



---

# **Universidad de Valladolid**

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

**Campus de Soria**

**GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES**

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**TITULO: Análisis de la respuesta del crecimiento radial a los cambios en el riego y el clima en el arbolado urbano de la ciudad de Soria**

~~~~~

**AUTOR: MIGUEL ERDOZÁIN DE BLAS**

**DEPARTAMENTO: CIENCIAS AGROFORESTALES**

**TUTOR/ES: GABRIEL SANGUESA BARREDA Y OLGA  
BARREIRO VERA**

**SORIA, JULIO DE 2024**




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

D. Gabriel Sangüesa Barreda .....  
profesor del departamento Ciencias Agroforestales .....  
.....  
como Tutor del TFG titulado  
Análisis de la respuesta del crecimiento radial a los cambios en el riego y el clima en el  
arbolado urbano de la ciudad de Soria .....  
presentado por el alumno D. Miguel Erdozain de Blas .....  
.....  
da el Vº. Bº. y autoriza la presentación del mismo, considerando que .....  
El TFG presentado por el alumno alcanza la calidad suficiente para su defensa .....  
.....  
.....  
.....

Soria, 18 de julio ..... de 2024 .....

El Tutor del TFG,

SANGUESA  
BARREDA  
GABRIEL - DNI  
18442850R



Firmado digitalmente  
por SANGUESA  
BARREDA GABRIEL - DNI  
18442850R  
Fecha: 2024.07.18  
07:16:56 +02'00'

Fdo.: .....



## ***RESUMEN del TRABAJO FIN DE GRADO***

**TÍTULO:** Análisis de la respuesta del crecimiento radial a los cambios en el riego y el clima en el arbolado urbano de la ciudad de Soria.

**DEPARTAMENTO:** Ciencias Agroforestales.

**TUTOR(ES):** Gabriel Sangüesa Barreda y Olga Barreiro Vereá.

**AUTOR:** Miguel Erdozáin De Blas

### **RESUMEN:**

En el presente Trabajo de Fin de Grado se cuantifica y analiza el crecimiento radial de individuos de arbolado urbano de *Cedrus deodara* (Cedro del Himalaya) y *Cedrus atlantica* (Cedro del Atlas) en la ciudad de Soria, específicamente el impacto de los cambios en el riego y en el clima. En este trabajo se desarrollan técnicas de dendrocronología. Los impactos del cambio climático en el arbolado urbano son importantes y previsiblemente más intensos por el efecto isla de calor. El objetivo central de esta investigación es analizar el crecimiento radial de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara* mediante dendrocronología en ambientes urbanos para determinar su resiliencia al cambio climático en dos estrategias de gestión. Para realizar esta investigación se llevó a cabo la obtención de 40 muestras aleatorias de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara* en la ciudad de Soria. A partir de las muestras se realizó un proceso de preparación de los testigos para poder ser fotografiados mediante un sistema de digitalización de testigos, denominado CaptuRING. Tras realizarse este proceso se utilizó CooRecorder, programa para realizar la datación y medición de los testigos, permitiendo determinar el año concreto en el que se formó cada anillo de crecimiento, además de la utilización posterior de dos programas, uno para gestionar las series de crecimiento (CDendro) y otro para poder evaluar la calidad de la información (Cofecha). Gracias a la utilización de estos programas se obtuvo la información del crecimiento de cada árbol de manera precisa. Posteriormente se calculó distintos índices de resiliencia (resistencia, recuperación y resiliencia) de los árboles regados y no regados, en función de la sequía más severas en las últimas décadas. los años 2005, 2012 y 2017. Por último, se relacionó los datos de crecimiento con variables climáticas y se analizaron las diferencias entre los dos grupos de gestión (regados vs. no regados).

Los árboles regados tienen una edad inferior a los no regados, tienen un diámetro mayor y una mayor altura. Además, su crecimiento es mayor para el periodo de referencia. Los resultados indican que los árboles regados y no regados tienen similares valores del índice de resiliencia calculado, pero se aprecian diferencias en la resistencia y recuperación. Los árboles regados son mucho más sensibles al clima, especialmente a las precipitaciones desde el invierno previo al crecimiento hasta la primavera. Además, también presentan correlaciones más altas con un índice de sequía, el SPEI.

Este estudio ha sido de suma importancia para determinar y observar cómo actúan los árboles dependiendo de si están regados o no regados, además de ver su comportamiento con diferentes cambios en el clima, como la sequía y las precipitaciones.



# ÍNDICE

|                                                                                        |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. PALABRAS CLAVE .....</b>                                                         | <b>11</b> |
| <b>2.INTRODUCCIÓN.....</b>                                                             | <b>15</b> |
| <b>2.1 Justificación.....</b>                                                          | <b>15</b> |
| <b>2.1 Importancia del arbolado urbano .....</b>                                       | <b>16</b> |
| <b>2.2 Criterios de plantación de especies .....</b>                                   | <b>17</b> |
| <b>2.3 Cambio climático y su consecuencia.....</b>                                     | <b>19</b> |
| <b>2.4 Funcionamiento de estas especies fuera de su área de<br/>distribución .....</b> | <b>20</b> |
| <b>2.5.2 <i>Cedrus atlantica</i> (Endl.) Manetti ex Carrière .....</b>                 | <b>21</b> |
| <b>2.5.3 <i>Cedrus deodara</i> (Roxb.) G. Don .....</b>                                | <b>22</b> |
| <b>3. OBJETIVOS.....</b>                                                               | <b>25</b> |
| <b>3.1 OBJETIVO GENERAL .....</b>                                                      | <b>25</b> |
| <b>3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....</b>                                                 | <b>25</b> |
| <b>4.METODOLOGÍA .....</b>                                                             | <b>29</b> |
| <b>4.1 ÁREA DE ESTUDIO.....</b>                                                        | <b>29</b> |
| <b>4.2 DATOS DE CAMPO .....</b>                                                        | <b>30</b> |
| <b>4.2.1 Especies de estudio.....</b>                                                  | <b>30</b> |
| <b>4.2.2 Características morfológicas y gestión.....</b>                               | <b>30</b> |
| <b>4.2.4 Posición espacial del arbolado estudiado .....</b>                            | <b>30</b> |
| <b>4.3 MUESTREO .....</b>                                                              | <b>31</b> |
| <b>4.3.1 Materiales .....</b>                                                          | <b>31</b> |
| <b>4.4 PREPARACION PARA SU ESTUDIO .....</b>                                           | <b>32</b> |
| <b>4.5 OBTENCIÓN DE LAS IMÁGENES DE LOS TESTIGOS .....</b>                             | <b>32</b> |
| <b>4.6 PROCESADO DE IMÁGENES.....</b>                                                  | <b>33</b> |
| <b>4.6.1 CooRecorder .....</b>                                                         | <b>34</b> |
| <b>4.6.2 CDendro.....</b>                                                              | <b>39</b> |

|                                                                                                                                                   |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 4.6.3 Cofecha.....                                                                                                                                | 43 |
| 4.7 OBTENCIÓN DE ÍNDICES DE RESILIENCIA.....                                                                                                      | 50 |
| 4.8 ÍNDICES DE CRECIMIENTO Y DATOS CLIMÁTICOS .....                                                                                               | 55 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 5.RESULTADOS .....                                                                                                                                | 59 |
| 5.1 VARIABLES MORFOLÓGICAS, EDAD y CRECIMIENTO ..                                                                                                 | 59 |
| 5.2 RESISTENCIA, RECUPERACIÓN Y RESILIENCIA .....                                                                                                 | 59 |
| 5.2.1 Resistencia .....                                                                                                                           | 61 |
| 5.2.2 Recuperación .....                                                                                                                          | 62 |
| 5.2.3 Resiliencia .....                                                                                                                           | 63 |
| 5.4 DENDROCLIMATOLOGÍA DEL ARBOLADO .....                                                                                                         | 64 |
| 5.4.1 Precipitación .....                                                                                                                         | 65 |
| 5.4.2 Temperatura media .....                                                                                                                     | 66 |
| 5.4.3 Balance hídrico .....                                                                                                                       | 68 |
| 5.4.4 SPEI.....                                                                                                                                   | 71 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 6. DISCUSIÓN .....                                                                                                                                | 75 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 7.CONCLUSIÓN .....                                                                                                                                | 79 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                                                                                                               | 83 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 9. PLANOS .....                                                                                                                                   | 87 |
| <br>                                                                                                                                              |    |
| 10. ANEXOS .....                                                                                                                                  | 91 |
| 10.1 Anexo I: Tabla de datos del arbolado urbano .....                                                                                            | 91 |
| 10.2 Anexo II: Tabla de datos de crecimiento de anillos de todos los testigos de <i>C.atlántica</i> y <i>C.deodara</i> por año .....              | 92 |
| 10.3 Anexo III: Datos del TWR de resistencia, recuperación y resiliencia de <i>C.atlántica</i> y <i>C.deodara</i> del año 2005, 2012 y 2017 ..... | 95 |



# **1.PALABRAS CLAVE**



# 1. PALABRAS CLAVE

Arbolado urbano

Anillos de crecimiento

Cambio climático

CDendro

*Cedrus deodara*

*Cedrus atlántica*

Cofecha

CooRecorder

Datación

Dendrocronología

Recuperación

Resiliencia

Resistencia

Riego

Sequia



## **2.INTRODUCCIÓN**



## 2.INTRODUCCIÓN

### 2.1 Justificación

El arbolado urbano es esencial en todas las ciudades de todo el mundo, utilizándose diferentes especies para los diferentes entornos urbanos.

Unas de las especies más utilizadas son el Cedro del Atlas y el Cedro del Himalaya, especies de hoja perenne. Son especies que se han adaptado a los diferentes climas en el área urbana. Presentan una morfología parecida, se distinguen únicamente por su distribución geográfica, por la anatomía de sus hojas y sus estróbilos, ambos alcanzan hasta 50 metros de altura, con una copa cónica, acículas rígidas, flores masculinas y femeninas en un mismo ejemplar y con piñas cilíndricas (Farjon, et al. 2010)

El cambio climático conlleva una reducción de las precipitaciones en el área mediterránea. Por ello, dentro de unos años se producirá una reducción o eliminación por completo del uso del agua destinada al riego.(Escobedo & Solecki, 2011).

En el marco de este proyecto, en el que se lleva a cabo este TFG, se pretende adquirir más conocimiento sobre la influencia del riego y de los cambios en el clima en el arbolado urbano de Soria y la Península Ibérica.

En este trabajo, se utiliza la dendrocronología para determinar la influencia del clima en el crecimiento de los árboles urbanos y analizar su resistencia, resiliencia y recuperación frente a las sequías en función del tipo de gestión (riego o ausencia). Todo esto con el fin de predecir y determinar una opción de futuro ante el cambio climático regar o no.

La dendrocronología es la ciencia que utiliza los anillos de los árboles para datar acontecimientos pasados y reconstruir las condiciones ambientales del pasado (Jeffrey, et al. 1997). A partir del estudio de los anillos, permite obtener la influencia de los cambios en el clima en el crecimiento. Al conocer el crecimiento anual podemos calcular para estos árboles los índices de resiliencia.

Actualmente la información sobre cómo evolucionará el arbolado urbano en las ciudades es muy baja, por lo que al realizar este estudio se podrán obtener conclusiones de cómo debemos adaptarnos al cambio climático en el entorno del arbolado urbano, para así preservar la supervivencia de los árboles y los beneficios que estos aportan a los seres humanos.

## 2.1 Importancia del arbolado urbano

Los árboles son elementos esenciales en el ecosistema urbano, proporcionan numerosos beneficios que impactan positivamente en el medio ambiente, la salud y la calidad de vida de las personas. Su presencia en las ciudades los convierte en componentes cruciales para el desarrollo sostenible de las comunidades. Los beneficios principales que nos proporcionan son los siguientes:

Mejora de la calidad del aire: Los árboles actúan como filtros naturales del aire, capturan partículas contaminantes como polvo y gases de efecto invernadero, como el dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Sus hojas absorben estos gases y liberan oxígeno, contribuyendo a la purificación del aire y a la mitigación del cambio climático (Nowak, et al. 2006).

Regulación del clima: Los árboles ayudan a regular la temperatura en las ciudades, creando zonas de sombra y frescor. Las copas de los árboles interceptan la radiación solar, reduciendo la temperatura del aire y del suelo. Además, la evapotranspiración de las plantas genera un efecto refrescante que reduce la sensación de calor (Nowak., et al. 2002)

Reducción del ruido: Las hojas y ramas de los árboles actúan como barreras acústicas naturales, absorben y dispersan el ruido del tráfico y otras fuentes urbanas. Un estudio de la EPA (Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos) encontró que una hilera de árboles de 30 metros de ancho puede reducir el ruido del tráfico hasta en 5 decibelios (Konnis, et al. 2004)

Conservación del agua y prevención de inundaciones: Los árboles ayudan a conservar el agua del suelo, ya que reducen la escorrentía superficial y el riesgo de inundaciones. Sus raíces absorben el agua de lluvia y la retienen en el suelo, liberándola gradualmente a lo largo del tiempo (Koji Tamai., et al. 2020)

Mejora de la salud y el bienestar: La presencia de árboles en las ciudades tiene un impacto positivo en la salud física y mental de las personas. Este impacto positivo sigue en desarrollo ya que no se sabe cuál es el grado del impacto positivo sobre la salud humana, sin embargo, se ha demostrado que vivir cerca de zonas verdes reduce el estrés, la ansiedad y la depresión, y mejora la calidad del sueño. Los árboles también contribuyen a la creación de espacios públicos agradables y seguros para la recreación y el ocio (Kjell, et al. 2010).

Biodiversidad y hábitat para la fauna: Los árboles proporcionan alimento y refugio para una gran variedad de especies animales, incluyendo aves, insectos y pequeños



mamíferos. Su presencia contribuye a la conservación de la biodiversidad en las ciudades y crea ecosistemas urbanos más equilibrados (Francis, et al. 2012).

Valor estético y paisajístico: Los árboles son elementos decorativos que embellecen las ciudades y crean paisajes más agradables y acogedores. Su presencia aporta color, textura y contraste a los entornos urbanos, mejorando la calidad visual y la experiencia estética de los ciudadanos (E Frohmann,. et al. 2020)

Por ello el arbolado urbano es un componente vital para el desarrollo sostenible de las ciudades. Sus beneficios ambientales, sociales y económicos son numerosos y contribuyen a crear ciudades más saludables, habitables y resilientes. La inversión en la planificación, plantación y cuidado de los árboles urbanos es una inversión en el futuro de las ciudades y en el bienestar de sus habitantes. Sin embargo, necesitamos más información sobre cómo el arbolado urbano va a responder a los cambios en el clima futuros para fundamentar las decisiones de planificación diseño y ejecución de las infraestructuras urbanas.

## **2.2 Criterios de plantación de especies**

Los criterios de selección de especies han cambiado a lo largo del tiempo. Inicialmente se centraba en criterios estéticos, seleccionando especies con diferentes morfología, coloración o fenología foliar. Recientemente los criterios se centran más en la gestión, especies que no den problemas de caídas de ramas o levantamiento de aceras.

En la mayoría de casos, nos hemos centrado en especies alóctonas que se encuentra fuera de su área de distribución natural. No sabemos cómo estos ecosistemas urbanos evolucionaran en un clima más cálido y seco. En todo caso, la selección de las especies adecuadas para la plantación de árboles es un proceso complejo que debe considerar diversos factores para garantizar el éxito del proyecto y maximizar los beneficios, comentados en el apartado 2.1, que los árboles aportan a la ciudad. Entre los principales criterios que se deben tomar en cuenta se encuentran:

### Características del sitio:

**Clima:** Se debe considerar el clima local, incluyendo temperaturas, precipitaciones, humedad y exposición al viento, para seleccionar especies adaptadas a estas condiciones.

**Suelo:** El tipo de suelo, su pH, drenaje y capacidad de retención de agua son factores importantes que determinan el crecimiento y desarrollo de las especies.

**Espacio disponible:** Se debe considerar el tamaño adulto del árbol y el espacio disponible para su crecimiento, tanto en altura como en anchura, para evitar conflictos con infraestructuras o líneas eléctricas.

**Exposición al sol:** La cantidad de luz solar que recibe el sitio influye en la fotosíntesis y el crecimiento de las especies.

#### Características de la especie:

**Tamaño y forma:** adaptada al espacio disponible y que no genere problemas con infraestructuras o líneas eléctricas al alcanzar su tamaño adulto.

**Crecimiento:** Se debe considerar la velocidad de crecimiento de la especie para lograr el efecto deseado en el tiempo previsto.

**Raíces:** sistema de raíces adecuado al tipo de suelo y espacio disponible, evitando especies con raíces invasivas que puedan dañar infraestructuras.

**Tolerancia a la contaminación:** tolerantes a la contaminación urbana, especialmente si el sitio se encuentra en una zona con altos niveles de contaminación del aire.

**Plagas y enfermedades:** resistentes a las plagas y enfermedades comunes en la zona para evitar problemas fitosanitarios

#### Funciones deseadas:

**Sombra:** Si se busca crear zonas de sombra, se deben seleccionar especies con copas densas y amplias.

**Color:** flores o frutos de colores atractivos para crear interés visual y mejorar la estética del paisaje urbano

**Biodiversidad:** Se pueden seleccionar especies que atraigan polinizadores y fauna urbana para promover la biodiversidad en la ciudad.

**Beneficios ambientales:** Se pueden seleccionar especies que absorban CO<sub>2</sub> y contaminantes del aire, que regulen la temperatura y que contribuyan a la conservación del agua.

### Factores sociales y culturales:

Preferencia de la comunidad: Se deben considerar las preferencias de los residentes y usuarios del espacio verde a la hora de seleccionar las especies.

Simbolismo y significado cultural: Se pueden seleccionar especies con un significado cultural o histórico importante para la comunidad.

### Consideraciones de mantenimiento:

Disponibilidad de recursos: Se debe considerar la disponibilidad de recursos para el mantenimiento de las especies, incluyendo riego, poda y control de plagas y enfermedades.

Facilidad de mantenimiento: Se deben seleccionar especies de bajo mantenimiento que no requieran cuidados intensivos para reducir los costos de mantenimiento.

La selección de las especies para la arborización urbana debe ser un proceso cuidadoso y multidisciplinario que involucre a profesionales de la horticultura, la silvicultura, la arquitectura del paisaje, la biología, la ecología y la planificación urbana. La consideración de estos criterios permitirá seleccionar las especies más adecuadas para cada sitio, asegurando su crecimiento saludable y maximizando los beneficios que los árboles aportan a la ciudad y a sus habitantes.

## **2.3 Cambio climático y su consecuencia**

Algunos de los servicios que proporciona el arbolado urbano comentados en el apartado 2.1 van ligados a la mitigación del impacto del cambio climático a las personas.

Sin embargo, el cambio climático afecta al crecimiento y la vitalidad del arbolado urbano de manera considerable. La combinación del aumento de las temperaturas, la prolongación de los periodos vegetativos y la reducción o redistribución de las precipitaciones puede aumentar el crecimiento de los árboles en las zonas de clima boreal y templado, a menudo en altitudes más elevadas (García-Ávalos, et al. 2015). Sin embargo, los mismos factores reducen el crecimiento en zonas más cálidas y secas, donde el crecimiento de los árboles se ve limitado por el agua debido a estos cambios. Esto último es el problema que presenta el arbolado urbano. Estas temperaturas cálidas afectan a las condiciones de vida del arbolado urbano, sobre todo si los patrones de precipitación cambian simultáneamente. Por ello, el cambio climático modifica las múltiples funciones y servicios que proporciona el arbolado urbano, además de alterar

la composición de las especies urbanas, el almacenamiento de carbono y la biodiversidad (Escobedo & Solecki, 2011).

La acción del cambio climático se intensifica con el fenómeno de isla de calor, presente en las zonas más céntricas de las ciudades. El efecto isla es un fenómeno que se produce en las zonas urbanas, donde la temperatura del aire es considerablemente más alta que en las zonas de su alrededor. Este efecto afecta a las alteraciones producidas por el cambio climático agravando las consecuencias (Escobedo & Solecki, 2011).

## **2.4 Funcionamiento de estas especies fuera de su área de distribución**

El funcionamiento de las especies destinadas al arbolado urbano fuera de su área de distribución puede ser variado, pero depende principalmente de diversos factores, como: factores climáticos, factores edáficos, factores bióticos y factores humanos.

### Factores climáticos:

Las especies adaptadas a diferentes temperaturas pueden sufrir ante condiciones que no son habituales para ellas, es decir no pertenecen a el hábitat en el que se encuentran por lo que su adaptación al medio y su supervivencia es baja. Esto ocurre con el resto de factores climáticos de importancia como la precipitación, la humedad o el viento (Vía Tognetti, et al. 2021)

### Factores del suelo:

El suelo es otro factor de gran importancia en el cual los árboles presentan elevada variabilidad y una supervivencia muy dificultosa dependiendo de factores como el pH, la fertilidad, el drenaje o la salinidad (Oliva-Olivares & Azcarate-Aguirre, et al. 2008).

### Factores bióticos:

Plagas y enfermedades: Las especies susceptibles a plagas y enfermedades en su área de distribución nativa pueden aumentar su susceptibilidad en un nuevo entorno. (Marchese & Aranda, et al. 2012)

Competencia: Las especies que compiten con otras especies en su área de distribución nativa pueden ser aún más competitivas con otras especies en un nuevo entorno. (Marchese & Aranda, et al 2012)

### Factores humanos:

**Selección de especies:** Es importante seleccionar especies que sean adecuadas para las condiciones climáticas, del suelo y bióticas del sitio de plantación. (Konijnendijk C et al. 2016)

**Plantación y cuidado:** Las especies deben plantarse y cuidarse adecuadamente para garantizar su supervivencia y crecimiento. (Konijnendijk et al. 2016)

**Monitoreo:** Es importante monitorear las especies después de la plantación para detectar cualquier problema y tomar medidas correctivas según sea necesario. (Konijnendijk, et al. 2016)

Existen otro tipo de factores, como el impacto ambiental, el cual es importante considerarlo a la hora de plantar especies no nativas en áreas urbanas. Las especies no nativas pueden competir con especies nativas, desplazar a polinizadores y perturbar ecosistemas. Además, hay que tener en cuenta las regulaciones locales y estatales que puedan restringir la plantación de especies no nativas en áreas urbanas.

