas, 2010). Los crecimientos de esta especie son relativamente bajos y con poca calidad maderable

en comparación con otras especies del mismo género, lo que conlleva que el pino carrasco se plante como especie protectora, principalmente en áreas donde otras especies no resistirían debido a sus parámetros culturales. Por ello en este Trabajo Fin de Grado, uno de los objetivos es ajustar un modelo medio de crecimiento, para así posteriormente, poder estimar el valor bioenergético de la masa, y calcular de una forma más exacta la cantidad de biomasa-bioenergía que son capaces de generar las parcelas estudiadas. Los resultados aquí obtenidos contribuyen a completar el conocimiento previo que existe sobre modelos de crecimiento de la especie, mayoritariamente de crecimiento en altura respecto a la edad (Montero et al., 2000; Trasobares et al., 2004; García, 2016), que facilitan la implementación de una silvicultura idónea para cada rodal, orientada a la producción de biomasa, ya que los crecimientos no son homogéneos en todas las masas forestales de pino carrasco. También existen modelos bioclimáticos basados en crecimientos en diámetro combinados con respuestas del crecimiento al clima (Rathgeber et al., 2005), los cuales serían mucho más coherentes con los datos obtenidos en este Trabajo Fin de Grado. Estos modelos bioclimáticos tienen la ventaja de que permiten predecir la eventual respuesta del crecimiento de las masas a futuros cambios en el clima, como son los derivados del calentamiento global.

Según Herrero y Bravo (2012), la aplicación de claras en las masas forestales mediante la corta de parte de los pies de la masa principal conlleva una disminución de la competencia para procurar la estabilidad biológica de la masa y el mantenimiento de su composición específica. Estas actuaciones permiten además obtener importantes crecimientos a edades tempranas, mejorando las dimensiones, así como el valor de los productos finales (Río, 1999; Serrada, 2011).

Los tratamientos silvícolas realizados en las parcelas estudiadas, se representan en las gráficas de porcentaje de cambio en el crecimiento de un modo contundente. En este sentido, si bien una vez finalizadas las actuaciones en la masa, el crecimiento arbóreo se mantiene elevado y estable durante un periodo aproximado de dos años, posteriormente se produce un aumento del crecimiento durante un periodo de tiempo de entorno a cinco años, hasta que vuelve a su crecimiento normal.

En la mayoría de las parcelas se ha realizado mínimo una corta, pudiendo llevar hasta cinco aclareos en las repoblaciones más antiguas. Generalmente las intervenciones fueron realizadas en los años 90, cuando los pinos alcanzaban una edad aproximada de 40 años. Estos tratamientos tuvieron efectos muy característicos en los crecimientos, lo que se reflejó claramente en aumentos a corto plazo en el grosor de los anillos de crecimiento. Sin embargo, este aumento temporal

de la tasa de crecimiento no se vió reflejado en un aumento sostenido en el crecimiento medio de las masas, por lo que no existe una diferencia apreciable entre el crecimiento de parcelas sin aclareo, o con intensidades bajas de aclareo, respecto de aquellas parcelas sometidas a varias actuaciones de aclareo.

En la especie *Pinus halepensis* se pueden diferenciar diversos ecotipos adaptados a distintas condiciones limitantes, relacionadas sobre todo con la disponibilidad hídrica (Voltas et al., 2018). Después de analizar cada parcela, sin embargo, se deduce que todos los árboles estudiados mostraron un patrón de crecimiento similar en lo que se refiere a su respuesta al clima, lo que significa que el clima, y más concretamente las precipitaciones manifestadas como intensidad de la sequía o disponibilidad de agua en el suelo, afectaron por igual y de forma homogénea a todas las masa estudiadas en Zaragoza y Teruel. Este resultado refleja que, independientemente de la localización, el suelo, la exposición, la altitud, etc., el factor limitante principal fueron las condiciones ambientales.

En determinados años, donde los crecimientos sufrieron fluctuaciones, se observaron cambios de densidad de la madera con bandas de traqueidas más o menos densas. Esto fue debido a la alteración de algún parámetro de crecimiento del árbol dentro del período de actividad, principalmente relacionados con cambios en la disponibilidad de agua durante la estación de crecimiento. Un claro ejemplo fue el año 1999, donde se registraron dos fluctuaciones en todos los árboles estudiados, provocadas por la sequía que se produjo en los meses de crecimiento vegetativo, y una posterior precipitación, causando que el árbol reaccionase generando madera temprana. Es una reacción común en todos los pinos pinos de la región mediterránea, y muy frecuente en el caso de *Pinus halepensis* (De Luis et al., 2011; Olivar et al., 2012; Novak, 2017).



## **8. CONCLUSIONES**

## 8. CONCLUSIONES

Las principales conclusiones que se extraen de los resultados obtenidos en el TFG son las siguientes:

- ✓ El crecimiento de *Pinus halepensis* tiene un patrón común, en su variación de alta frecuencia, en todas las parcelas estudiadas en Zaragoza y Teruel.
- ✓ El factor principal que afecta al crecimiento de estos árboles es la disponibilidad de agua, fundamentalmente la sequía y el contenido en agua del suelo durante la estación de crecimiento, mostrando grandes crecimientos en los años con suficiente agua y crecimientos más pequeños cuando existen condiciones de sequía.
- ✓ Se obtuvo un buen ajuste a un modelo potencial a los crecimientos en diámetro de los árboles respecto a la edad para todos los árboles estudiados en conjunto.
- ✓ Las masas menos densas y con mayor calidad de estación son las que tienen un mayor potencial de crecimiento de pino carrasco.
- ✓ El efecto combinado de la densidad de la masa y el índice de sitio explicó un 69.3% del crecimiento en área basal del pino carrasco.
- ✓ Aunque la extracción de biomasa por claras selectivas de árboles aumenta la tasa de crecimiento de las masas durante un período de unos 5 años, no se ha detectado un incremento en el potencial de crecimiento medio del pino carrasco en las masas con mayor número de intervenciones en comparación con las masas poco intervenidas.

Finalmente, comentar que sería necesario investigar en el futuro la capacidad de absorción de CO<sub>2</sub> de las masas y su capacidad de utilización como biomasa con potencial uso bioenergético.

# **9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

## 9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abelló, M.A. (1988). *Historia y evolución de las repoblaciones forestales en España* (Tesis doctoral). Universidad Complutense de Madrid, España.
- Allué, J.L. (1990). *Atlas Fitoclimático de España. Taxonomías*, (p.221). Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Cabanillas, A.M. (2010). *Bases para la gestión de masas naturales de Pinus halepensis Mill. en el Valle del Ebro* (Tesis doctoral. Universidad Politécnica de Madrid, España). Recuperado de <http://oa.upm.es/4960/>
- Cámara, A. (2001). *Temperamento, aptitud y aplicaciones del pino carrasco (Pinus halepensis Mill.) en España. Análisis mediante un SIG* (Tesis doctoral). Universidad Politécnica de Madrid, España.
- Camarero, J.J., Lloret, F., Corcuera, L., Peñuelas, J. y Gil-Pelegrín (2004). Cambio global y decaimiento del bosque. En Valladares, F. (Coord.). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante* (p. 397-423). Madrid: EGRAF, S.A.
- Camarero, J.J, Manzanedo, R.D., Sánchez, R. y Navarro, R.M. (2013). Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests. *Annals of Forest Science*, 70, 769-780. Recuperado de: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-013-0321-9>
- Cattaneo, N. (2015). *Crecimiento y competencia en una masa mixta de Pinus halepensis Mill. y Pinus pinea L.* (Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Valladolid, España). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/14720>
- Ceballos, L. y Ruiz de la Torre, J. (1979). *Árboles y arbustos de la España peninsular*. Fundación Conde del Valle de Salazar. Madrid: Universidad Politécnica de Madrid, Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Montes.
- Cervera, J.M. (1996) Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. Aragón. Zaragoza. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.
- Cervera, J.M. (1996) Segundo Inventario Forestal Nacional. 1986-1995. Aragón. Teruel. Madrid: Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación.

- Condés, S. y García, F. (2013). Cuantificación de la influencia del clima en el crecimiento del *Pinus halepensis* en la Península Ibérica. En *Actas del 6º Congreso Forestal Español* (1-14). Vitoria: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Creus, J. y Saz, M.A. (2004). La sequía como principal factor limitante del desarrollo de *Pinus halepensis* en el sector central del valle del Ebro. En *Actas del IV Congreso de la Asociación Española de Climatología "El clima entre el mar y la montaña"* (607-617). Santander: Asociación Española de Climatología.
- De Luis, M., Novak, K., Raventós, J., Gricar, J., Prislán, P. y Cufar, K. (2011). Climate factors density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia*, 29, 163-169. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.01.005>
- D.G.A. (2000). *Mapa forestal de Aragón* [Mapa]. Zaragoza: Dirección General del Medio Natural.
- Eснаоla, J.M. y Gil, C. (1998). *Mapa geológico de España, Hoja 355. Leciñena, escala 1:50.000*. Madrid: Instituto Tecnológico Geominero de España.
- Foti, D., Passialis, C., Voulgaridis, E., Skaltsoyiannes, A. y Tsaksira, M. (2018). Wood density and tracheid length of Aleppo pine (*Pinus halepensis* Mill.) grafts in relation to cambium age and growth rate. *Journal of Forest Science*, 64, 101-107. doi: <https://doi.org/10.17221/127/2017-JFS>
- Gandullo, J.M., Nicolas, A., Sánchez, O. y Moro, J. (1972) Ecología de los pinares españoles. III *Pinus halepensis* Mill. *Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias INIA* (p. 310). Madrid: Monografías INIA.
- Gandullo, J.M. y Serrada, R. (1977). *Mapa de Productividad Potencial* [Mapa]. Madrid: I.N.I.A.
- García, P. (2016). *Variabilidad ambiental y productividad en Pinus halepensis Mill.* (Trabajo de Fin de Grado). Universidad Politécnica de Madrid, España). Recuperado de <http://oa.upm.es/44416/>

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Gazol, A., Ribas, M., Gutiérrez, E. y Camarero, J.J. (2017). Aleppo pine forests from across Spain show drought-induced growth decline and partial recovery. *Agricultural and Forest Meteorology*, 232, 186-194. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.08.014>
- Guerra, A., Guitián, F., Paneque, G, García, A., Sánchez, J.A., Monturiol, F y Mudarra, J.L. (1966). *Mapa de Suelos de España*. Madrid: C.S.I.C.
- Herranz, J.M. (2000) Aspectos botánicos y ecológicos del pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). *Cuadernos de la Sociedad de Ciencias Forestales*, 10, 13-17.
- Jiménez, E., Vega, J.A., Fernández, C. y Fonturbel, T. (2011) Is pre-commercial thinning compatible with carbon sequestration? A case study in a maritime pine stand in northwestern Spain. *Forestry*, 84, 149-157.
- Kaennel, F.H. y Schweingruber, F.H. (1995). *Multilingual glossary of dendrochronology: Terms and definitions in english, German, french, spanish, italian, portugese and russian*. Birmensdorf: Paul Haupt
- Lafuente, D. (2012). *Divergencia en estrategia de historia vital entre poblaciones de pino carrasco (Pinus halepensis Mill.)*. (Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Valladolid, España). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/1595>
- M.A. (1971). *Estadística Forestal de España*. Madrid: Ministerio de Agricultura.
- Maestre, F. y Cortina, J. (2004). Are *Pinus halepensis* plantations useful as a restoration tool in semiarid Mediterranean áreas?. *Forest Ecology and Management*, 198, 303-317. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.040>
- M.A.P.A (1969). Primer Inventario Forestal Nacional. Cuaderno Provincial Nº 50 – Zaragoza. Madrid: Ministerio de Agricultura. I.C.O.N.A.
- M.A.P.A (1969). Primer Inventario Forestal Nacional. Cuaderno Provincial Nº 51 – Teruel. Madrid: Ministerio de Agricultura. I.C.O.N.A.
- Miranda, R.A. y Martín, D.S. (2000). *La mejora genética del pino carrasco (Pinus halepensis Mill.)*. Madrid: SECF

Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Montero, G., Grau, J.M., Ruiz-Peinado, R., Ortega, C. y Cañellas, I. (2000) Tablas de producción para *Pinus halepensis* Mill. *Cuadernos de la Sociedad de Ciencias Forestales*, 10, 183-188.
- Montoya, R., López, M. (1987). *La Red Europea de daños en los bosques (Nivel 1)*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente.
- Nadal, D., Sabaté, S. y Gracia, C. (2017). Importancia relativa de la profundidad del suelo para la resiliencia de los bosques de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.) frente al incremento de aridez debido al cambio climático. *Ecosistemas*, 26(2), 18-26. Recuperado de <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1279>
- Novak, K. (2017). *Características de los anillos de crecimiento de Pinus halepensis en el Mediterráneo* (Tesis doctoral. Universidad de Alicante, España). Recuperado de <http://rua.ua.es/dspace/handle/10045/69853>
- Novak, K., Saz, M.A., Cufar, K., Raventós, J. y de Luis, M. (2013). Age, climate and intra-annual density fluctuations in *Pinus halepensis* in Spain. *IAWA Journal*, 34(4), 459-474. doi: <https://doi.org/10.1163/22941932-00000037>
- Olivar, J., Bogino, S., Spiecker, H. y Bravo, F. (2009). La sequía como principal factor limitante del desarrollo de *Pinus halepensis* en el sector central del valle del Ebro. En *5º Forestal Español. Montes y sociedad: saber qué hacer* (1-10). Ávila: Sociedad Española de Ciencias Forestales.
- Olivar, J., Bogino, S., Spiecker, H. y Bravo, F. (2012). Climate impact on growth dynamic and intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) trees of different crown classes. *Dendrochronologia*, 30(1), 35-47. doi: <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2011.06.001>
- Ortuño, F. y Ceballos, A. (1977). *Los bosques españoles*. Madrid: INCAFO.
- Pasho, E., Camarero, J.J., de Luis, M. y Vicente-Serrano, S.M. (2011). Spatial variability in large-scale and regional atmospheric drivers of *Pinus halepensis* growth in eastern Spain. *Agricultural and Forest Meteorology*, 151(8), 1106-1119. doi: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2011.03.016>

Pedrocchi, C. (1998). *Ecología de los Monegros*. Huesca: Instituto de Estudios Altoaragoneses.

Puértolas, J., Alonso, J., Gil, L. y Pardos, J.A. (2004). Efecto del estado nutricional y el tamaño de la planta sobre el comportamiento en campo de *Pinus halepensis* en dos lugares de plantación. En *Actas de la III Reunión sobre Repoblaciones Forestales* (87-92). Madrid: Sociedad Española de Ciencias Forestales.

Rathgeber, C., Misson, L., Nicault, A. y Guiot, J. (2005). Bioclimatic model of tree radial growth: application to the French Mediterranean Aleppo pine forests. *Trees*, 19(2), 162-176. Recuperado de <https://link.springer.com/article/10.1007/s00468-004-0378-z>

Ruíz-Peinado, R. (2013). *Modelos para la estimación del carbono en la biomasa de los sistemas forestales. Influencia de la selvicultura en los stocks de carbono* (Tesis doctoral. Universidad de Valladolid, España). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4437>

Ribas, M. (2006). *Dendroecología de Pinus halepensis Mill. en el Este de la Península Ibérica e Islas Baleares: Sensibilidad y grado de adaptación a las condiciones climáticas* (Tesis doctoral. Universitat de Barcelona, España). Recuperado de <http://diposit.ub.edu/dspace/handle/2445/35321>

Rivas-Martínez, S. (1987). *Memoria del mapa de series de vegetación de España 1:400.000*. Madrid: EGRAF .

Rodríguez, J.C. (1994) The carbón Budget of the Spanish forests. *Biogeochemistry*, 25, 197-217.

Ruano, I. (2011). *Respuesta de la regeneración post-fuego de Pinus halepensis Mill. a los tratamientos silvícolas en el sureste de España*. (Trabajo de Fin de Máster. Universidad de Valladolid, España). Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/881>

Santos, L. (2014). Ecología evolutiva de la reproducción en dos pinos mediterráneos: *Pinus pinaster* Ait. y *Pinus halepensis* Mill. *Ecosistemas*, 23(3), 112-114. Recuperado de <http://uvadoc.uva.es/handle/10324/4137>



Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

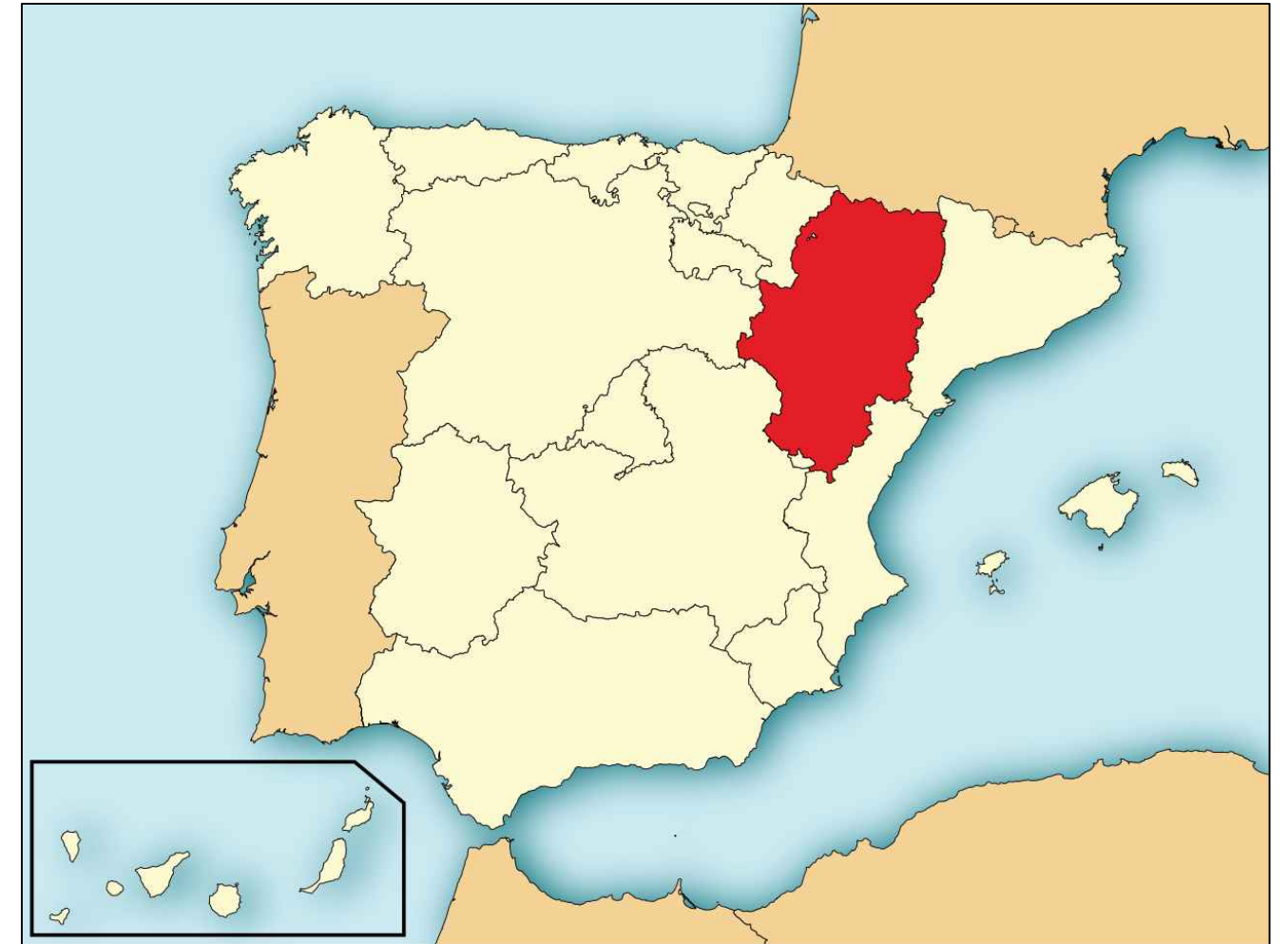
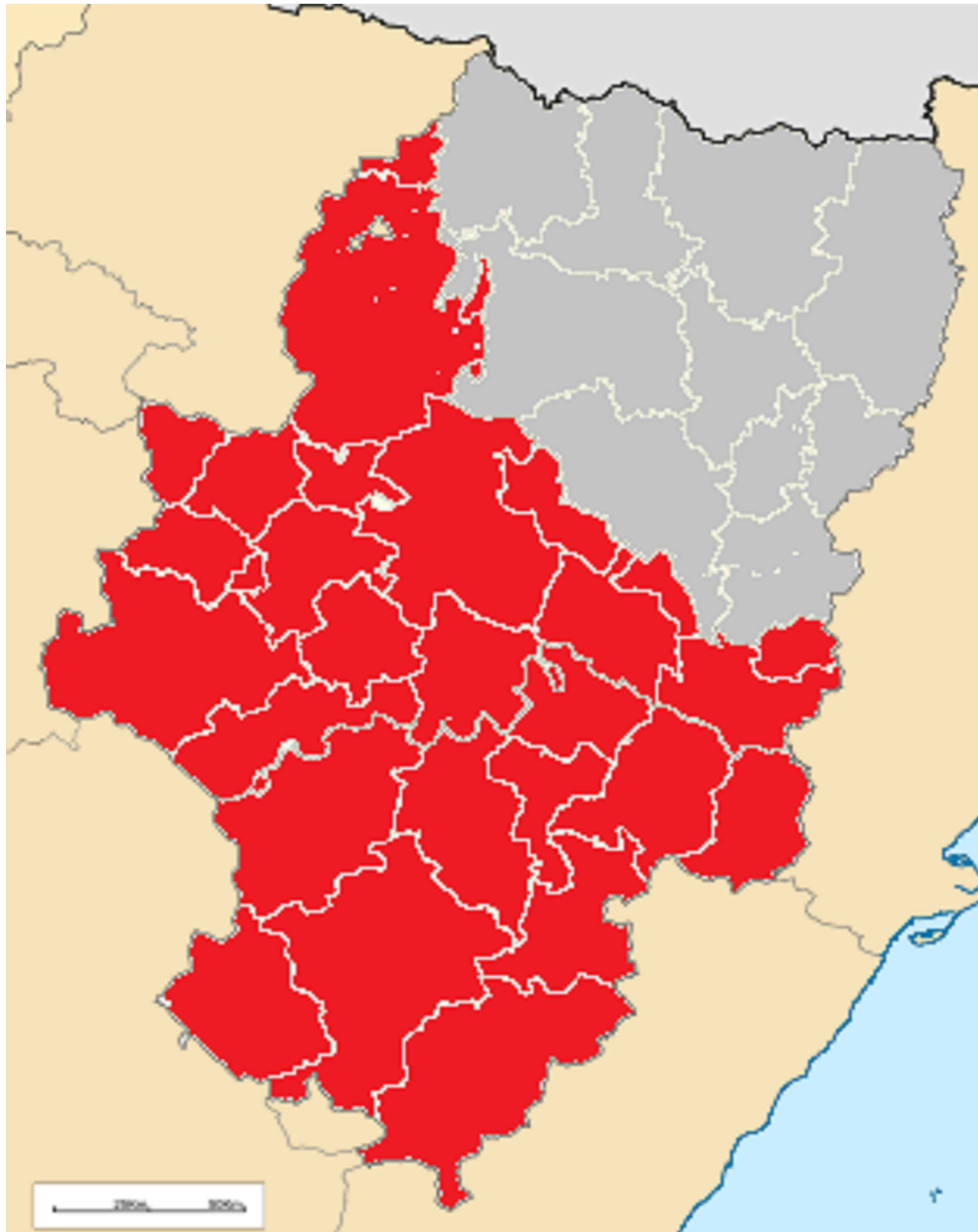
- Tejedor, E., de Luis, M., Cuadrat, J.M., Novak, K y Martínez, E. (2014). Cambio climático y cambio global. En *Actas del IX Congreso de la Asociación Española de Climatología* (511-522). Almería: Asociación Española de Climatología.
- Tejedor, E., de Luis, M., Cuadrat, J.M. y J. Esper. (2015). Tree-ring-based drought reconstruction in the Iberian Range (east of Spain) since 1694, 361-372. doi: 10.1007/s00484-015-1033-7
- Trasobares, A., Tomé, M. y Miina, J. (2004). Growth and yield model for *Pinus halepensis* Mill. in Catalonia, north-east Spain. *Forest Ecology and Management*, 203, 49-62. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.060>
- Voltas, J., Shestakova, T.A., Patsiou, T., di Matteo, G. y Klein, T. (2018). Ecotypic variation and stability in growth performance of the thermophilic conifer *Pinus halepensis* across the Mediterranean basin. *Forest Ecology and Management*, 424, 205-215. doi: <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.058>

# **10. PLANOS**

## 10. PLANOS

|                                                               |    |
|---------------------------------------------------------------|----|
| PLANO 1. SITUACIÓN.....                                       | 70 |
| PLANO 2. LOCALIZACIÓN.....                                    | 70 |
| PLANO 3. CALIDAD DE SUELO .....                               | 72 |
| PLANO 4. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE ZARAGOZA ..... | 76 |
| PLANO 5. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE TERUEL.....    | 78 |

## **PLANO 1. SITUACIÓN**



U.V.A.–E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA  
 GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES  
 PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



*TÍTULO:*

**Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.**

*LOCALIZACIÓN:*

**ARAGÓN**

*ESCALA:*

**VARIAS**

*FECHA:* OCTUBRE 2019  
*FIRMA:*

*DENOMINACIÓN:*

**SITUACIÓN**

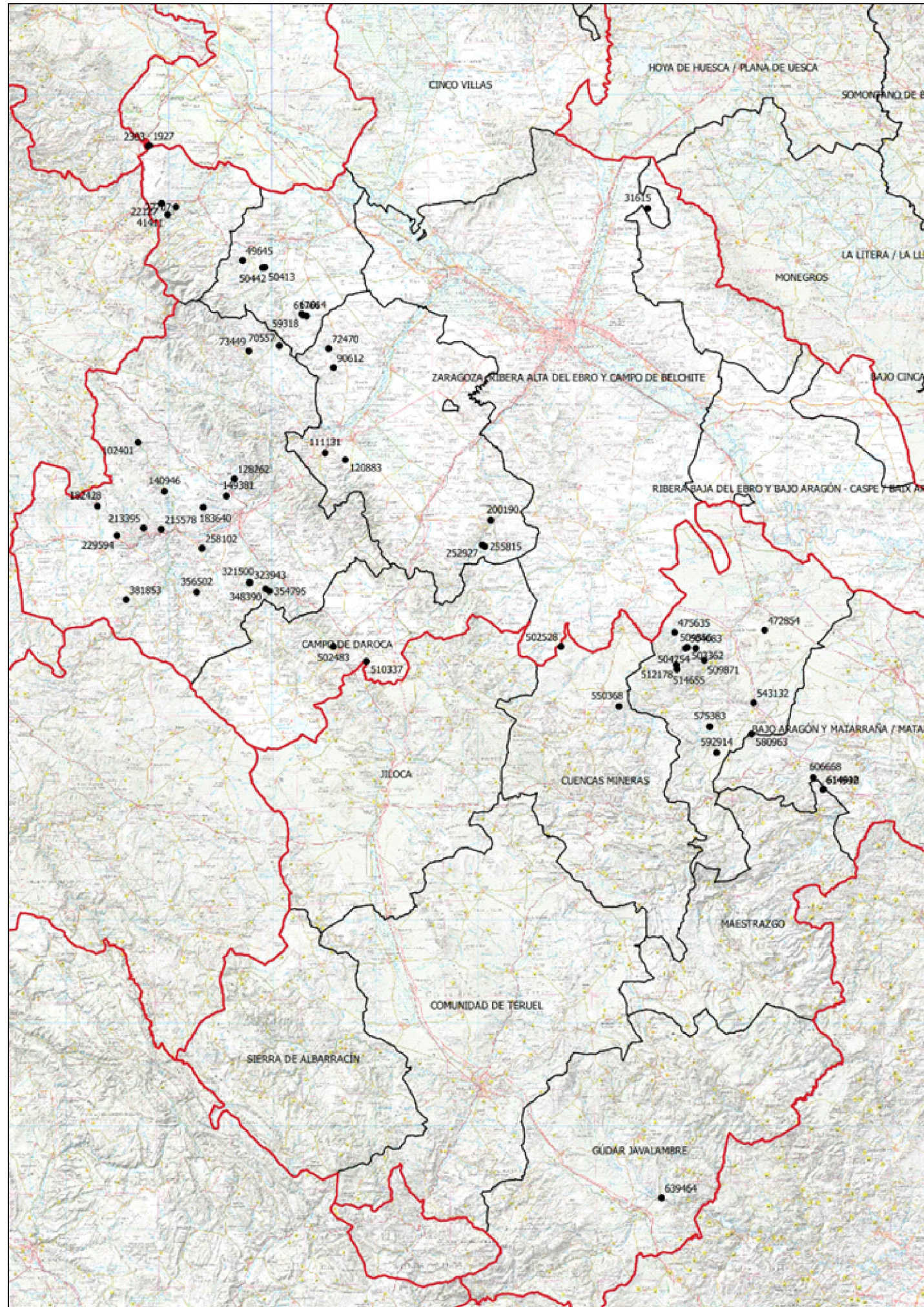
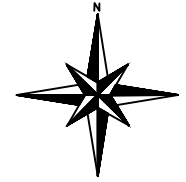
*PLANO N°:*




**1**



*ALUMNO:* Sandra Cuende Arribas

## **PLANO 2. LOCALIZACIÓN**





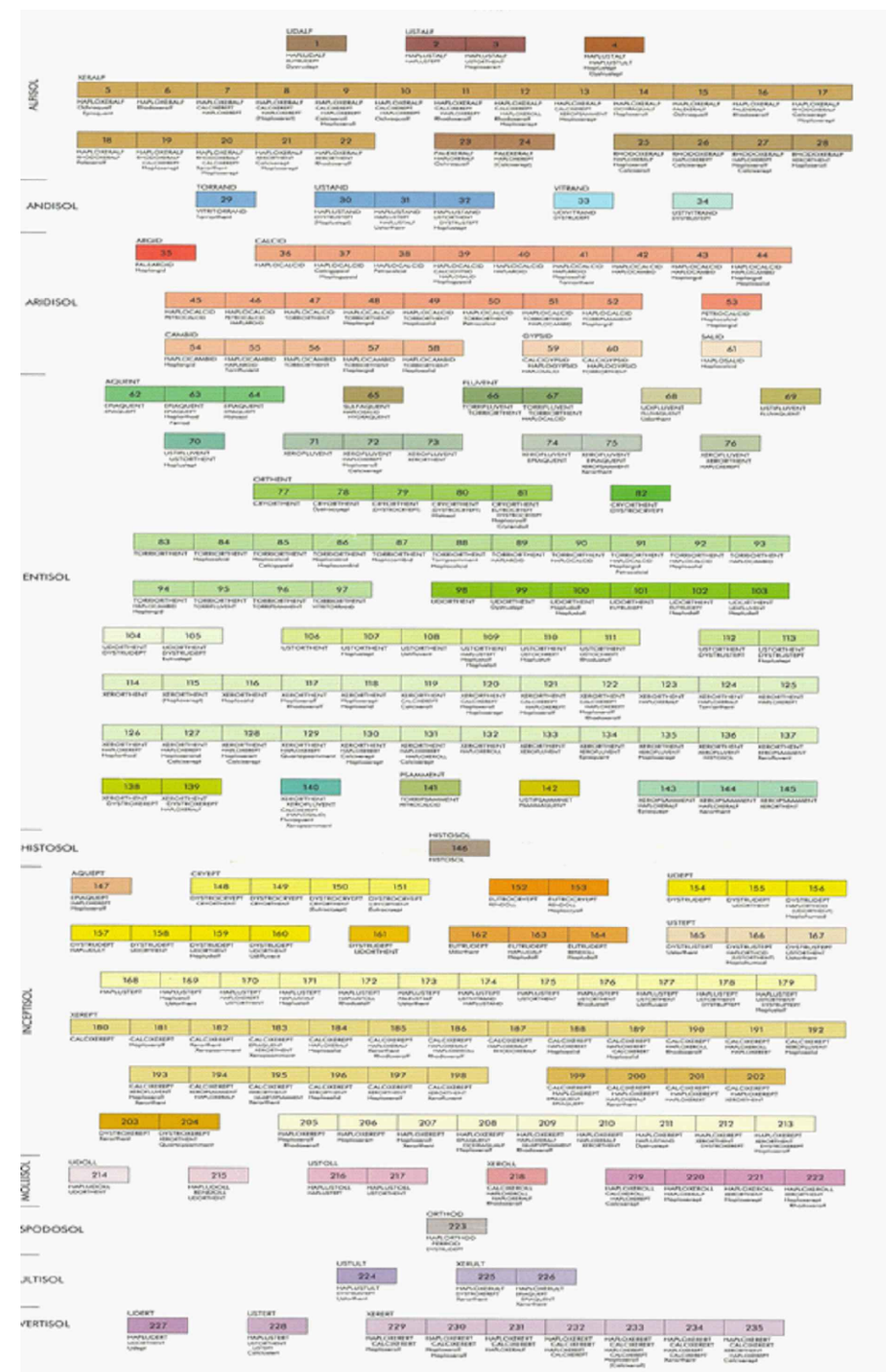
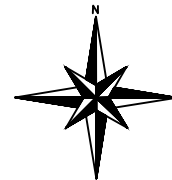
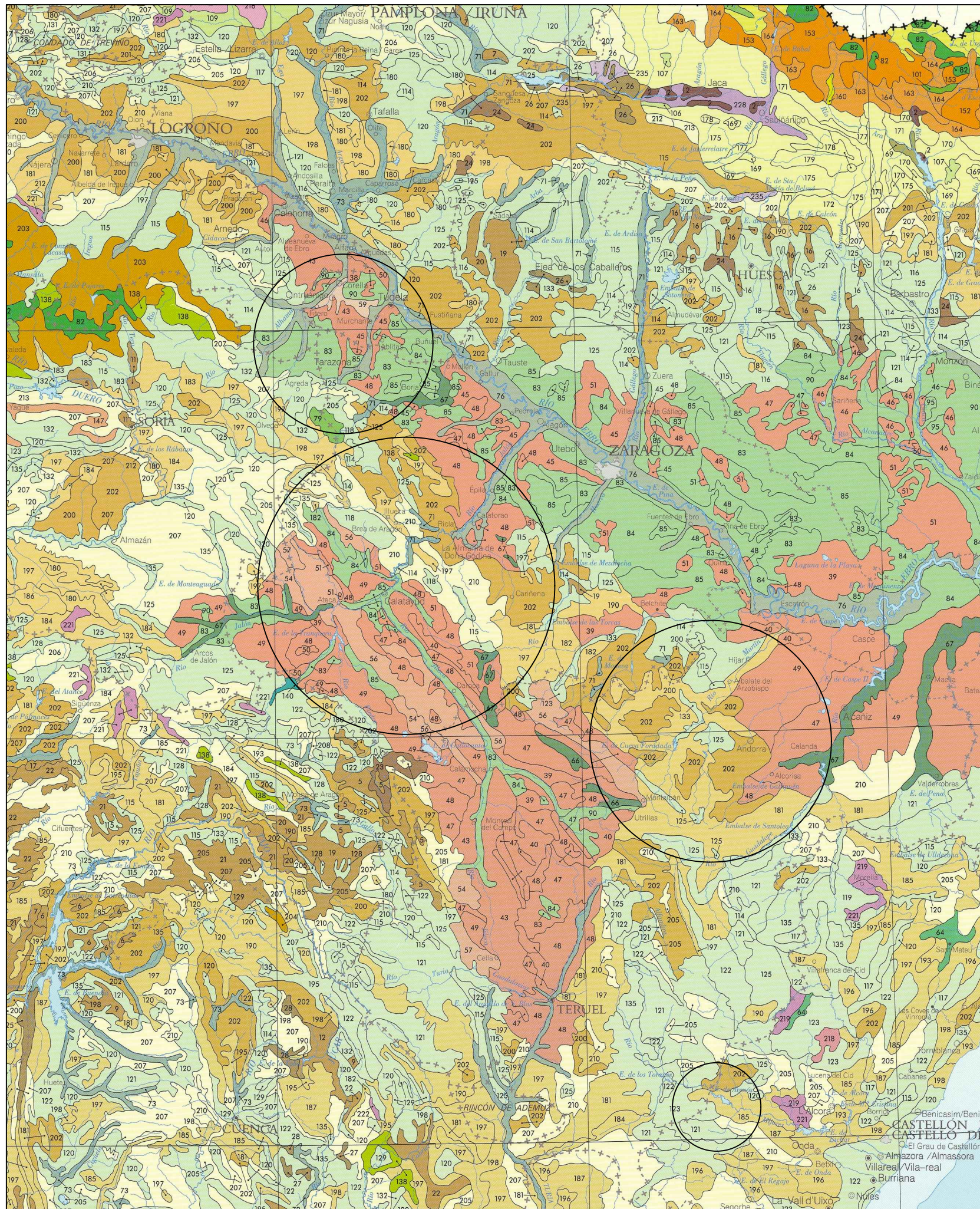
-  Límite provincial
-  Término municipal
-  Número de parcela


|                                                                                                                                                                                                                                      |                                      |                                                                                       |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  U.V.A.–E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA<br>GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES<br>PROMOTOR: SANDRA CUENDE ARRIBAS |                                      |  |
| <b>TÍTULO:</b><br>Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.                                                        |                                      |                                                                                       |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b><br>ZARAGOZA Y TERUEL                                                                                                                                                                                            | <b>ESCALA:</b><br>1:850.000          |                                                                                       |
| <b>FECHA:</b> OCTUBRE 2019<br><b>FIRMA:</b>                                                                                                                                                                                          | <b>DENOMINACIÓN:</b><br>LOCALIZACIÓN | <b>PLANO N.º:</b><br>2                                                                |
| <b>ALUMNO:</b> Sandra Cuende Arribas                                                                                                                                                                                                 |                                      |                                                                                       |



## **PLANO 3. CALIDAD DE SUELO**








U.V.A.-E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES

PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID



**TÍTULO:**  
Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

**LOCALIZACIÓN:**  
ZARAGOZA Y TERUEL

**ESCALA:**  
1:1.500.000

**FECHA:** OCTUBRE 2019  
**FIRMA:**

**DENOMINACIÓN:**  
CALIDAD DE SUELO

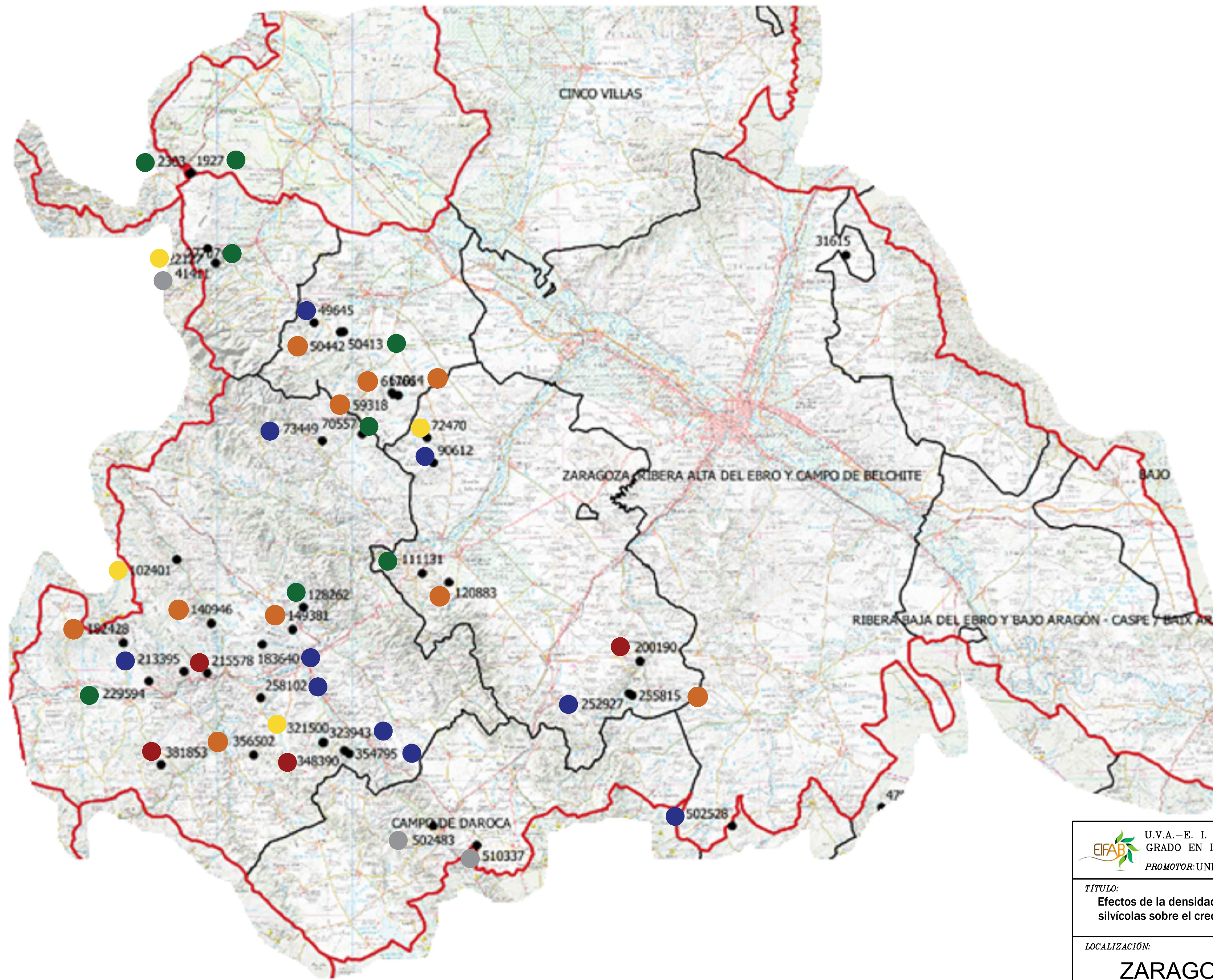
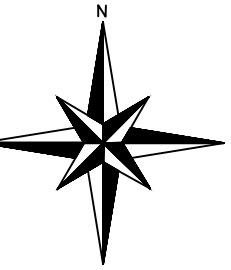
**PLANO N°:**  
**3**

**ALUMNO:** Sandra Cuende Arribas





**PLANO 4. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN  
PARCELAS DE ZARAGOZA**





-  Ninguna intervención
-  1 intervención
-  2 intervenciones
-  3 intervenciones
-  4 intervenciones
-  5 intervenciones

 U.V.A.–E. I. FORESTAL, AGRÓNOMICA Y DE LA BIOENERGÍA  
GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES  
PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID 

**TÍTULO:**  
Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.

|                                         |                             |
|-----------------------------------------|-----------------------------|
| <b>LOCALIZACIÓN:</b><br><b>ZARAGOZA</b> | <b>ESCALA:</b><br>1:150.000 |
|-----------------------------------------|-----------------------------|

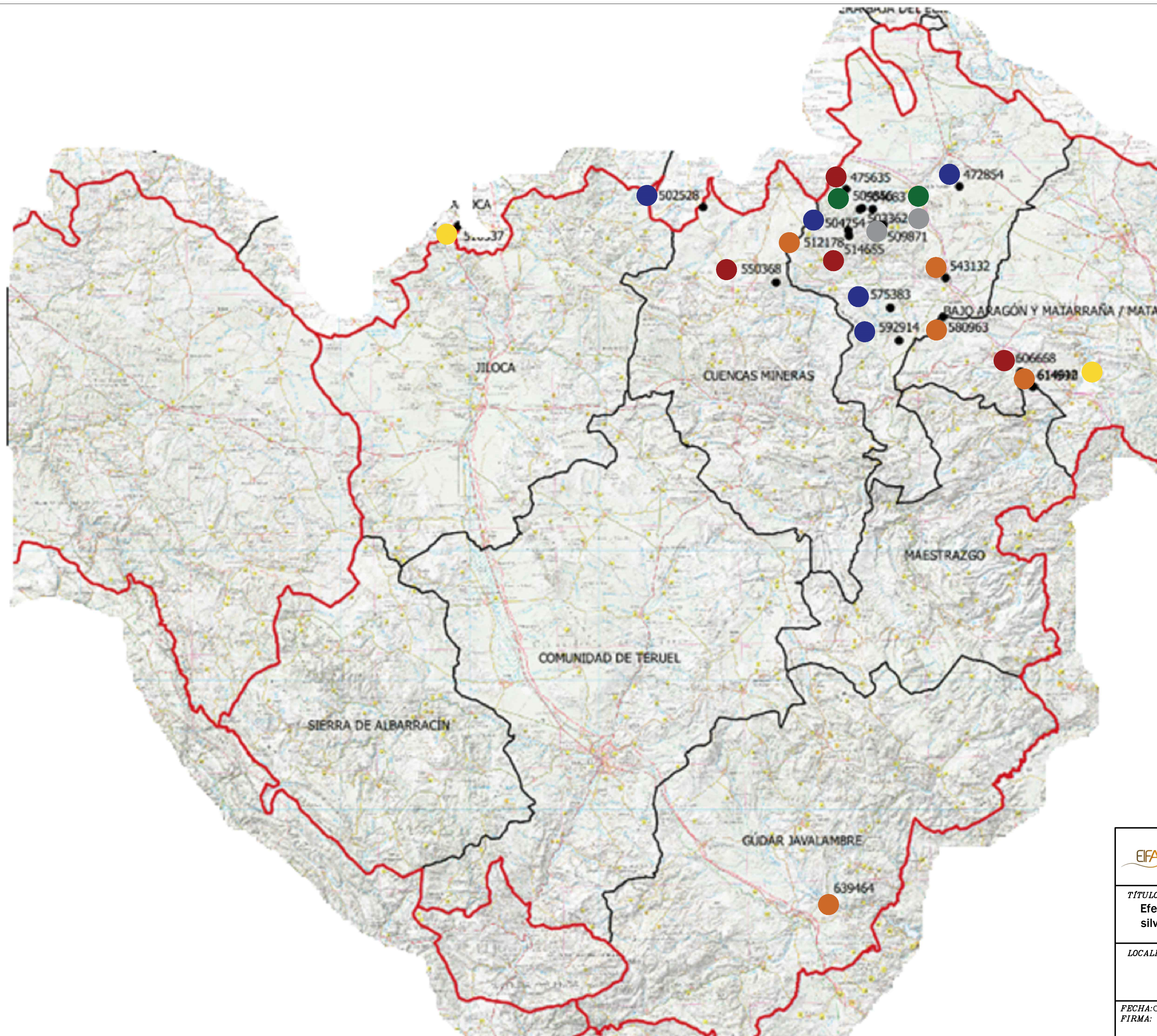
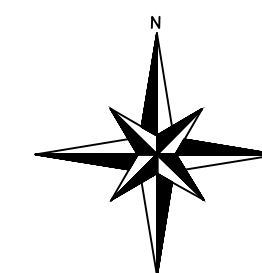
|                                             |                                                                        |                               |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|
| <b>FECHA:</b> OCTUBRE 2019<br><b>FIRMA:</b> | <b>DENOMINACIÓN:</b><br>NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE ZARAGOZA | <b>PLANO N.º:</b><br><b>4</b> |
|---------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|

**ALUMNO:** Sandra Cuende Aribas




**PLANO 5. NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN  
PARCELAS DE TERUEL**





-  Ninguna intervención
-  1 intervención
-  2 intervenciones
-  3 intervenciones
-  4 intervenciones
-  5 intervenciones

|                                                                                                                                                                                                   |                                                               |                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|  U.V.A.-E. I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA<br>GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES |                                                               |  |
| PROMOTOR: UNIVERSIDAD DE VALLADOLID                                                                                                                                                               |                                                               |                                                                                       |
| TÍTULO:<br>Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel.                            |                                                               |                                                                                       |
| LOCALIZACIÓN:<br><b>TERUEL</b>                                                                                                                                                                    | ESCALA:<br>1:150.000                                          |                                                                                       |
| FECHA: OCTUBRE 2019<br>FIRMA:                                                                                                                                                                     | DENOMINACIÓN:<br>NÚMERO DE TRATAMIENTOS EN PARCELAS DE TERUEL | PLANO Nº:<br><b>5</b>                                                                 |
| ALUMNO: Sandra Cuende Arribas                                                                                                                                                                     |                                                               |                                                                                       |



# **11. ANEXOS**

## 11. ANEXOS

|                                                                           |     |
|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| ANEXO 1. Datos generales de las parcelas.....                             | 82  |
| ANEXO 2. Graficas de crecimientos por parcelas .....                      | 87  |
| ANEXO 3. Grafica general de liberaciones del crecimiento en Zaragoza..... | 111 |
| ANEXO 4. Grafica general de liberaciones del crecimiento en Teruel.....   | 145 |
| ANEXO 5. Graficas de crecimiento en porcentajes .....                     | 115 |

## ANEXO 1.Datos generales de las parcelas



Modelo de datos

| Abreviatura           | Definición                                                                   | Unidades           |
|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------|--------------------|
| <b>Dasométricas</b>   |                                                                              |                    |
| PARCELA               | Identificador de parcela                                                     | -                  |
| SUP                   | Superficie de la parcela                                                     | m <sup>2</sup>     |
| XUTM                  | Coordenada X del centro de la parcela (ETRS89 huso 30)                       | m                  |
| YUTM                  | Coordenada Y del centro de la parcela (ETRS89 huso 30)                       | m                  |
| SUBMÉTRICO            | 1: las coordenadas se tomaron con submétrico; 0: se tomaron con navegador    | -                  |
| N                     | Número de pies por hectárea                                                  | pies/ha            |
| G                     | Área basimétrica                                                             | m <sup>2</sup> /ha |
| Dg                    | Diámetro cuadrático medio                                                    | cm                 |
| Dm                    | Diámetro medio                                                               | cm                 |
| Ho                    | Altura dominante (Assmann)                                                   | m                  |
| Ho.sd                 | Desviación típica de la altura dominante (Assmann)                           | m                  |
| Do                    | Diámetro dominante (Assman)                                                  | cm                 |
| Do.sd                 | Desviación típica del diámetro dominante (Assmann)                           | m                  |
| No                    | Número de pies utilizados para calcular Assmann                              | pies               |
| IH                    | Índice de Hart-Becking (marco real)                                          | tanto por uno      |
| SDI                   | Índice de Reineke ( $\beta=-1.605$ )                                         | pies/ha            |
| EDAD                  | Edad                                                                         | años               |
| IS                    | Índice de sitio según Rojo-Alboreca et al. 2017 (edad de referencia=60 años) | m                  |
| TIPO                  | Tipo de método de repoblación <sup>1</sup>                                   | -                  |
| <b>Dendrométricas</b> |                                                                              |                    |
| PARCELA               | Identificador de parcela                                                     | -                  |
| ARBOL                 | Identificador de árbol                                                       | -                  |
| dn1_mm                | Diámetro normal con corteza (en cruz)                                        | mm                 |
| dn2_mm                | Diámetro normal con corteza (en cruz)                                        | mm                 |
| ht_m                  | Altura total                                                                 | m                  |
| hvp_m                 | Altura de inicio de copa viva                                                | m                  |
| SOCIO                 | Clase sociológica <sup>2</sup>                                               |                    |
| CREC                  | 1: se tomó testigo Pressler; 0: no se tomó                                   | -                  |
| ESPECIE               | Especie (código IFN)                                                         | -                  |

<sup>1</sup> 1: terrazas; 2: caballones; 3: hoyos; 4: subsolado

<sup>2</sup> P: predominante; D: dominante; C: codominante; S: dominado; M: muerto

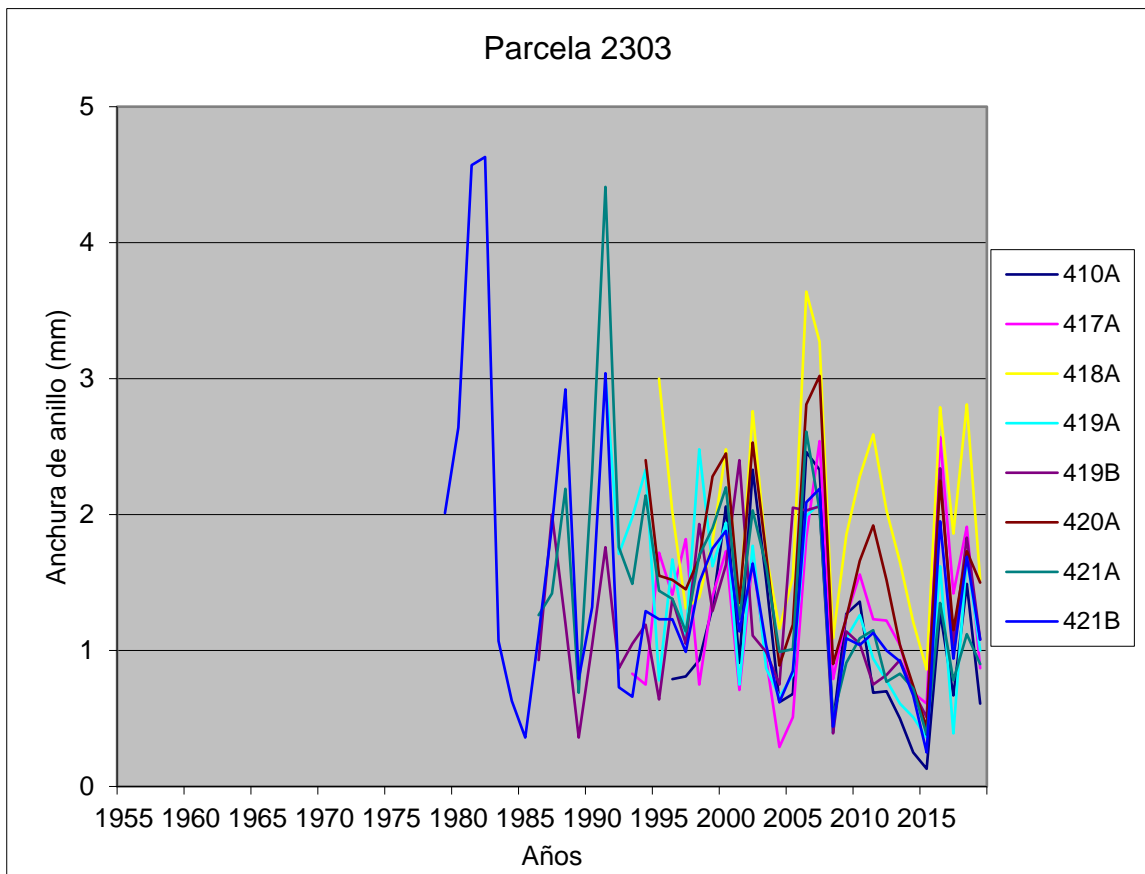
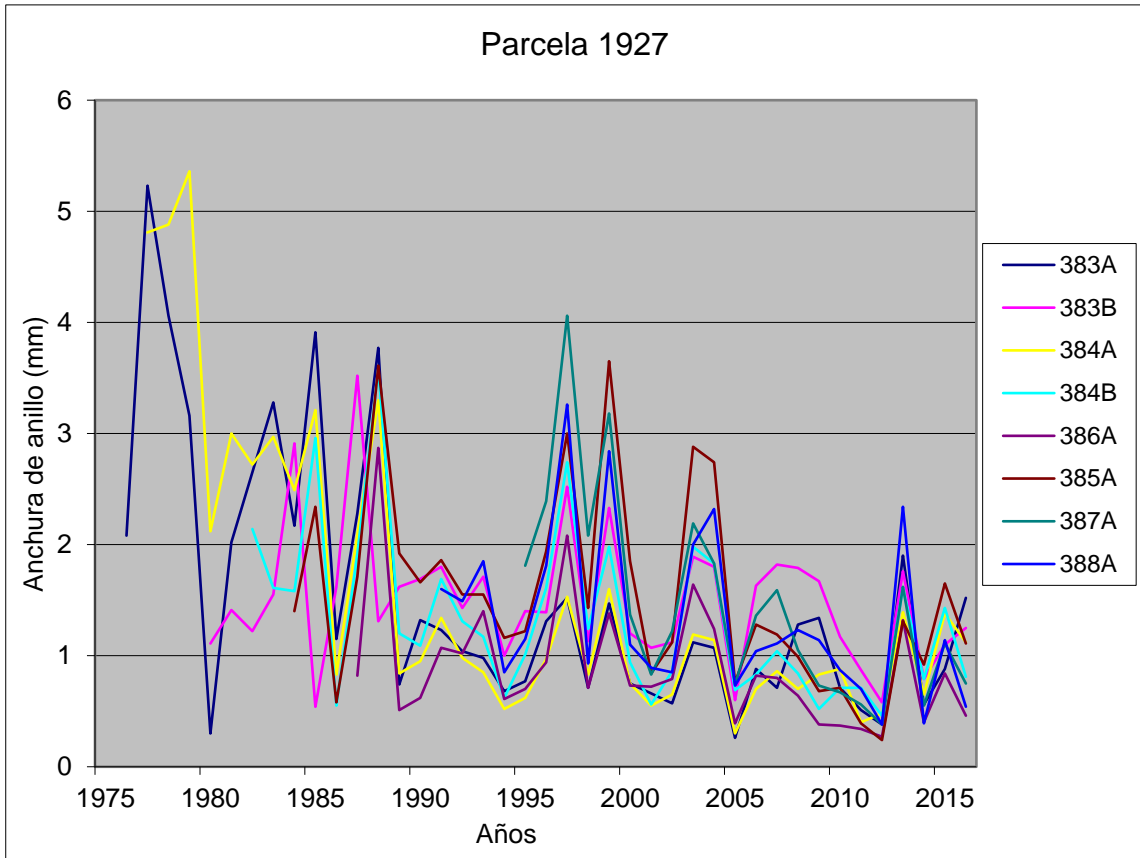
Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel  
ANEXOS