Para que las especies destinadas al arbolado urbano prosperen fuera de su área de distribución dependen de una cuidadosa selección, plantación y cuidado, así como de un monitoreo continuo.

Estas consideraciones generales, van en función de todas las especies en general. Sin embargo, en el estudio que se ha llevado a cabo hemos trabajado con dos especies: *Cedrus atlántica* y *Cedrus deodara*. Éstas actúan y presenta características concretas.

### **2.5.2 *Cedrus atlántica* (Endl.) Manetti ex Carrière**

Esta especie presenta unas características que la hacen adecuada para su uso en el arbolado urbano:

**Resistente a la contaminación:** Es resistente a la contaminación del aire por lo que en ambientes urbanos se utiliza con gran frecuencia. (Vía Abdelaziz Tazi et al. 2016)

**Tolerante a la sequía:** Permitiendo habitar en lugares con precipitaciones escasas o riegos limitados e incluso nulos. (Vía Fatima Zahra El Aoumari et al. 2020)

**Crecimiento y estructura:** Siendo un árbol de crecimiento lento, que permite no abordar gran espacio en la ciudad. Además, presenta un gran valor estético para las zonas urbanas. (Vía Mohammed Bouhia et al. 2018)

Sin embargo, hay que tener en cuenta una serie de consideraciones antes de plantarlo en las ciudades. Como hemos comentado el crecimiento es lento, no obstante, esto solo es durante los primeros años ya que estos árboles pueden alcanzar un tamaño de unos 30 metros de altura. Además, el sistema radicular de estos árboles es extenso por lo que es importante evitar plantarlo cerca de tuberías. (Vía Fatima Zahra El Aoumari et al. 2020)

### **2.5.3 *Cedrus deodara* (Roxb.) G. Don**

El *Cedrus deodara* presenta características que lo hacen adecuado para su uso en el arbolado urbano:

Resistencia a la contaminación: Tolera niveles moderados de contaminación atmosférica, lo que lo convierte en una opción viable para ciudades con altos niveles de tráfico. (Vía Muhammad Iqbal et al. 2018)

Crecimiento en suelos pobres: Se desarrolla bien en suelos poco fértiles y compactos, típicos de los entornos urbanos. (Vía Muhammad Iqbal et al. 2018)

Sistema radicular profundo: Posee un sistema radicular extenso y profundo que le permite anclarse firmemente al suelo y resistir fuertes vientos. (Vía Muhammad Iqbal et al. 2018)

Respecto a sus consideraciones previas a la plantación, presentan las mismas similitudes que el *Cedrus atlantica*. Hay que tener en cuenta que son árboles que pueden alcanzar hasta 20 metros de altura y presenta un sistema radicular extenso, por ello su plantación debe ser estudiada previamente para evitar problemas en las zonas urbanas. (Vía Muhammad Iqbal et al. 2018)

### **3.OBJETIVOS**





## **3. OBJETIVOS**

### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

El objetivo de este estudio es analizar el crecimiento radial de *Cedrus atlántica* y *Cedrus deodara* mediante dendrocronología en ambientes urbanos para determinar su resiliencia al cambio climático en dos estrategias de gestión.

### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Determinar la edad de los individuos de *Cedrus* sp. en la ciudad de Soria
- Identificar los principales factores climáticos que determinan el crecimiento de individuos regados y no regados.
- Cuantificar la resiliencia de los individuos regados y no regados a las sequías



## **4.METODOLOGÍA**



## 4.METODOLOGÍA

### 4.1 ÁREA DE ESTUDIO

El área de estudio se localiza en la ciudad de Soria en la comunidad autónoma de Castilla y León (España). Soria se encuentra a unos 1.061 metros de altura sobre el nivel del mar, y cuenta con un total de 40.096 habitantes (INE,2023), y una superficie de 271,77 km<sup>2</sup>.

Soria presenta un clima variado, con veranos cortos y calurosos e inviernos largos, ventosos y parcialmente nublados. Durante el año el clima suele ser bastante seco. Su temperatura oscila entre -1 °C Y 28 °C a lo largo del año, aunque presenta temperaturas que pueden ser inferiores a - 5 °C y pueden superar los 32°C en los meses de verano. La temperatura media anual es de unos 10,7°C, y la precipitación media de unos 510 mm al año (Vía Weatherspark).



Figura 1 : Foto de *Cedrus atlantica* (Individuo número 19)

## 4.2 DATOS DE CAMPO

### 4.2.1 Especies de estudio

En Soria existe una gran variedad de especies de arbolado urbano. Nos hemos centrado en uno de los géneros más abundante en la ciudad y el resto de España, *Cedrus* sp. Concretamente en sus dos especies. *Cedrus atlantica* (Cedro del Atlas) y *Cedrus deodara* (Cedro del Himalaya)

### 4.2.2 Características morfológicas y gestión

Se tomaron las características morfológicas básicas de cada árbol y su posición: El diámetro a la altura del pecho (1,3 metros) mediante una cinta métrica pi, la altura del árbol con un GPS Trimble Geo7X con hipsómetro incorporado.

En cuanto a su gestión, se anotó si el árbol contaba con sistema de riego, y el lugar donde se encuentra plantado (zona con césped, alcorque...) Por último, se anotó características del entorno, como por ejemplo la pendiente.

### 4.2.4 Posición espacial del arbolado estudiado

Se tomaron las coordenadas de los árboles mediante un GPS Trimble Geo7X submétrico. Las coordenadas se incluyeron en un proyecto QGIS para analizar su dimensión espacial, Figura 2.

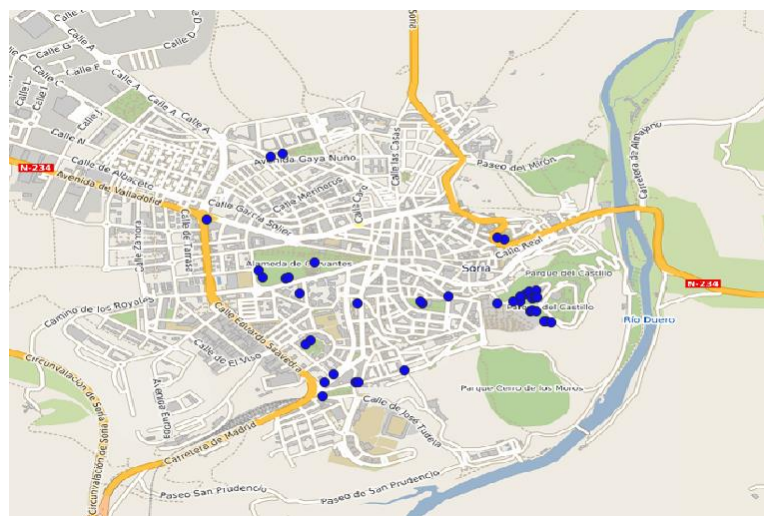


Figura 2: Mapa de Soria con los árboles estudiados

Las coordenadas, así como el resto de sus datos generales a nivel de árbol se pueden consultar en la tabla de atributos, no obstante, se ha pasado a un archivo de Excel para ordenarlos por el número del árbol y por la especie. Las coordenadas están indicadas en Latitud y Longitud. Se pueden ver en el apartado 10 de anexos.

## 4.3 MUESTREO

El muestreo se llevó a cabo en los árboles que se aprecian en la Figura 2. Se trata de un total de 40 árboles, 27 de *Cedrus atlantica* y 13 de *Cedrus deodara*.

Las muestras de crecimiento radial se obtuvieron con una Barrena Pressler de 5,15 mm. Obtuvimos un testigo por cada árbol.

La toma de muestras se realizó a 1,3 metros de altura sobre el suelo. Para obtener las muestras realizamos giros de la barrena en sentido horario hasta alcanzar el centro del árbol. Por último, se realizó la extracción del testigo mediante el uso del extractor, complementario a la barrena. Es importante realizar esta tarea de forma precisa y cuidadosa para evitar la rotura de los testigos.

### 4.3.1 Materiales

Para llevar a cabo el muestreo se han utilizado diversos materiales:

- GPS Trimble Geo7X: Instrumento que se utiliza para obtener las coordenadas de los árboles. Este dispositivo también tiene incorporado un hipsómetro que permite calcular la altura del árbol.
- Barrena Pressler: Es el instrumento principal con el cual se obtienen los testigos objeto del proyecto.(Figura 3). La barrena utilizada en nuestro caso es la que se aprecia en la figura 3.



Figura 3: Barrena de Pressler (Via GISIberia)

- Sistema de almacenamiento de los testigos: Cilindro de cartón donde se introducen los testigos con el nombre y la fecha de extracción.
- Estadillos: Donde se realizan las anotaciones y observaciones necesarias y de importancia, entre ellas si estaba regado o no el árbol. Además, se apunta de forma simplificada el nombre del testigo que estamos barrenando, la altura del árbol y la especie correspondiente.
- Pasta cicatrizante para tapar los orificios resultantes de la extracción de los testigos: Se trata de una pasta cicatrizante usada habitualmente en jardinería.

#### 4.4 PREPARACION PARA SU ESTUDIO

Una vez obtenido todos los testigos se llevaron al laboratorio donde se montaron sobre listones de madera en dirección perpendicular a las fibras usando cola blanca de carpintero. En el soporte de cada testigo se anotó el código de cada árbol y la fecha de extracción de la muestra.

Tras el colado se dejaron secar a temperatura ambiente. Posteriormente se realizó un lijado de estos testigos con lijas de grano sucesivamente más pequeño hasta que todos los anillos de crecimiento se podían identificar inequívocamente.

#### 4.5 OBTENCIÓN DE LAS IMÁGENES DE LOS TESTIGOS

Para poder estudiar los anillos de crecimientos de los testigos en primer lugar digitalizamos las muestras usando el dispositivo CaptuRING (García-Hidalgo et al. 2022). Este dispositivo toma secuencialmente distintas fotografías a una escala conocida. En la figura 5 se puede apreciar el dispositivo CaptuRING.



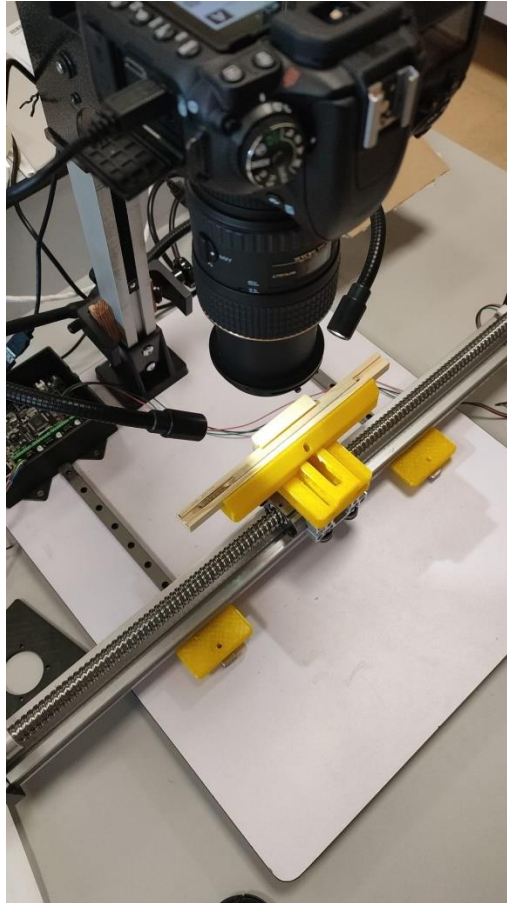


Figura 5: Sistema de digitalización de testigos,CaptuRING

A continuación, las fotos individuales fueron juntadas en una sola utilizando el programa de unión de fotos llamado PTGui.

Un detalle importante fue observar el tamaño que presentaron las fotos tras su unión, las que superaron los 65.000 pixeles se guardaron con formato .tif. Sin embargo, las fotos de menor tamaño se guardarán en formato .jpg.

## 4.6 PROCESADO DE IMÁGENES

Para datar y medir los testigos de crecimiento digitalizados hemos utilizado los programas CooRecorder, CDendro y Cofecha.

#### 4.6.1 CooRecorder

Tras haber guardado las fotos de los testigos en formato .tif o.jpg ya podemos introducirlos en CooRecorder.

CooRecorder es un programa que permite datar los testigos de crecimiento. La datación consiste en determinar el año concreto en el que se formó cada anillo de crecimiento identificando el patrón de anillos anchos y estrechos de una especie bajo las mismas condiciones climáticas.

A continuación, se aprecia el menú del programa con las diferentes opciones para trabajar con él. En nuestro caso para abrir un testigo y poder trabajar le damos a la opción "File" y seguido a "Open image file for new coordinates". Nos dará la opción de abrir la imagen del testigo que queramos desde el lugar en el que se haya guardado previamente. En la figura 6 se aprecia el menú de CooRecorder, y en la figura 7 podemos observar el testigo ya cargado en el programa

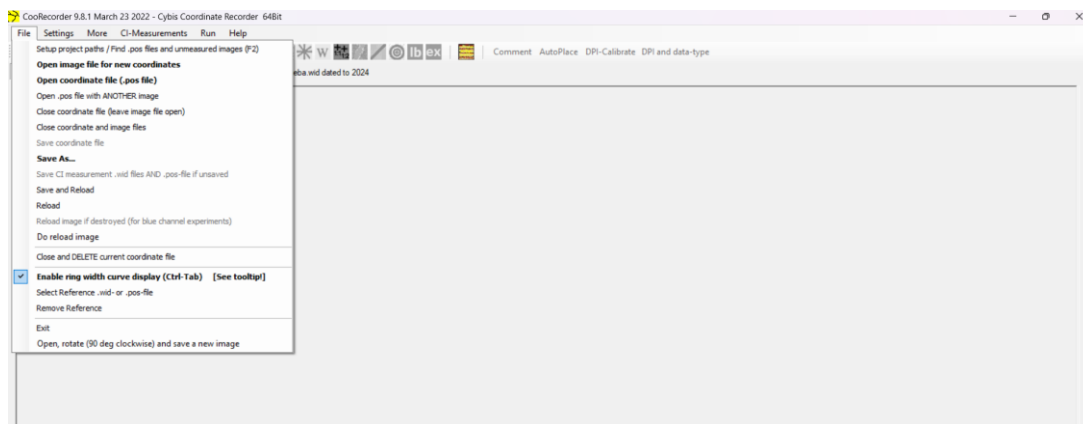


Figura 6: Menú de CooRecorder

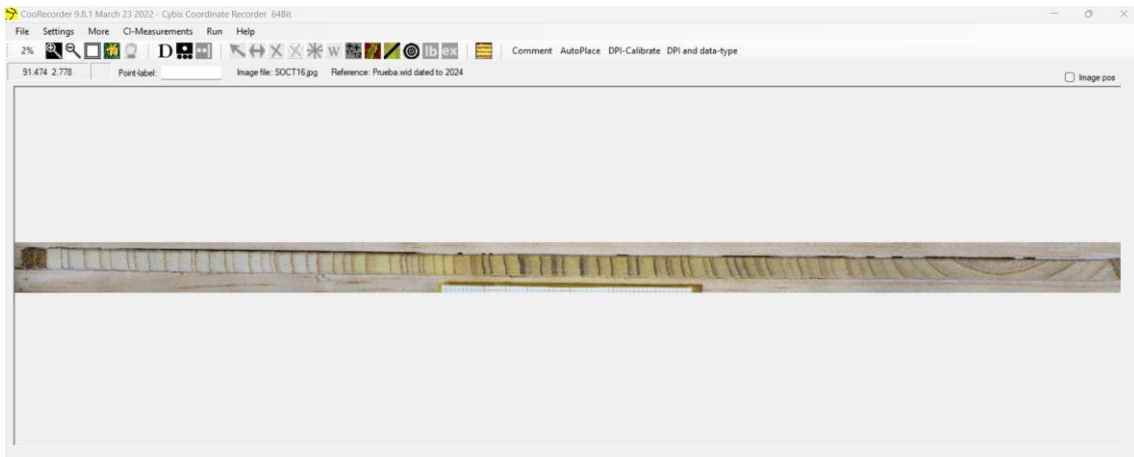


Figura 7: Testigo de *Cedrus atlantica* en Coorecorder (Muestra número16)

Desde este punto ya se puede empezar a datar y medir las muestras, sin embargo, lo primero de todo es calibrar las mediciones, es decir hay que indicarle al programa la distancia real entre dos puntos, para eso contamos con una escala milimétrica. Este proceso se realiza a través de la herramienta “DPI-Calibrate”. La referencia que se utiliza se encuentra justo debajo del testigo. En la figura 8 se aprecia la escala milimétrica y el funcionamiento del “DPI-Calibrate”

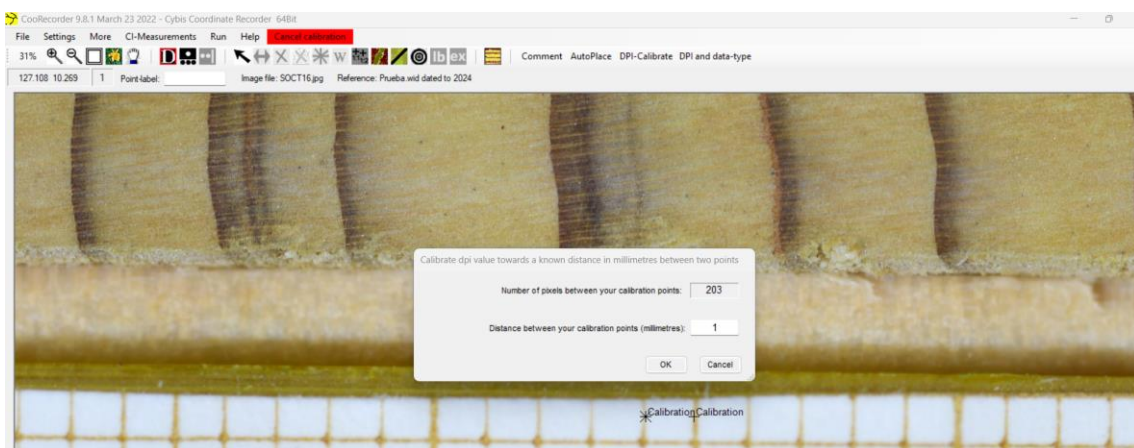


Figura 8: DPI-Calibrate de Coorecorder

Por lo tanto, tras tener las medidas calibradas ya podemos datar y medir los anillos. Para empezar, debemos poner el año en el que se formó el último anillo, es decir, el año en el que se ha extraído el testigo. Esto se realiza en el menú seleccionando “More” y a

continuación “Set year (Y) of a ring:” Seleccionando así el año en el cual se ha extraído el testigo o el año desde donde se empieza a datar (Figura 9)

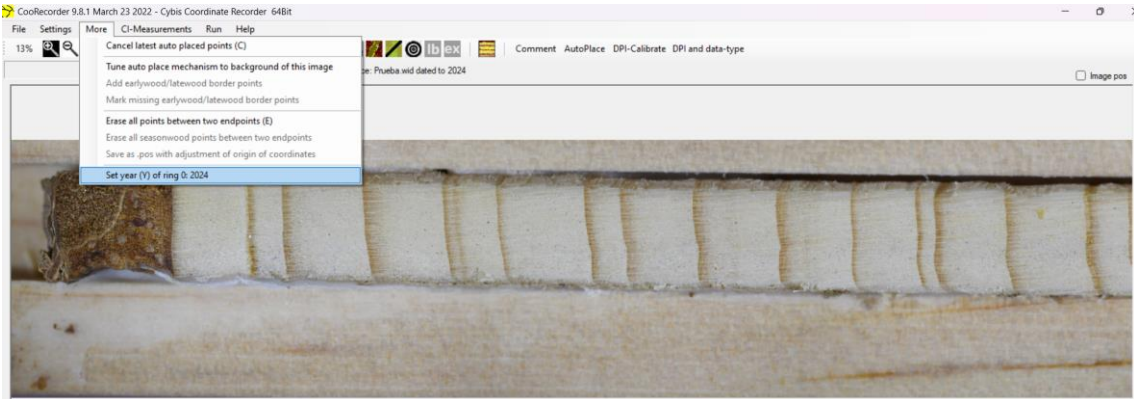


Figura 9: Selección del año de inicio de los testigos

Los años se van identificando uno tras otro (Figura 10). No obstante, hay que tener en cuenta que para que la anchura del anillo se mida correctamente hay que trazar una línea perfectamente perpendicular, para ello existe una herramienta llamada “help-line” que genera líneas rectas con líneas perpendiculares para poder poner los puntos de forma correcta (Figura 11).