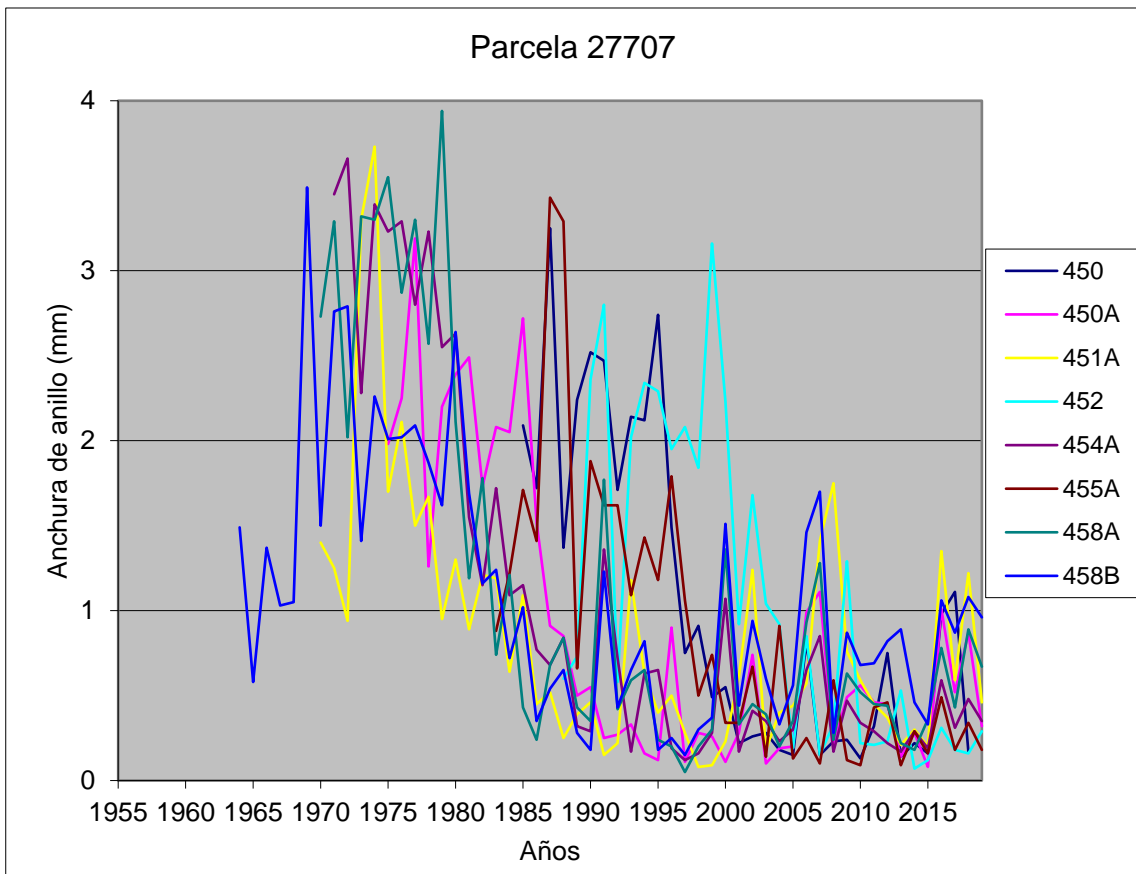
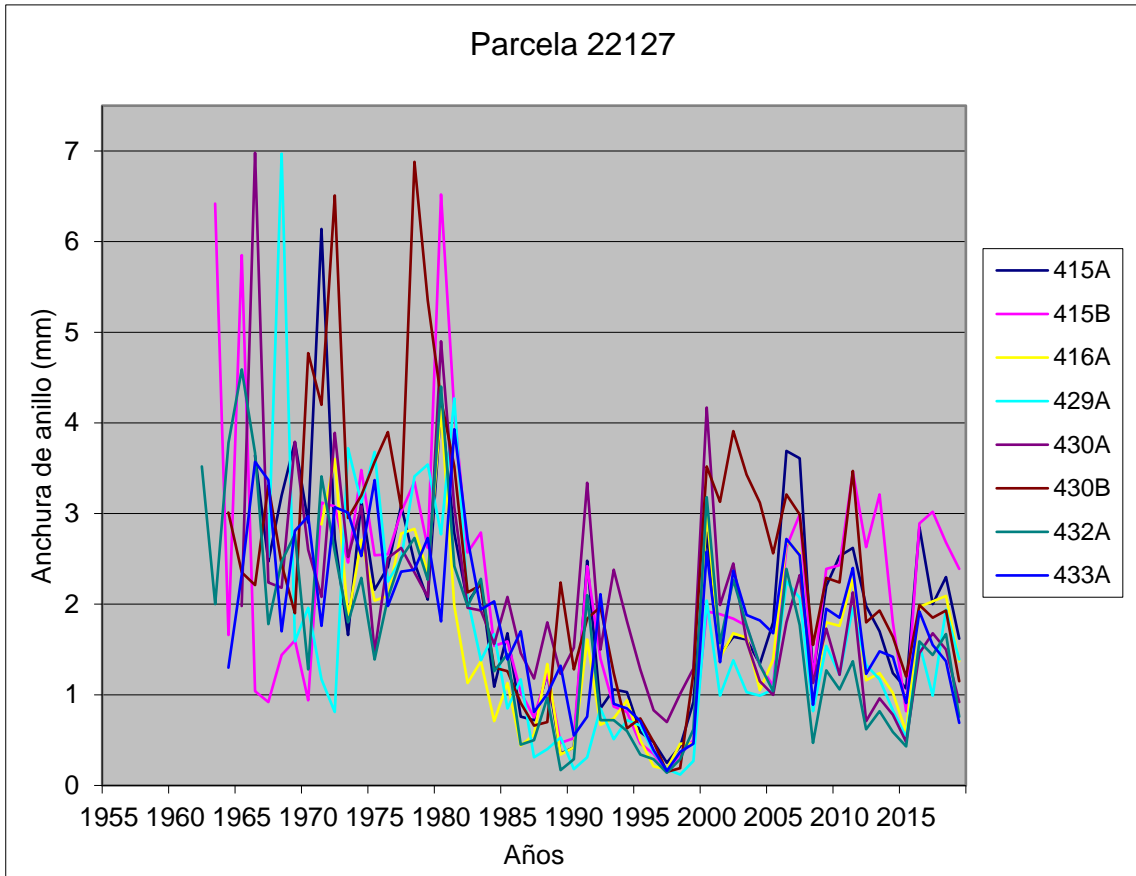
| PARCELA | N    | G       | Dg      | Dm      | Ho      | Ho.sd  | Do      | Do.sd  | No | No.ha    | IH     | SDI      | EDAD_DEF | TIPO | SUP | IS.montero | IS.rojo | SIMULA | %SDI_1.605 | %SDI_1.1843 |
|---------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|--------|----|----------|--------|----------|----------|------|-----|------------|---------|--------|------------|-------------|
| 1927    | 1333 | 19,9957 | 13,8183 | 13,5333 | 7,1000  | 0,2828 | 18,1250 | 0,9546 | 2  | 88,8889  | 0,3857 | 514,8409 | 45,0180  | 1    | 225 | 9,5982     | 8,7926  | 1,0000 | 0,5519     | 0,6052      |
| 2303    | 889  | 16,2131 | 15,2393 | 14,8575 | 8,2000  | 0,9899 | 20,7750 | 3,0052 | 2  | 88,8889  | 0,4090 | 401,6159 | 45,8245  | 1    | 225 | 10,9635    | 9,9080  | 0,0000 | 0,4305     | 0,4531      |
| 22127   | 575  | 31,7559 | 26,5175 | 25,8217 | 14,7250 | 1,0079 | 33,6875 | 2,3257 | 4  | 100,0000 | 0,2832 | 632,0410 | 68,6537  | 3    | 400 | 15,7639    | 13,7457 | 0,0000 | 0,6776     | 0,5648      |
| 27707   | 2100 | 25,6646 | 12,4742 | 12,0381 | 9,0500  | 0,3536 | 18,5500 | 1,2021 | 2  | 200,0000 | 0,2411 | 688,0588 | 61,5859  | 3    | 100 | 10,2256    | 8,8922  | 1,0000 | 0,7376     | 0,8444      |
| 31615   | 368  | 11,2279 | 19,7097 | 19,0870 | 8,1750  | 0,6076 | 23,8583 | 2,0646 | 6  | 96,0000  | 0,6377 | 251,2559 | 24,1157  | 4    | 625 | 17,2141    | 15,3939 | 0,0000 | 0,2694     | 0,2544      |
| 41411   | 925  | 30,7964 | 20,5890 | 19,8716 | 11,4750 | 0,9106 | 27,9750 | 2,3890 | 4  | 100,0000 | 0,2865 | 677,3785 | 70,2264  | 3    | 400 | 12,1541    | 10,4519 | 0,0000 | 0,7262     | 0,6733      |
| 49645   | 975  | 45,0208 | 24,2471 | 23,3564 | 15,0750 | 2,1266 | 35,4125 | 6,7916 | 4  | 100,0000 | 0,2124 | 928,3024 | 57,0552  | 3    | 400 | 17,7386    | 15,4682 | 1,0000 | 0,9952     | 0,8613      |
| 50413   | 1378 | 16,7938 | 12,4578 | 12,0468 | 6,9000  | 0,4243 | 18,4250 | 0,2475 | 2  | 88,8889  | 0,3904 | 450,4706 | 48,2309  | 3    | 225 | 8,9415     | 8,1362  | 0,0000 | 0,4829     | 0,5531      |
| 50442   | 1511 | 25,5235 | 14,6648 | 14,2015 | 9,8500  | 0,3536 | 21,4250 | 3,2880 | 2  | 88,8889  | 0,2612 | 641,9144 | 46,4885  | 3    | 225 | 13,0533    | 11,6179 | 1,0000 | 0,6881     | 0,7359      |
| 59318   | 624  | 41,3051 | 29,0312 | 28,3167 | 15,4250 | 0,9639 | 38,3833 | 4,3251 | 6  | 96,0000  | 0,2595 | 793,2112 | 56,3856  | 3    | 625 | 18,2681    | 15,9169 | 0,0000 | 0,8503     | 0,6823      |
| 61014   | 1467 | 36,7371 | 17,8584 | 17,3318 | 10,6000 | 0,1414 | 25,5750 | 1,3081 | 2  | 88,8889  | 0,2463 | 854,7594 | 60,3844  | 3    | 225 | 12,1004    | 10,5580 | 0,0000 | 0,9163     | 0,9020      |
| 61766   | 1000 | 31,6793 | 20,0837 | 19,6775 | 10,7500 | 0,6758 | 26,3375 | 0,6223 | 4  | 100,0000 | 0,2942 | 703,6700 | 63,4990  | 3    | 400 | 11,9579    | 10,3805 | 0,0000 | 0,7544     | 0,7068      |
| 70557   | 1200 | 26,4158 | 16,7416 | 16,5037 | 7,5500  | 0,2121 | 21,2500 | 1,2021 | 2  | 88,8889  | 0,3824 | 630,4929 | 59,1072  | 3    | 225 | 8,7166     | 7,6334  | 0,0000 | 0,6759     | 0,6837      |
| 72470   | 750  | 16,4607 | 16,7166 | 16,5267 | 7,7500  | 0,6245 | 20,2125 | 0,7685 | 4  | 100,0000 | 0,4712 | 393,1161 | 59,7631  | 3    | 400 | 8,8953     | 7,7722  | 0,0000 | 0,4214     | 0,4265      |
| 73449   | 320  | 6,2552  | 15,7762 | 15,3675 | 6,8750  | 0,5852 | 19,4333 | 2,9202 | 6  | 96,0000  | 0,8131 | 152,8446 | 59,0000  | 3    | 625 | 7,9450     | 6,9637  | 1,0000 | 0,1639     | 0,1699      |
| 90612   | 1000 | 13,5527 | 13,1361 | 12,9225 | 6,8250  | 0,6185 | 17,3625 | 0,9534 | 4  | 100,0000 | 0,4633 | 355,9969 | 51,0000  | 3    | 400 | 8,5561     | 7,7221  | 0,0000 | 0,3816     | 0,4275      |
| 102401  | 1156 | 38,6208 | 20,6286 | 20,2500 | 12,8000 | 2,1213 | 28,5250 | 1,6617 | 2  | 88,8889  | 0,2298 | 848,8330 | 58,4092  | 2    | 225 | 14,8719    | 12,9948 | 0,0000 | 0,9100     | 0,8430      |
| 111131  | 480  | 19,2961 | 22,6240 | 21,7883 | 14,3750 | 0,4646 | 28,8500 | 4,4195 | 6  | 96,0000  | 0,3175 | 408,9131 | 50,1118  | 2    | 625 | 18,2080    | 15,8188 | 1,0000 | 0,4384     | 0,3906      |
| 120883  | 700  | 10,1612 | 13,5950 | 13,2696 | 6,9000  | 0,2582 | 17,4125 | 0,5893 | 4  | 100,0000 | 0,5478 | 263,3156 | 48,1975  | 4    | 400 | 8,9452     | 8,1404  | 1,0000 | 0,2823     | 0,3117      |
| 128262  | 2000 | 21,4012 | 11,6724 | 11,3650 | 6,6500  | 0,0707 | 16,3500 | 0,4950 | 2  | 200,0000 | 0,3363 | 589,0154 | 58,0000  | 3    | 100 | 7,7557     | 6,8264  | 1,0000 | 0,6314     | 0,7433      |
| 140946  | 1333 | 30,9538 | 17,1926 | 16,6300 | 9,9500  | 1,0607 | 26,1500 | 1,6263 | 2  | 88,8889  | 0,2752 | 731,0879 | 54,5616  | 2    | 225 | 12,0010    | 10,5772 | 0,0000 | 0,7837     | 0,7839      |
| 149381  | 1100 | 18,5302 | 14,6453 | 14,0227 | 9,5750  | 1,1117 | 21,4500 | 2,7958 | 4  | 100,0000 | 0,3149 | 466,2783 | 64,0000  | 1    | 400 | 10,6087    | 9,1783  | 0,0000 | 0,4999     | 0,5349      |
| 182428  | 1000 | 18,5425 | 15,3652 | 14,8788 | 9,0000  | 0,2944 | 20,9500 | 0,6481 | 4  | 100,0000 | 0,3514 | 457,8271 | 54,0000  | 2    | 400 | 10,9185    | 9,6635  | 0,0000 | 0,4908     | 0,5147      |
| 183640  | 844  | 11,1390 | 12,9596 | 12,6421 | 6,2000  | 0,7071 | 16,7750 | 0,3182 | 2  | 88,8889  | 0,5550 | 294,1627 | 64,0000  | 2    | 225 | 6,8694     | 5,8886  | 1,0000 | 0,3154     | 0,3552      |
| 200190  | 1111 | 19,2734 | 14,8612 | 14,0060 | 9,2000  | 0,7071 | 24,5250 | 4,9851 | 2  | 88,8889  | 0,3261 | 482,1837 | 32,5965  | 1    | 225 | 15,4497    | 13,8143 | 0,0000 | 0,5169     | 0,5497      |
| 213395  | 2133 | 29,9286 | 13,3650 | 13,0010 | 9,2500  | 0,3536 | 19,0250 | 0,6010 | 2  | 88,8889  | 0,2341 | 780,8088 | 58,0000  | 3    | 225 | 10,7880    | 9,4615  | 0,0000 | 0,8370     | 0,9308      |
| 215578  | 889  | 15,3441 | 14,8252 | 14,4150 | 7,4500  | 0,4950 | 20,4500 | 3,0406 | 2  | 88,8889  | 0,4502 | 384,2479 | 40,0000  | 1    | 225 | 10,8661    | 10,0057 | 0,0000 | 0,4119     | 0,4385      |
| 229594  | 1600 | 24,5810 | 13,9860 | 13,5097 | 10,5500 | 0,2121 | 20,3000 | 0,4243 | 2  | 88,8889  | 0,2370 | 629,8929 | 68,0790  | 2    | 225 | 11,3397    | 9,7521  | 0,0000 | 0,6753     | 0,7367      |
| 252927  | 650  | 42,0647 | 28,7050 | 27,8596 | 18,9000 | 1,0646 | 37,6875 | 0,9604 | 4  | 100,0000 | 0,2075 | 811,4112 | 51,4985  | 2    | 400 | 23,5601    | 20,2465 | 0,0000 | 0,8699     | 0,7013      |
| 255815  | 800  | 37,1112 | 24,3031 | 24,0556 | 12,2000 | 0,4243 | 29,6750 | 1,5203 | 2  | 88,8889  | 0,2898 | 764,5123 | 55,7658  | 2    | 225 | 14,5369    | 12,7276 | 0,0000 | 0,8196     | 0,7087      |

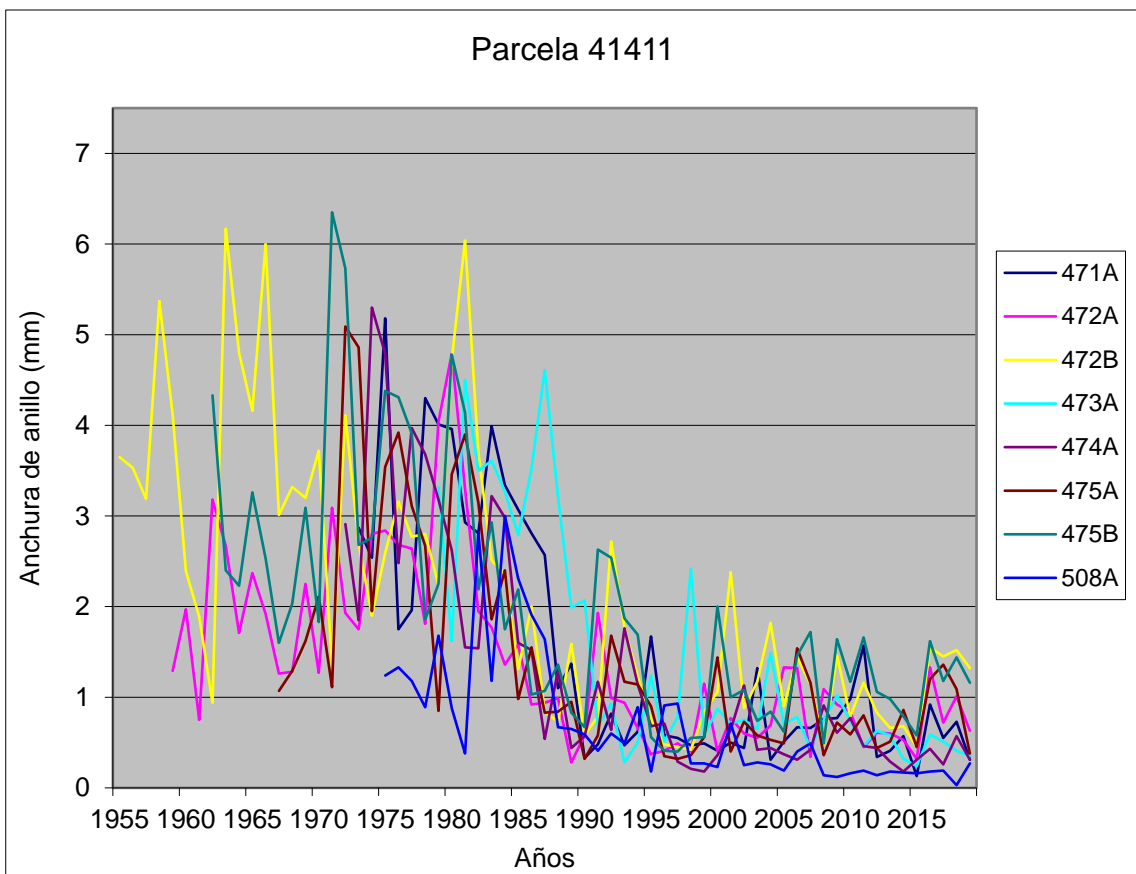
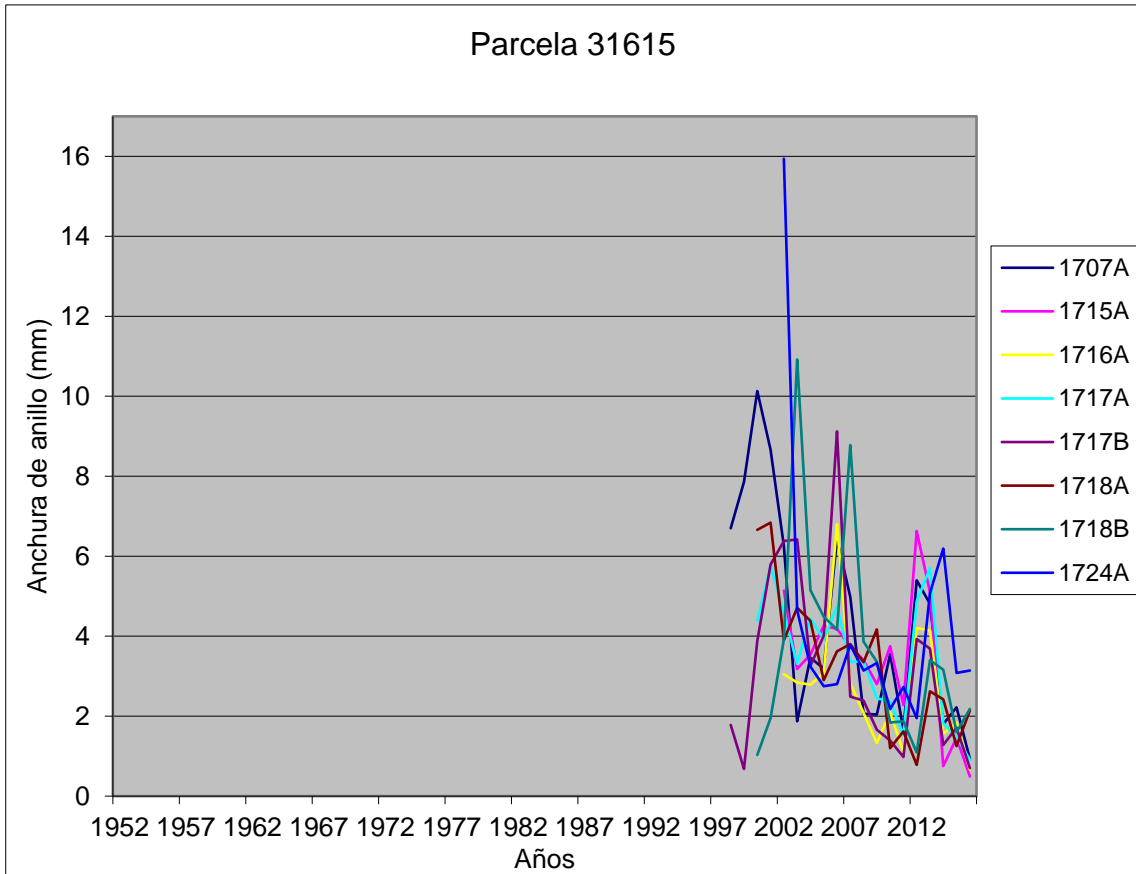
Efectos de la densidad de la masa, la calidad de sitio, el clima y los tratamientos silvícolas sobre el crecimiento del pino carrasco en Zaragoza y Teruel  
ANEXOS

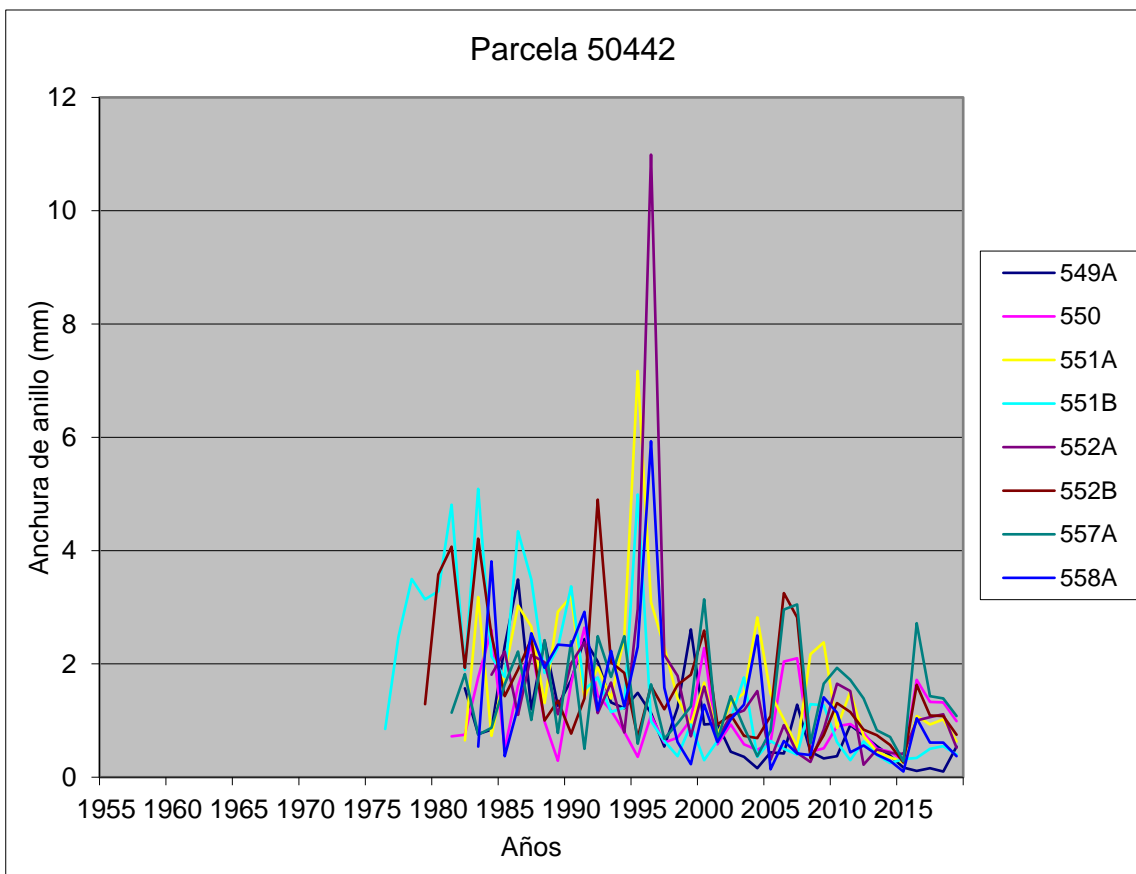
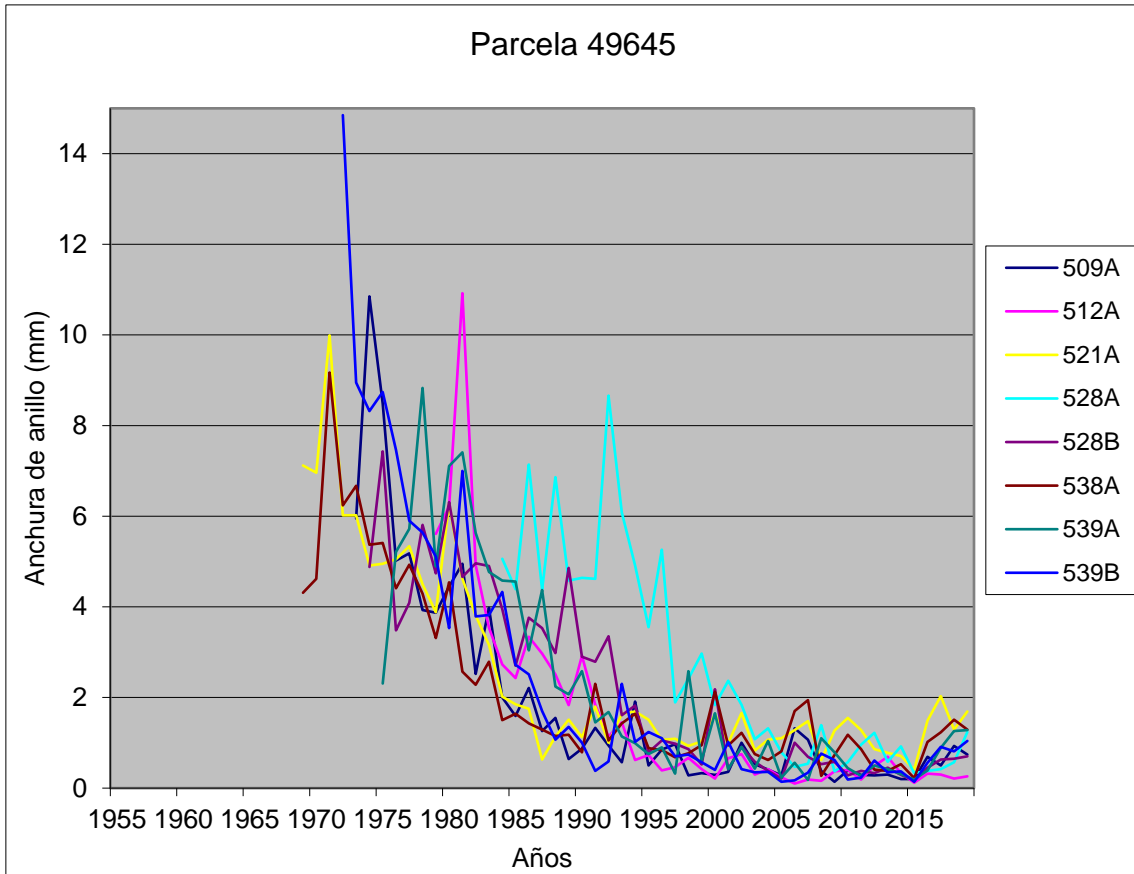
| PARCELA | N    | G       | Dg      | Dm      | Ho      | Ho.sd  | Do      | Do.sd   | No | No.ha    | IH     | SDI       | EDAD_DEF | TIPO | SUP | IS.montero | IS.rojo | SIMULA | %SDI_1.605 | %SDI_1.1843 |
|---------|------|---------|---------|---------|---------|--------|---------|---------|----|----------|--------|-----------|----------|------|-----|------------|---------|--------|------------|-------------|
| 258102  | 1000 | 22,3226 | 16,8588 | 16,6025 | 8,9000  | 0,4082 | 21,1125 | 0,4679  | 4  | 100,0000 | 0,3553 | 531,3303  | 60,8601  | 3    | 400 | 10,1182    | 8,8143  | 0,0000 | 0,5696     | 0,5744      |
| 321500  | 2711 | 42,4713 | 14,1231 | 13,5730 | 12,3000 | 0,0000 | 27,2250 | 0,6010  | 2  | 88,8889  | 0,1561 | 1084,1515 | 59,3352  | 3    | 225 | 14,1715    | 12,3790 | 1,0000 | 1,1622     | 1,2628      |
| 323943  | 3200 | 50,1306 | 14,1231 | 13,7844 | 10,3500 | 1,3435 | 20,8000 | 2,8991  | 2  | 200,0000 | 0,1708 | 1279,6642 | 61,7879  | 3    | 100 | 11,6747    | 10,1603 | 1,0000 | 1,3718     | 1,4905      |
| 348390  | 176  | 10,2634 | 27,2486 | 24,7136 | 12,4000 | 1,3638 | 29,6500 | 13,2029 | 6  | 96,0000  | 0,6079 | 202,0909  | 37,1083  | 3    | 625 | 19,0198    | 16,4099 | 1,0000 | 0,2166     | 0,1785      |
| 354795  | 675  | 20,4413 | 19,6362 | 19,3222 | 9,7750  | 0,9142 | 24,7625 | 1,8754  | 4  | 100,0000 | 0,3938 | 458,1070  | 53,8182  | 3    | 400 | 11,8813    | 10,4898 | 0,0000 | 0,4911     | 0,4645      |
| 356502  | 650  | 22,0255 | 20,7712 | 20,0750 | 12,0750 | 1,4056 | 27,0875 | 0,3473  | 4  | 100,0000 | 0,3248 | 482,7751  | 48,3854  | 3    | 400 | 15,6174    | 13,6944 | 0,0000 | 0,5175     | 0,4781      |
| 381853  | 1200 | 28,3664 | 17,3487 | 16,9463 | 8,5500  | 0,7778 | 22,4250 | 0,8839  | 2  | 88,8889  | 0,3376 | 667,5900  | 67,4957  | 3    | 225 | 9,2281     | 7,8792  | 0,0000 | 0,7157     | 0,7131      |
| 472854  | 775  | 9,5542  | 12,5286 | 12,1210 | 6,3000  | 0,2944 | 17,6750 | 1,5570  | 4  | 100,0000 | 0,5702 | 255,7050  | 49,0656  | 2    | 400 | 8,0804     | 7,3740  | 0,0000 | 0,2741     | 0,3132      |
| 475635  | 550  | 9,3236  | 14,6914 | 13,9727 | 6,9750  | 0,7932 | 21,3000 | 3,9632  | 4  | 100,0000 | 0,6113 | 234,3191  | 57,0000  | 2    | 400 | 8,2118     | 7,2511  | 0,0000 | 0,2512     | 0,2684      |
| 502483  | 272  | 20,0415 | 30,6292 | 28,5206 | 19,1000 | 1,3904 | 38,0833 | 8,7054  | 6  | 96,0000  | 0,3175 | 376,8099  | 83,8310  | 3    | 625 | 18,7410    | 16,6201 | 1,0000 | 0,4040     | 0,3169      |
| 502528  | 525  | 17,2340 | 20,4441 | 20,1167 | 9,3500  | 0,7047 | 24,6000 | 1,1846  | 4  | 100,0000 | 0,4668 | 380,1256  | 59,8477  | 2    | 400 | 10,7237    | 9,3658  | 1,0000 | 0,4075     | 0,3790      |
| 503362  | 933  | 20,1288 | 16,5709 | 16,1286 | 10,1500 | 0,2121 | 21,5750 | 1,1667  | 2  | 88,8889  | 0,3225 | 482,3831  | 64,0572  | 2    | 225 | 11,2407    | 9,7362  | 0,0000 | 0,5171     | 0,5253      |
| 504083  | 1467 | 29,8045 | 16,0854 | 15,8212 | 9,4500  | 0,3536 | 19,1750 | 0,1061  | 2  | 88,8889  | 0,2763 | 722,7010  | 61,6956  | 2    | 225 | 10,6677    | 9,2778  | 0,0000 | 0,7748     | 0,7969      |
| 504754  | 1067 | 16,9723 | 14,2335 | 14,0063 | 7,1500  | 0,2121 | 17,8750 | 0,1768  | 2  | 88,8889  | 0,4282 | 431,9168  | 64,5365  | 2    | 225 | 7,8888     | 6,7683  | 0,0000 | 0,4630     | 0,5014      |
| 504856  | 750  | 20,7118 | 18,7514 | 18,3417 | 10,0750 | 0,3403 | 24,6875 | 2,1061  | 4  | 100,0000 | 0,3624 | 472,7001  | 65,1161  | 2    | 400 | 11,0667    | 9,5621  | 1,0000 | 0,5067     | 0,4887      |
| 509871  | 512  | 6,5328  | 12,7459 | 12,3422 | 7,4500  | 0,2380 | 17,0167 | 1,8975  | 6  | 96,0000  | 0,5932 | 173,6577  | 51,1038  | 2    | 625 | 9,3286     | 8,3803  | 0,0000 | 0,1862     | 0,2112      |
| 510337  | 825  | 58,8868 | 30,1465 | 29,6470 | 17,6750 | 1,5414 | 38,3875 | 0,9437  | 4  | 100,0000 | 0,1970 | 1114,1298 | 91,4566  | 2    | 400 | 16,7808    | 14,7151 | 1,0000 | 1,1944     | 0,9433      |
| 512178  | 889  | 14,3769 | 14,3504 | 14,0800 | 7,6500  | 0,3536 | 18,9750 | 0,6718  | 2  | 88,8889  | 0,4384 | 364,6872  | 47,8706  | 3    | 225 | 9,9583     | 9,0082  | 0,0000 | 0,3910     | 0,4219      |
| 514655  | 1600 | 40,3561 | 17,9205 | 17,3139 | 9,7000  | 0,5657 | 25,0000 | 0,6364  | 2  | 88,8889  | 0,2577 | 937,6749  | 57,5337  | 2    | 225 | 11,3622    | 9,9689  | 0,0000 | 1,0052     | 0,9881      |
| 543132  | 1244 | 20,1044 | 14,3421 | 13,9161 | 8,8000  | 0,5657 | 19,8500 | 0,5657  | 2  | 88,8889  | 0,3221 | 510,0878  | 61,7458  | 3    | 225 | 9,9298     | 8,6292  | 0,0000 | 0,5468     | 0,5903      |
| 550368  | 933  | 18,4791 | 15,8773 | 15,6143 | 9,1500  | 0,4950 | 20,1500 | 1,4849  | 2  | 88,8889  | 0,3577 | 450,3925  | 52,3387  | 2    | 225 | 11,2999    | 10,0267 | 0,0000 | 0,4828     | 0,4994      |
| 575383  | 1244 | 23,5167 | 15,5116 | 15,1179 | 10,3000 | 0,9899 | 22,1500 | 0,2121  | 2  | 88,8889  | 0,2752 | 578,4738  | 65,6775  | 3    | 225 | 11,2660    | 9,7288  | 0,0000 | 0,6201     | 0,6477      |
| 580963  | 512  | 15,6584 | 19,7330 | 19,2219 | 9,5250  | 0,2986 | 23,7917 | 4,3695  | 6  | 96,0000  | 0,4640 | 350,2366  | 49,7067  | 2    | 625 | 12,1228    | 10,7790 | 0,0000 | 0,3755     | 0,3544      |
| 592914  | 978  | 32,6955 | 20,6338 | 19,8500 | 12,2000 | 0,2828 | 27,5250 | 0,6718  | 2  | 88,8889  | 0,2621 | 718,5319  | 52,5146  | 2    | 225 | 15,0375    | 13,1801 | 0,0000 | 0,7703     | 0,7135      |
| 606668  | 352  | 6,2492  | 15,0347 | 14,6545 | 7,5500  | 0,4435 | 18,4750 | 1,7093  | 6  | 96,0000  | 0,7060 | 155,6276  | 43,0000  | 2    | 625 | 10,5066    | 9,6132  | 1,0000 | 0,1668     | 0,1766      |
| 614610  | 933  | 26,7935 | 19,1184 | 18,7810 | 8,8000  | 0,1414 | 23,6500 | 2,0506  | 2  | 88,8889  | 0,3720 | 606,8369  | 56,8639  | 2    | 225 | 10,3739    | 9,1285  | 0,0000 | 0,6505     | 0,6223      |
| 614992  | 1689 | 21,2480 | 12,6565 | 12,2711 | 7,9500  | 0,4950 | 17,8000 | 0,0000  | 2  | 88,8889  | 0,3061 | 566,3959  | 54,0106  | 2    | 225 | 9,6436     | 8,5702  | 0,0000 | 0,6072     | 0,6909      |
| 639464  | 1377 | 29,8652 | 16,6130 | 16,2984 | 10,6500 | 1,6263 | 22,2500 | 0,8485  | 2  | 88,8889  | 0,2530 | 714,9985  | 57,1805  | 3    | 225 | 12,5168    | 10,9733 | 0,0000 | 0,7665     | 0,7778      |

## ANEXO 2. Graficas de crecimientos por parcelas

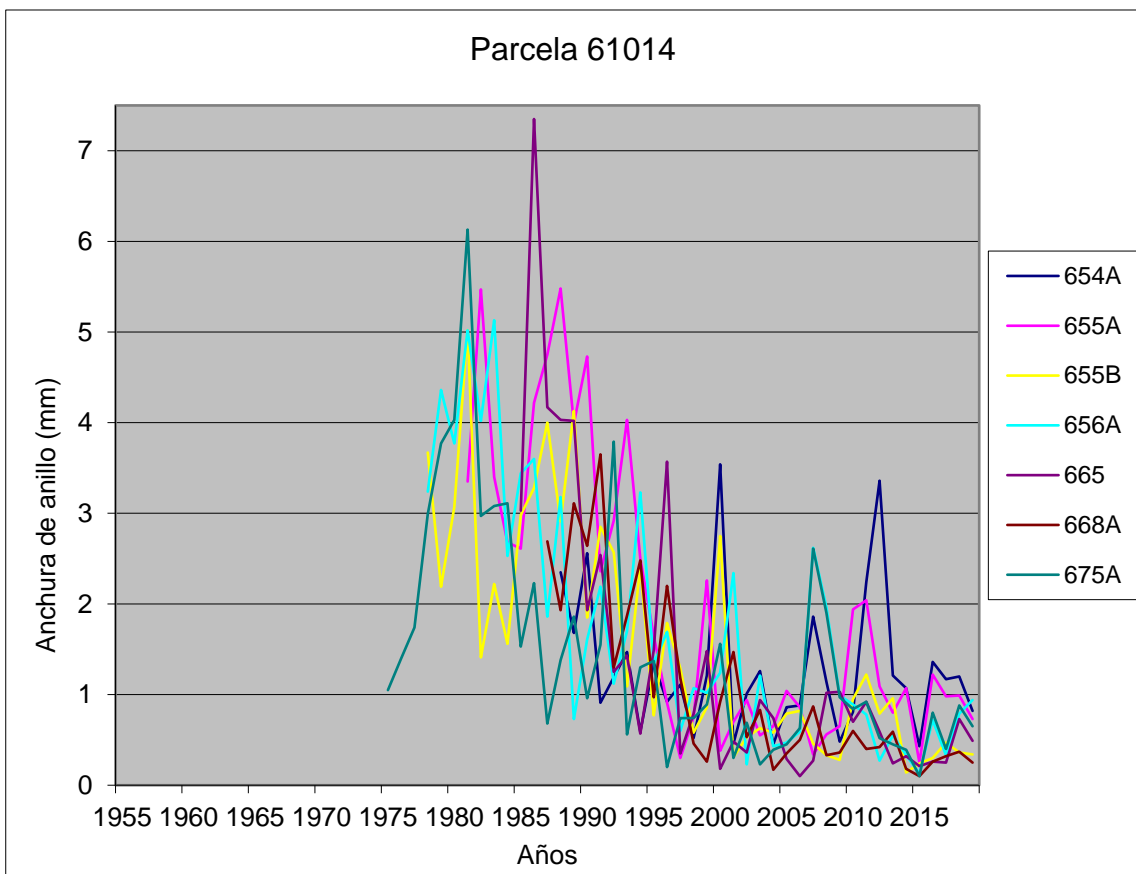
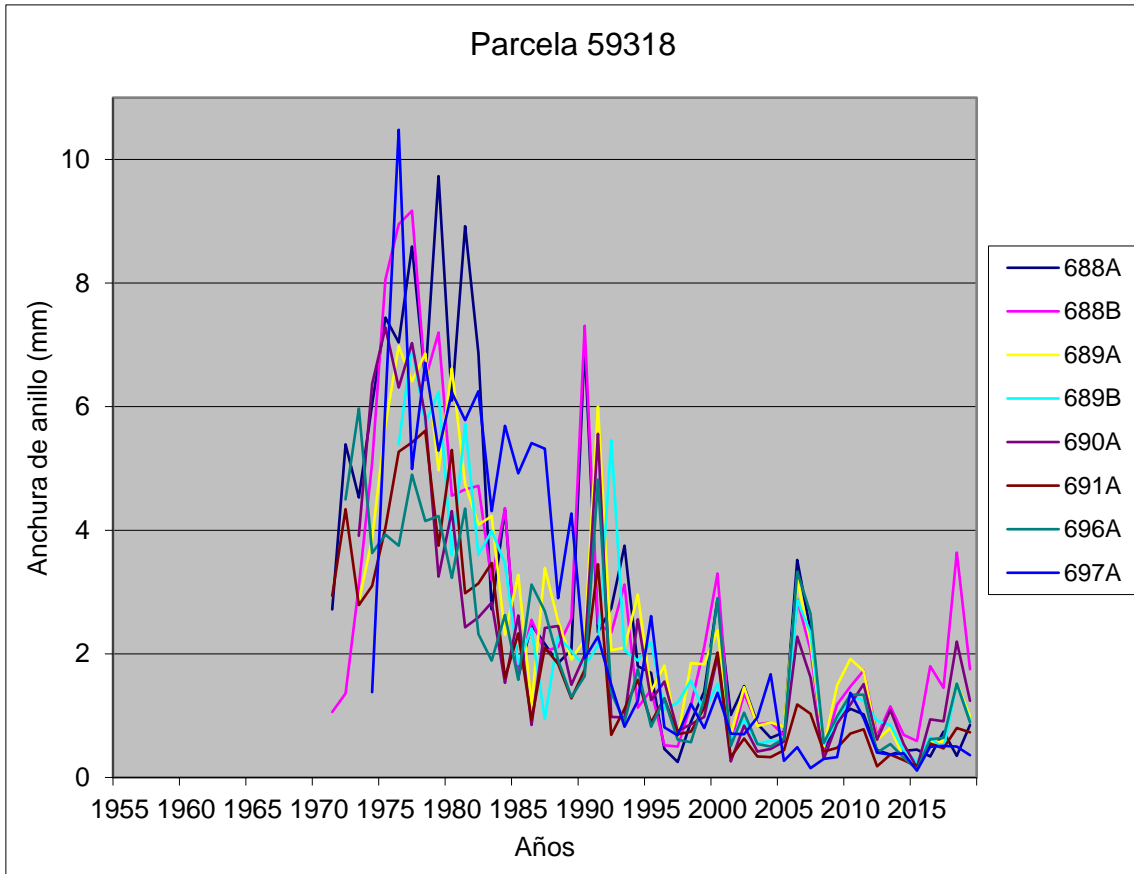


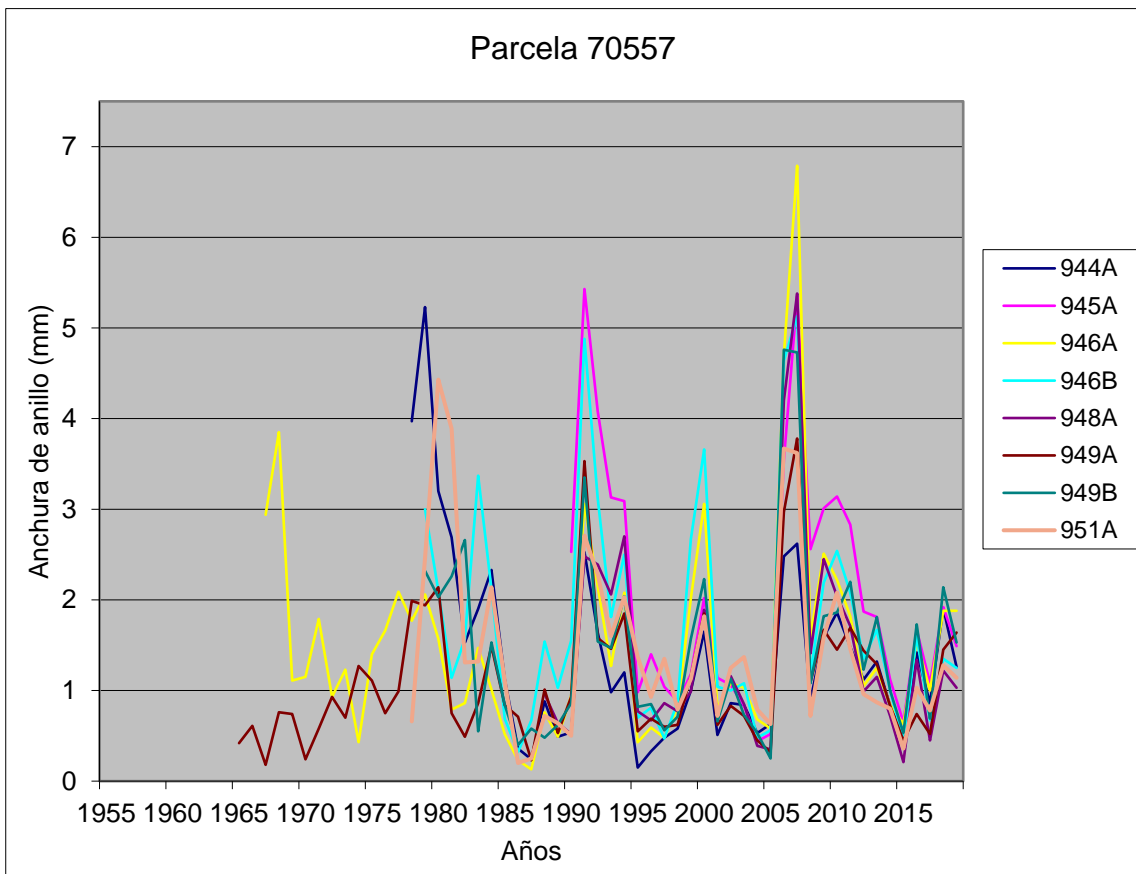
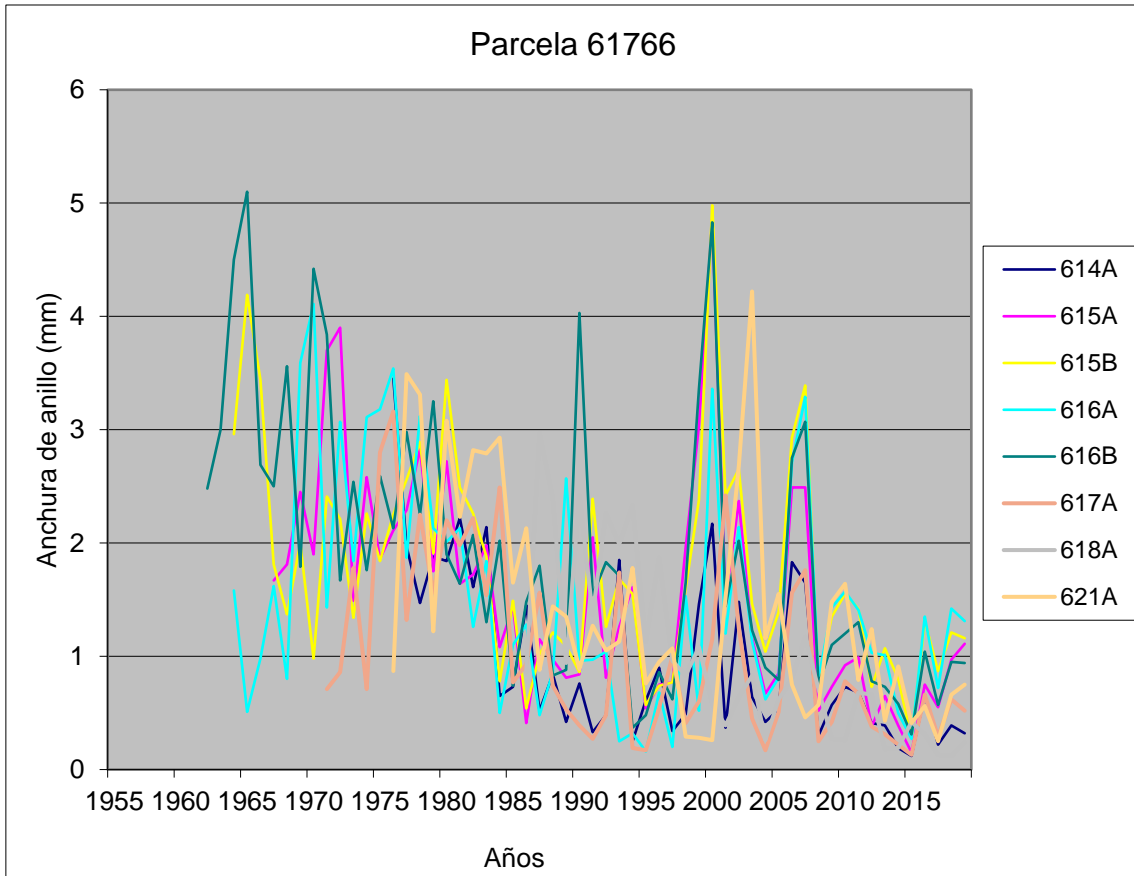