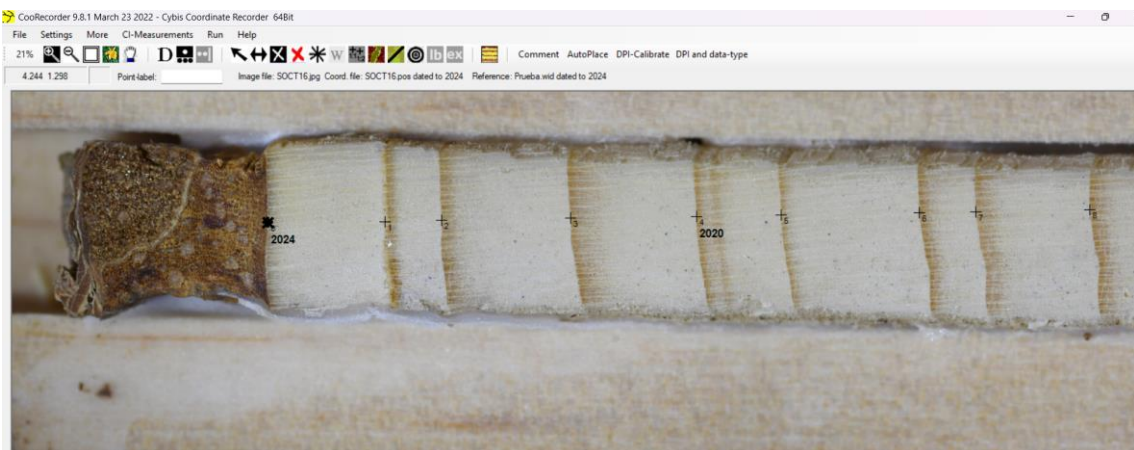


Figura 10: Testigo de *Cedrus atlantica* datado por años en cada anillo de crecimiento (Muestra número 16)



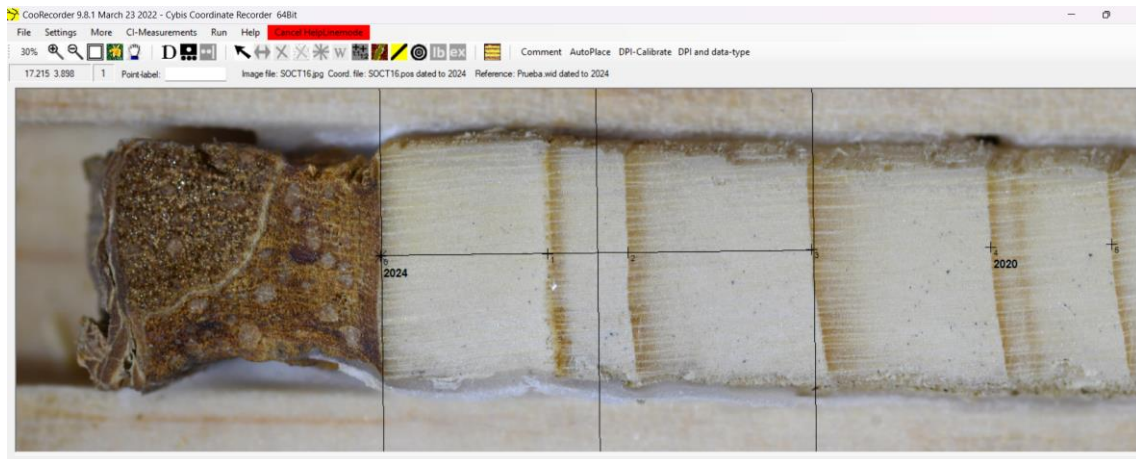


Figura 11: Herramienta de ayuda de Coorecorder, "Help-Line"

Los límites de los anillos de crecimiento no siempre se encuentran de manera vertical, hay veces q están inclinados ligeramente. Al ser muy importante que la medida sea perpendicular a los anillos, tendremos q realizar click derecho con el ratón y luego click izquierdo en el límite del anillo, esto permite poner un punto del año que corresponda. Para poder realizar la medida correspondiente se realizará otro click izquierdo en el mismo anillo en la posición que permita trazar una línea perpendicular al siguiente anillo (Figura 12).



Figura 12: Datación de anillo de crecimiento de *Cedrus atlantica* inclinado (Muestra numero 16)

En ocasiones el testigo está roto, ya sea porque se rompe a la hora de sacar el testigo de la barrena, a la hora de lijar u otras causas. Este aspecto también hay que tenerlo en

cuenta a la hora de datar y medir, por ello usaremos una herramienta para determinar donde se encuentra la rotura y cuanta distancia es. La herramienta que se utiliza es “CrackMaker”, que permite poner dos puntos y determinar la rotura (Figura 13).



Figura 13: Herramienta de selección de partes de testigos rotos, “CrackMaker”  
(Muestra número 17 de *Cedrus atlantica*)

Por último, tras realizar la datación completa del testigo de principio a fin, hay que determinar el anillo central (la médula). Para localizarlo usaremos una herramienta que permite determinar el centro a partir de los anillos ya datados. Esta herramienta se denomina “Set distance to pith” (Figura 14).

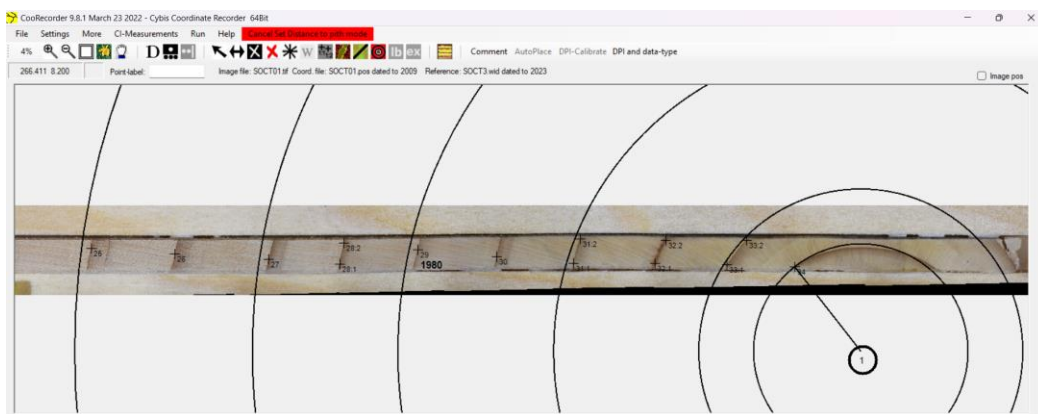


Figura 14: Herramienta de determinación del centro de los anillos (Muestra número 1 de *Cedrus atlántica*)

Tras realizar todos estos pasos hay que repetirlos para los 40 testigos que hemos recogido. Una vez datados y guardados todos en formato .pos ya podemos continuar con el procesamiento de los testigo, pasando al siguiente programa, CDendro.

#### 4.6.2 CDendro

CDendro es un programa que nos permite gestionar las series de crecimiento. Por ejemplo, es interesante generar una serie de crecimiento medio para relacionarlo con las series individuales y corregir problemas de datación.

Para poder realizar este proceso hay que seguir una serie de pasos en CDendro, y posteriormente observar los resultados de la correlación en CooRecorder.

El menú del programa presenta la forma de la Figura 15 y de la Figura 16, una vez seleccionados los testigos.

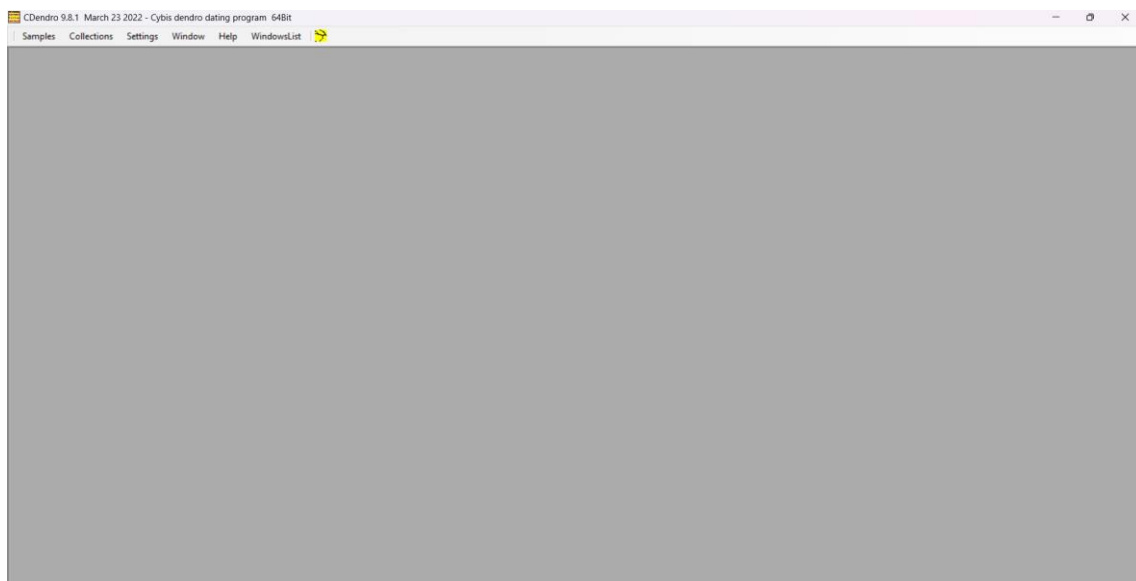


Figura 15: Menú de CDendro

## Análisis de la respuesta del crecimiento radial a los cambios en el riego y el clima en el arbolado urbano de la ciudad de Soria

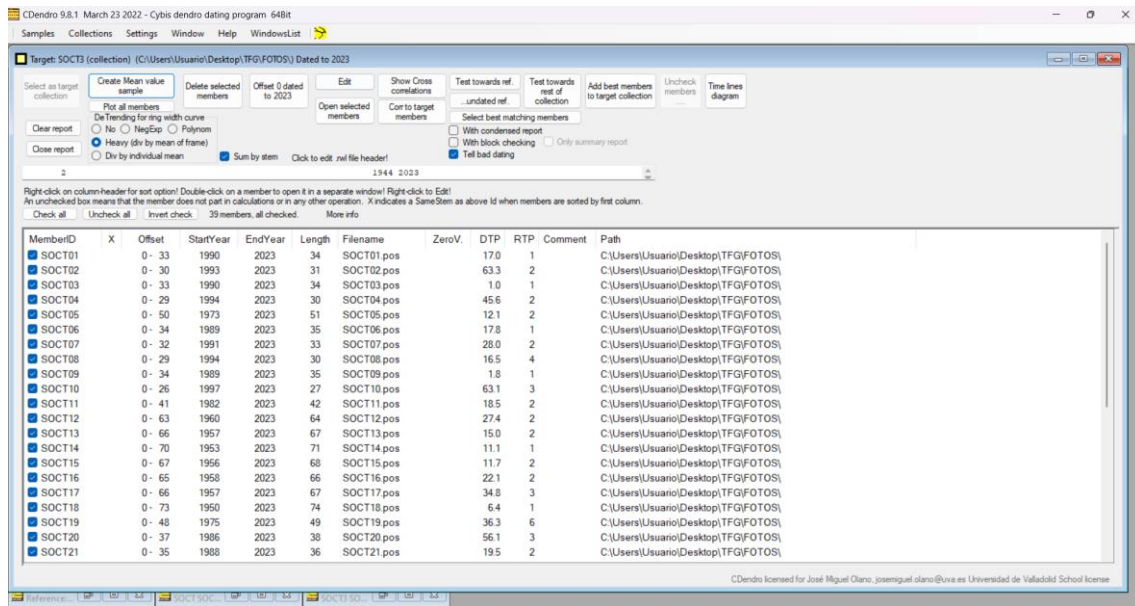


Figura 16: Selección de los 40 testigos de Cedrus atlántica y Cedrus deodara en CDendro

A continuación, debemos guardarlos como archivos .wid. Para ello seleccionamos la opción de “Create mean value sample”, lo que nos abrirá una ventana de la media (Figura 17), esta ventana, que es la media será la que debemos guardar en formato .wid como hemos dicho anteriormente (Figura 18).

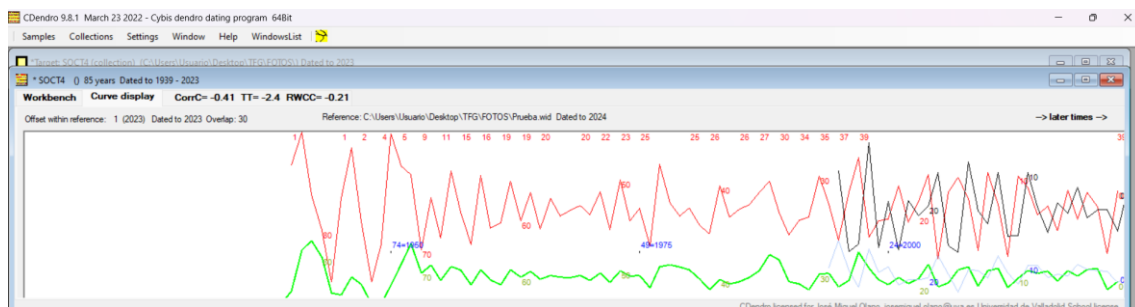


Figura 17: Media de todos los testigos de Cedrus atlántica y Cedrus deodara en Cdendro



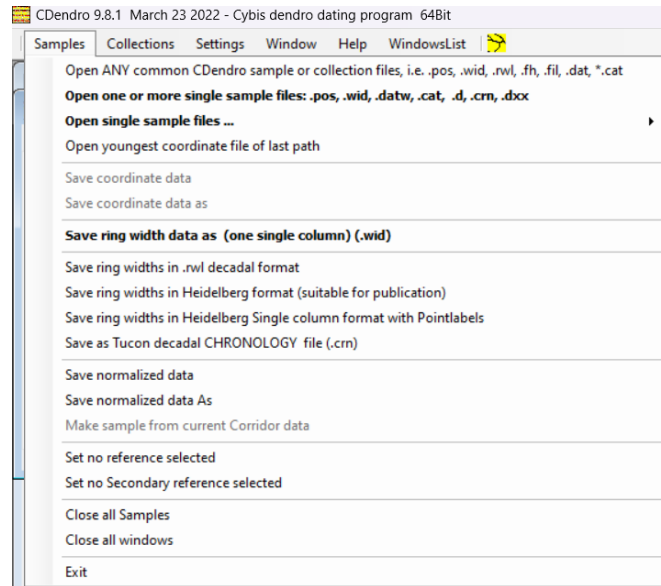


Figura 18: Opciones de guardado de la media de CDendro

Tras haber guardado la media ya podemos saber que correlación presentan los testigos. Para poder ver la correlación tenemos que volver a usar CooRecorder. En el menú de CooRecorder seleccionaremos la opción "File" y a continuación "Enable ring with display", (Figura 19). De esta forma en la parte inferior se aprecia la comparación de la media con el testigo actual, y la correlación que existe (Figura 20)

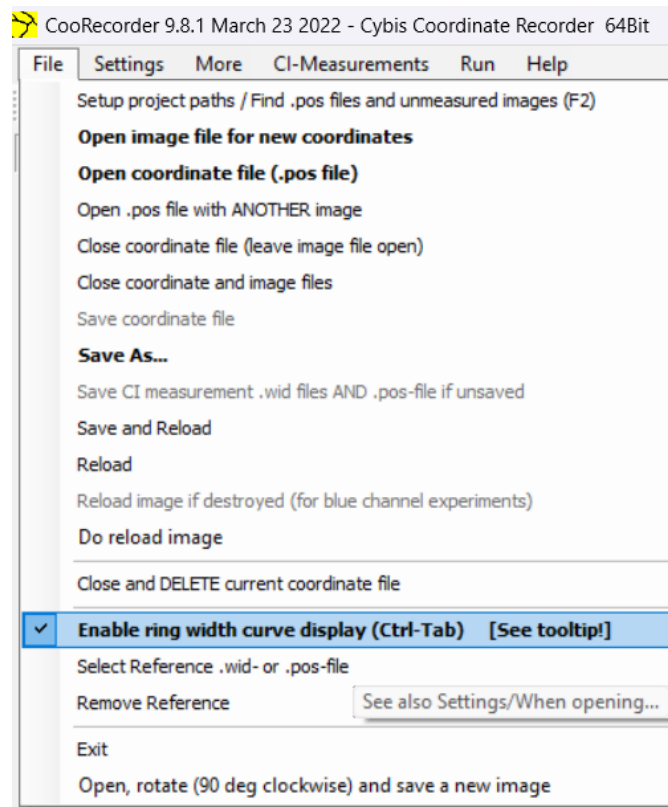


Figura 19: Opción de abrir la media de CDentro en Coorecorder

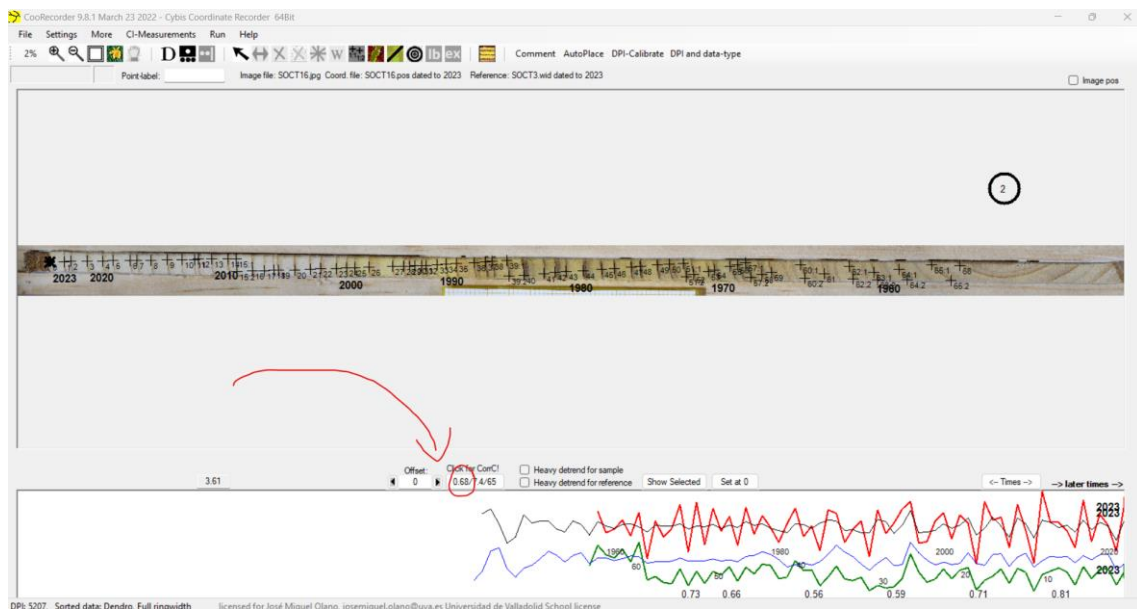


Figura 20: Comparación de la media de los 40 testigos de *Cedrus atlantica* con el testigo número 16. Correlación existente mostrada en la flecha roja.

Para poder trabajar posteriormente con Cofecha, tendremos que guardar todos los testigos por especie en formato .rwl con el programa CDendro. Es imprescindible guardar estos en la carpeta de Cofecha para poder ser ejecutados.

#### 4.6.3 Cofecha

Cofecha es un programa que nos devuelve una gran cantidad de información de nuestros testigos previamente datados. Todos estos datos se nos muestran tras procesar el archivo .rwl procedente de CDendro. A continuación, se nos muestra los datos disponibles tras procesar el archivo (Figura 21)

```
CONTENTS:
Part 1: Title page, options selected, summary, absent rings by series
Part 2: Histogram of time spans
Part 3: Master series with sample depth and absent rings by year
Part 4: Bar plot of Master Dating Series
Part 5: Correlation by segment of each series with Master
Part 6: Potential problems: low correlation, divergent year-to-year changes, absent rings, outliers
Part 7: Descriptive statistics
```

Figura 21

Sin embargo, la información que nos interesa es el apartado 6 que indica problemas potenciales de datación y el apartado 7 que indica los estadísticos de las series. El apartado 6 nos muestra de forma individual, para cada testigo, los problemas que tenemos. Principalmente nosotros nos vamos a fijar en los problemas de ausencia o exceso de anillos, para así poder mejorar la correlación, que es la razón por la cual usamos Cofecha.

Para poder realizar todo esto debemos introducir en cofecha todos los testigos, que se han guardado desde Cdendro, como se menciona en el apartado 4.6.2. Para ello vamos a realizar una serie de pasos para poder obtener los datos que nos interesan.

Para empezar al abrir el programa nos pedirá que le demos un nombre al archivo para poder trabajar con él (Figura 22).

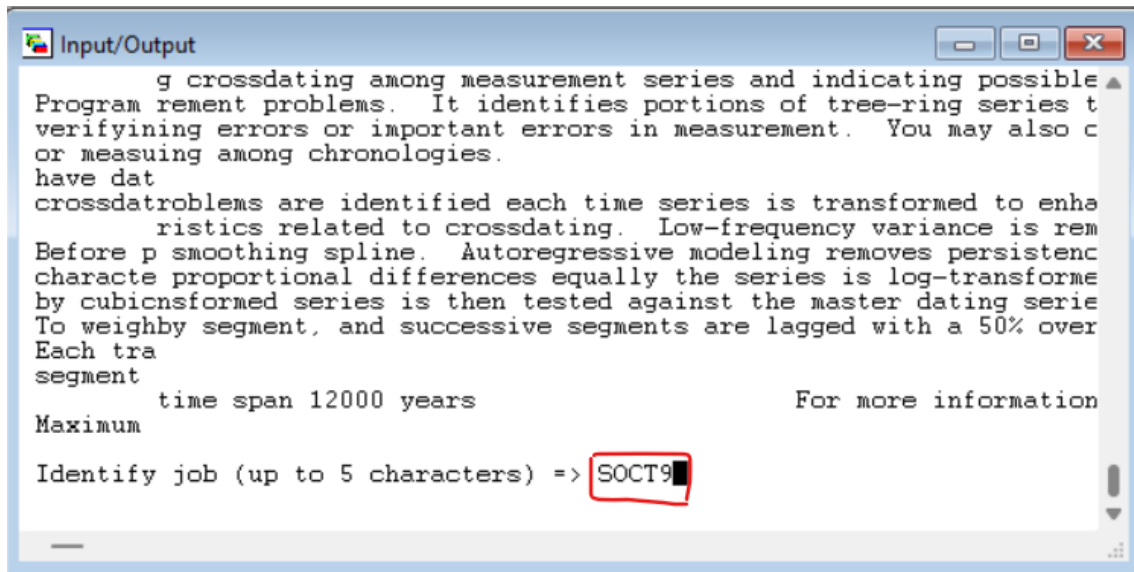


Figura 22: Menú de Cofecha, primer apartado. Identificación para el nombre del archivo en el cuadrado rojo

A continuación, introducimos el nombre exacto del archivo que hemos guardado en las carpetas de Cofecha desde Cdendro, que se encuentra en formato .rwl (Figura 23)

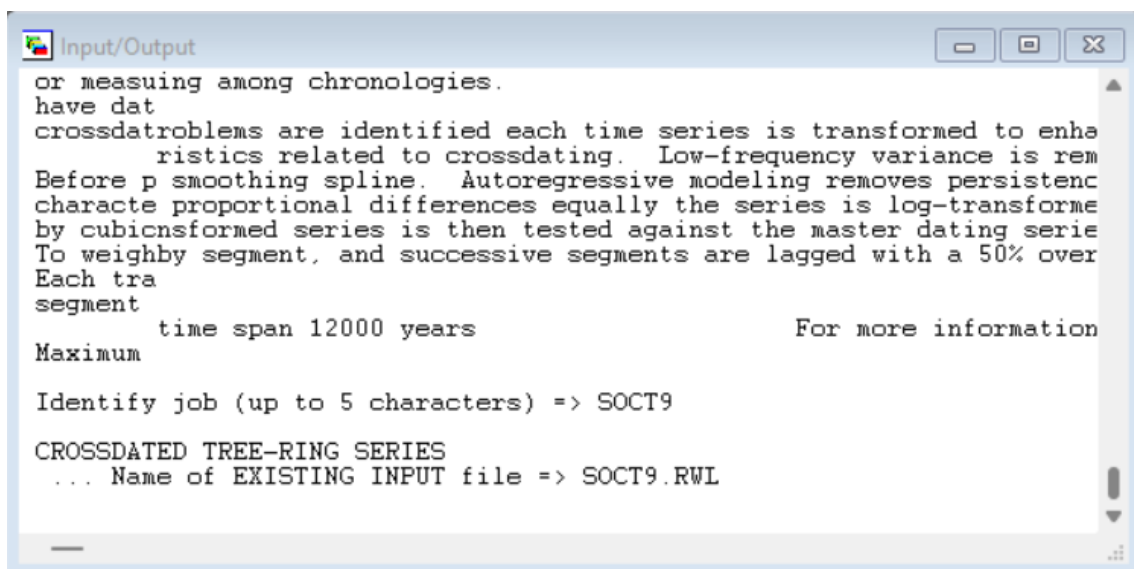


Figura 23: Segundo apartado de Cofecha. Nombre del archivo a seleccionar en el cuadrado rojo.