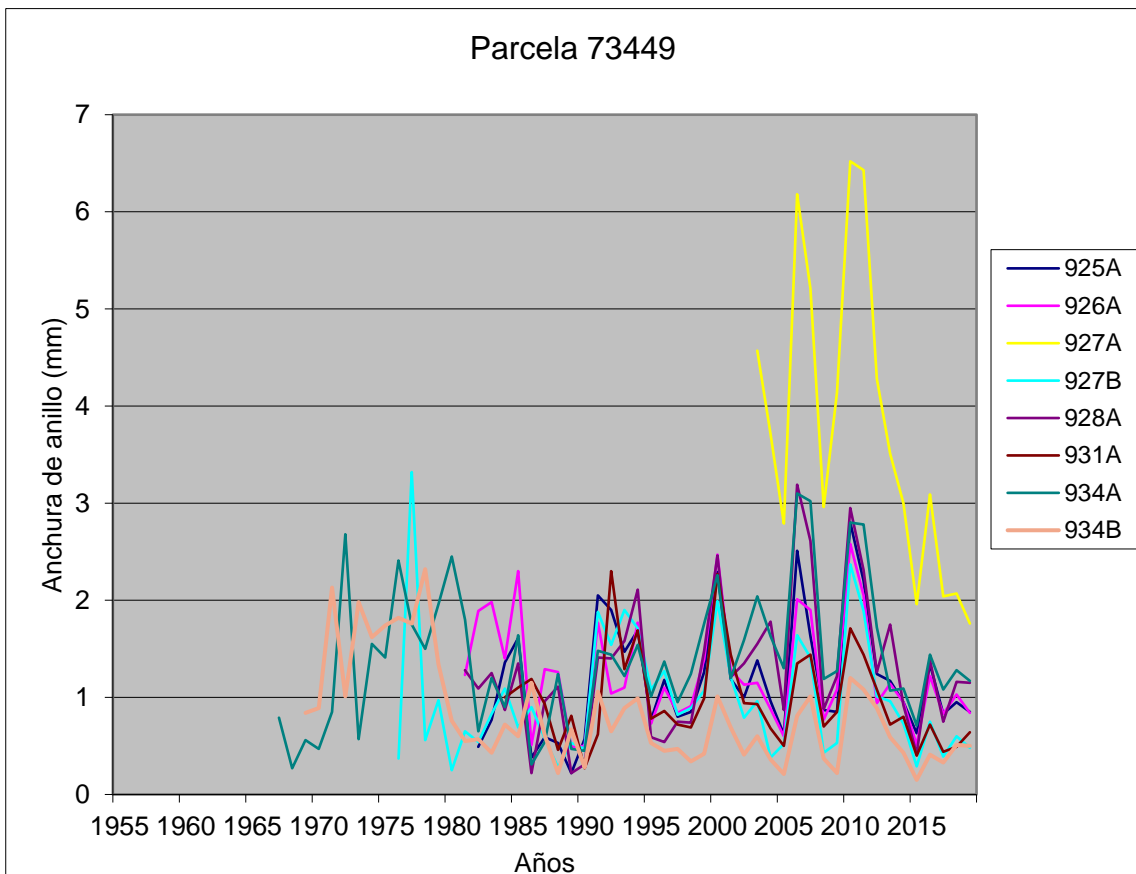
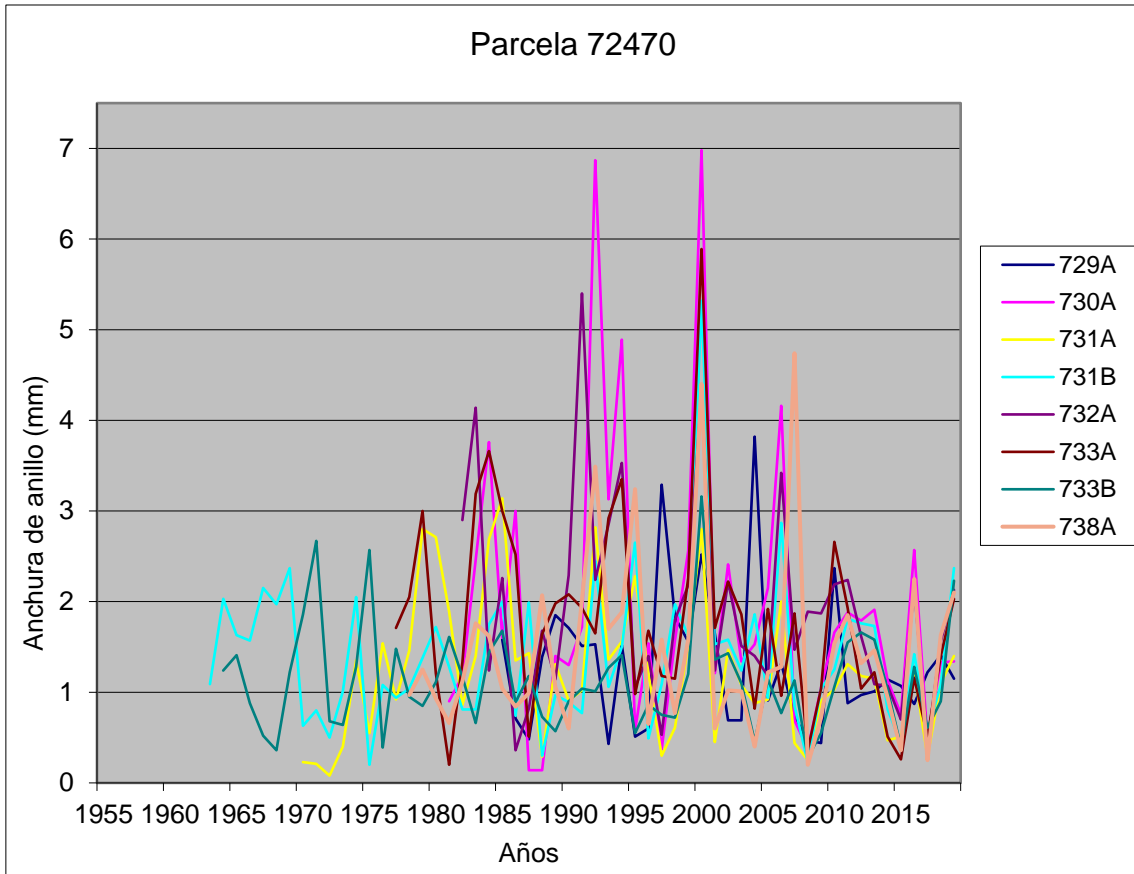


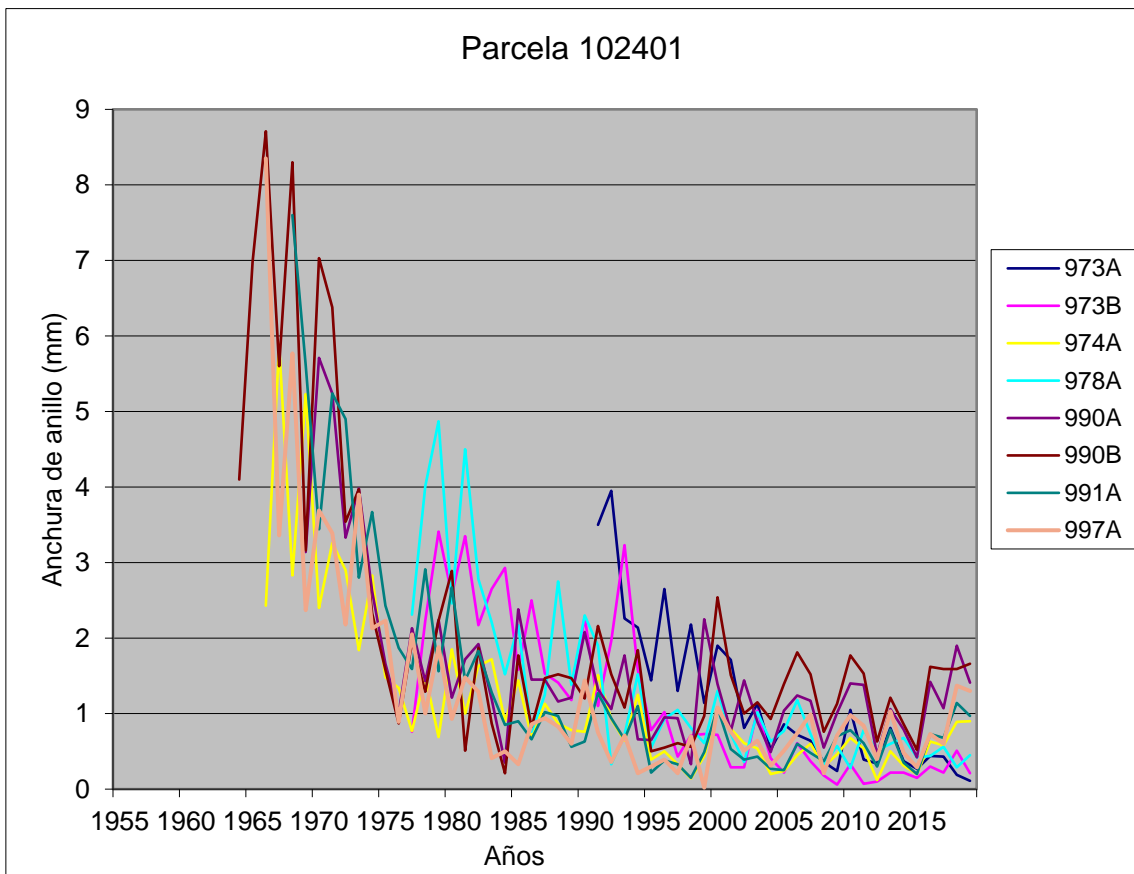
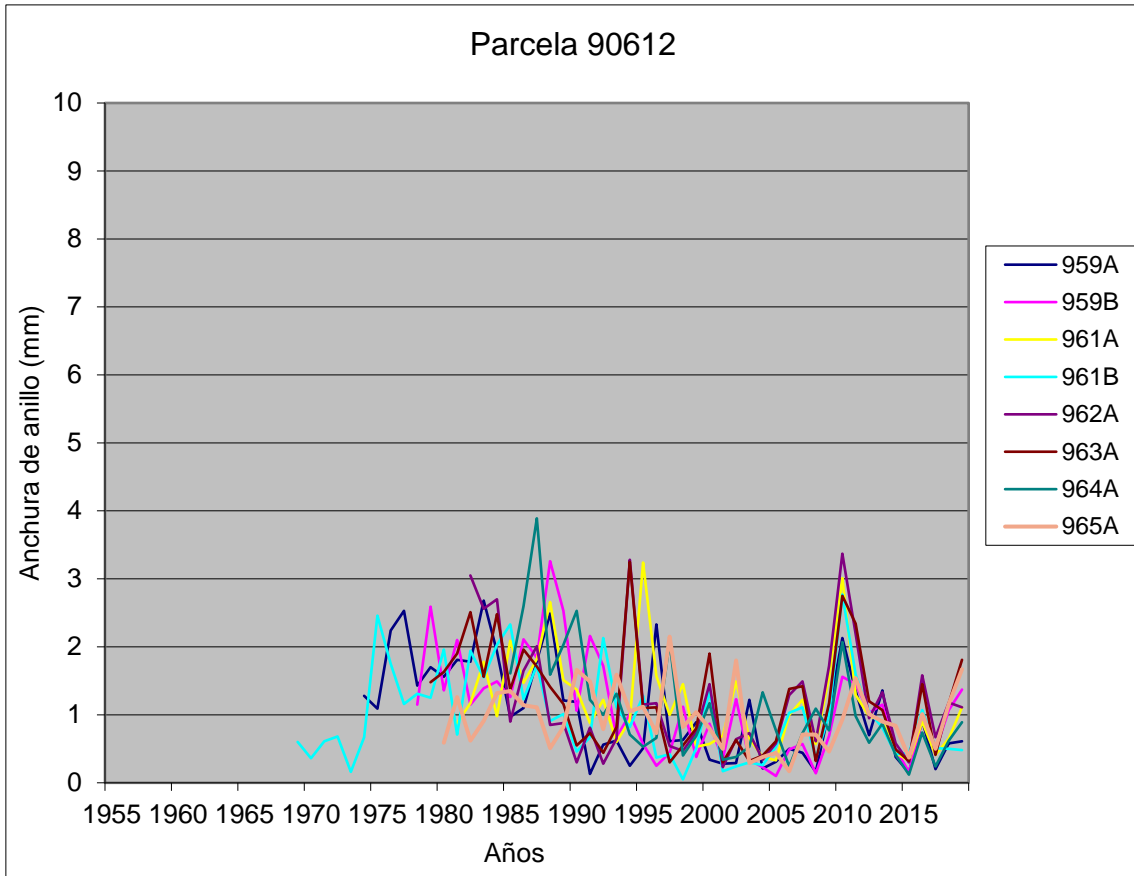


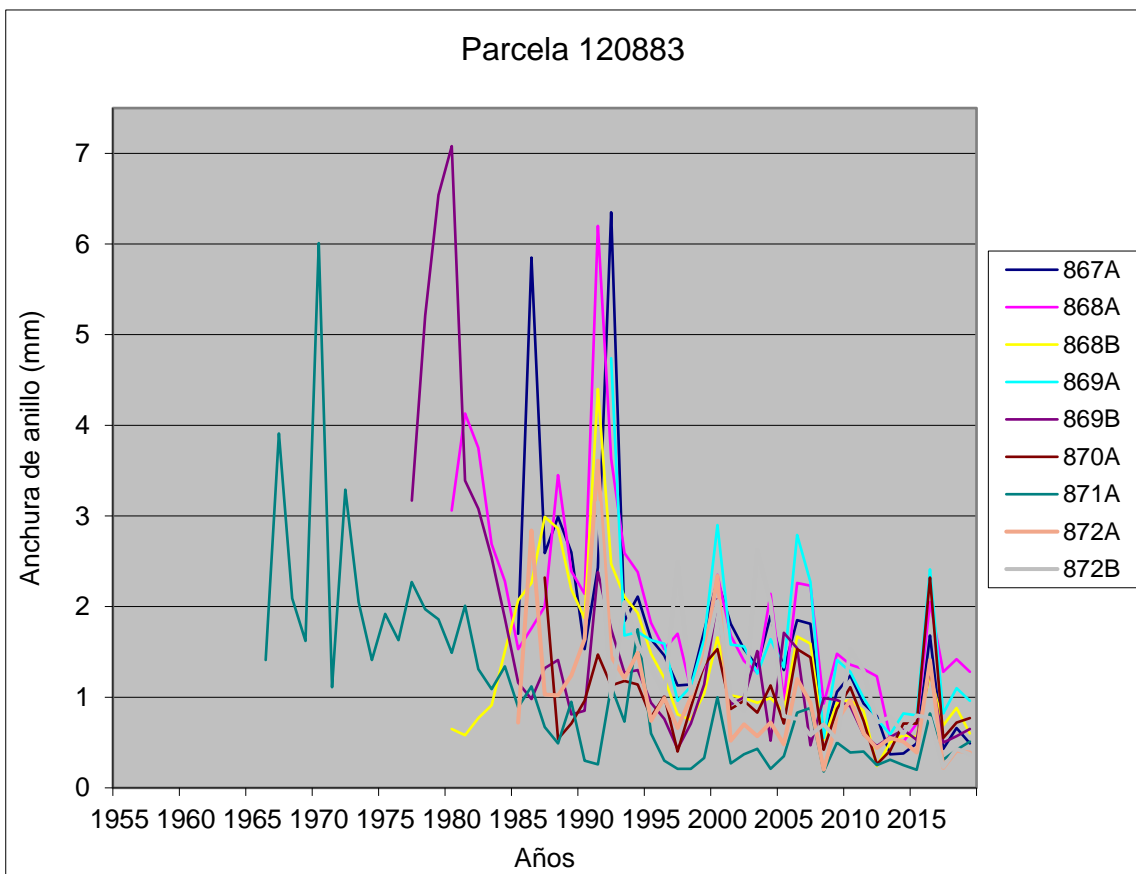
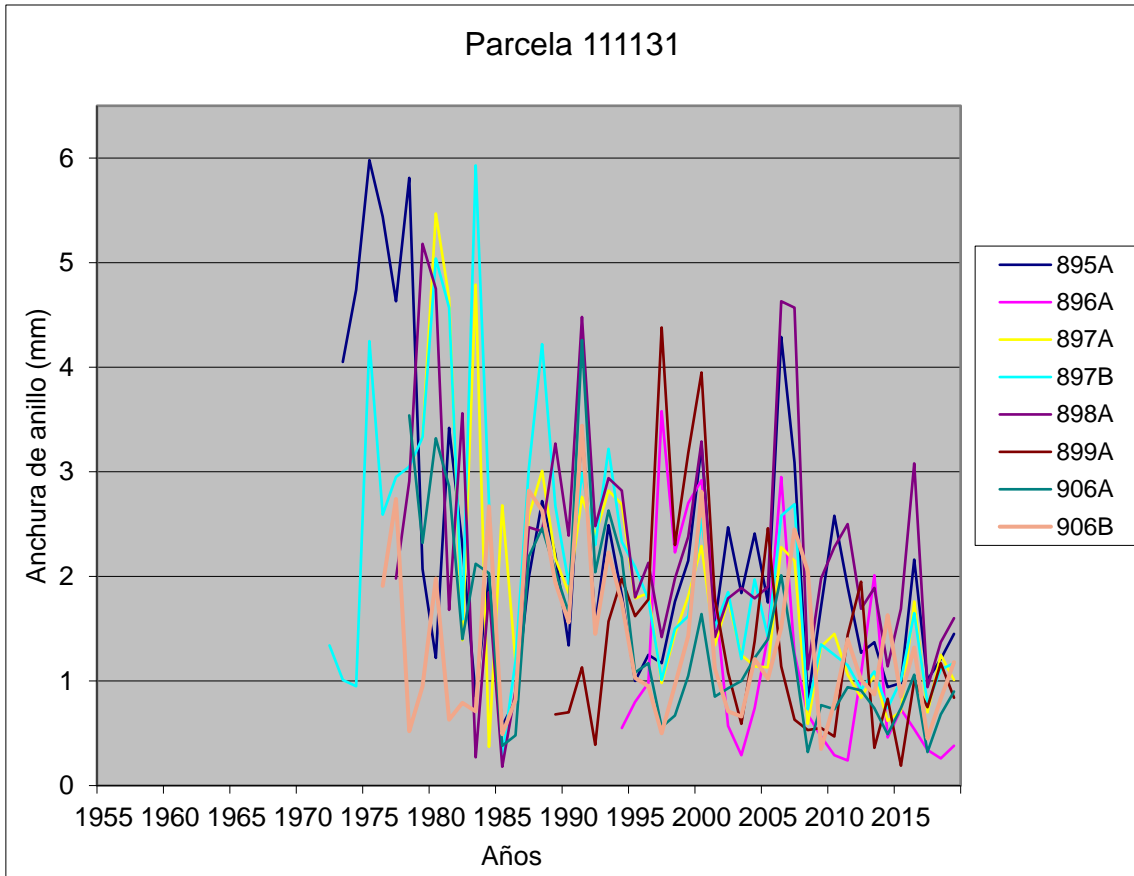


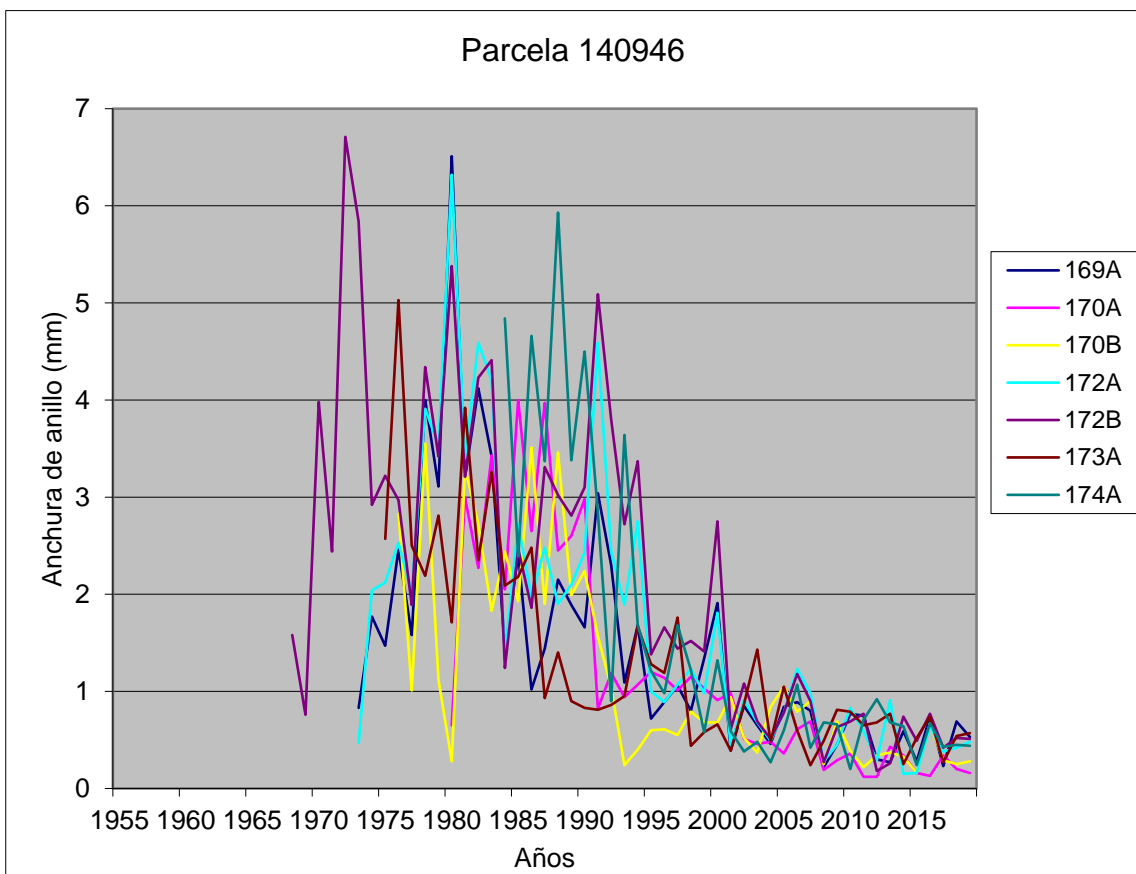
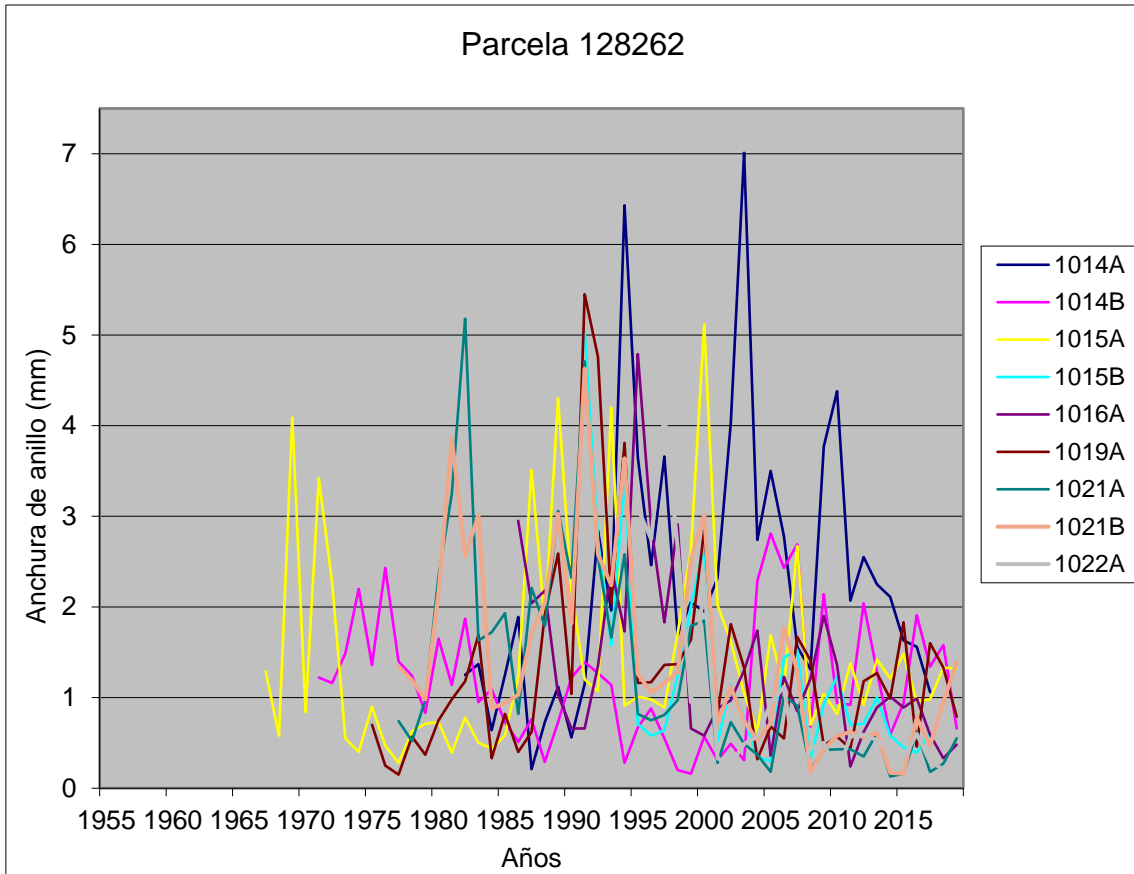


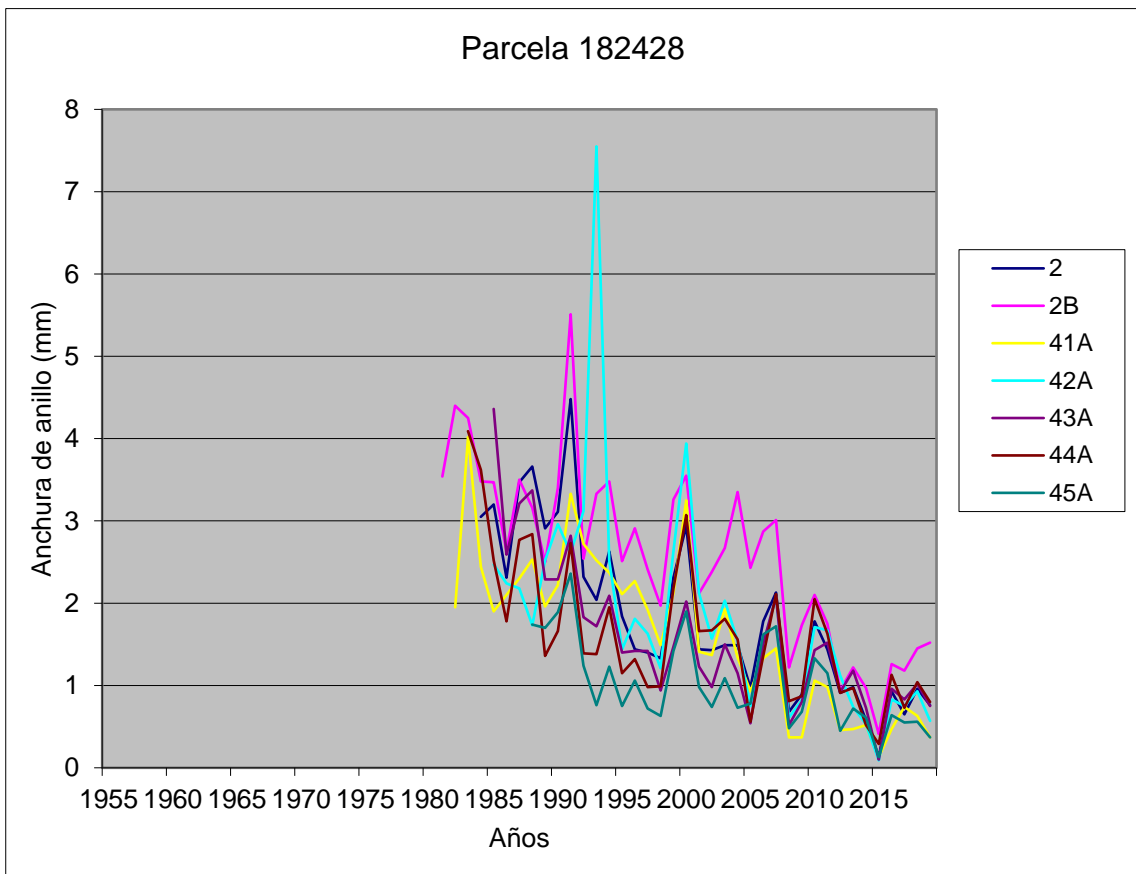
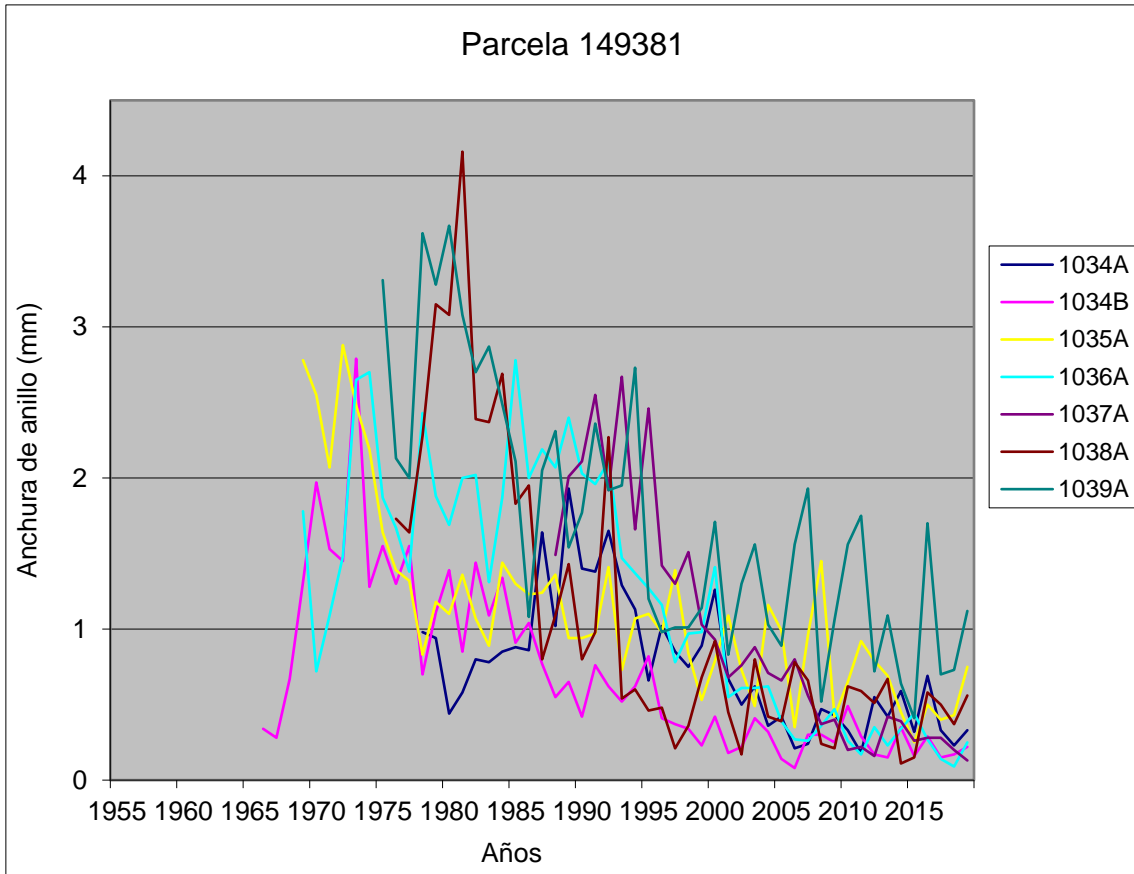


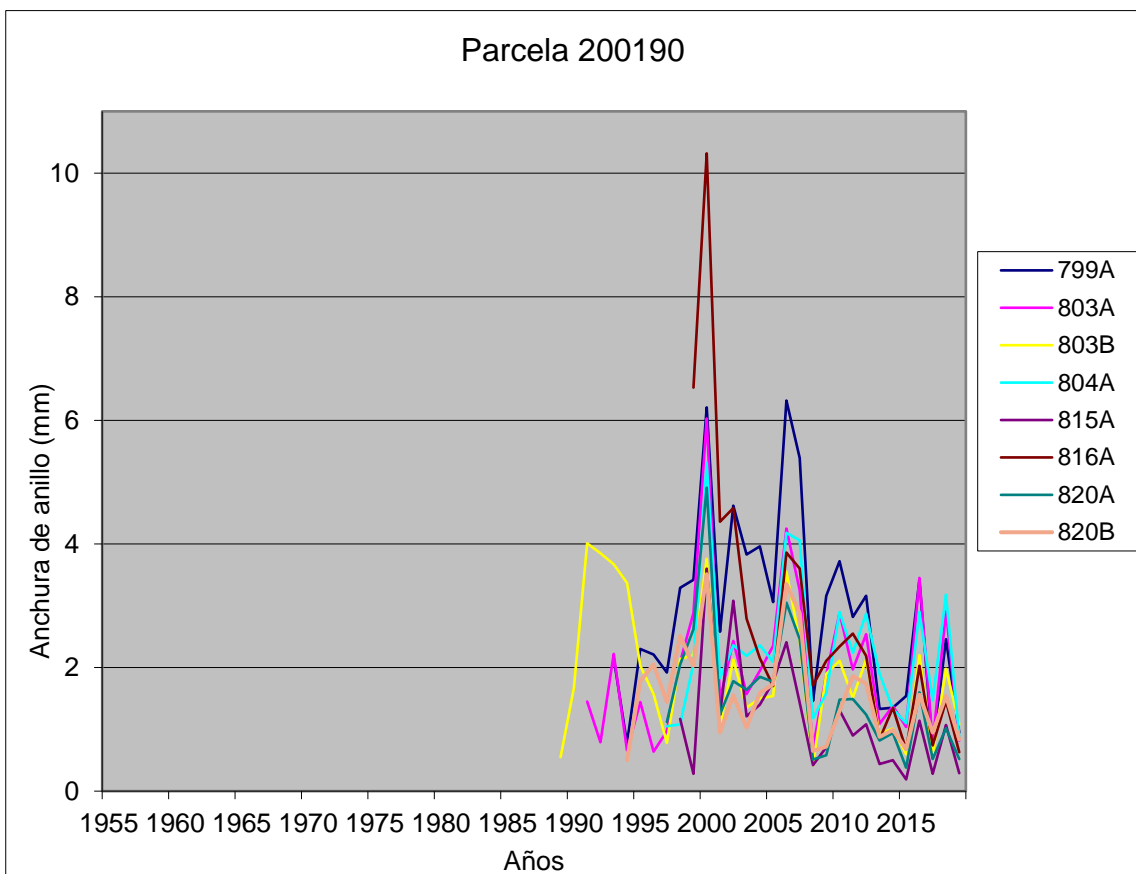
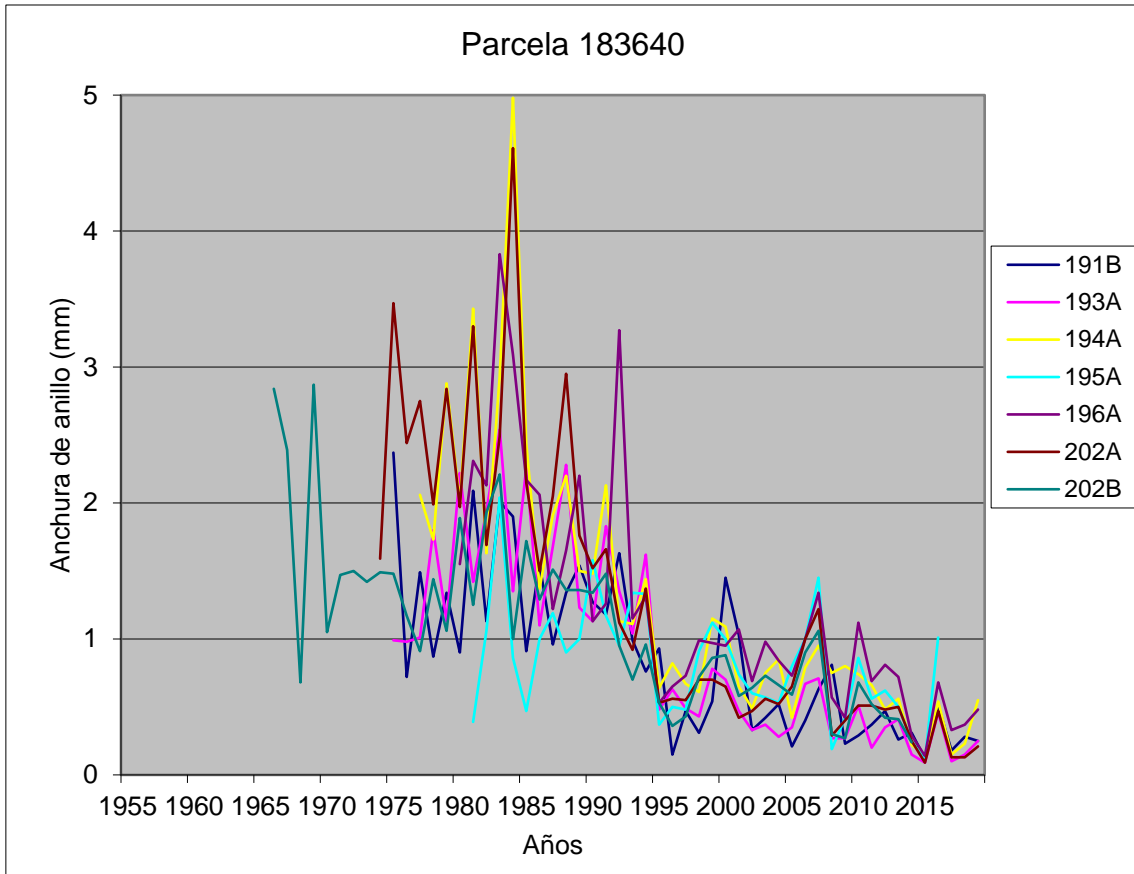




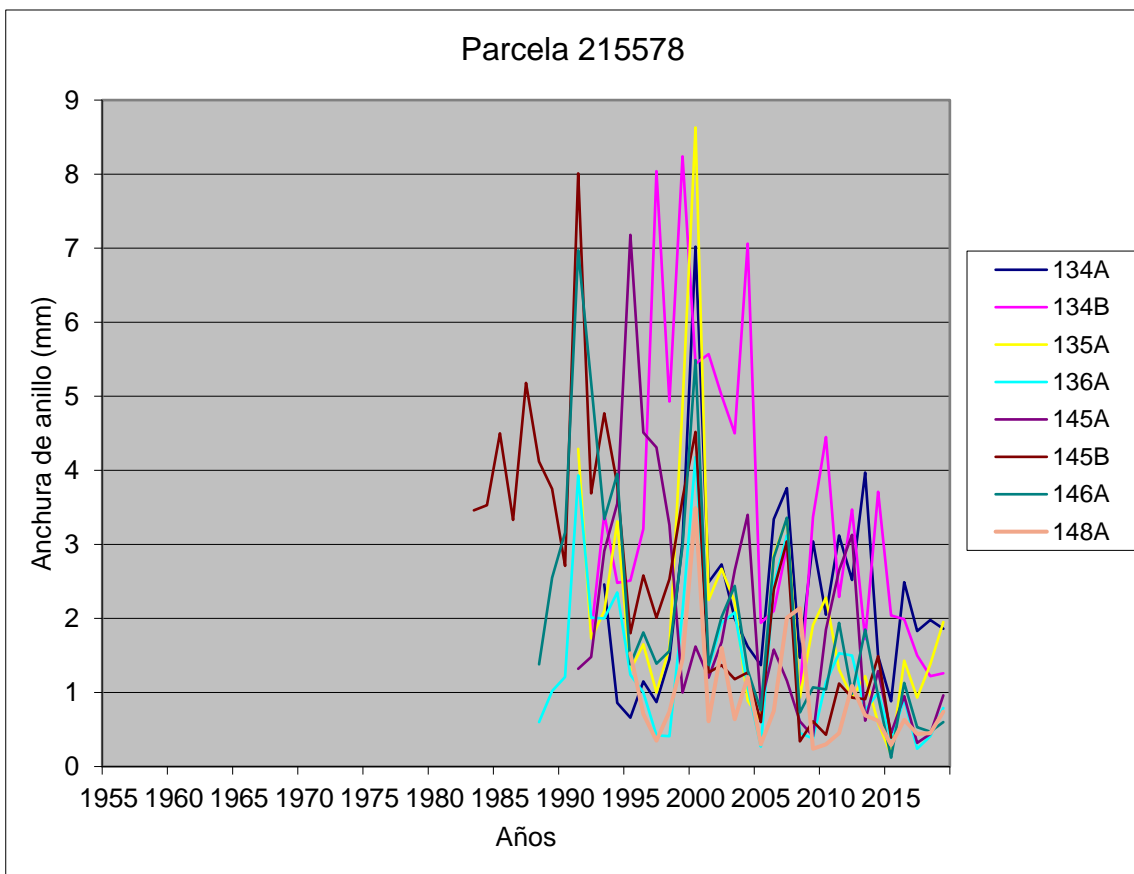
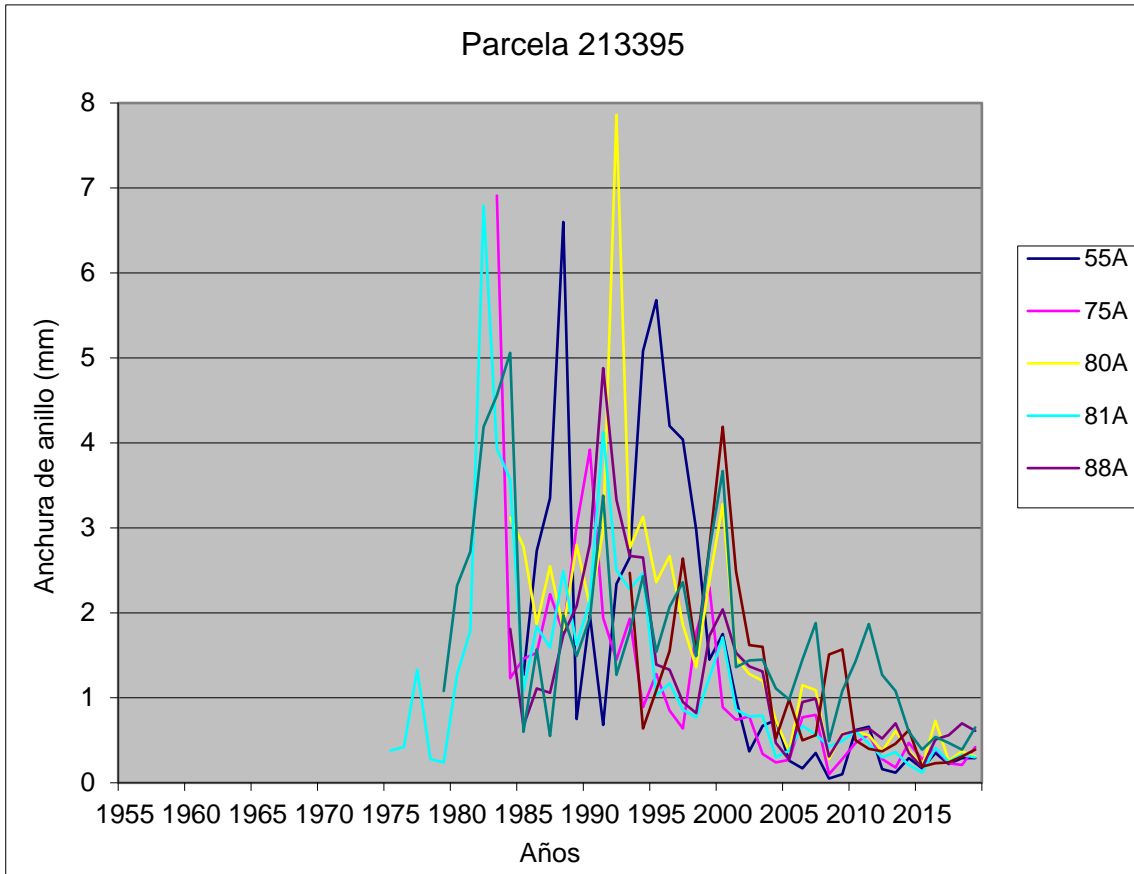


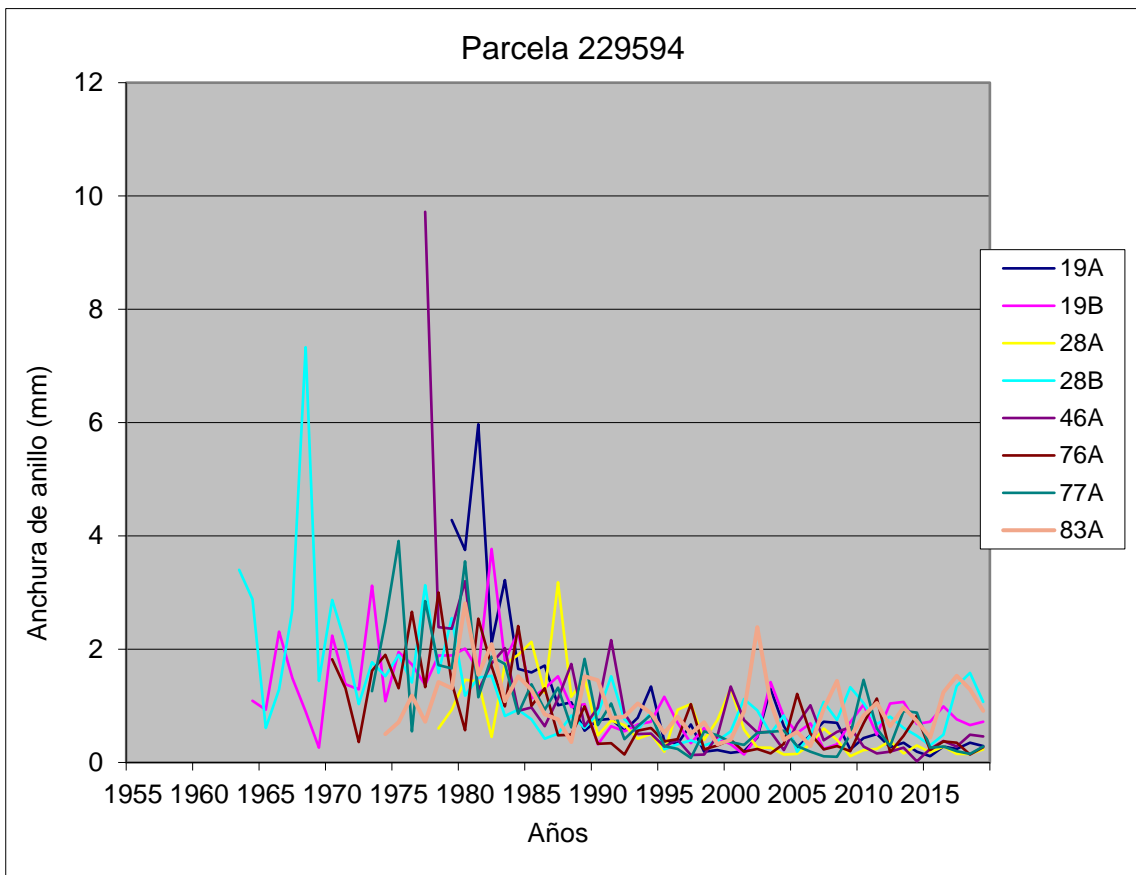
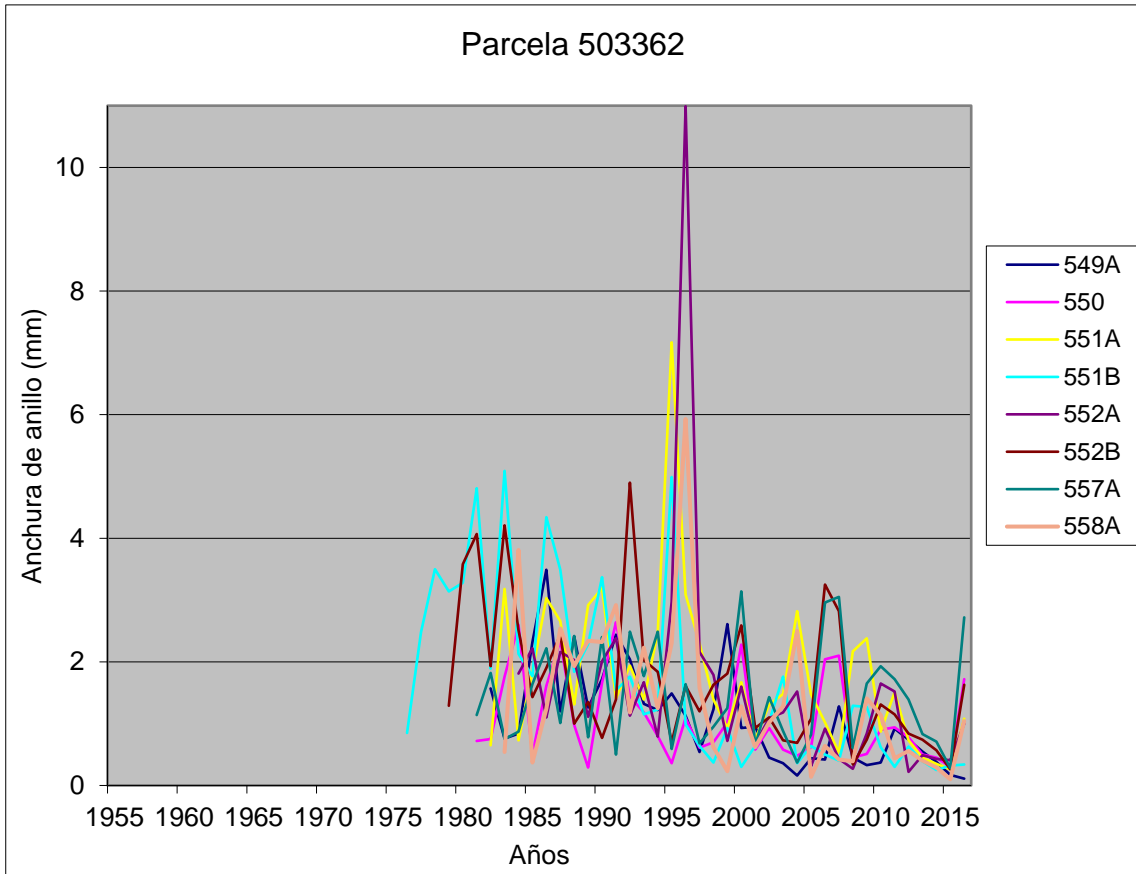


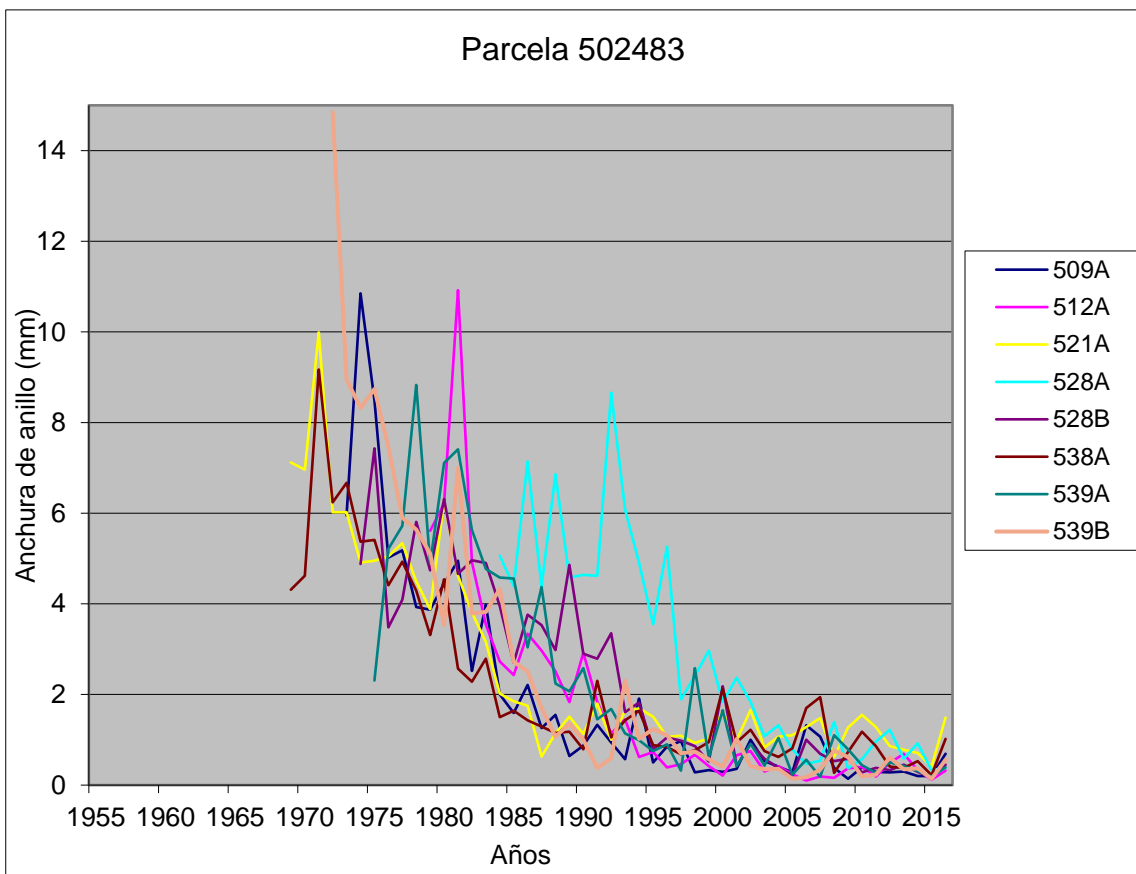
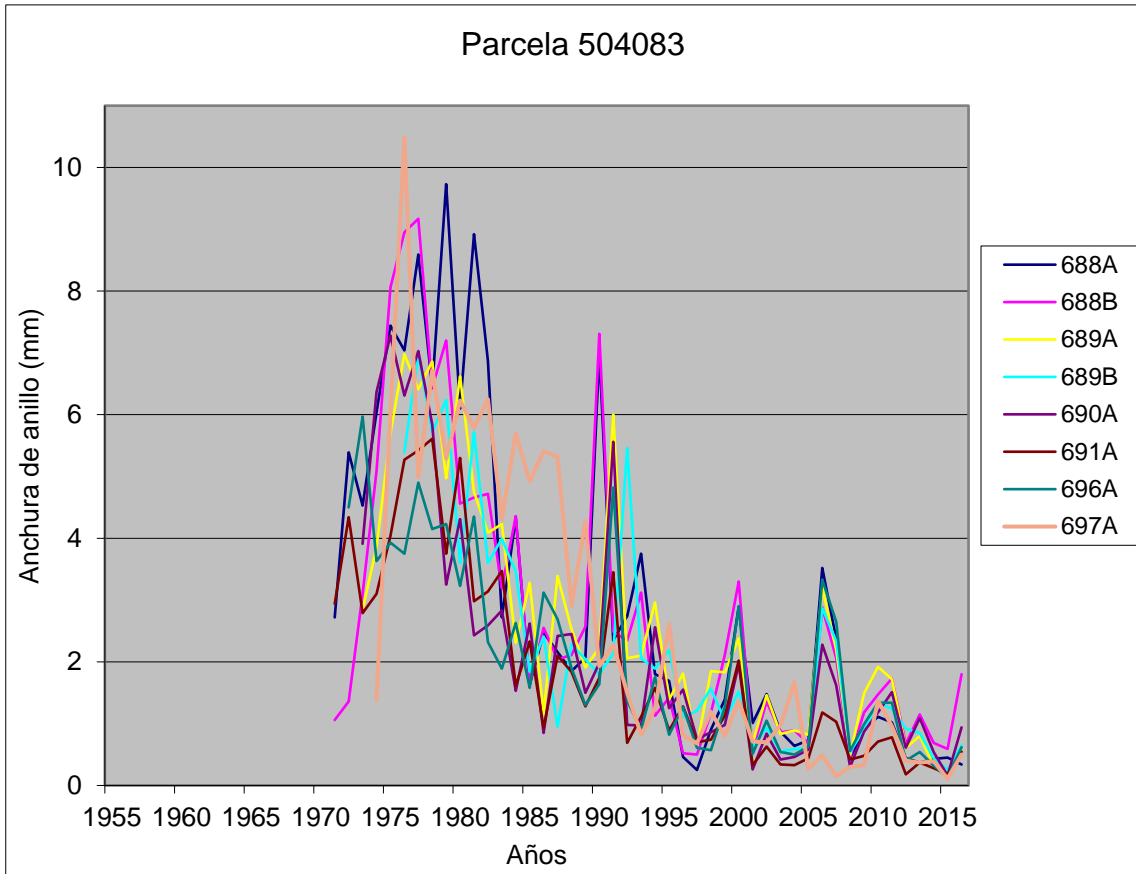