El siguiente paso consiste en confirmar que es correcto el formato que nos está mostrando, para aceptar pondremos la letra “Y” (Figura 24)

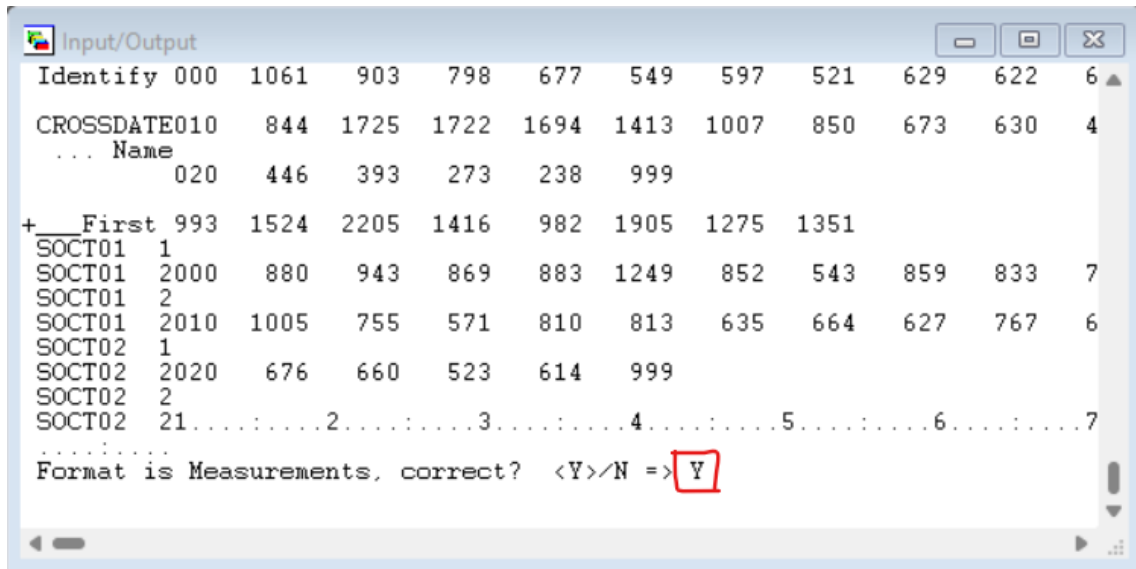


Figura 24: Tercer apartado de Cofecha, aceptación del formato mostrado.

Las dos siguientes opciones no se tendrán que rellenar para ello solamente tendremos que pulsar “Enter” dejando en blanco este apartado (Figura 25 y 26).

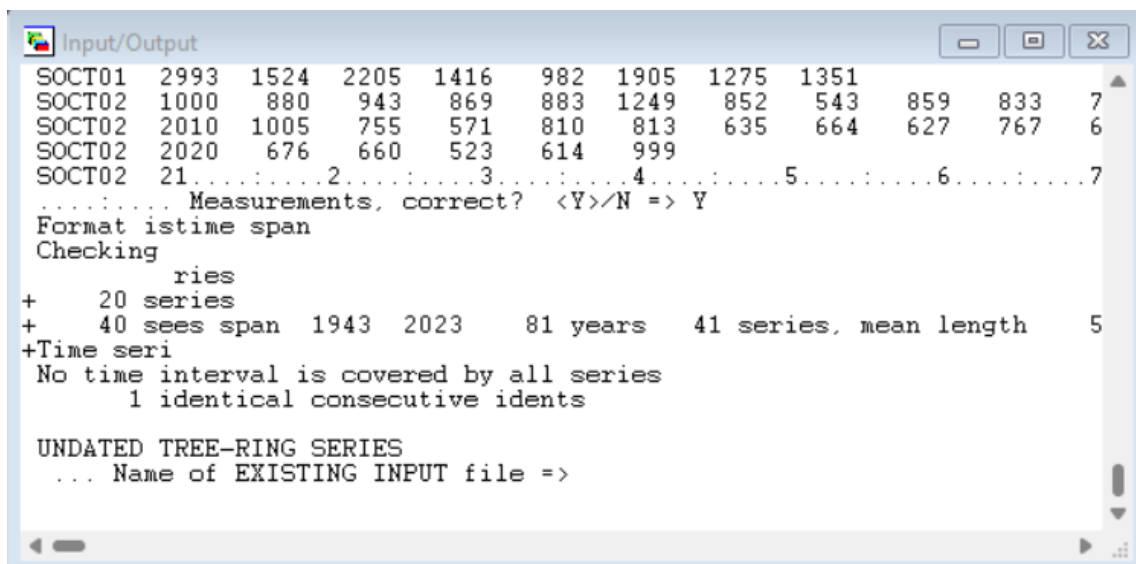


Figura 25: Apartado cuatro de Cofecha

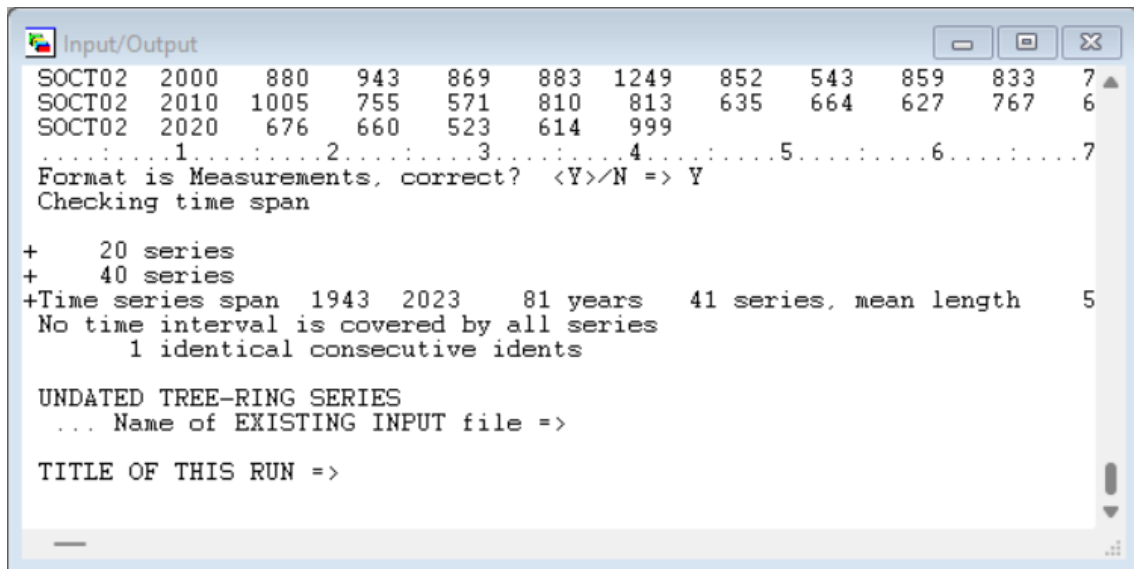


Figura 26: Apartado cinco de Cofecha

La siguiente parte, es de gran importancia ya que nos muestra una serie de aspectos a modificar. Dentro de estos aspectos el de nuestro interés es el 2. Este apartado nos muestra que las series de los anillos en Cofecha se analizan en ventanas de 50 años con solape entre ventanas de 25 años. Nuestras series son relativamente cortas por lo que optamos por usar ventanas de 30 años con solapes de 15 años. Con esta información seleccionaremos el apartado dos (figura 27) e introducimos 30 años en el primer apartado (figura 28) y 15 años en el segundo (figura 29)

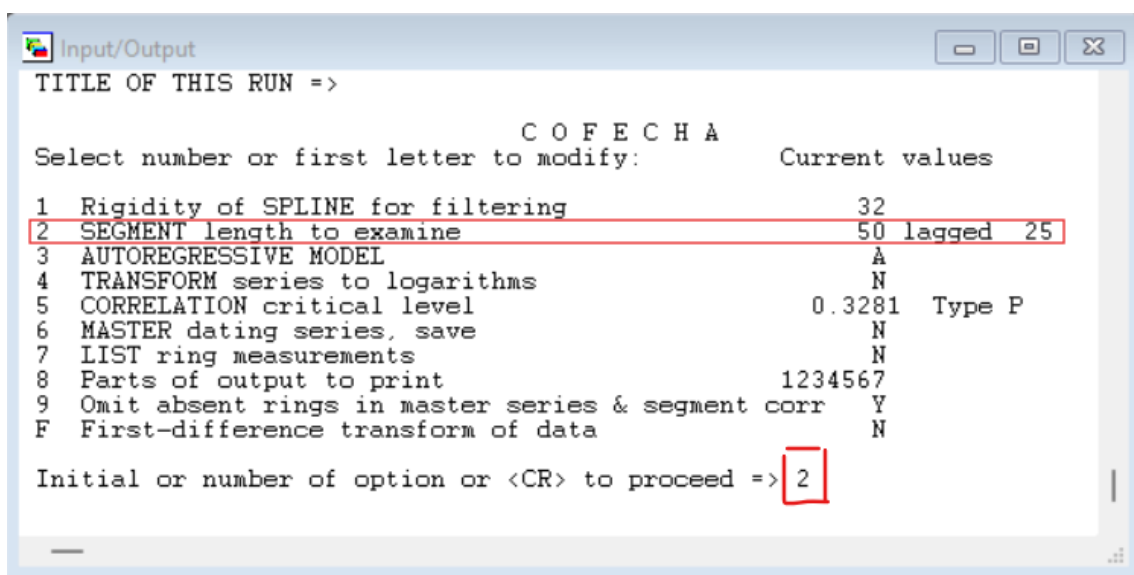


Figura 27: Selección del apartado 2 para la modificación de los segmentos de los años

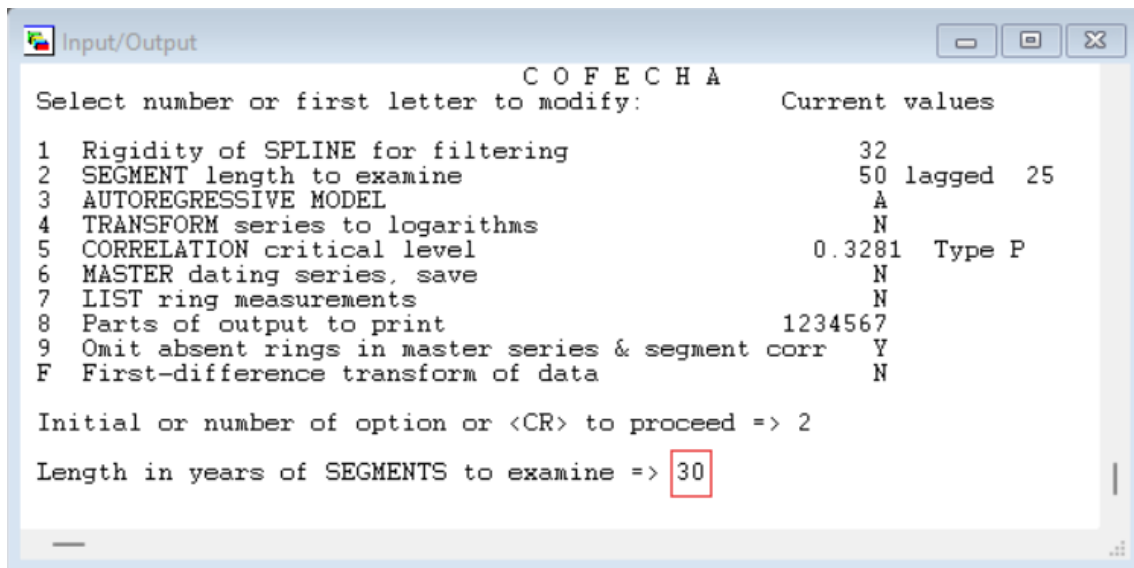


Figura 28: Modificación de las series a 30 años

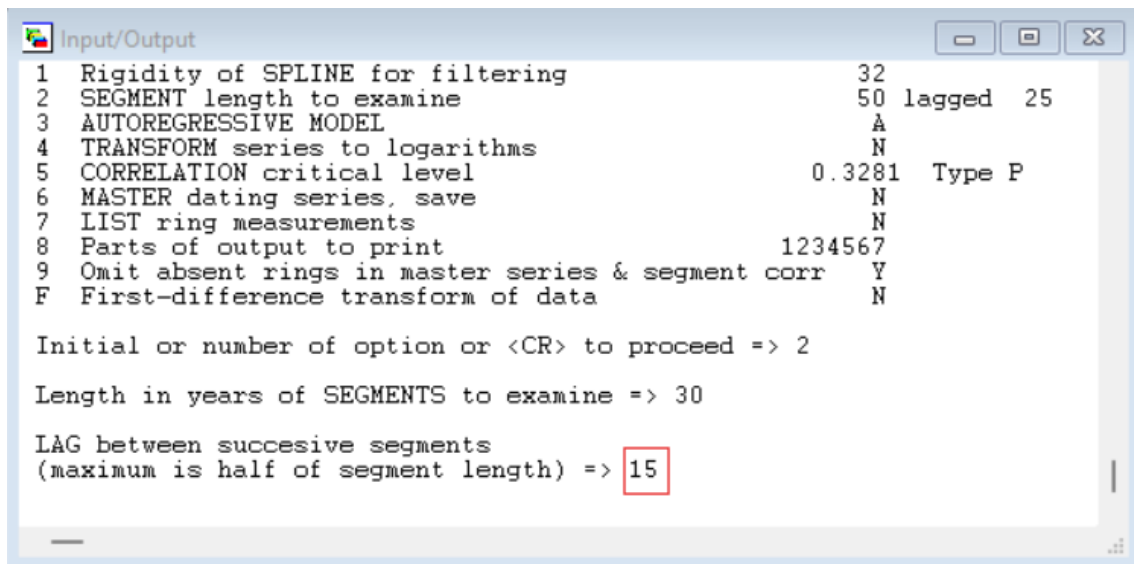


Figura 29: Modificación de las series a 15 años

Para finalizar en el siguiente apartado se deja vacío y simplemente se pulsa “Enter” (Figura 30). Finalizando así el proceso y guardando los datos en formato .OUT, donde observaremos los datos obtenidos.

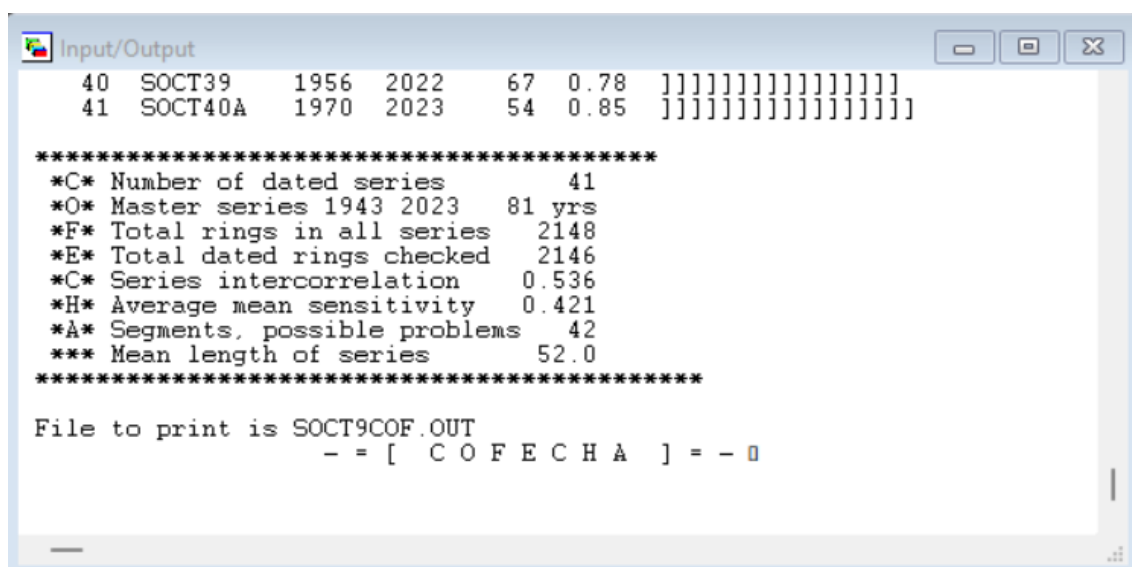


Figura 30: Último apartado de Cofecha en el que se ha realizado todo el proceso y se ha guardado la información.

A continuación, vamos a abrir el archivo obtenido en Cofecha, lo abriremos como un bloc de notas. Como se ha mencionado anteriormente Cofecha nos presenta numerosos datos, de los cuales vamos a observar los de la parte 6 y 7, para poder mejorar la correlación.

La parte 6 nos muestra testigo a testigo los anillos de crecimiento que faltan o que sobran, para mejorar la correlación. Para ello los anillos que faltan salen con un número y el símbolo “-” y los que sobran salen con el símbolo “+” (Figura 31), el número de anillos que faltan o sobran salen en series de 30 años, como hemos seleccionado anteriormente en Cofecha. Con esta información se volverá a Coorecorder, para añadir o quitar los anillos que nos indica Cofecha y obtener una correlación mayor si es posible.

| SOCT03      |      | 1991 to 2023 |      | 33 years |     |      |      |      |      |      |      |      |      |     |      |    |    |    |    |    |    |     |   |  | Series |
|-------------|------|--------------|------|----------|-----|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|------|----|----|----|----|----|----|-----|---|--|--------|
| [A] Segment | High | -10          | -9   | -8       | -7  | -6   | -5   | -4   | -3   | -2   | -1   | 0    | +1   | +2  | +3   | +4 | +5 | +6 | +7 | +8 | +9 | +10 |   |  |        |
| 1991 2020   | 3    | -.01         | .09  | .01      | .08 | .22  | -.06 | -.14 | -.12 | .06  | -.13 | -.08 | -.21 | .12 | .37* | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   | - |  |        |
| 1994 2023   | -6   | -.01         | -.01 | -.05     | .00 | .25* | -.15 | -.04 | -.15 | -.07 | .08  | -.11 | -    | -   | -    | -  | -  | -  | -  | -  | -  | -   |   |  |        |

Figura 31: Anillos que sobran y faltan en las distintas series de *Cedrus deodara* (muestra número 3)



En la parte 7 se muestran todos los testigos seguidos con sus diversos datos, lo que interesa es la columna de “Corr with Master” donde se ve la correlación de todos los testigos, además de la media de correlación de todos los testigos (Figura 32).

| Seq            | Series   | Interval  | No. Years | No. Segmt | No. Flags | Corr with Master | Mean msmt | Max msmt | Std dev | Auto corr | Mean sens | Max value | Std dev | Auto corr | AR ( ) |
|----------------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|------------------|-----------|----------|---------|-----------|-----------|-----------|---------|-----------|--------|
| 1              | SOCT01   | 1990 2023 | 34        | 2         | 1         | 0.323            | 9.03      | 17.25    | 4.026   | 0.850     | 0.160     | 0.73      | 0.285   | 0.013     | 3      |
| 2              | SOCT02   | 1993 2023 | 31        | 2         | 0         | 0.580            | 9.38      | 22.05    | 3.967   | 0.603     | 0.233     | 0.38      | 0.218   | 0.035     | 2      |
| 3              | SOCT03   | 1991 2023 | 33        | 2         | 2         | -0.089           | 7.32      | 14.96    | 4.449   | 0.726     | 0.409     | 1.82      | 0.754   | 0.158     | 1      |
| 4              | SOCT04   | 1994 2023 | 30        | 1         | 1         | 0.162            | 12.16     | 17.99    | 3.442   | 0.880     | 0.106     | 0.28      | 0.134   | -0.041    | 1      |
| 5              | SOCT05   | 1975 2023 | 49        | 3         | 3         | 0.167            | 4.70      | 13.70    | 2.636   | 0.722     | 0.340     | 1.33      | 0.513   | -0.023    | 1      |
| 6              | SOCT06   | 1988 2023 | 36        | 2         | 2         | 0.036            | 7.28      | 25.59    | 3.925   | -0.034    | 0.300     | 1.26      | 0.559   | -0.013    | 3      |
| 7              | SOCT07   | 1991 2023 | 33        | 2         | 2         | 0.345            | 5.52      | 8.63     | 1.816   | 0.591     | 0.257     | 0.47      | 0.316   | 0.003     | 1      |
| 8              | SOCT08   | 1994 2023 | 30        | 1         | 1         | 0.270            | 4.89      | 10.59    | 3.112   | 0.861     | 0.435     | 2.33      | 0.818   | -0.153    | 1      |
| 9              | SOCT09   | 1989 2023 | 35        | 2         | 2         | -0.036           | 5.27      | 12.47    | 3.590   | 0.818     | 0.463     | 1.00      | 0.463   | -0.009    | 1      |
| 10             | SOCT10   | 1997 2023 | 27        | 1         | 0         | 0.691            | 11.95     | 18.42    | 2.396   | 0.015     | 0.181     | 0.49      | 0.227   | -0.006    | 1      |
| 11             | SOCT11   | 1982 2023 | 42        | 2         | 1         | 0.383            | 7.64      | 14.24    | 3.451   | 0.650     | 0.363     | 0.81      | 0.473   | 0.009     | 1      |
| 12             | SOCT12   | 1960 2023 | 64        | 4         | 2         | 0.325            | 3.40      | 10.45    | 2.322   | 0.704     | 0.512     | 1.30      | 0.485   | 0.005     | 1      |
| 13             | SOCT13   | 1957 2023 | 67        | 4         | 4         | 0.182            | 3.75      | 9.30     | 2.230   | 0.355     | 0.630     | 1.82      | 0.634   | -0.005    | 1      |
| 14             | SOCT14   | 1953 2023 | 71        | 4         | 2         | 0.529            | 3.68      | 10.20    | 2.427   | 0.541     | 0.608     | 2.02      | 0.612   | -0.007    | 1      |
| 15             | SOCT15   | 1956 2023 | 68        | 4         | 2         | 0.584            | 2.25      | 5.24     | 1.058   | 0.283     | 0.546     | 1.26      | 0.523   | 0.001     | 1      |
| 16             | SOCT16   | 1958 2023 | 66        | 4         | 0         | 0.718            | 3.33      | 7.49     | 1.415   | 0.293     | 0.445     | 1.19      | 0.430   | -0.001    | 1      |
| 17             | SOCT17   | 1957 2023 | 67        | 4         | 1         | 0.429            | 2.79      | 8.09     | 1.931   | 0.636     | 0.535     | 1.73      | 0.667   | -0.001    | 1      |
| 18             | SOCT18   | 1950 2023 | 74        | 4         | 1         | 0.507            | 2.73      | 6.98     | 1.228   | 0.571     | 0.368     | 1.11      | 0.369   | -0.001    | 1      |
| 19             | SOCT19   | 1975 2023 | 49        | 3         | 2         | 0.375            | 5.38      | 11.02    | 2.397   | 0.708     | 0.302     | 0.72      | 0.338   | -0.012    | 1      |
| 20             | SOCT20   | 1986 2023 | 38        | 2         | 1         | 0.440            | 5.43      | 12.82    | 3.517   | 0.848     | 0.424     | 0.86      | 0.434   | -0.001    | 1      |
| 21             | SOCT21   | 1988 2023 | 36        | 2         | 2         | 0.345            | 4.56      | 14.31    | 3.468   | 0.757     | 0.430     | 0.95      | 0.546   | 0.072     | 1      |
| 22             | SOCT22   | 1970 2023 | 54        | 3         | 1         | 0.501            | 3.04      | 8.08     | 1.612   | 0.318     | 0.583     | 1.49      | 0.577   | 0.014     | 1      |
| 23             | SOCT23   | 1953 2023 | 71        | 4         | 3         | 0.181            | 2.51      | 6.86     | 1.727   | 0.673     | 0.554     | 1.23      | 0.535   | -0.004    | 4      |
| 24             | SOCT24   | 1961 2023 | 63        | 4         | 2         | 0.680            | 2.88      | 8.03     | 1.526   | 0.507     | 0.431     | 1.42      | 0.482   | 0.031     | 1      |
| 25             | SOCT25   | 1960 2023 | 64        | 4         | 4         | 0.007            | 2.17      | 6.84     | 1.418   | 0.549     | 0.553     | 2.91      | 0.772   | 0.027     | 1      |
| 26             | SOCT26   | 1965 2023 | 59        | 3         | 0         | 0.761            | 2.20      | 4.74     | 1.012   | 0.395     | 0.457     | 1.18      | 0.465   | 0.014     | 1      |
| 27             | SOCT27   | 1972 2023 | 52        | 3         | 0         | 0.695            | 4.28      | 11.42    | 2.238   | 0.471     | 0.367     | 1.27      | 0.464   | 0.000     | 1      |
| 28             | SOCT28   | 1953 2023 | 71        | 4         | 3         | 0.215            | 3.73      | 9.36     | 2.315   | 0.782     | 0.346     | 0.93      | 0.417   | 0.007     | 2      |
| 29             | SOCT29   | 1954 2023 | 70        | 4         | 2         | 0.268            | 4.68      | 11.97    | 3.225   | 0.806     | 0.336     | 1.06      | 0.472   | -0.007    | 1      |
| 30             | SOCT30   | 1990 2023 | 34        | 2         | 2         | -0.084           | 9.80      | 17.42    | 5.353   | 0.894     | 0.345     | 1.32      | 0.532   | 0.011     | 2      |
| 31             | SOCT31jp | 1997 2023 | 27        | 1         | 1         | 0.309            | 8.07      | 16.59    | 5.099   | 0.754     | 0.541     | 1.27      | 0.678   | -0.005    | 2      |
| 32             | SOCT32   | 1948 2023 | 76        | 5         | 2         | 0.500            | 3.32      | 8.25     | 1.769   | 0.700     | 0.349     | 1.07      | 0.415   | -0.017    | 1      |
| 33             | SOCT33   | 1939 2023 | 85        | 5         | 5         | 0.206            | 2.82      | 11.59    | 2.607   | 0.667     | 0.566     | 2.06      | 0.698   | 0.023     | 1      |
| 34             | SOCT35   | 1954 2023 | 70        | 4         | 2         | 0.433            | 4.31      | 12.76    | 2.479   | 0.620     | 0.451     | 1.27      | 0.505   | -0.034    | 1      |
| 35             | SOCT36   | 1949 2023 | 75        | 5         | 4         | 0.321            | 3.91      | 9.39     | 2.210   | 0.725     | 0.437     | 1.22      | 0.507   | 0.006     | 1      |
| 36             | SOCT37B  | 1946 2023 | 78        | 5         | 5         | 0.021            | 3.20      | 6.43     | 1.570   | 0.308     | 0.534     | 1.05      | 0.486   | -0.001    | 1      |
| 37             | SOCT38B  | 1957 2023 | 67        | 4         | 2         | 0.227            | 2.82      | 8.49     | 1.791   | 0.637     | 0.544     | 1.23      | 0.532   | 0.019     | 1      |
| 38             | SOCT39   | 1952 2023 | 72        | 4         | 4         | 0.054            | 3.97      | 13.68    | 1.839   | 0.147     | 0.431     | 1.82      | 0.502   | 0.010     | 1      |
| 39             | SOCT40A  | 1970 2023 | 54        | 3         | 0         | 0.782            | 4.31      | 10.09    | 1.824   | 0.152     | 0.498     | 1.27      | 0.460   | 0.000     | 1      |
| Total or mean: |          |           | 2122      | 122       | 74        | 0.350            | 4.33      | 25.59    | 2.334   | 0.563     | 0.442     | 2.91      | 0.505   | 0.003     | --     |

Figura 32: Datos de los testigos de *Cedrus atlántica* y *Cedrus deodara*.

A continuación, gracias a la información de la Figura 33 vamos a poder realizar la corrección de la falta de anillos o exceso de anillos para cada testigo. Para ello utilizaremos de nuevo CooRecorder donde mejoraremos la correlación de los testigos mediante la información de Cofecha. Como se puede apreciar en la figura 30 tras realizar las correcciones la correlación mejora significativamente.

|                |                              |     |    |       |      |       |       |       |       |      |       |        |
|----------------|------------------------------|-----|----|-------|------|-------|-------|-------|-------|------|-------|--------|
| Total or mean: | 2148                         | 124 | 42 | 0.536 | 4.37 | 22.05 | 2.264 | 0.583 | 0.421 | 2.59 | 0.483 | -0.002 |
|                | - = [ COFECHA SOCT9COF ] = - |     |    |       |      |       |       |       |       |      |       |        |

Figura 33: Correlación total del *Cedrus deodara* y *Cedrus atlantica*, tras corregirse

Tras realizar el proceso de Cofecha también nos guarda un archivo en formato .txt (Figura 34), donde se nos muestran todos los testigos y todos los años de cada testigo con el crecimiento de los anillos de cada año. Este documento, lo convertiremos a un archivo Excel, a partir del cual trabajar y nos permitirá observar una serie de resultados tras realizar una serie de cálculos.

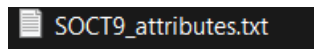


Figura 34: Archivo .txt de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara*

## 4.7 OBTENCIÓN DE ÍNDICES DE RESILIENCIA

La resistencia es la capacidad que tiene un árbol de mantener las mismas tasas de crecimiento durante la incidencia de un agente externo (p.e. sequía).

La recuperación es la capacidad de un árbol de recuperar a sus tasas de crecimiento tras haber sufrido un impacto de una perturbación.

La resiliencia es la capacidad de un árbol de crecer a tasas de crecimiento similares a las observadas antes del impacto.

En la figura 36 se puede apreciar una gráfica de cómo se calculan estos tres índices.

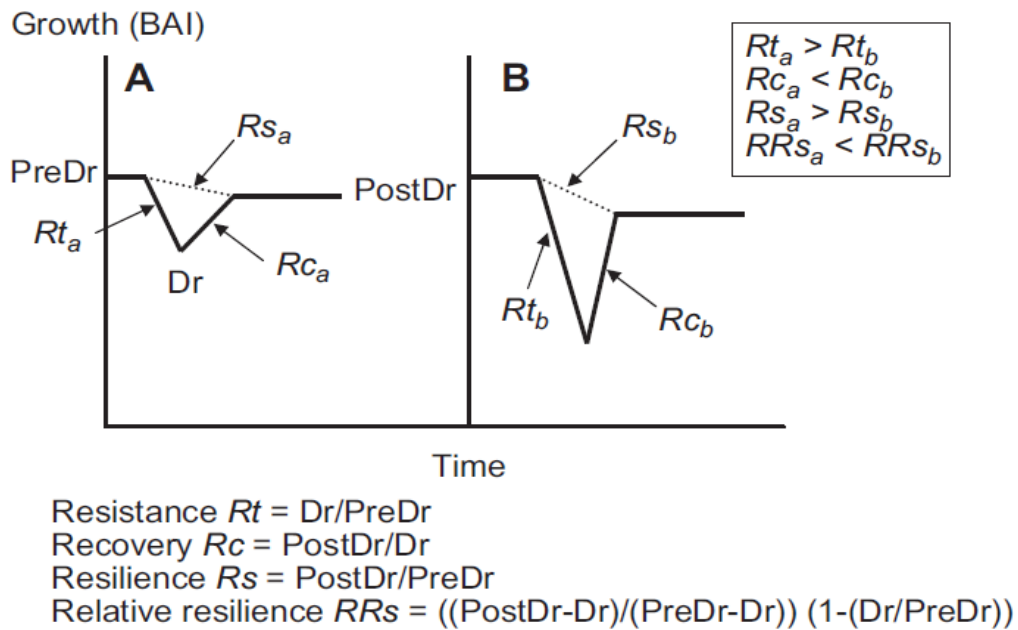


Figura 36: Grafica y operaciones de resistencia, recuperación, resiliencia y resiliencia relativa. Fuente: Lloret et al. 2011

Para realizar el cálculo de estos tres aspectos se necesitó una serie de datos, estos datos fueron los de TRW (Tree ring width), anchura del anillo.

El cálculo de estos tres índices para los 3 años más secos desde el año 1997, estos años son 2005, 2012 y 2017, los cuales fueron años en los que se produjo un descenso del crecimiento de los árboles (Figura 37).

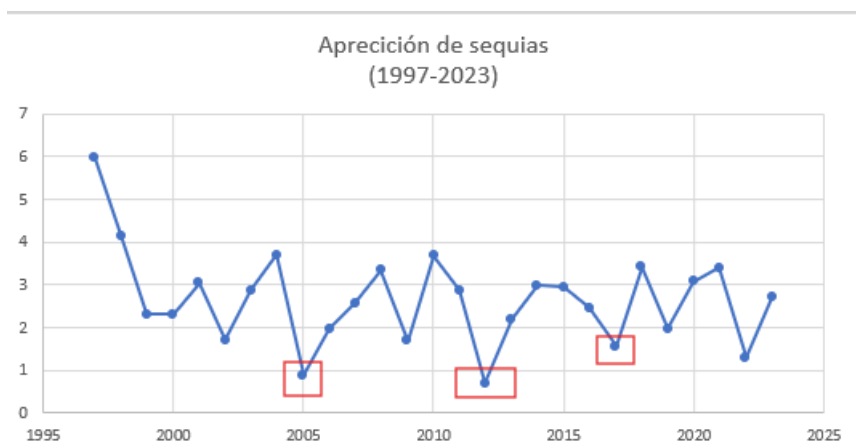


Figura 37: Gráfica de años de sequía desde 1997 a 2023. El eje y indica anchura del anillo

Con esta información realizamos el cálculo de la resistencia, recuperación y resiliencia de cada testigo para los años de sequía, utilizando las fórmulas de Lloret et al., (2011). Para realizar el cálculo de estos aspectos tuvimos en cuenta el crecimiento de los tres años anteriores (para la resistencia) o tres años posteriores (recuperación) y del año de sequía correspondiente.

Para el cálculo de la resistencia realizamos la división de el TRW del año de sequía entre el promedio de los tres años anteriores a la sequía correspondiente. A continuación, se muestra el cálculo de este valor (Figura 38) a través de la tabla de TRW de *C.deodara* y *C.atlantica* que aparece completa en el anexo 10.

| A          | B        | C        | D        | E        | F        | G        | H        | I        | J        |
|------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1981       |          |          |          |          | 1.33     |          |          |          |          |
| 1982       |          |          |          |          | 0.95     |          |          |          |          |
| 1983       |          |          |          |          | 2.46     |          |          |          |          |
| 1984       |          |          |          |          | 1.28     |          |          |          |          |
| 1985       |          |          |          |          | 3.7      |          |          |          |          |
| 1986       |          |          |          |          | 4.83     |          |          |          |          |
| 1987       |          |          |          |          | 5.63     |          |          |          |          |
| 1988       |          |          |          |          | 4.63     |          |          |          |          |
| 1989       |          |          |          |          | 3.41     |          |          |          |          |
| 1990       | 8.07     |          |          |          | 4.88     | 5.41     |          |          |          |
| 1991       | 9.76     |          | 2.07     |          | 5.52     | 3.2      | 6.35     |          |          |
| 1992       | 11.61    |          | 0.67     |          | 7.62     | 4.54     | 6.11     |          |          |
| 1993       | 11.3     | 15.24    | 1.87     |          | 8.91     | 7.45     | 6.04     |          | 3.12     |
| 1994       | 11.62    | 22.05    | 10.41    | 11.51    | 7.27     | 5.53     | 6.28     | 3.27     | 2.94     |
| 1995       | 10.95    | 14.16    | 10.39    | 10.47    | 6.45     | 4.77     | 4.49     | 1.84     | 3.32     |
| 1996       | 10.48    | 9.82     | 0.48     | 10.58    | 8.53     | 7.46     | 4.62     | 1.53     | 3.53     |
| 1997       | 13.61    | 19.05    | 2.14     | 15.13    | 5.85     | 8.39     | 5.89     | 1.71     | 5.95     |
| 1998       | 12.37    | 12.75    | 1.75     | 16.08    | 7.87     | 4.12     | 4.76     | 0.84     | 4.1      |
| 1999       | 13.46    | 13.51    | 1.97     | 16.91    | 8.94     | 4.38     | 5.56     | 0.37     | 2.76     |
| 2000       | 10.61    | 8.8      | 1.57     | 17.99    | 8.25     | 9.75     | 5.64     | 0.51     | 3.28     |
| 2001       | 9.03     | 9.43     | 2.71     | 15.23    | 2.74     | 8.86     | 7.33     | 1.53     | 4.63     |
| 2002       | 7.98     | 8.69     | 7.31     | 13.48    | 2.89     | 8.52     | 5.49     | 2.51     | 1.71     |
| 2003       | 6.77     | 8.83     | 7.04     | 16.33    | 2.17     | 9.08     | 7.71     | 0.31     | 3.87     |
| 2004       | 5.49     | 12.49    | 7.53     | 16.45    | 2.3      | 9.06     | 7.61     | 3.66     | 2.36     |
| 2005       | 5.31     | 8.52     | 8.31     | 15.54    | 2.51     | 10.22    | 4.72     | 0.7      | 2.61     |
| 2006       | 5.21     | 5.43     | 2.8      | 16.78    | 3.94     | 11.28    | 2.12     | 5.67     | 6.07     |
| 2007       | 6.29     | 8.59     | 11.12    | 16.51    | 3.41     | 8.58     | 2.67     | 6.45     | 7.25     |
| 2008       | 6.22     | 8.33     | 2.42     | 13.48    | 4.13     | 10.67    | 5.11     | 7.06     | 6.33     |
| 2009       | 6.14     | 7.08     | 7.31     | 14.31    | 4.4      | 8.63     | 2.68     | 7.73     | 8.59     |
| 2010       | 8.44     | 10.05    | 9.94     | 10.82    | 4.83     | 8.79     | 5.51     | 8.64     | 10.29    |
| 2011       | 17.25    | 7.55     | 11.71    | 11.4     | 4.36     | 8.98     | 5.41     | 10.59    | 12.47    |
| 2012       | 17.22    | 5.71     | 9.21     | 10.53    | 4.58     | 7.59     | 8.29     | 9.82     | 11.98    |
| 2013       | 16.94    | 8.1      | 11.04    | 9.24     | 3.53     | 7.99     | 8.63     | 9.2      | 11.46    |
| 2014       | 14.13    | 8.13     | 11.2     | 10.53    | 4.92     | 6.22     | 8.13     | 8.21     | 11.3     |
| 2015       | 10.07    | 6.35     | 10.07    | 9.17     | 4.89     | 6.77     | 5.87     | 5.42     | 10.64    |
| 2016       | 8.5      | 6.64     | 10.33    | 8.74     | 5.68     | 5.31     | 6.92     | 5.72     | 9.41     |
| 2017       | 6.73     | 6.27     | 9.78     | 9.61     | 4.71     | 4.6      | 7.16     | 4.52     | 5.36     |
| 2018       | 6.3      | 7.67     | 11.2     | 9.91     | 7.03     | 5.88     | 7.76     | 6.42     | 7.53     |
| 2019       | 4.78     | 6.93     | 14.96    | 8.92     | 6.08     | 3.97     | 4.57     | 6.4      | 3.47     |
| 2020       | 4.46     | 6.76     | 13.27    | 7.4      | 6.57     | 4.85     | 3.58     | 7.03     | 4.5      |
| 2021       | 3.33     | 6.6      | 10.22    | 8.32     | 7.03     | 3.64     | 3.54     | 7.34     | 4.52     |
| 2022       | 2.73     | 5.23     | 9.94     | 7.04     | 4.97     | 4.01     | 2.13     | 6.08     | 2.79     |
| 2023       | 2.38     | 6.14     | 8.77     | 6.77     | 9.09     | 5.56     | 3.25     | 5.57     | 6.53     |
| TWR        | 9.029412 | 9.383871 | 7.318485 | 12.164   | 4.6064   | 6.901765 | 5.518788 | 4.888333 | 5.944194 |
| Edad       | 34       | 31       | 33       | 30       | 50       | 34       | 33       | 30       | 31       |
| 2005_resis | =B61/B63 | 0.851716 | 1.139397 | 1.007782 | 1.023098 | 1.150038 | 0.673965 | 0.324074 | 0.986146 |
| 2005_recov | 0.989391 | 0.874413 | 0.655435 | 1.003218 | 1.524568 | 0.99576  | 0.699153 | 9.133333 | 2.509579 |
| 2005_resil | 0.875494 | 0.744752 | 0.746801 | 1.011025 | 1.559783 | 1.145161 | 0.471204 | 2.959877 | 2.474811 |
| 2012_resis | 1.622997 | 0.694084 | 0.954075 | 0.870968 | 1.01038  | 0.8625   | 1.826471 | 1.05273  | 1.146411 |
| 2012_recov | 0.796361 | 1.316155 | 1.169361 | 0.916113 | 0.970888 | 0.921368 | 0.91031  | 0.774949 | 0.923327 |
| 2012_resil | 1.292491 | 0.914911 | 1.115677 | 0.797905 | 0.961604 | 0.794697 | 1.663971 | 0.84661  | 1.065391 |
| 2017_resis | 0.617431 | 0.890625 | 0.928481 | 1.013713 | 0.912201 | 0.730159 | 1.026769 | 0.700775 | 0.512919 |
| 2017_recov | 0.769688 | 1.135566 | 1.343899 | 0.909816 | 1.392781 | 1.065217 | 0.740689 | 1.463864 | 0.963933 |
| 2017_resil | 0.475229 | 1.011364 | 1.247785 | 0.922293 | 1.270497 | 0.777778 | 0.760516 | 1.02584  | 0.494418 |

Figura 38: Cálculo de la resistencia del año 2005 a través del TWR, del *C.deodara* muestra número 1

En la figura 38 se muestra el cálculo solamente para el año 2005 y para una única muestra, no obstante, la formula a utilizar es la misma para todas las muestras y para el año 2012 y 2017.

Para continuar, se realizó el cálculo de la recuperación realizando la división del TWR de los tres años siguientes al año de la sequía entre el año de la sequía correspondiente. A continuación, se muestra el cálculo de este valor (Figura 39) a través de la tabla de TRW de *C.deodara* y *C.atlantica* que aparece completa en el anexo 10.