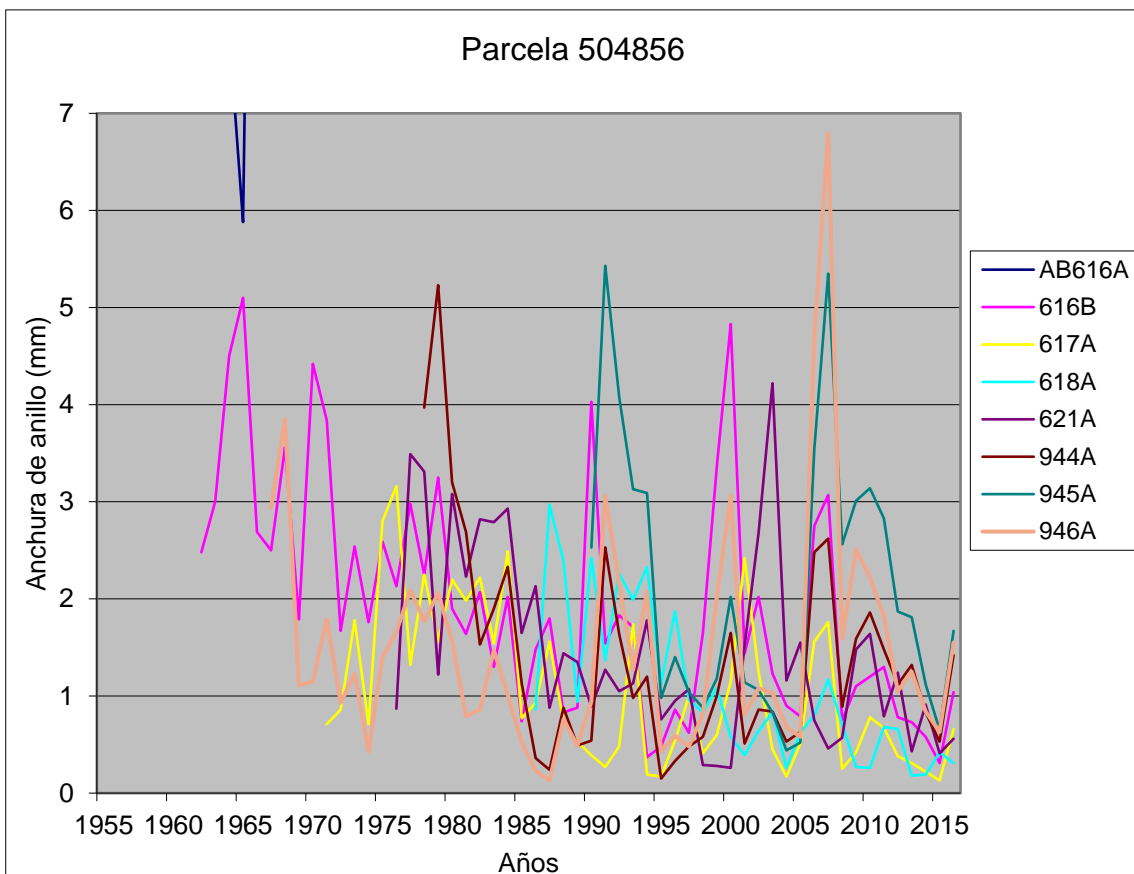
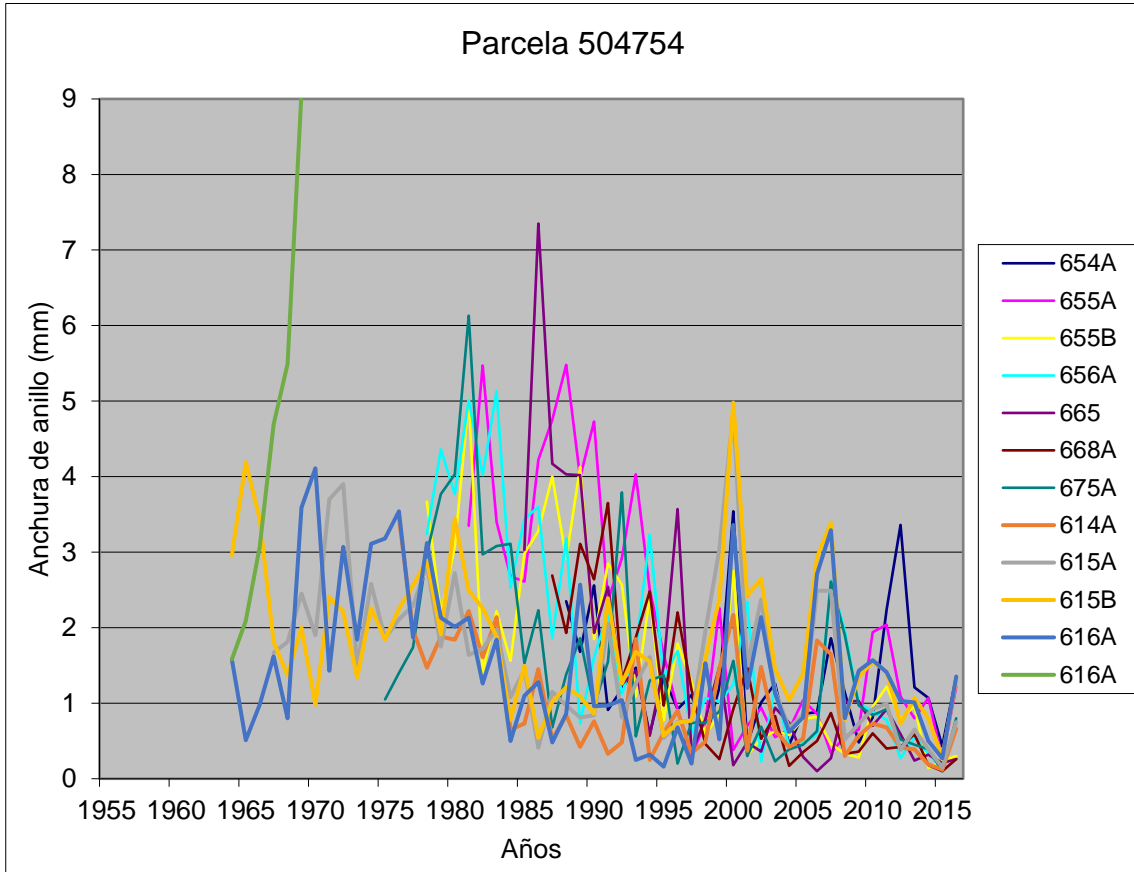


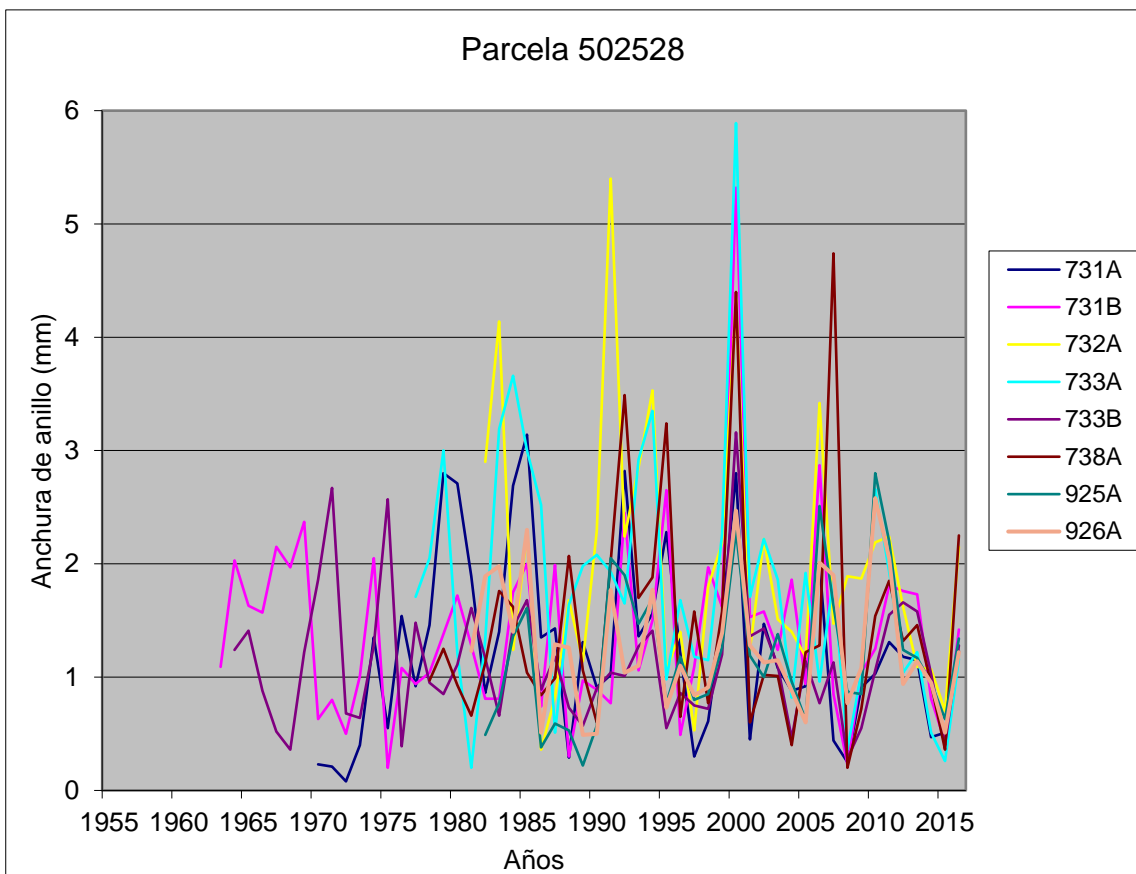
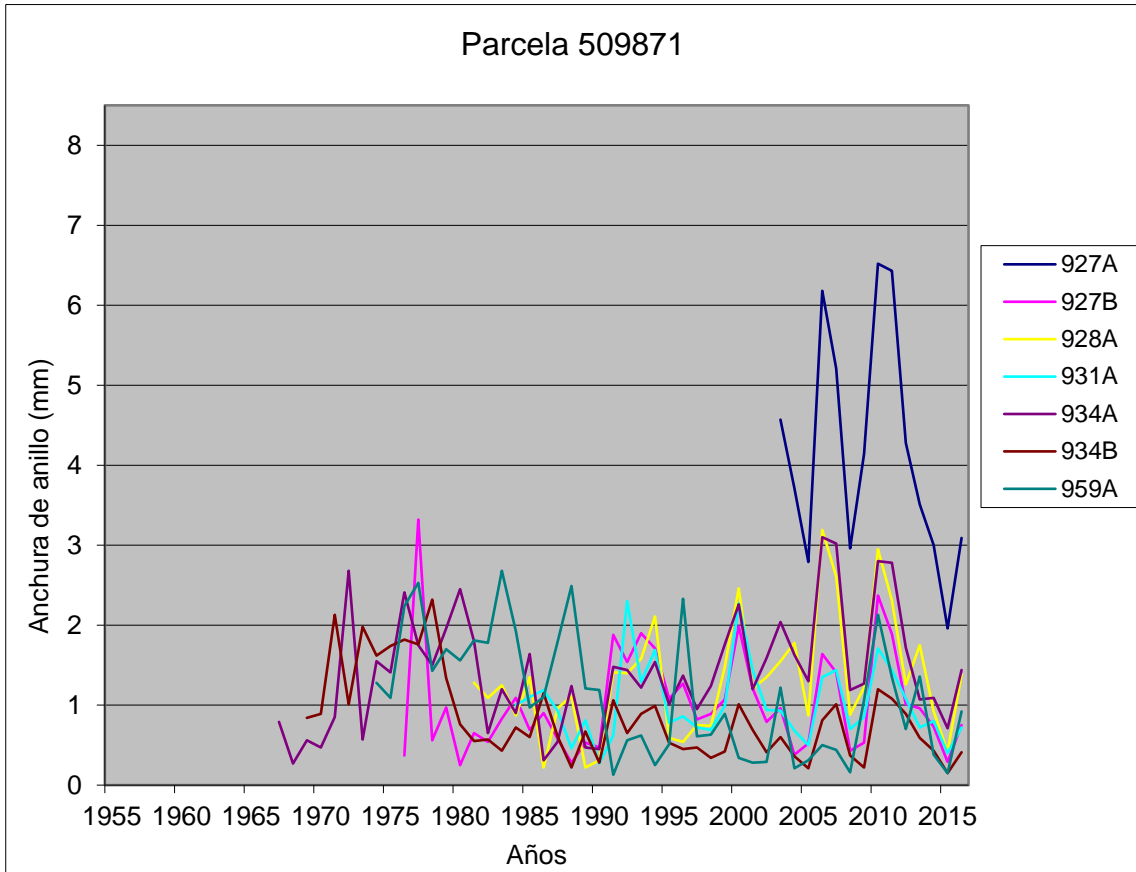


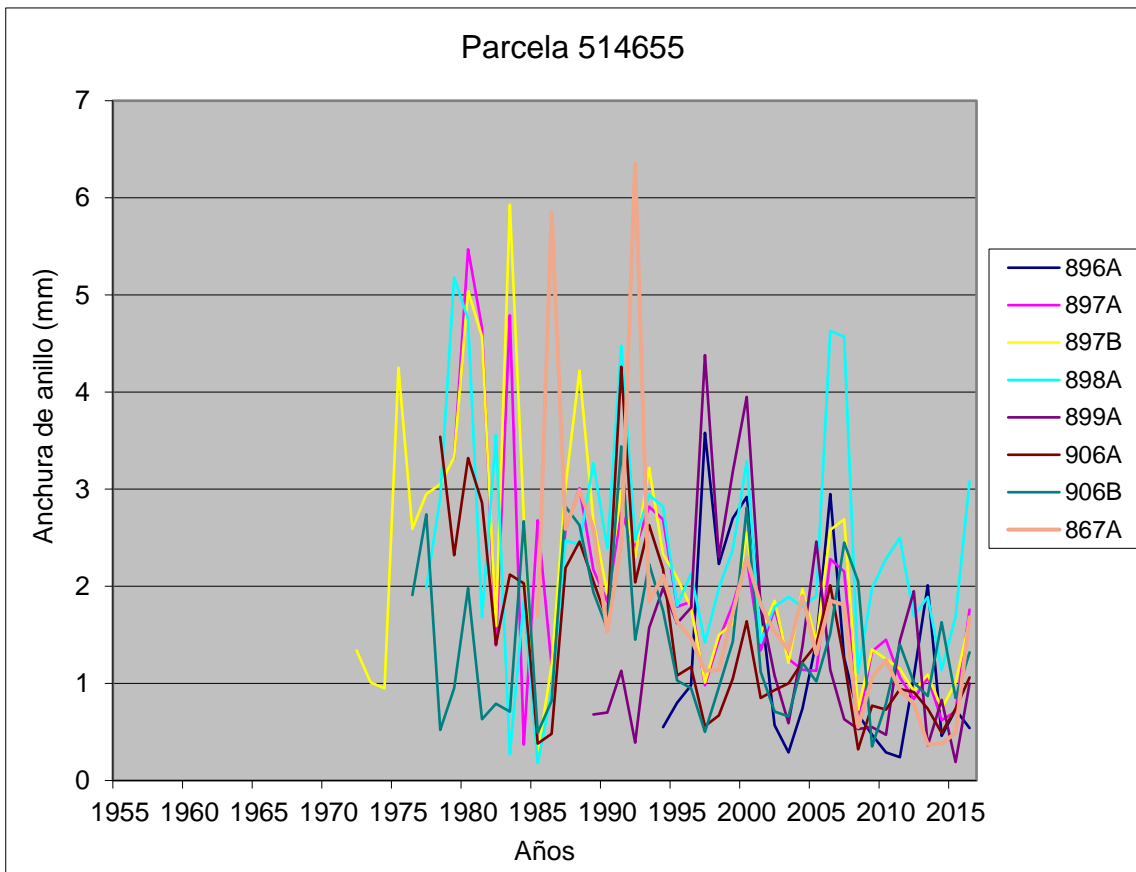
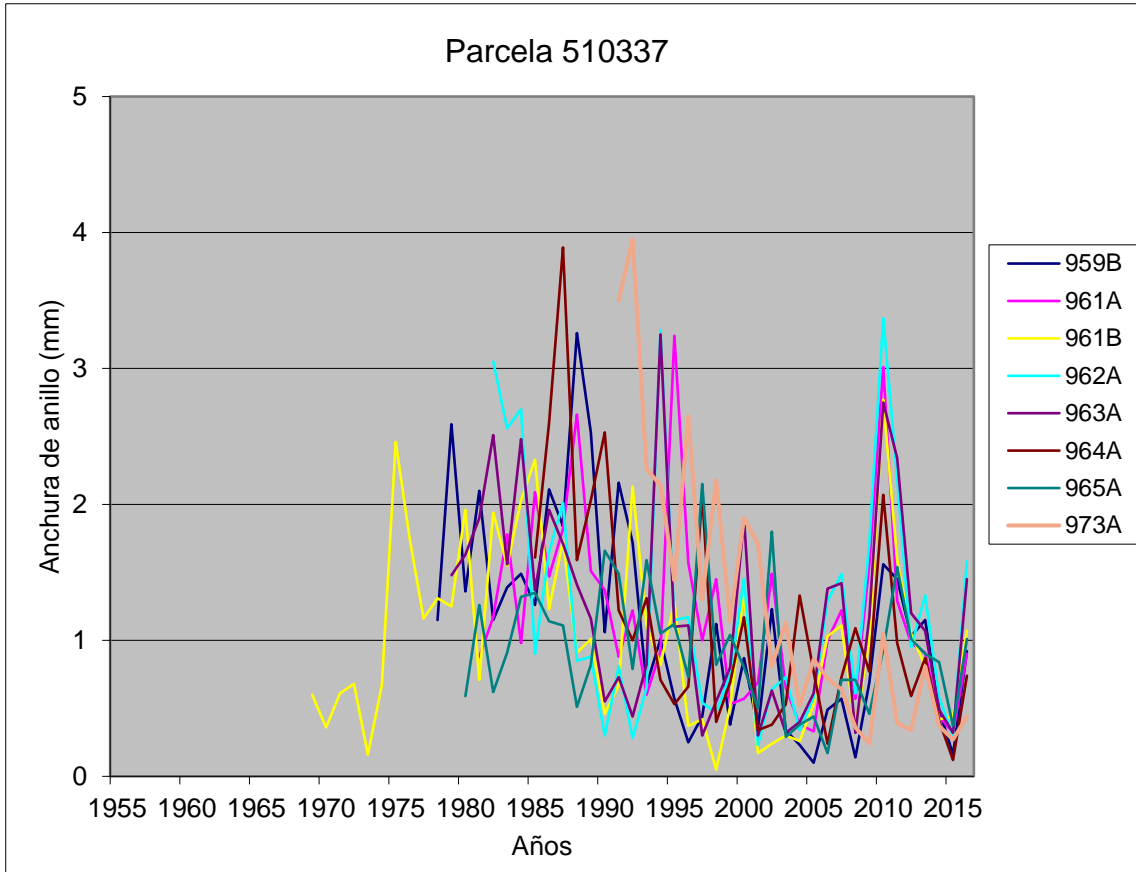


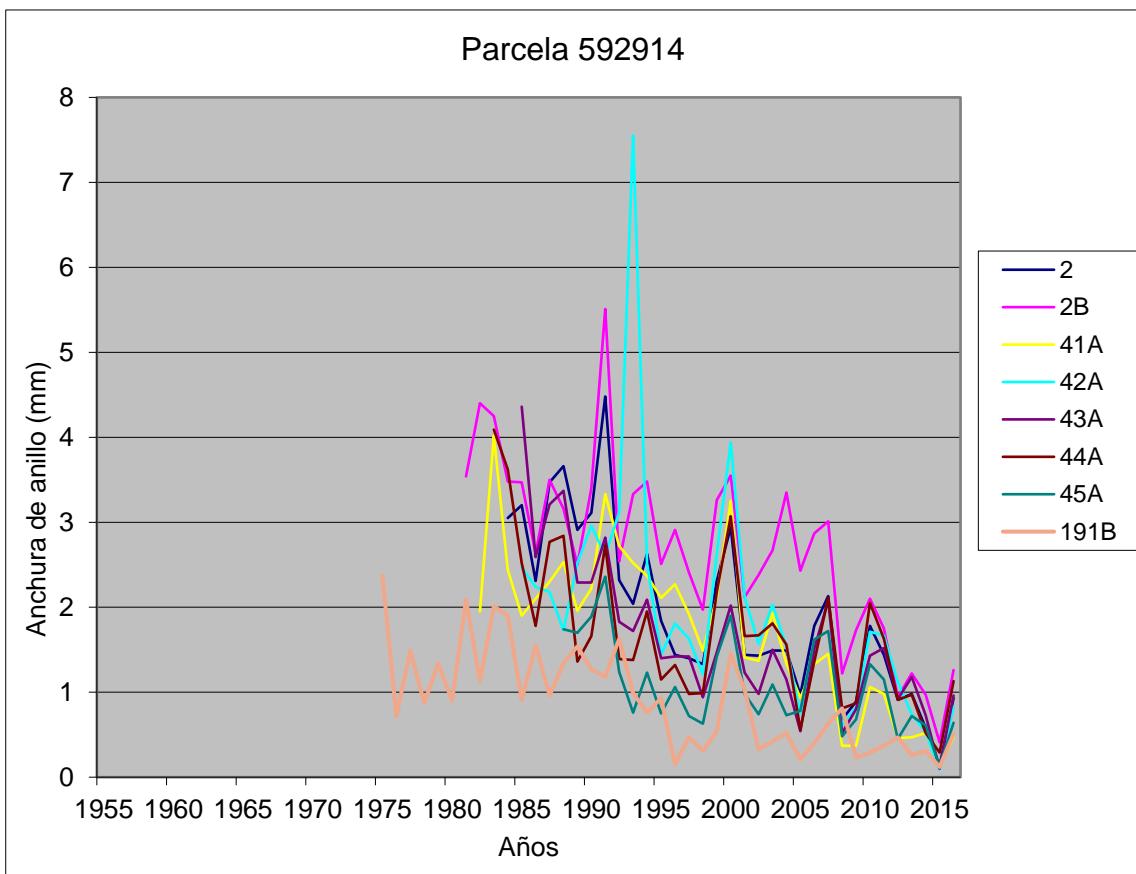
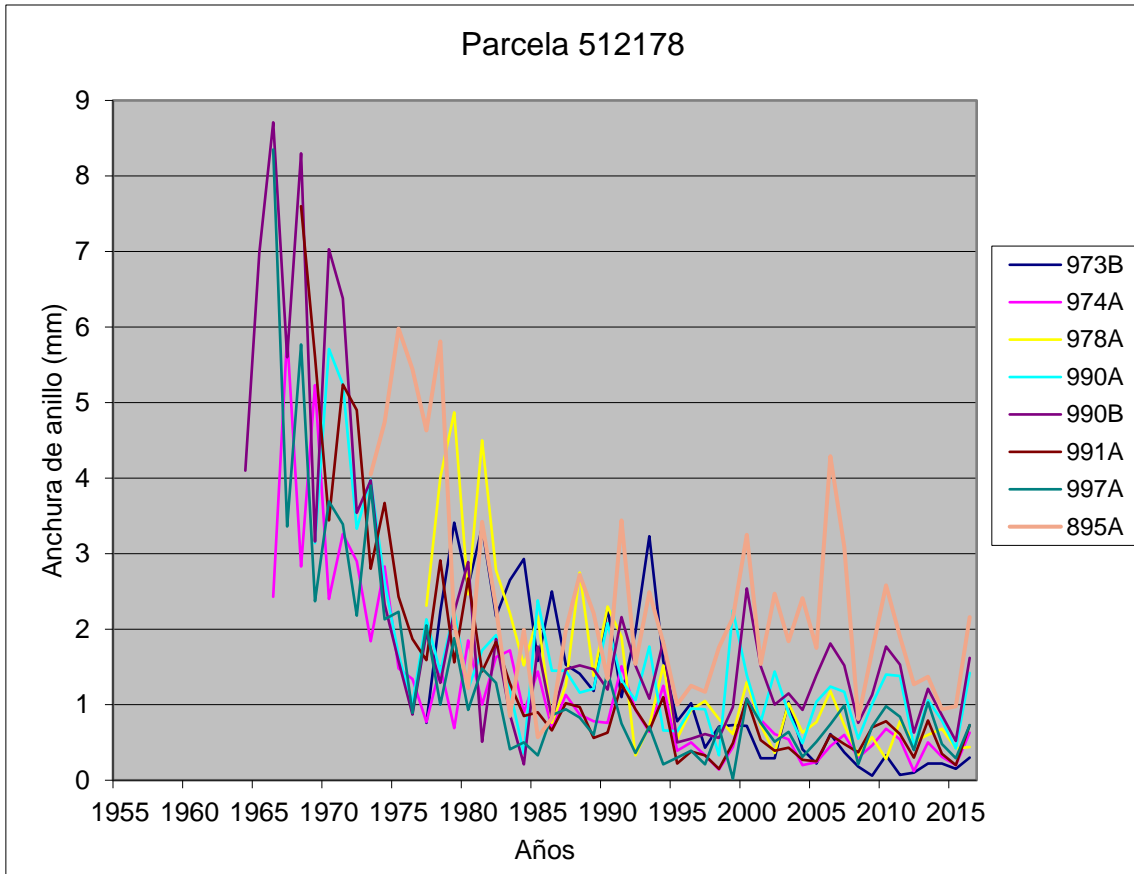


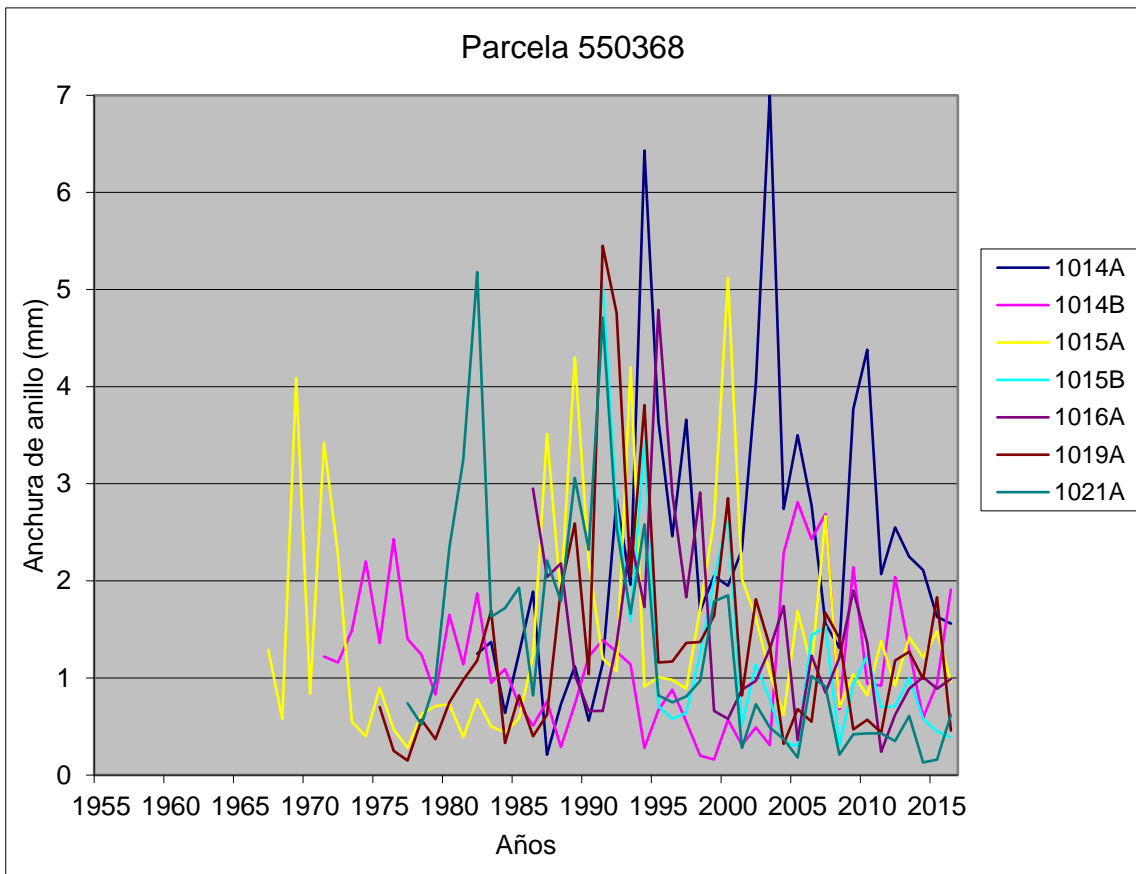
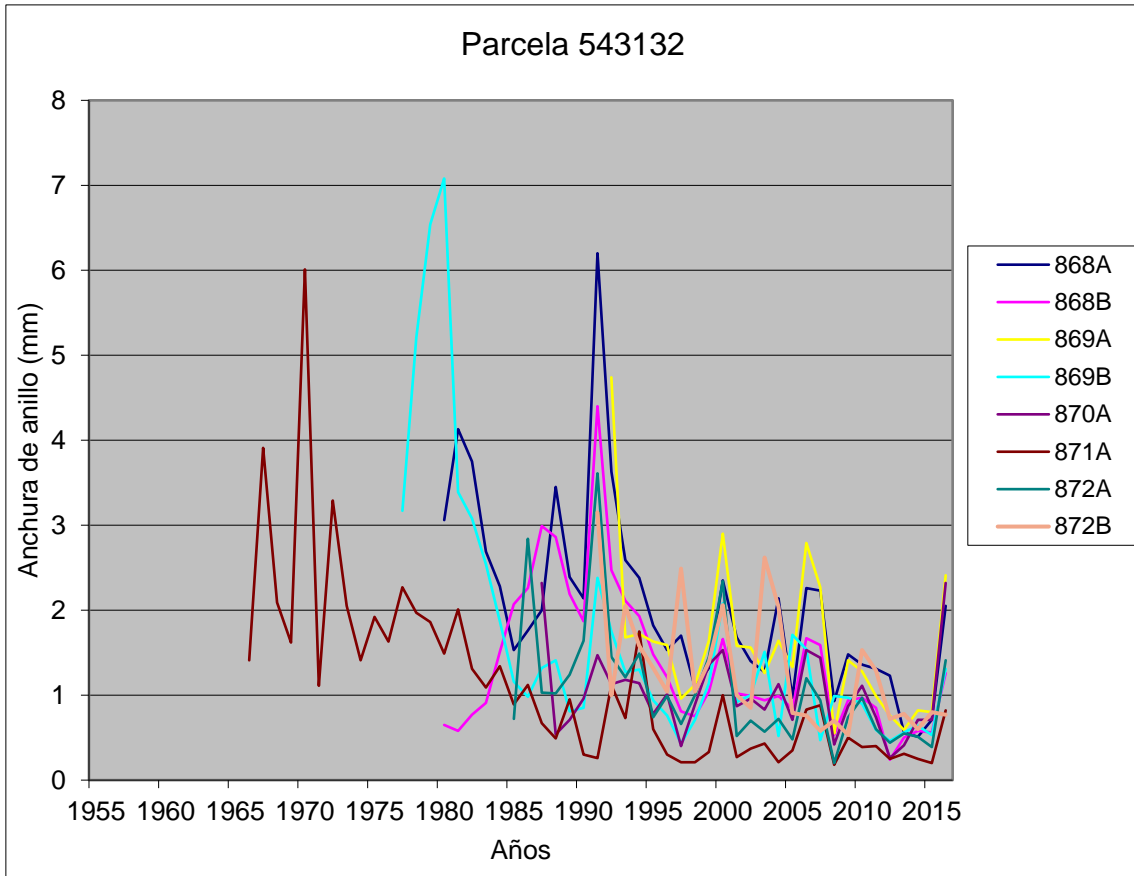