| Year       | TRW      | Edad     | 2005_resis | 2005_reco | 2005_resil | 2012_resis | 2012_recov | 2012_resil | 2017_resis | 2017_recov | 2017_resil |
|------------|----------|----------|------------|-----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1981       | 1.33     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1982       | 0.95     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1983       | 2.46     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1984       | 1.28     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1985       | 3.7      |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1986       | 4.63     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1987       | 5.63     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1988       | 4.63     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1989       | 3.41     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1990       | 8.07     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1991       | 9.76     |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1992       | 11.61    |          |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1993       | 11.3     | 15.24    |            |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1994       | 11.62    | 22.05    | 10.41      |           |            |            |            |            |            |            |            |
| 1995       | 10.95    | 14.16    | 10.39      | 10.47     |            |            |            |            |            |            |            |
| 1996       | 10.48    | 9.82     | 0.48       | 10.58     | 8.59       | 7.46       | 4.62       | 1.53       | 3.53       |            |            |
| 1997       | 13.81    | 19.05    | 2.14       | 15.13     | 5.65       | 8.39       | 5.89       | 1.71       | 5.55       |            |            |
| 1998       | 12.37    | 12.75    | 1.75       | 16.08     | 7.87       | 4.12       | 4.76       | 0.84       | 4.1        |            |            |
| 1999       | 13.46    | 13.51    | 1.97       | 16.91     | 8.94       | 4.38       | 5.56       | 0.37       | 2.76       |            |            |
| 2000       | 10.61    | 8.8      | 1.57       | 17.99     | 8.25       | 3.75       | 5.64       | 0.51       | 3.28       |            |            |
| 2001       | 9.03     | 9.49     | 2.71       | 15.23     | 2.74       | 8.66       | 7.33       | 1.53       | 4.63       |            |            |
| 2002       | 7.98     | 8.69     | 7.31       | 13.48     | 2.89       | 8.52       | 5.49       | 2.51       | 1.71       |            |            |
| 2003       | 6.77     | 8.83     | 7.04       | 16.33     | 2.17       | 9.08       | 7.71       | 0.31       | 3.87       |            |            |
| 2004       | 5.49     | 12.49    | 7.53       | 16.45     | 2.3        | 9.06       | 7.81       | 3.66       | 2.36       |            |            |
| 2005       | 5.97     | 8.52     | 8.31       | 15.54     | 2.51       | 10.22      | 4.72       | 0.7        | 2.61       |            |            |
| 2006       | 5.21     | 5.43     | 2.8        | 16.78     | 3.94       | 11.28      | 2.12       | 5.67       | 6.07       |            |            |
| 2007       | 6.29     | 8.59     | 11.12      | 16.51     | 3.41       | 8.58       | 2.67       | 6.45       | 7.25       |            |            |
| 2008       | 6.22     | 8.33     | 2.42       | 13.48     | 4.13       | 10.67      | 5.11       | 7.06       | 6.33       |            |            |
| 2009       | 6.14     | 7.08     | 7.31       | 14.31     | 4.4        | 8.63       | 2.68       | 7.73       | 8.59       |            |            |
| 2010       | 8.44     | 10.05    | 9.94       | 10.82     | 4.63       | 8.79       | 5.51       | 8.64       | 10.29      |            |            |
| 2011       | 17.25    | 7.55     | 11.71      | 11.14     | 4.36       | 8.98       | 5.41       | 10.59      | 12.47      |            |            |
| 2012       | 17.22    | 5.71     | 9.21       | 10.53     | 4.58       | 7.59       | 8.28       | 9.82       | 11.98      |            |            |
| 2013       | 16.94    | 8.1      | 11.04      | 9.24      | 3.53       | 7.99       | 8.63       | 9.2        | 11.46      |            |            |
| 2014       | 14.13    | 8.13     | 11.2       | 10.53     | 4.32       | 6.22       | 8.13       | 8.21       | 11.3       |            |            |
| 2015       | 10.07    | 6.35     | 10.07      | 9.17      | 4.89       | 6.77       | 5.87       | 5.42       | 10.64      |            |            |
| 2016       | 8.5      | 6.64     | 10.33      | 8.74      | 5.68       | 5.91       | 6.52       | 5.72       | 9.41       |            |            |
| 2017       | 6.73     | 6.27     | 9.78       | 9.61      | 4.71       | 4.6        | 7.18       | 4.52       | 5.36       |            |            |
| 2018       | 6.3      | 7.67     | 11.2       | 9.91      | 7.03       | 5.88       | 7.76       | 6.42       | 7.53       |            |            |
| 2019       | 4.78     | 6.93     | 14.96      | 8.92      | 6.08       | 3.37       | 4.57       | 6.4        | 3.47       |            |            |
| 2020       | 4.46     | 6.76     | 13.27      | 7.4       | 6.57       | 4.85       | 3.58       | 7.03       | 4.5        |            |            |
| 2021       | 3.93     | 6.6      | 10.22      | 8.32      | 7.03       | 3.64       | 3.54       | 7.34       | 4.52       |            |            |
| 2022       | 2.73     | 5.23     | 9.94       | 7.04      | 4.97       | 4.01       | 2.13       | 6.08       | 2.79       |            |            |
| 2023       | 2.38     | 6.14     | 8.77       | 6.77      | 9.09       | 5.56       | 3.25       | 5.57       | 6.53       |            |            |
| TWR        | 9.029412 | 9.383871 | 7.318485   | 12.164    | 4.6064     | 6.901765   | 5.518788   | 4.888333   | 5.944194   |            |            |
| Edad       | 34       | 31       | 33         | 30        | 50         | 34         | 33         | 30         | 31         |            |            |
| 2005_resis | 0.884881 | 0.851716 | 1.139397   | 1.007782  | 1.023098   | 1.150038   | 0.673965   | 0.324074   | 0.986146   |            |            |
| 2005_reco  | 0.874413 | 0.874413 | 0.655435   | 1.003218  | 1.524568   | 0.99576    | 0.699153   | 9.133333   | 2.509579   |            |            |
| 2005_resil | 0.875494 | 0.744752 | 0.746801   | 1.011025  | 1.553783   | 1.145161   | 0.471204   | 2.959877   | 2.474811   |            |            |
| 2012_resis | 1.622997 | 0.694084 | 0.954075   | 0.870988  | 1.011038   | 0.9625     | 1.826471   | 1.09273    | 1.146411   |            |            |
| 2012_recov | 0.796361 | 1.318155 | 1.183361   | 0.916113  | 0.970889   | 0.923389   | 0.918031   | 0.774949   | 0.923327   |            |            |
| 2012_resil | 1.292491 | 0.914911 | 1.115677   | 0.797905  | 0.981604   | 0.794697   | 1.663371   | 0.84681    | 1.065391   |            |            |
| 2017_resis | 0.617431 | 0.890625 | 0.928481   | 1.013713  | 0.912201   | 0.730159   | 1.026769   | 0.700775   | 0.512919   |            |            |
| 2017_recov | 0.763688 | 1.135566 | 1.343899   | 0.909816  | 1.332781   | 1.065217   | 0.740689   | 1.463864   | 0.963933   |            |            |
| 2017_resil | 0.475229 | 1.011364 | 1.247785   | 0.922293  | 1.270497   | 0.777778   | 0.760516   | 1.02584    | 0.494418   |            |            |

Figura 39: Cálculo de la recuperación del año 2005 a través del TWR, del *C.deodara* muestra número 1

En la figura 39 se muestra el cálculo solamente para el año 2005 y para una única muestra, no obstante, la fórmula a utilizar es la misma para todas las muestras y para el año 2012 y 2017.

Por último, se realizó el cálculo de la resiliencia realizando la división del TRW de los tres años siguientes al año de la sequía entre los tres años anteriores al año de la sequía. A continuación, se muestra el cálculo de este valor (Figura 40) a través de la tabla de TWR de *C.deodara* y *C.atlantica* que aparece completa en el anexo 10.

|            | A | B        | C        | D        | E        | F        | G        | H        | I        | J        | K        | L        |
|------------|---|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| 1981       |   |          |          |          |          | 1.33     |          |          |          |          |          |          |
| 1982       |   |          |          |          |          | 0.95     |          |          |          |          |          | 4.63     |
| 1983       |   |          |          |          |          | 2.46     |          |          |          |          |          | 5.85     |
| 1984       |   |          |          |          |          | 1.28     |          |          |          |          |          | 4.94     |
| 1985       |   |          |          |          |          | 3.7      |          |          |          |          |          | 3.81     |
| 1986       |   |          |          |          |          | 4.83     |          |          |          |          |          | 3.91     |
| 1987       |   |          |          |          |          | 5.63     |          |          |          |          |          | 6.18     |
| 1988       |   |          |          |          |          | 4.63     |          |          |          |          |          | 0.14     |
| 1989       |   |          |          |          |          | 3.41     |          |          |          |          |          | 0.39     |
| 1990       |   | 8.07     |          |          |          | 4.88     | 5.41     |          |          |          |          | 0.38     |
| 1991       |   | 9.76     |          | 2.07     |          | 5.52     | 3.2      | 6.35     |          |          |          | 1.43     |
| 1992       |   | 11.61    |          | 0.67     |          | 7.62     | 4.54     | 6.11     |          |          |          | 3.58     |
| 1993       |   | 11.3     | 15.24    | 1.67     |          | 8.91     | 7.45     | 8.04     |          | 3.12     |          | 5.95     |
| 1994       |   | 11.62    | 22.05    | 10.41    | 11.51    | 7.27     | 5.53     | 6.28     | 3.27     | 2.94     |          | 11.62    |
| 1995       |   | 10.95    | 14.16    | 10.39    | 10.47    | 6.45     | 4.77     | 4.49     | 1.84     | 3.32     |          | 9.15     |
| 1996       |   | 10.48    | 3.82     | 0.48     | 10.58    | 8.53     | 7.46     | 4.62     | 1.53     | 3.53     |          | 9.33     |
| 1997       |   | 13.81    | 19.05    | 2.14     | 15.13    | 5.65     | 8.39     | 5.89     | 1.71     | 5.55     | 18.42    | 14.24    |
| 1998       |   | 12.37    | 12.75    | 1.75     | 16.08    | 7.87     | 4.12     | 4.76     | 0.84     | 4.1      | 10.12    | 8.37     |
| 1999       |   | 13.46    | 13.51    | 1.97     | 16.91    | 8.94     | 4.38     | 5.56     | 0.37     | 2.76     | 9.14     | 10.17    |
| 2000       |   | 10.61    | 8.8      | 1.57     | 17.99    | 8.25     | 9.75     | 5.64     | 0.51     | 3.28     | 9.98     | 6.8      |
| 2001       |   | 9.03     | 9.43     | 2.71     | 15.23    | 2.74     | 8.86     | 7.33     | 1.53     | 4.63     | 11.43    | 9.56     |
| 2002       |   | 7.98     | 8.69     | 7.31     | 13.48    | 2.89     | 8.52     | 5.49     | 2.51     | 1.71     | 11.22    | 5.1      |
| 2003       |   | 6.77     | 8.83     | 7.04     | 16.33    | 2.17     | 9.08     | 7.71     | 0.31     | 3.87     | 11.06    | 12.51    |
| 2004       |   | 5.49     | 12.49    | 7.53     | 16.45    | 2.3      | 9.06     | 7.81     | 3.86     | 2.36     | 10.53    | 12       |
| 2005       |   | 5.37     | 8.52     | 8.31     | 15.54    | 2.51     | 10.22    | 4.72     | 0.7      | 2.61     | 8.19     | 10.67    |
| 2006       |   | 5.21     | 5.43     | 2.8      | 16.78    | 3.94     | 11.28    | 2.12     | 5.87     | 6.07     | 9.77     | 7.58     |
| 2007       |   | 6.29     | 8.59     | 11.12    | 16.51    | 3.41     | 8.58     | 2.67     | 6.45     | 7.25     | 11.8     | 10.03    |
| 2008       |   | 6.22     | 8.33     | 2.42     | 13.48    | 4.13     | 10.67    | 5.11     | 7.06     | 6.33     | 12.1     | 10.12    |
| 2009       |   | 6.14     | 7.08     | 7.31     | 14.31    | 4.4      | 8.63     | 2.68     | 7.73     | 8.59     | 9.86     | 7.85     |
| 2010       |   | 8.44     | 10.05    | 9.94     | 10.82    | 4.93     | 8.79     | 5.51     | 8.64     | 10.29    | 12.85    | 10.12    |
| 2011       |   | 17.25    | 7.55     | 11.71    | 11.14    | 4.38     | 8.98     | 5.41     | 10.59    | 12.47    | 13.32    | 12.04    |
| 2012       |   | 17.22    | 5.71     | 9.21     | 10.53    | 4.58     | 7.59     | 8.28     | 9.82     | 11.98    | 11.16    | 7.78     |
| 2013       |   | 16.94    | 8.1      | 11.04    | 9.24     | 3.53     | 7.99     | 8.63     | 9.2      | 11.46    | 13.22    | 8.22     |
| 2014       |   | 14.13    | 8.13     | 11.2     | 10.53    | 4.92     | 6.22     | 8.13     | 8.21     | 11.3     | 14.68    | 10.53    |
| 2015       |   | 10.07    | 6.35     | 10.07    | 9.17     | 4.89     | 6.77     | 5.87     | 5.42     | 10.64    | 13.78    | 9.4      |
| 2016       |   | 8.5      | 6.64     | 10.33    | 8.74     | 5.68     | 5.91     | 6.92     | 5.72     | 9.41     | 15.47    | 10.04    |
| 2017       |   | 6.73     | 6.27     | 9.78     | 9.61     | 4.71     | 4.6      | 7.16     | 4.52     | 5.36     | 10.89    | 9.73     |
| 2018       |   | 6.3      | 7.67     | 11.2     | 9.91     | 7.03     | 5.88     | 7.76     | 6.42     | 7.53     | 13.25    | 9.91     |
| 2019       |   | 4.78     | 6.93     | 14.96    | 8.92     | 6.08     | 3.97     | 4.57     | 6.4      | 3.47     | 12.18    | 8.17     |
| 2020       |   | 4.46     | 6.76     | 13.27    | 7.4      | 6.57     | 4.85     | 3.58     | 7.03     | 4.5      | 11.6     | 10.12    |
| 2021       |   | 3.93     | 6.6      | 10.22    | 8.32     | 7.03     | 3.64     | 3.54     | 7.34     | 4.52     | 12.68    | 7.78     |
| 2022       |   | 2.73     | 5.23     | 9.34     | 7.04     | 4.97     | 4.01     | 2.13     | 6.08     | 2.79     | 8.06     | 4.16     |
| 2023       |   | 2.38     | 6.14     | 8.77     | 6.77     | 9.09     | 5.56     | 3.25     | 5.57     | 6.53     | 16.2     | 6.34     |
| TWR        |   | 9.029412 | 9.383871 | 7.318485 | 12.164   | 4.6064   | 6.901785 | 5.518788 | 4.888333 | 5.944194 | 11.94519 | 7.636429 |
| Edad       |   | 34       | 31       | 33       | 30       | 30       | 34       | 33       | 30       | 31       | 27       | 42       |
| 2005_resis |   | 0.884881 | 0.851716 | 1.139397 | 1.007782 | 1.023098 | 1.150038 | 0.673965 | 0.324074 | 0.986146 | 0.748857 | 1.081054 |
| 2005_recov |   | 0.989331 | 0.874413 | 0.655435 | 1.003218 | 1.524568 | 0.99576  | 0.699153 | 9.133333 | 2.509579 | 1.37037  | 0.866292 |
| 2005_resil |   | 0.861863 | 0.744752 | 0.746801 | 1.011025 | 1.559783 | 1.45161  | 0.471204 | 2.959877 | 2.474811 | 1.026212 | 0.936508 |
| 2012_resis |   | 1.622997 | 0.694084 | 0.954075 | 0.870968 | 1.011038 | 0.8625   | 1.826471 | 1.09273  | 1.146411 | 0.929226 | 0.775741 |
| 2012_recov |   | 0.796361 | 1.318155 | 1.169381 | 0.916113 | 0.970888 | 0.921388 | 0.911031 | 0.774949 | 0.929327 | 1.244922 | 1.209192 |
| 2012_resil |   | 1.232491 | 0.914911 | 1.115677 | 0.797905 | 0.981604 | 0.794697 | 1.663971 | 0.84681  | 1.065391 | 1.156814 | 0.938021 |
| 2017_resis |   | 0.617431 | 0.890625 | 0.928481 | 1.013713 | 0.912201 | 0.730159 | 1.026789 | 0.700775 | 0.512919 | 0.743683 | 0.973974 |
| 2017_recov |   | 0.769688 | 1.135566 | 1.343899 | 0.909816 | 1.392781 | 1.065217 | 0.740689 | 1.463864 | 0.96333  | 1.119988 | 0.96814  |
| 2017_resil |   | 0.475229 | 1.011364 | 1.247785 | 0.922293 | 1.270497 | 0.777778 | 0.780516 | 1.02584  | 0.494448 | 0.832916 | 0.942943 |

Figura 40: Cálculo de la resiliencia del año 2005 a través del TWR, del C.deodara muestra número 1

En la figura 41 se muestra el cálculo solamente para el año 2005 y para una única muestra, no obstante, la fórmula a utilizar es la misma para todas las muestras y para el año 2012 y 2017.

A continuación, se separaron por arboles regados y no regados los datos obtenidos, para poder calcular la resistencia, recuperación y resiliencia de los años correspondientes de sequía, es decir, se calcularon los tres aspectos para regados y no regados mediante un gráfico de caja y bigotes, pudiéndose observar si hay diferencias significativas o no, mostrándose esto en el apartado 5, resultados.

## 4.8 ÍNDICES DE CRECIMIENTO Y DATOS CLIMÁTICOS

Para calcular la relación entre el crecimiento y el clima, los datos de TRW (anchura del anillo) fueron transformados en series adimensionales con media igual a 1 e igual varianza (índices de crecimiento; Speer 2012). Se utilizó el software estadístico R y el paquete *dplR*, y un spline (ajuste) de 2/3 de la longitud de la serie (Bunn 2008). Se utilizaron datos climáticos interpolados por ser ampliamente utilizados en dendrocronología. Se extrajeron los datos climáticos de la base de datos CRU TS para el grid (celda) que coincide con la ubicación de la ciudad de Soria (Harries et al. 2020).





## **5.RESULTADOS**



## 5.RESULTADOS

### 5.1 VARIABLES MORFOLÓGICAS, EDAD y CRECIMIENTO

Nos hemos centrado en la especie *Cedrus atlantica* que cuenta con un número suficiente de individuos regados y no regados.

Los árboles de *C. atlantica* regados tienen una edad media de  $52 \pm 19$  años (media  $\pm$  desviación estándar) con un diámetro medio de  $56,6 \pm 14,6$  cm, mientras que los individuos no regados tienen una edad media de  $64 \pm 7$  años con un diámetro medio de  $41,8 \pm 7,3$  cm. Los individuos no regados son más viejos y tienen un diámetro menor, aunque las diferencias no son significativas. Este último aspecto queda corroborado con las tasas de crecimiento. Los individuos regados crecen más que los árboles no regados, los regados tienen una altura media de  $19,3 \pm 2,7$  cm, mientras que los individuos no regados tienen una altura media de  $14,5 \pm 3$  cm. (Tabla 1).

Tabla 1: Tabla de datos de árboles regados y no regados según la edad, el diámetro medio, la altura media y le crecimiento medio.

|            |                     | EDAD        | DIÁMETRO MEDIO | ALTURA MEDIA | CRECIMIENTO MEDIO |
|------------|---------------------|-------------|----------------|--------------|-------------------|
| REGADOS    | PROMEDIO            | 51.83333333 | 56.63333333    | 19.31666667  | 5.31794562        |
|            | DESVIACIÓN ESTANDAR | 19.25821352 | 14.61557907    | 2.688978628  | 2.307096912       |
| NO REGADOS | PROMEDIO            | 63.66666667 | 41.79333333    | 14.484       | 3.112756721       |
|            | DESVIACIÓN ESTANDAR | 7.257180352 | 7.290058462    | 2.962259755  | 0.70707923        |

### 5.2 RESISTENCIA, RECUPERACIÓN Y RESILIENCIA

En este trabajo se ha considerado la resiliencia del crecimiento a la sequía. Para ello, hemos considerado 3 de las sequías más importantes en toda la Península Ibérica: 2005, 2012 y 2017

Para poder observar las diferencias de la anchura de los anillos (TRW de sus siglas en inglés), entre los árboles no regados y regados se realizó un gráfico (Figura 41) donde se observa las diferencias entre ellos para todos sus años, la especie que ha sido utilizado para realizar esta comparación ha sido la del *Cedrus atlantica*.

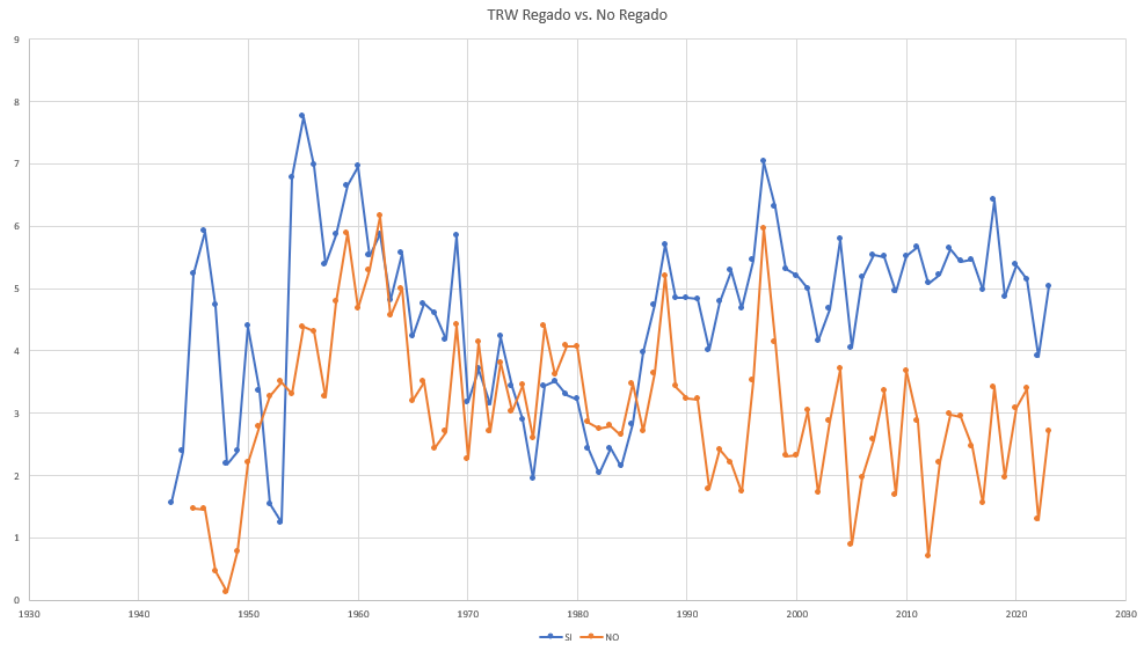


Figura 41: Crecimiento de los anillos de los árboles regados y no regados desde 1943 hasta 2023

Sin embargo, para poder observar las diferencias de manera más precisa se realizó el mismo gráfico, pero con una toma de datos de menor cantidad de años, con los años más recientes, desde el 1997. (Figura 42)

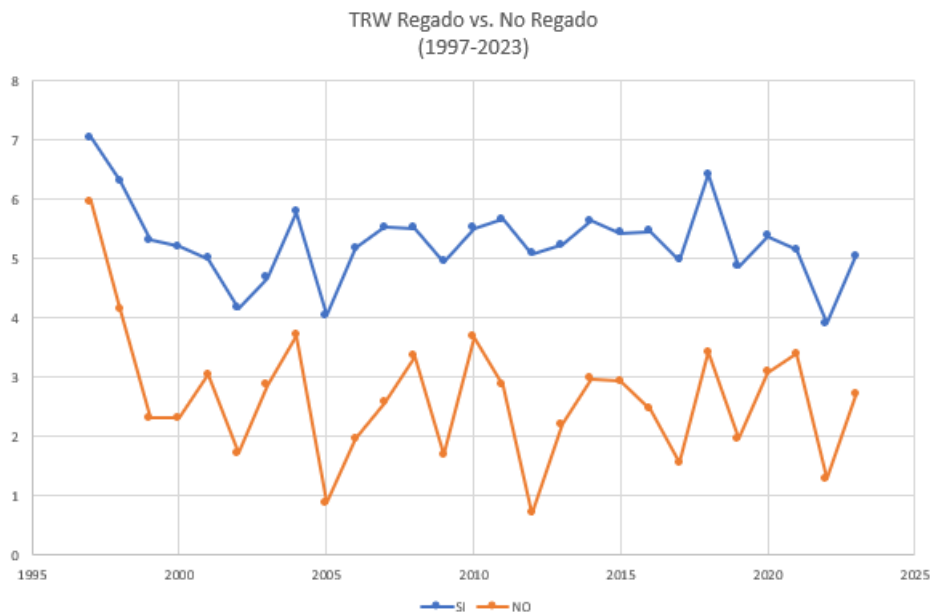


Figura 42: Crecimiento de los anillos de los árboles regados y no regados desde 1997 hasta 2023

Se puede apreciar que la anchura de los anillos de los árboles regados (azul) es considerablemente más grande que la de los árboles no regados (naranja) durante los últimos 30 años.

Además, los periodos de sequía de los últimos 30 años se aprecian de forma clara en los árboles no regados en los años 2005, 2012 y 2017.

### 5.2.1 Resistencia

Como se ha comentado en el apartado 4.7, la resistencia es la capacidad que tiene un árbol a mantener su crecimiento tras una sequía.

Tras obtener los cálculos de la resistencia de todos los árboles en los años de sequía se realizó un gráfico para cada especie donde se puede observar si las diferencias para los regados y no regados de cada especie son o no son significativas.

A continuación, se muestra el gráfico de caja y bigotes de la resistencia *del Cedrus deodara* según los árboles estén regados o no regados (figura 43) y del *Cedrus atlantica* de los regados y no regados (figura 44)

Los individuos de *Cedrus deodara* y *C. atlantica* regados muestran una mayor resistencia a las sequías que los árboles no regados, es decir, reducen menos sus tasas de crecimiento relativas en los años de evento (Figura 38 y 39).

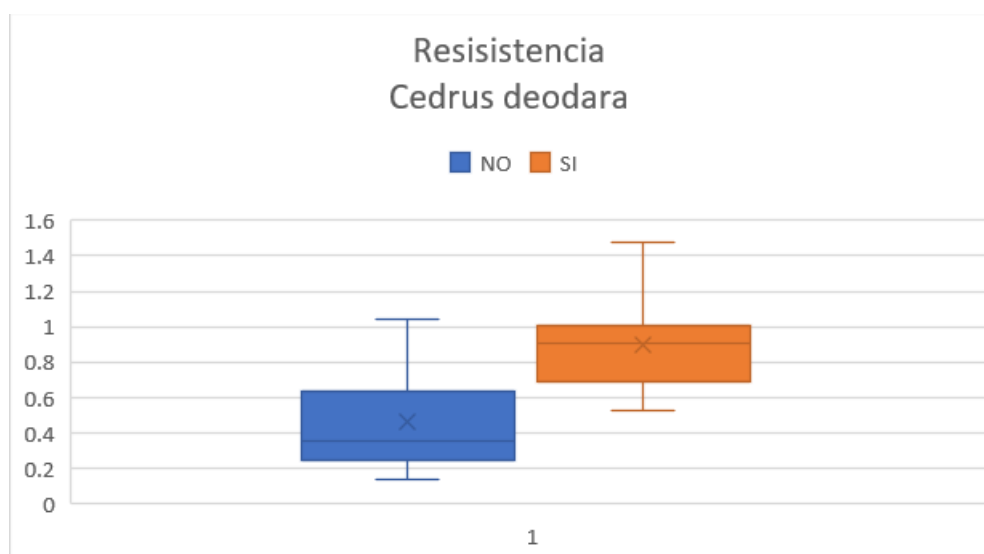


Figura 43: Gráfico de resistencia de caja y bigotes de *Cedrus deodara* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

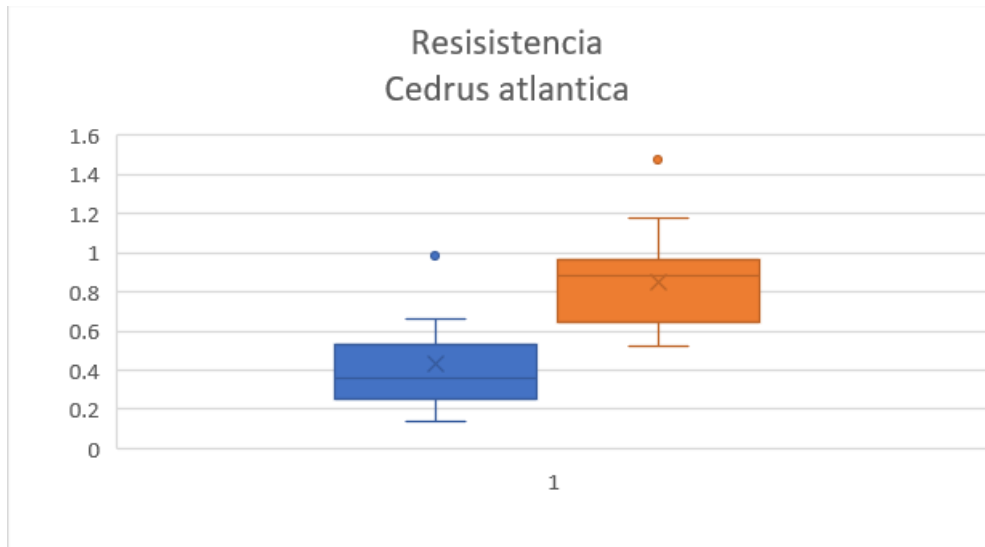


Figura 44: Gráfico de resistencia de caja y bigotes de *Cedrus atlantica* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

### 5.2.2 Recuperación

La recuperación es la capacidad de un árbol a volver a su estado natural tras una perturbación, en nuestro caso la sequía.

Para la recuperación se realizó también un gráfico de caja y bigotes para las dos especies de interés *Cedrus deodara* (figura 45) y *Cedrus atlantica* (figura 46), donde se compara entre arboles regados y no regados para observar si hay diferencias significativas.

En ambos casos (*C. deodara* y *C. atlantica*), los individuos regados mostraron una menor recuperación relativa del crecimiento que los árboles no regados, es decir, su recuperación frente a la sequía fue relativamente inferior (Figura 45 y 46).

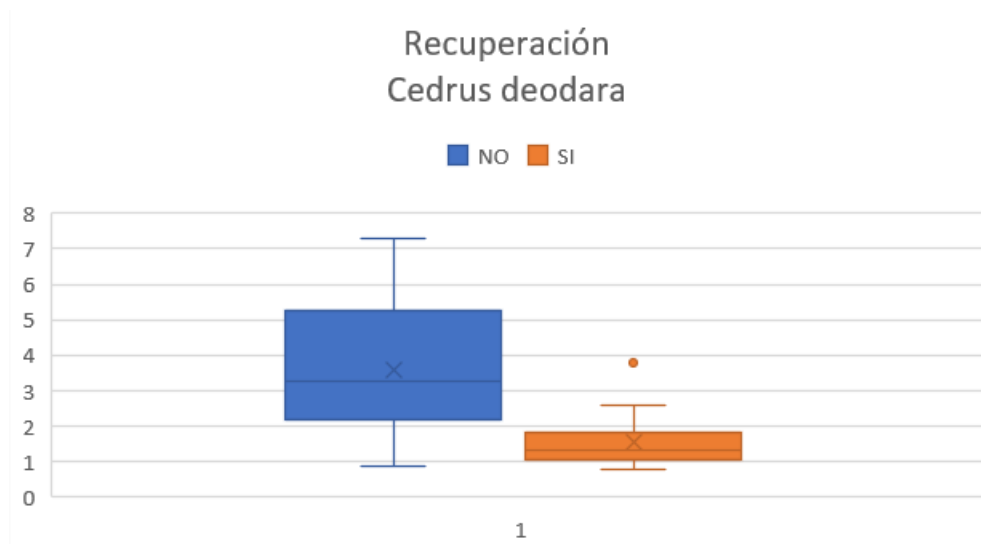


Figura 45: Gráfico de recuperación de caja y bigotes de *Cedrus deodara* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

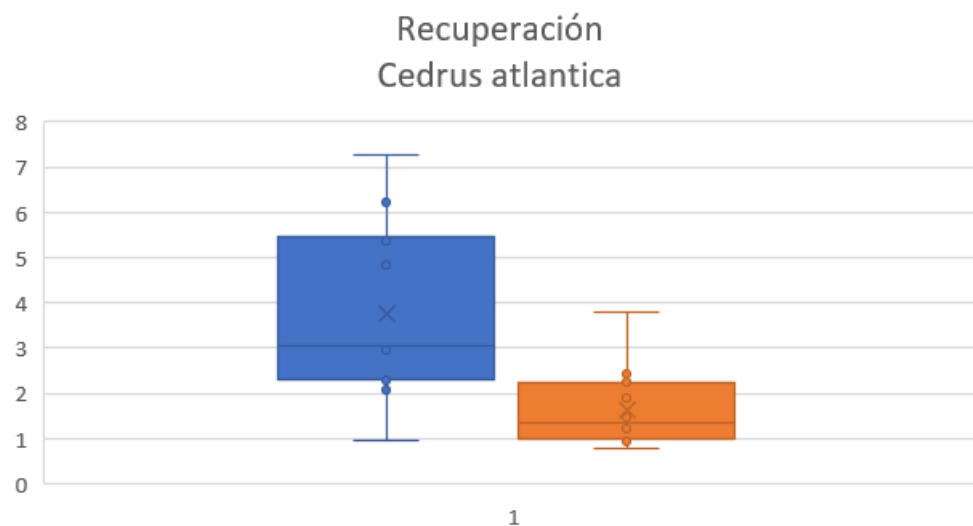


Figura 46: Gráfico de recuperación de caja y bigotes de *Cedrus atlantica* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

### 5.2.3 Resiliencia

La resiliencia es la capacidad de un árbol a mantener su estado natural antes y después de la incidencia de un agente externo, como hemos dicho según la sequía.

A continuación, se muestran los gráficos de caja y bigotes de nuestras dos especies según estén los árboles regados o no regados (Figura 47 y 48).

En ambas especies, la resiliencia fue similar en individuos regados y no regados.

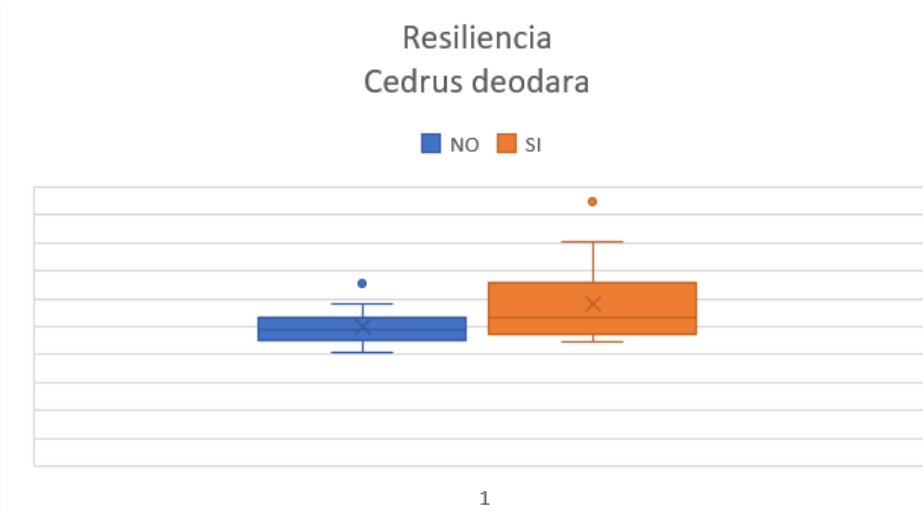


Figura 47: Gráfico de resiliencia de caja y bigotes de *Cedrus deodara* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

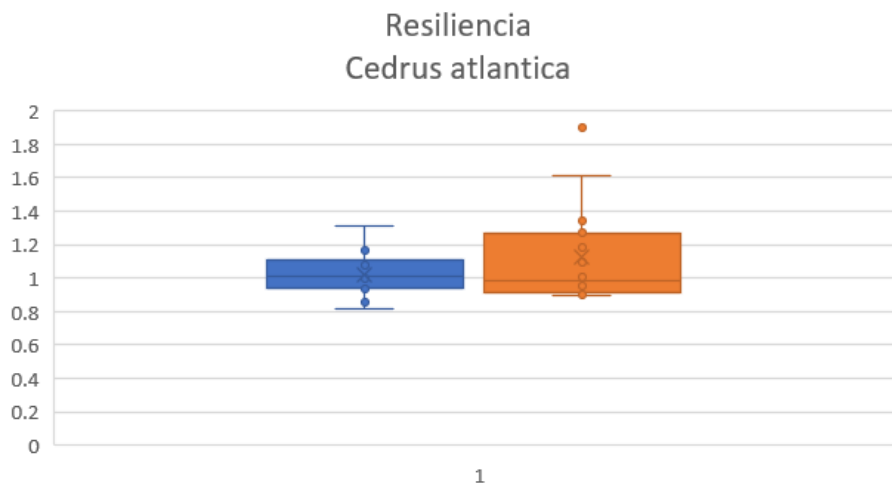


Figura 48: Gráfico de resiliencia de caja y bigotes de *Cedrus atlantica* para árboles regados (naranja) y árboles no regados (azul)

## 5.4 DENDROCLIMATOLOGÍA DEL ARBOLADO

A continuación, se muestra los análisis de relación entre el crecimiento y la precipitación, temperatura, balance hídrico y SPEI, para los árboles regados y no regados, para así observar si existe una contribución significativa.



Para que las diferencias sean significativas la  $p < 0.05$ , por lo que cuanto más pequeña sea la “p” más significativas son las diferencias. Las gráficas se interpretan de igual manera tanto para los árboles regados, como para los no regados.

### 5.4.1 Precipitación

A partir de los datos de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara* se ha podido obtener unas graficas tanto para las arboles regados como para los no regados de la influencia de la precipitación en cada mes, realizando su media.

Primero vamos a observar la gráfica de influencia de precipitación de los árboles regados (Figura 49).

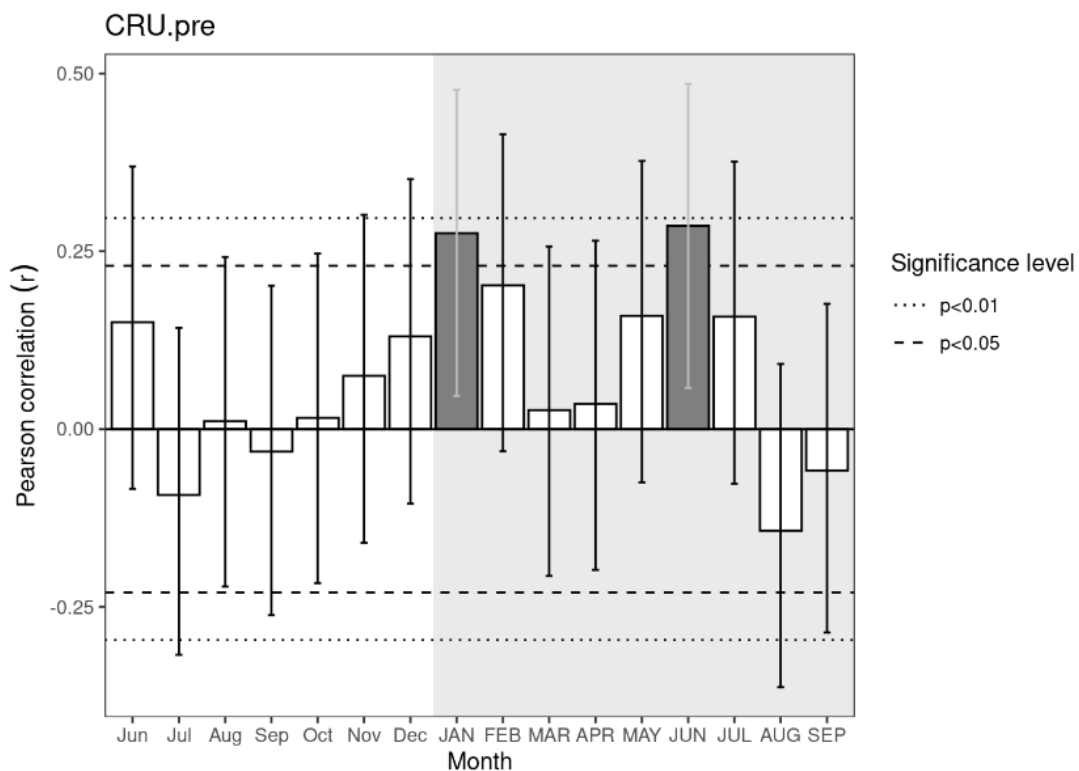


Figura 49: Gráfica de la influencia de la media de precipitación de los meses del año de todos los árboles regados

El crecimiento de los individuos de *C. atlantica* regados está positiva y significativamente influido por las precipitaciones de enero y junio

La gráfica de los árboles no regados presenta diferencias respecto a la gráfica de los árboles no regados. (Figura 50)

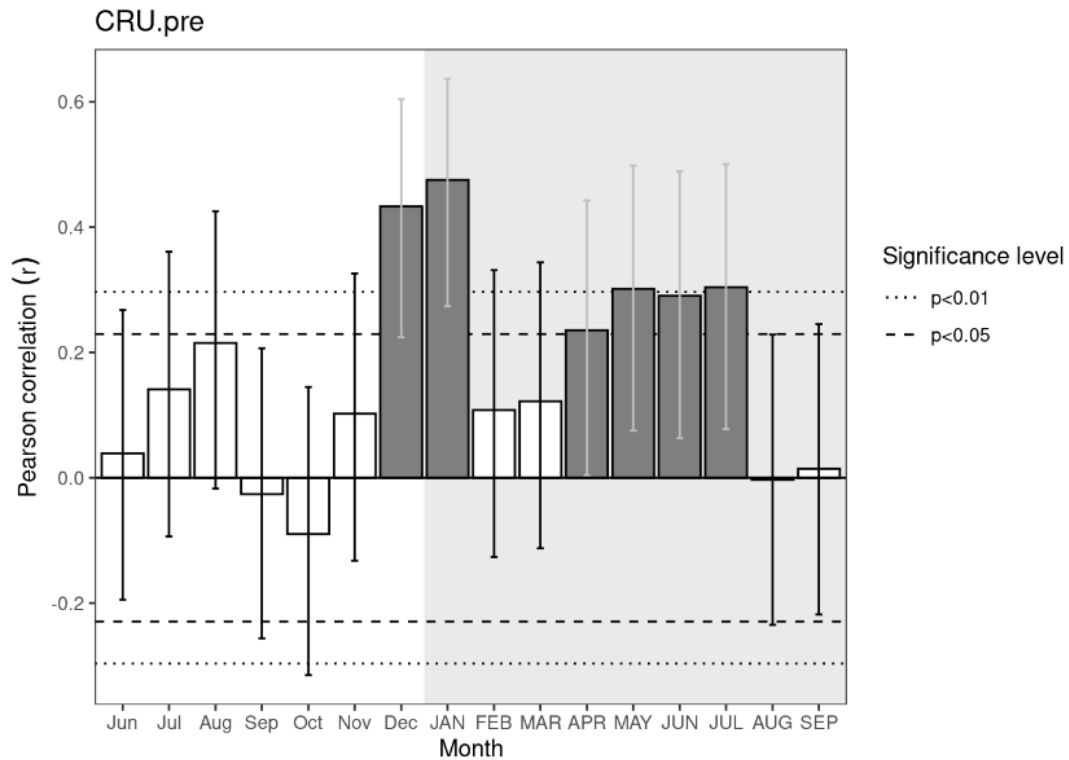


Figura 50: Gráfica de la influencia de la media de precipitación de los meses del año de todos los árboles no regados

En la gráfica podemos apreciar la importancia de las precipitaciones en invierno y la primavera. Se aprecia que para los dos meses siguientes a enero las diferencias no son significativas (para febrero y marzo).

#### 5.4.2 Temperatura media

A partir de los datos de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara* podemos observar la siguiente grafica de temperatura media de los árboles regados (Figura 51).

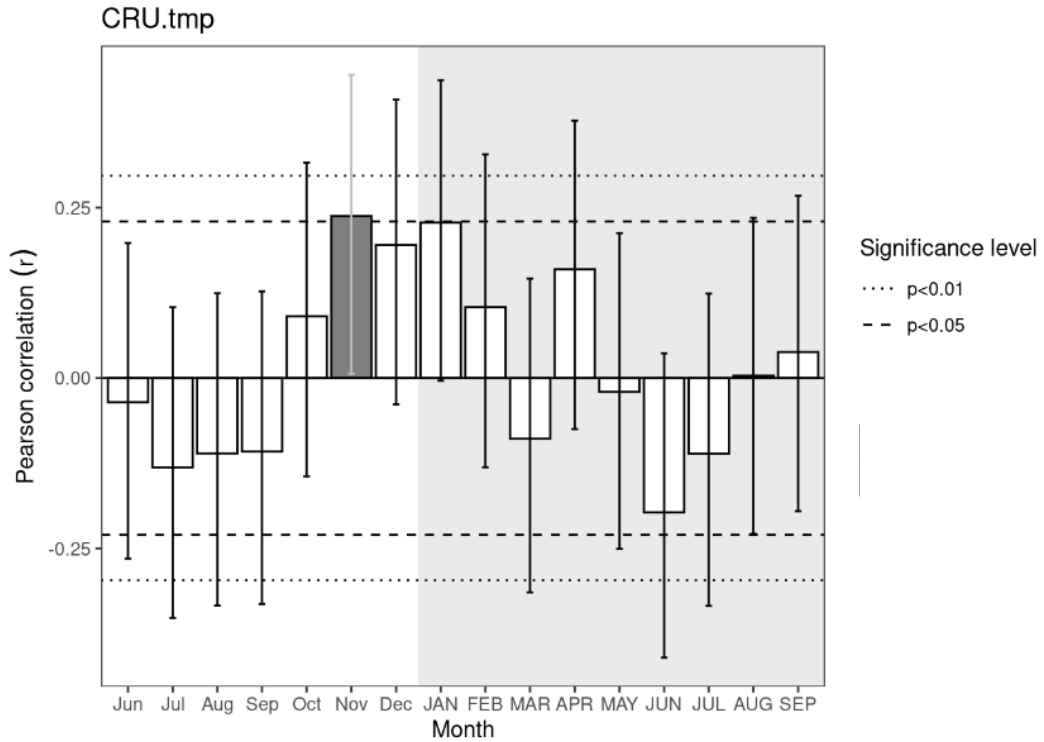


Figura 51: Gráfica de la influencia de la temperatura media de los meses del año de todos los árboles regados

El crecimiento de los individuos de *C. atlantica* regados está únicamente influido positiva y significativamente por las precipitaciones de noviembre del año previo al crecimiento.