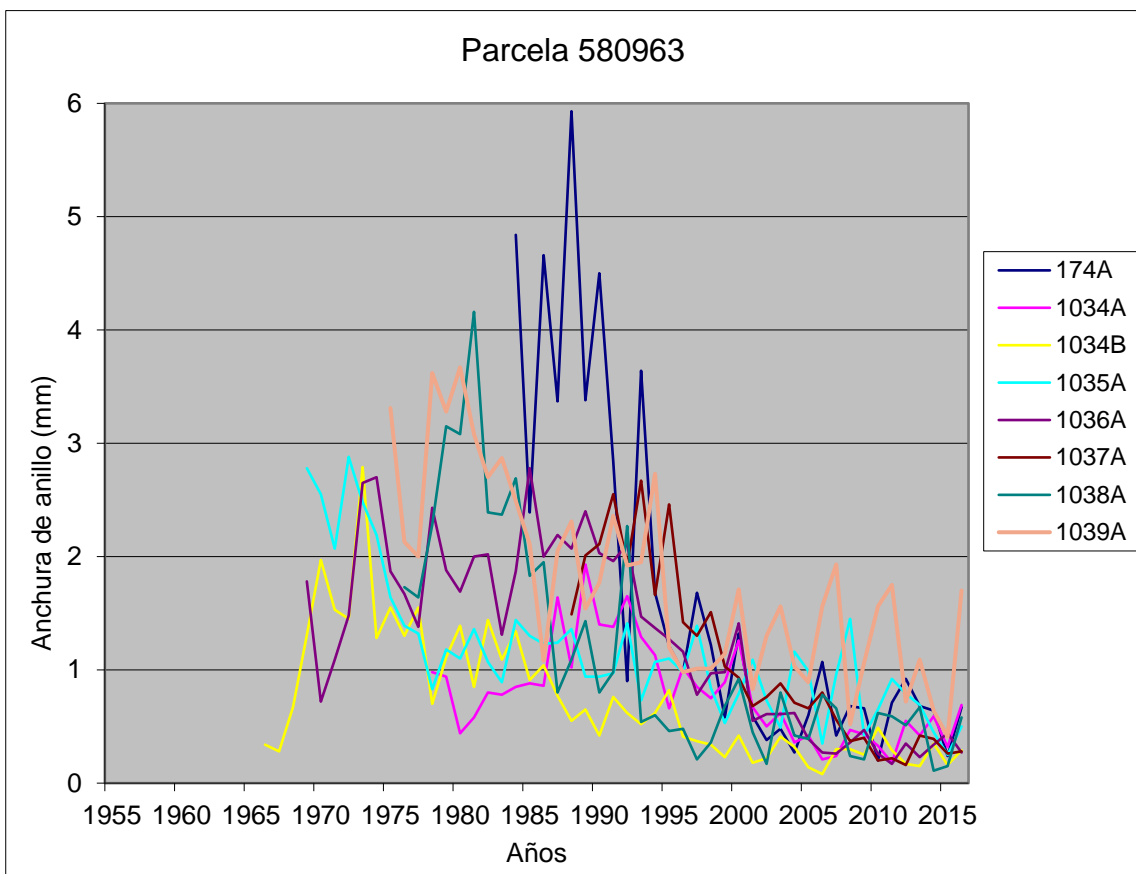
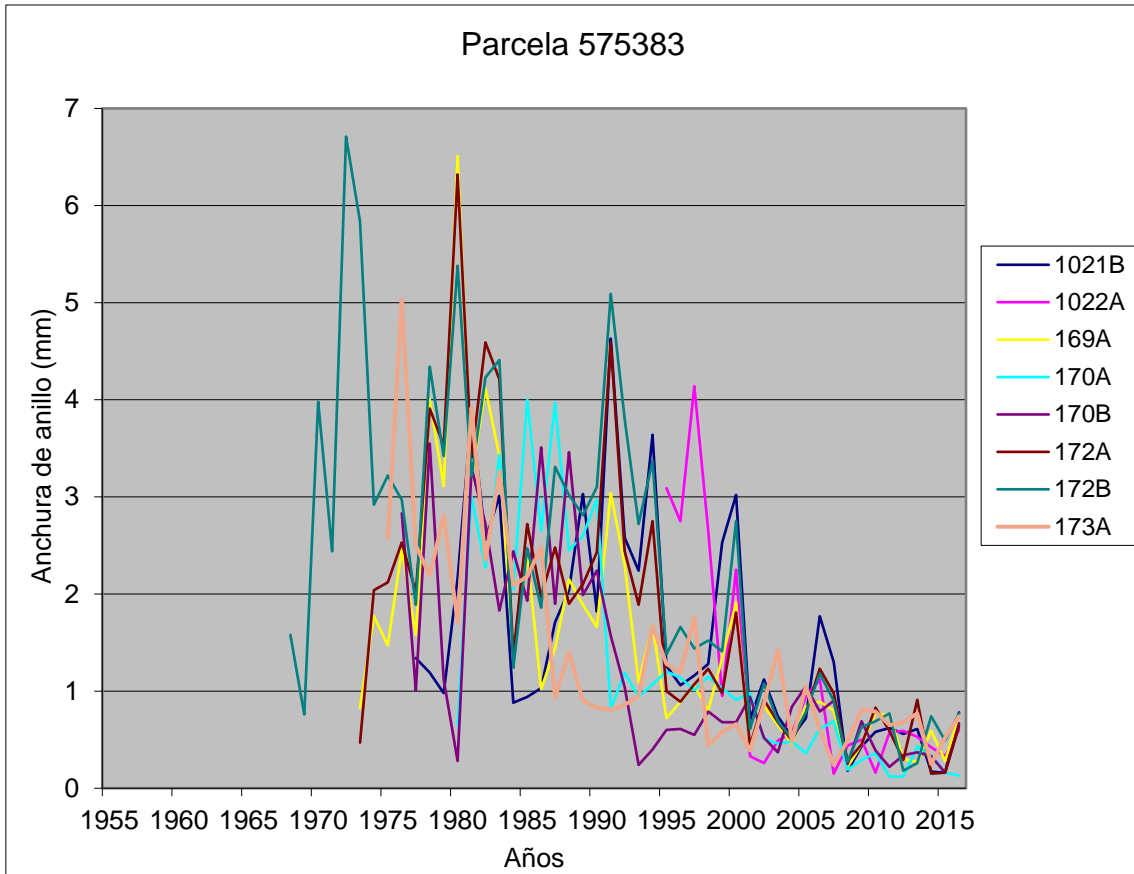


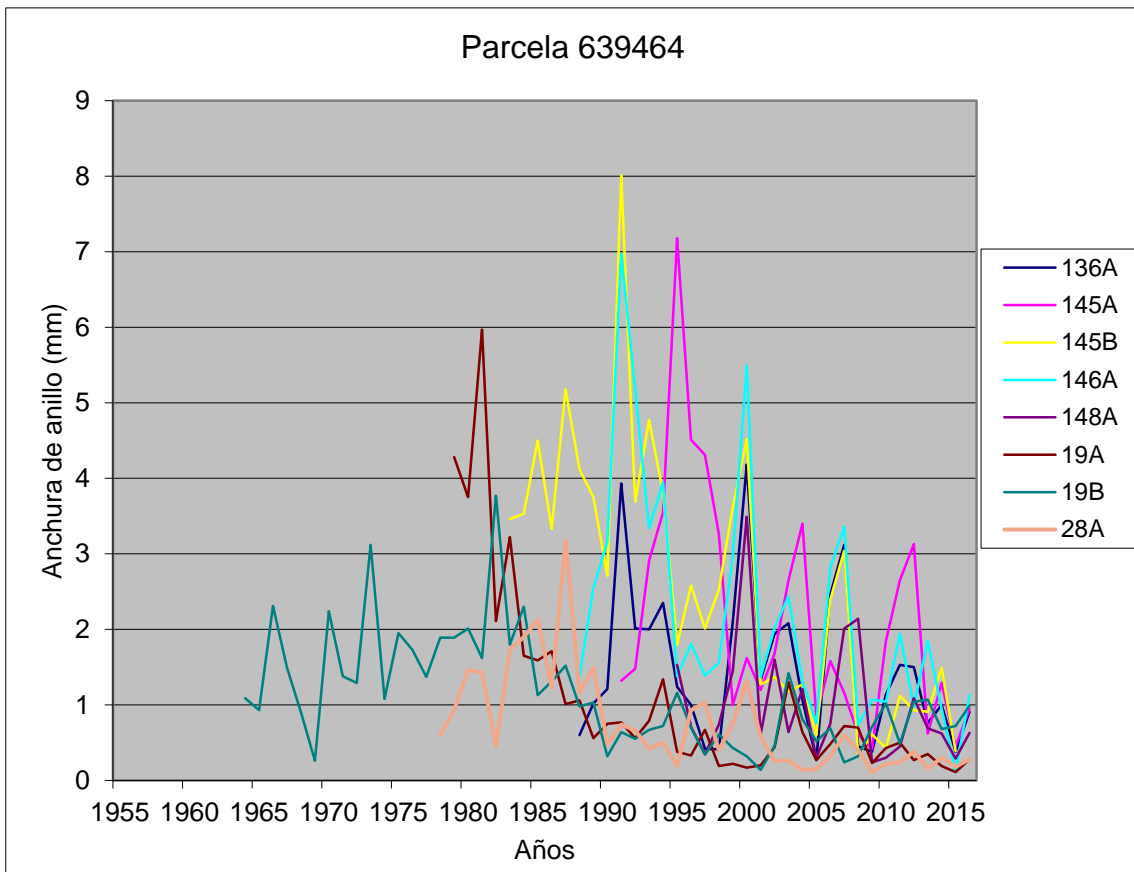
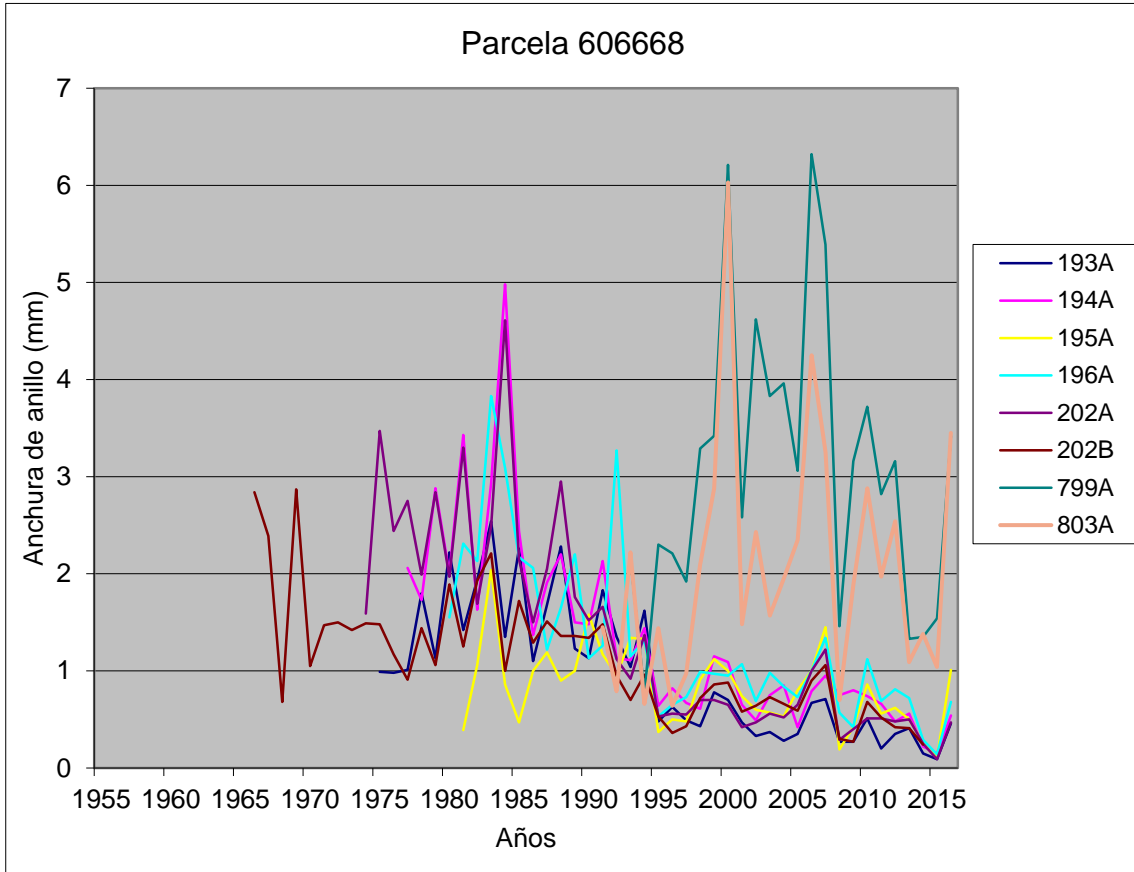


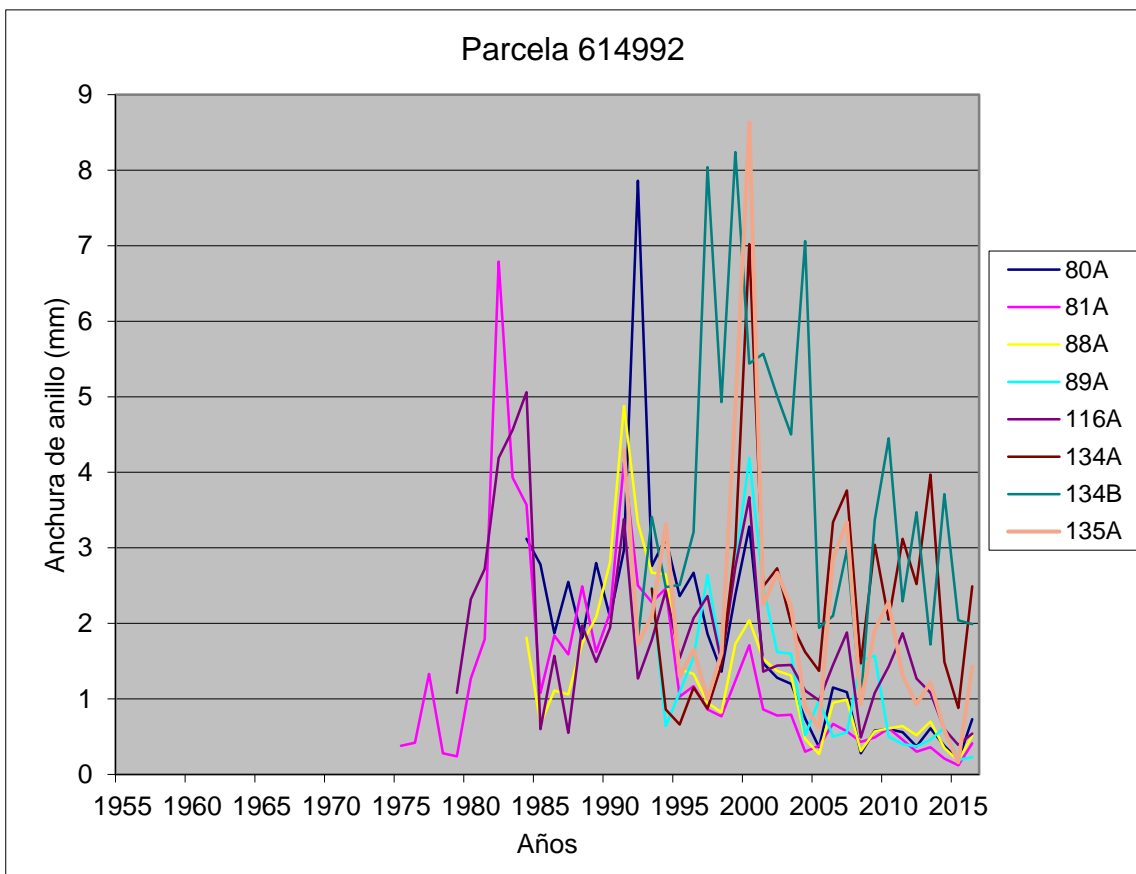
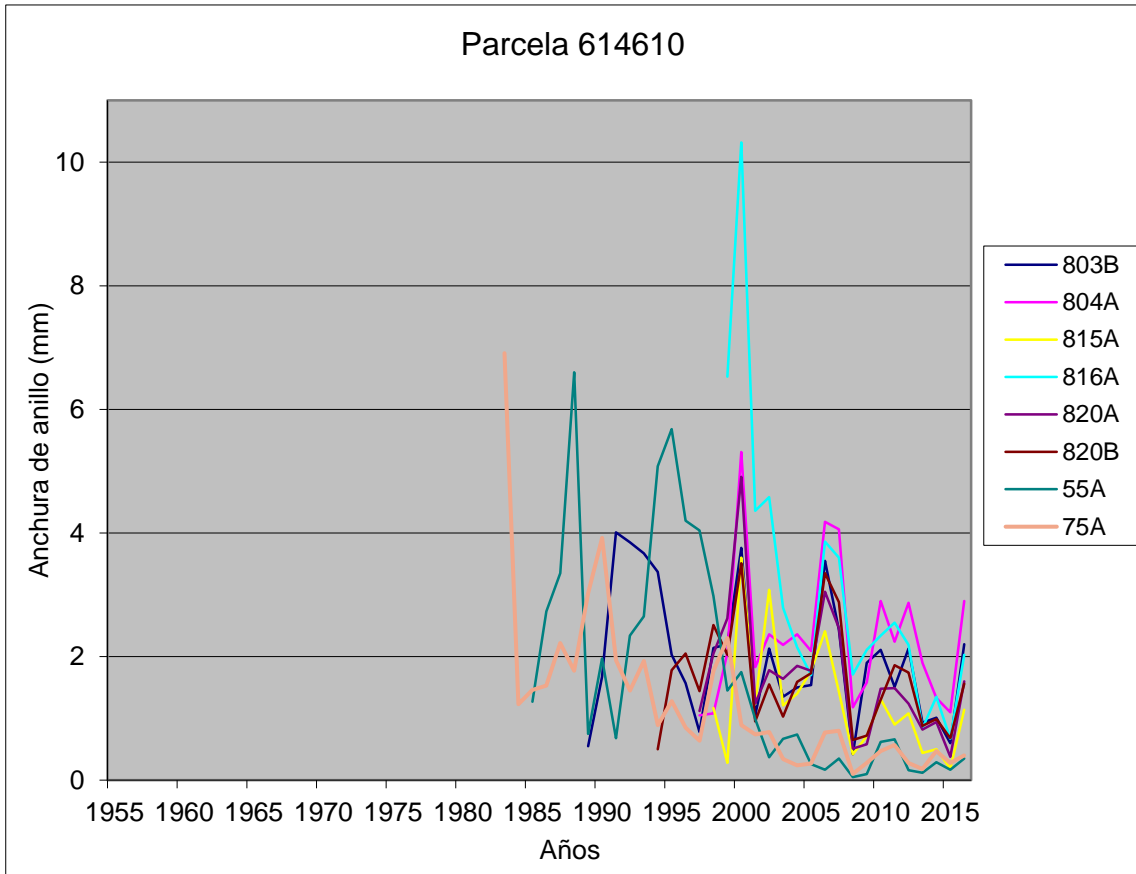




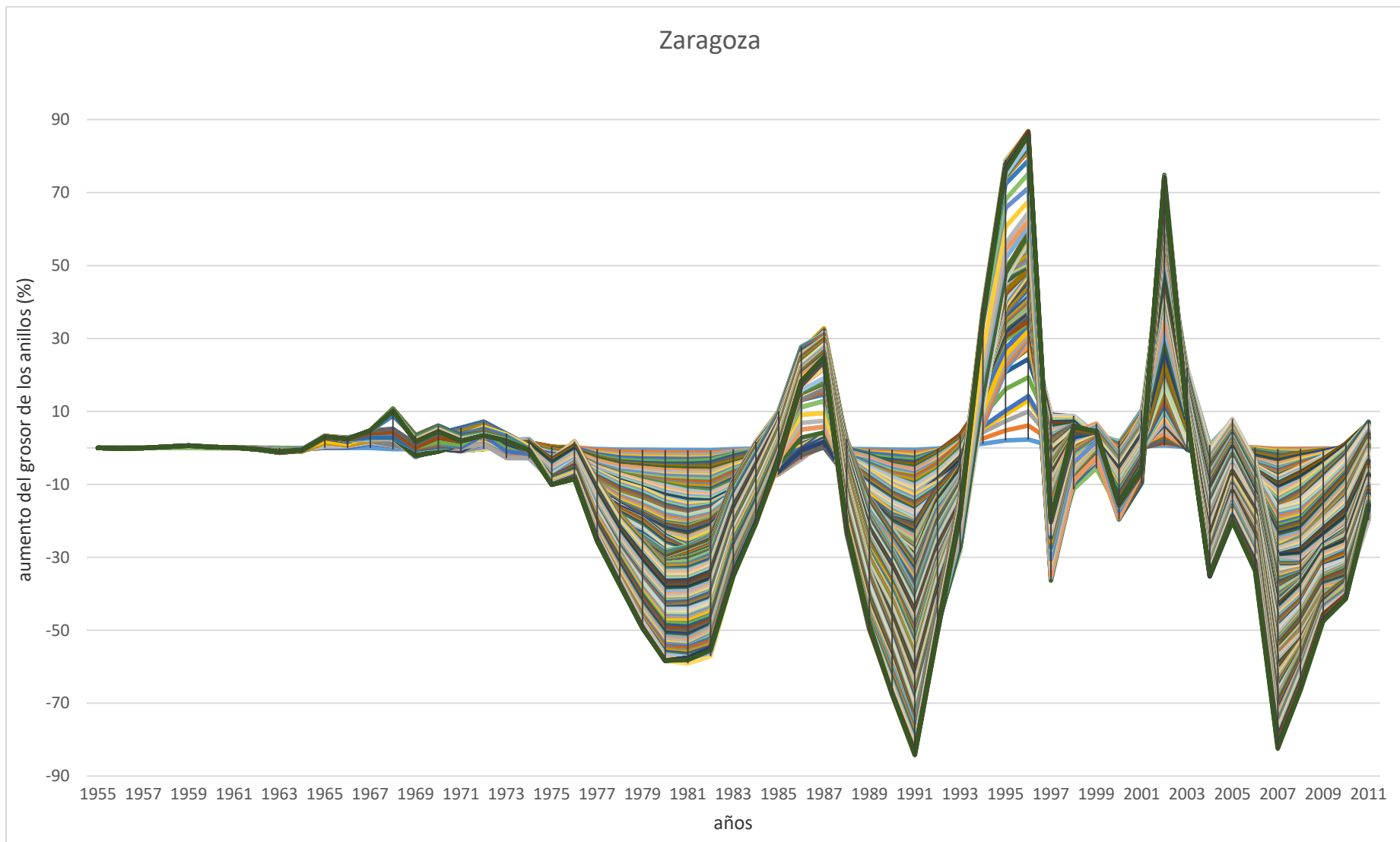




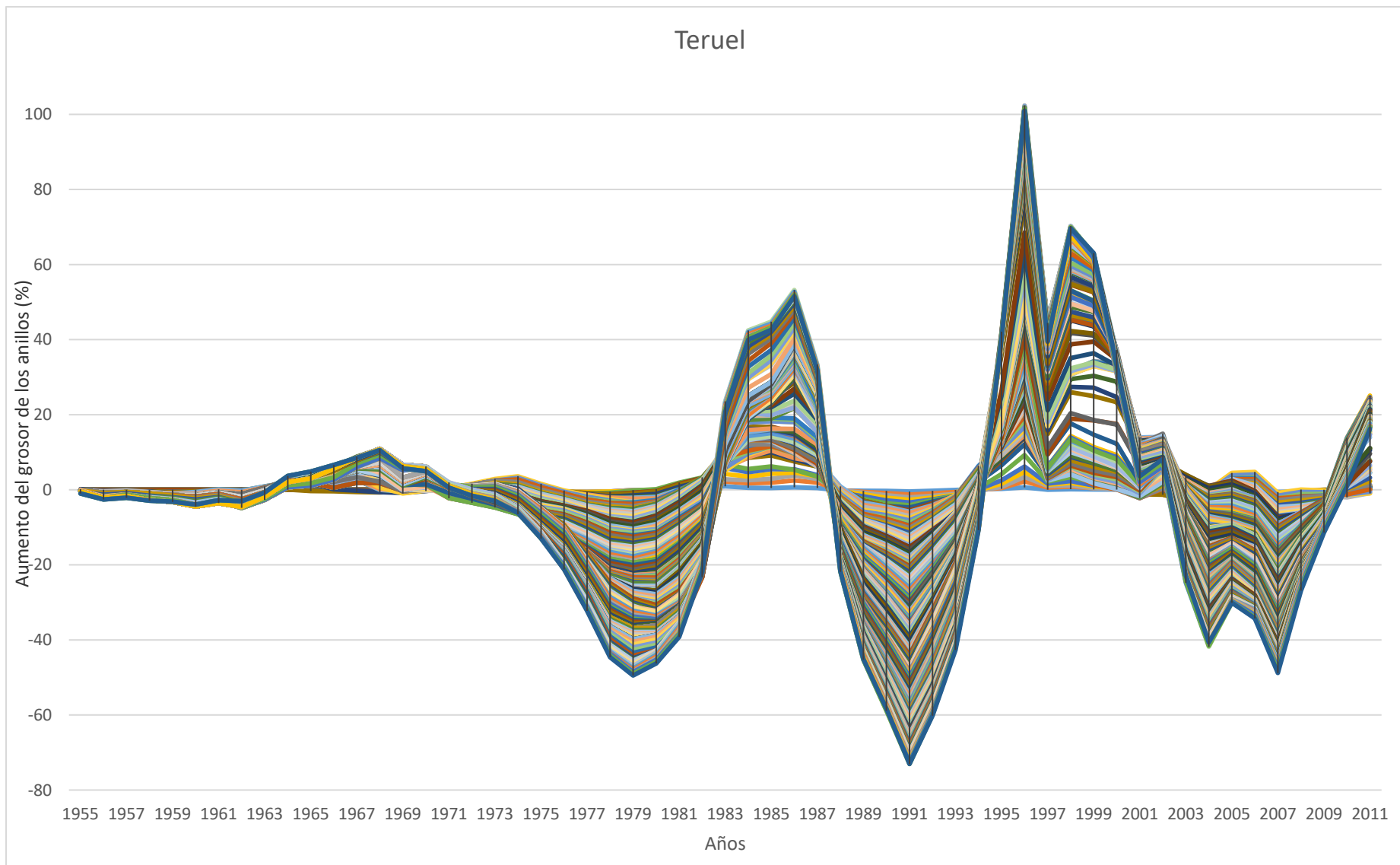




ANEXO 3.Grafica general de liberaciones del  
crecimiento en Zaragoza



ANEXO 4.Grafica general de liberaciones del crecimiento  
en Teruel



## ANEXO 5.Graficas de crecimiento en porcentajes