Para los árboles no regados podemos observar diferentes cambios en los meses de la gráfica. (Figura 52)

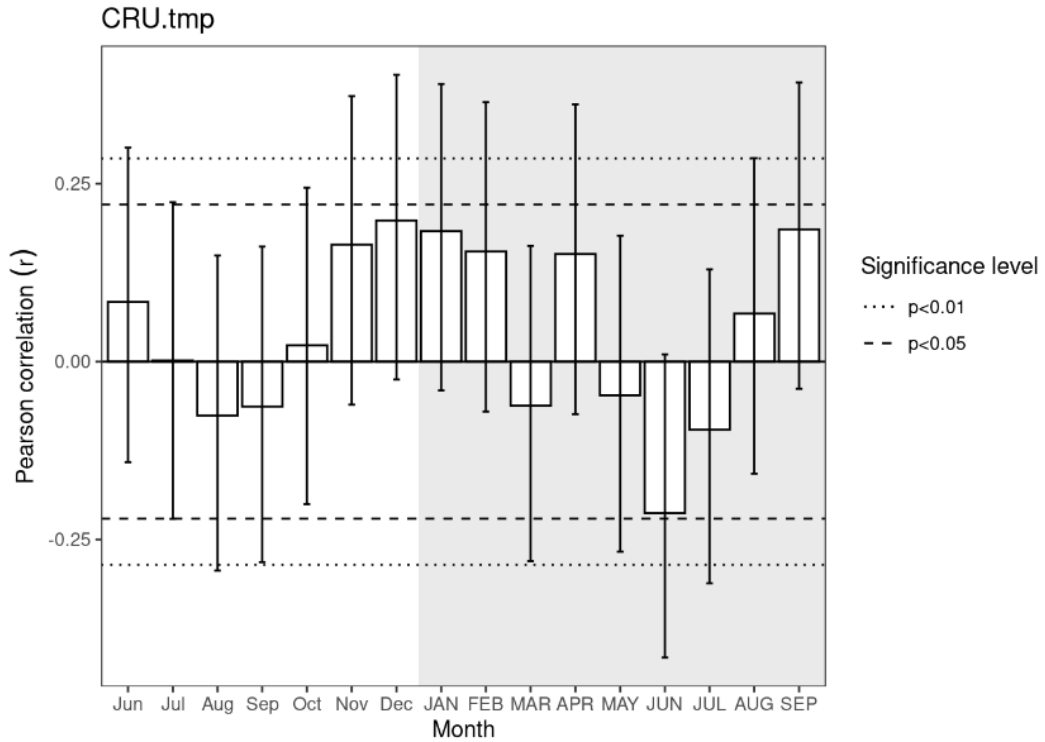


Figura 52: Gráfica de la influencia de la temperatura media de los meses del año de todos los árboles no regados

Se puede apreciar que no presenta ninguna relación significativa en ningún mes con el crecimiento de *C.atlantica*

### 5.4.3 Blance hídrico

A partir de los datos de *Cedrus atlantica* y *Cedrus deodara* podemos observar la siguiente grafica de temperatura media de los árboles regados (Figura 53).

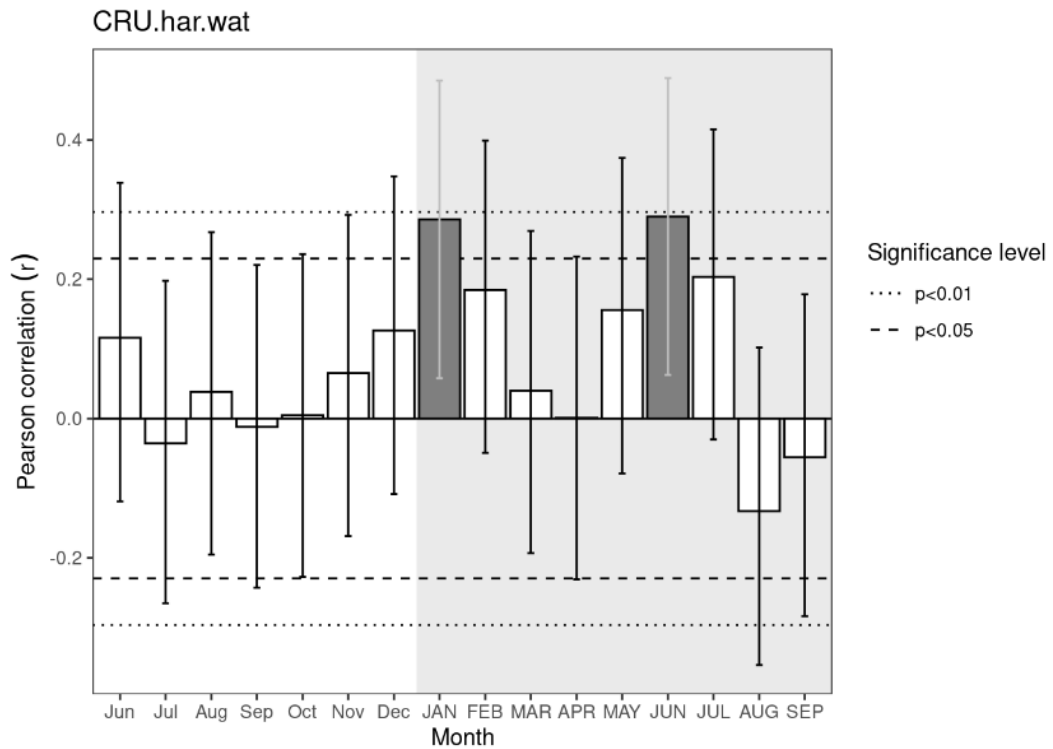


Figura 53: Gráfica de la influencia del balance hídrico de los meses del año de todos los árboles regados

El balance hídrico muestra las diferencias entre la precipitación y la Evapotranspiración Potencial. Al igual que las precipitaciones, el balance hídrico muestra una relación positiva y significativa con el crecimiento para los meses de enero y junio. Es decir, las lluvias de enero y junio son las que más favorecen al crecimiento de este tipo de árboles.

Sin embargo, en la gráfica de los árboles no regados observamos una serie de diferencias (Figura 54)

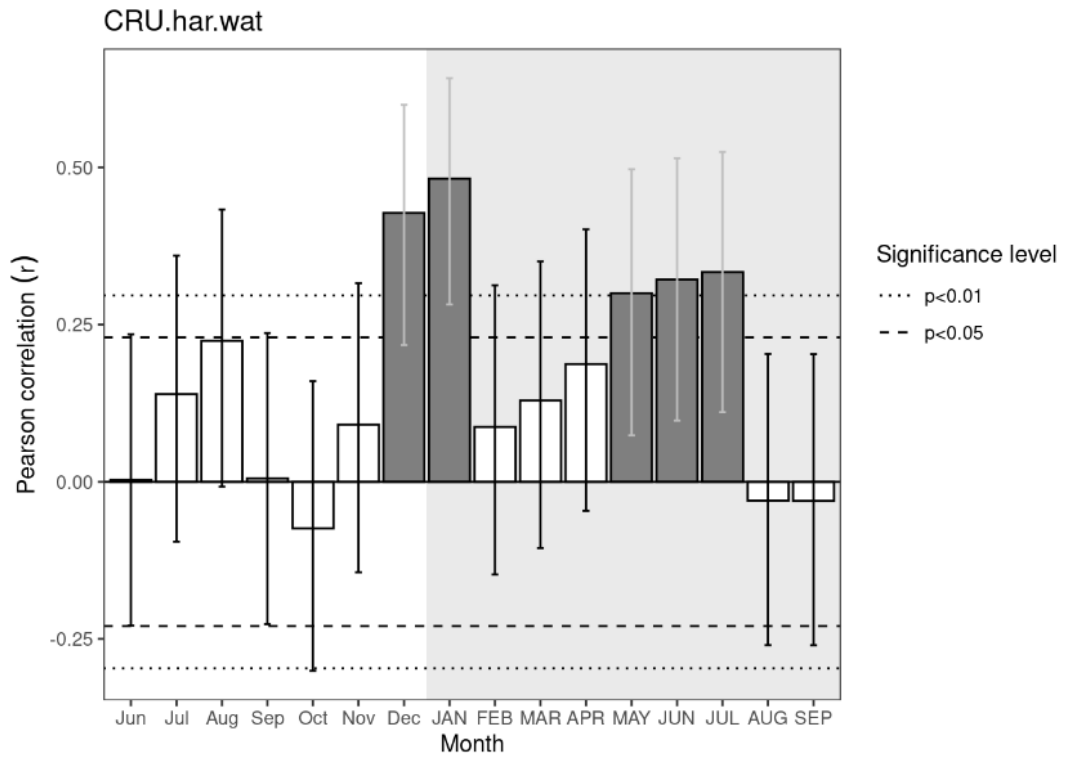


Figura 54: Gráfica de la influencia del balance hídrico de los meses del año de todos los árboles no regados

Apreciamos que el balance hídrico en los meses de diciembre enero mayo junio y julio presenta diferencias significativas.

#### 5.4.4 SPEI

El SPEI es un índice de sequía multiescalar. Valores positivos indican condiciones más frescas y húmedas, y valores negativos altas temperaturas y sequía.

A continuación, se muestra la relación entre el SPEI y el crecimiento para los árboles regados. (Figura 55)

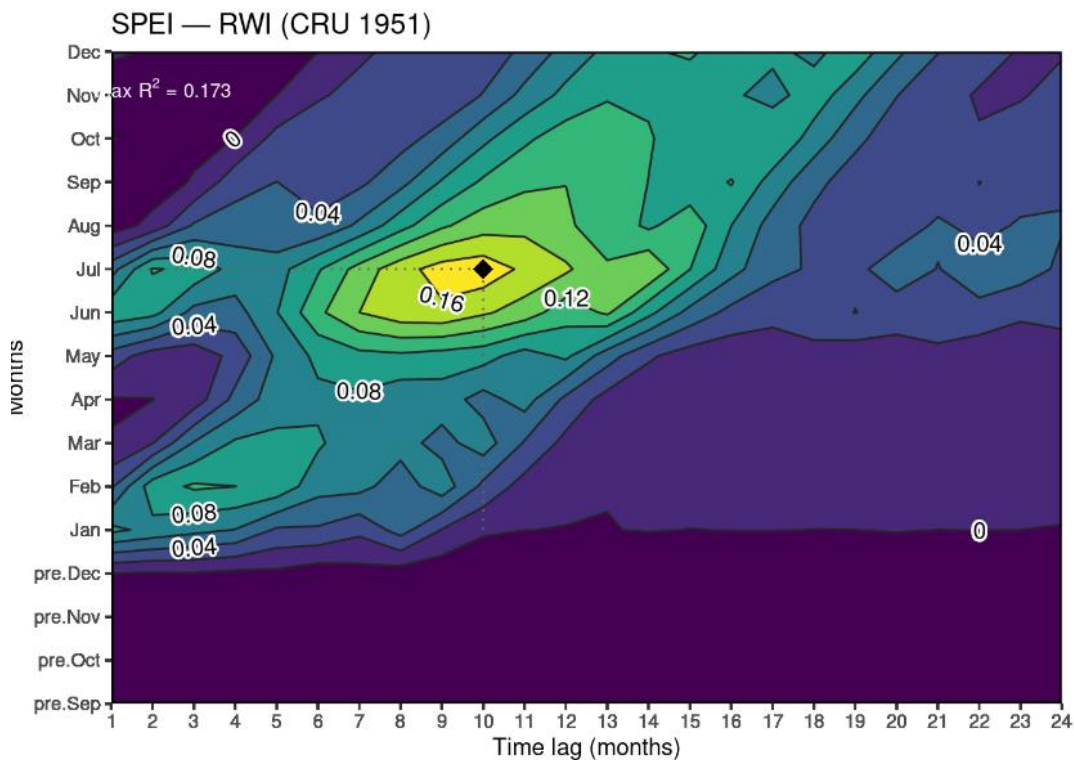


Figura 55: Relación entre el SPEI y el crecimiento para los árboles regados

El SPEI que mejor se relaciona con el crecimiento es el del mes de julio con una escala temporal de 10 meses, aunque la correlación no es muy alta ( $R^2=0,173$ )

El SPEI para los árboles no regados presenta diferencias respecto a los árboles regados (Figura 56)

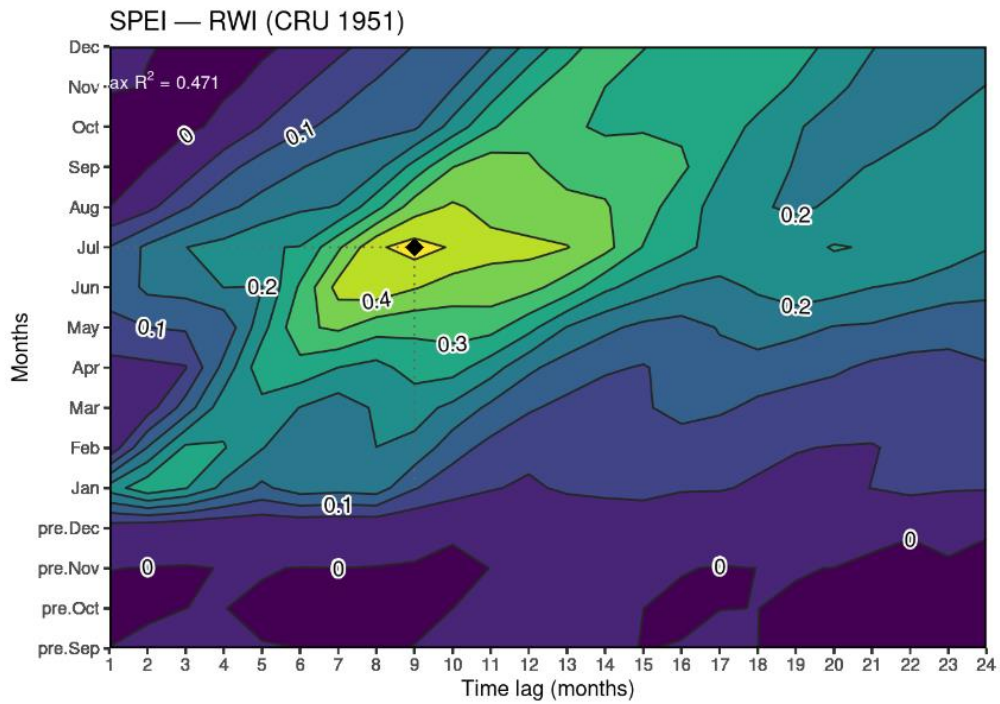


Figura 56: Relación entre el SPEI y el crecimiento para los árboles no regados

El SPEI que mejor se relaciona con el crecimiento es el del mes de julio, igual que el de los árboles regados, sin embargo, la correlación cambia, ( $R^2=0.471$ ) presentado una correlación mucho mayor que la de los árboles regados.



## **6.DISCUSIÓN**



## 6. DISCUSIÓN

La edad que presenta los individuos de *Cedrus* sp. en la ciudad de Soria es de hasta unos 80 años como máximo, estas edades son menores de las que podemos encontrar de forma natural para un mismo tamaño. Sin embargo, al tratarse de árboles urbanos es una cifra mayor de la que se esperaba inicialmente. La edad media que se encuentra un árbol en un entorno urbano es entre 19 y 28 años (Lara A. Roman et al., 2011).

Los árboles que están regados crecen más que los árboles no regados. Los regados reducen menos su crecimiento en el año de sequía, gracias al aporte de agua artificial del riego. Respecto a la resiliencia entre árboles regados y no regados no hay grandes diferencias entre ambos, presentan una resiliencia similar, aunque con diferencias estratégicas. Los árboles regados, presentan además una mejor resistencia a la sequía, pero una peor recuperación. Sin embargo, los árboles no regados sufren más durante las sequías, su resistencia es peor que la de los regados, pero su recuperación es mucho mejor. El comportamiento de los árboles no regados frente a la sequía en ambientes urbanos, es similar a las que encontramos en condiciones naturales. Frente a las sequías existe una reducción de la superficie foliar y el cierre de estomas (Simona Altieri., et al. 2023).

Los árboles regados son más grandes que los no regados para la misma edad, proporcionando así más servicios a la sociedad como la mejora de la calidad del aire, realizando una mayor absorción de los contaminantes y proporcionando mayor cantidad de oxígeno (Nowak & Dwyer et al. 2007) o realizando una mejor regulación del clima, reduciendo el efecto isla del calor y proporcionando una mayor mitigación del cambio climático (Davies, G. M., et al. 2007). Sin embargo, el riego no determina una mayor resiliencia.

El mayor tamaño de los árboles regados también les hace más vulnerables a las sequías. Los árboles regados al estar durante toda su vida obteniendo gran cantidad de agua son muy vulnerables si se elimina el riego, además estos árboles se desarrollan de forma asimétrica, crecen mucho su copa, pero el sistema radicular se desarrolla poco. Además, un exceso de agua puede aumentar un mayor riesgo de enfermedades, como la aparición de ciertas enfermedades fúngicas (Anderegg, et al. 2015). El problema de la alta vulnerabilidad es de suma importancia ya que el aumento del cambio climático a lo largo de los años, podría producir la eliminación del riego o la reducción de su uso, que estará destinado para otros fines.

Además, los árboles no regados son más sensibles al clima que los regados. Los árboles regados muestran una menor influencia del clima por el aporte artificial de agua durante el verano. Hay que tener en cuenta también, que los árboles de *Cedrus* sp. no regados son muy sensibles a los cambios de precipitaciones como se puede apreciar en la figura 50 del apartado 5.4.1, donde la influencia de las precipitaciones es elevada. Esta influencia de las precipitaciones, especialmente las acumuladas durante el invierno y la primavera, también se han observado en las poblaciones naturales del norte de Marruecos (Camarero et al. 2021; Linares et al. 2013)

Otro punto de importancia, además de reducir el riego en el arbolado urbano, se necesita buscar una alternativa para que los árboles puedan crecer en lugares urbanos, donde su espacio de supervivencia está limitado, ya que el suelo de las ciudades es un suelo pobre y con gran pavimentación, por ello una de las alternativas que se podrían realizar es la disminución de pavimentación en lugares donde se realice la plantación del arbolado, para favorecer así el desarrollo correcto de los árboles, esto formaría parte de otro proyecto de investigación.

Este estudio ha sido de suma importancia para determinar y observar cómo actúan los árboles dependiendo de si están regados o no regados, además de ver su comportamiento con diferentes cambios en el clima, como la sequía y las precipitaciones.

## **7.CONCLUSIÓN**



## 7. CONCLUSIÓN

Este estudio se inició en consecuencia a la importancia de determinar el desarrollo de mejor manera de los árboles en un contexto urbano dependiendo del riego, que es un recurso que cada vez es más limitado y por ello tiene que destinarse a otro tipo de servicios, y dependiendo del clima, que cada vez está cambiando más produciéndose eventos meteorológicos que inciden de manera perjudicial a los árboles, como es la sequía, que cada vez es más frecuente.

Por ello el objetivo de determinar una alternativa ante el uso o no del riego para los árboles se ha podido determinar gracias al proceso de investigación realizado en este proyecto de investigación.

Los árboles que están regados, hemos podido comprobar que realizan un crecimiento rápido, proporcionándonos diversos intereses, sin embargo, hemos observado que son más vulnerables que los árboles no regados ante la escasez de agua y el cambio climático, que es un problema a largo plazo, por ello la solución que se debería tomar es reducir el riego en el arbolado urbano para así poder mantener el arbolado urbano a largo plazo.

No obstante, es importante, seguir con la labor de investigación sobre la influencia del cambio climático sobre el arbolado urbano, ya que los árboles en la ciudad son esenciales para una buena calidad de vida, además de sus numerosos beneficios ya mencionados en el apartado 2.1.

## **AGRADECIMIENTOS**

Este TFG se ha realizado en el marco del proyecto RESISTE (CNS2022-135319) financiado por el MCIU/AEI/ 10.13039/501100011033 y “European Union NextGenerationEU/PRTR”



## **8.REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS**



## 8. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abdelaziz Tazi et al. (2016). Air pollution tolerance of *Cedrus atlantica* in Marrakech, Morocco. ([https://www.researchgate.net/publication/233217904\\_Analysis\\_of\\_Moroccan\\_Atlas\\_Cedarwood\\_Oil\\_Cedrus\\_atlantica\\_Manetti](https://www.researchgate.net/publication/233217904_Analysis_of_Moroccan_Atlas_Cedarwood_Oil_Cedrus_atlantica_Manetti))

Aguirre-Salazar, O., Vargas-Ríos, M. A., & García-Ávalos, I. (2017). Beneficios del arbolado urbano. (<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.3109/17435390.2013.855831>)

Aguirre-Salazar, O., Vargas-Ríos, M. A., & García-Ávalos, I. (2017). Beneficios del arbolado urbano: una revisión de la literature.

Anderegg, W. R. L., et al. (2015). Hydraulic decline and mortality in managed forests. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 112(42), 13776-13782. [https://pubs.aip.org/aip/pof/article-pdf/doi/10.1063/5.0191814/19707839/032107\\_1\\_5.0191814.pdf](https://pubs.aip.org/aip/pof/article-pdf/doi/10.1063/5.0191814/19707839/032107_1_5.0191814.pdf)

Camarero, J.J., Sánchez-Salguero, R., Sangüesa-Barreda, G., Lechuga, V., Viñeola, B., Seco, J.I., Taïqui, L., Carreira, J.A., Linares, J.C., 2021. Drought, axe and goats. More variable and synchronized growth forecasts worsening dieback in Moroccan Atlas cedar forests. *Sci. Total Environ.* 765, 142752. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142752>

Davies, G. M., et al. (2007). The role of urban trees in reducing the effects of heat islands. *Journal of Arboriculture & Urban Forestry*, 33(4), 445-456. ([https://www.researchgate.net/publication/356614276\\_The\\_role\\_of\\_tree\\_landscape\\_to\\_reduce\\_effects\\_of\\_urban\\_heat\\_islands\\_a\\_study\\_in\\_two\\_Brazilian\\_cities](https://www.researchgate.net/publication/356614276_The_role_of_tree_landscape_to_reduce_effects_of_urban_heat_islands_a_study_in_two_Brazilian_cities))

DJ Nowak ., et al. (2002). The effects of urban trees on air quality [http://groundworkdenver.net/devs/Trees\\_airquality.pdf](http://groundworkdenver.net/devs/Trees_airquality.pdf)

E Frohmann., et al. (2020). Trees in the city – Perception and aesthetic expression

Escobedo, F. J., & Solecki, B. (2011). El papel del arbolado urbano en la mitigación del efecto isla de calor: Un estudio de caso en Barcelona, España (<https://www.redalyc.org/journal/370/37062293022/37062293022.pdf>)

Fatima Zahra El Aoumari et al. (2020). *Cedrus atlantica*: A promising tree species for urban forestry in Morocco. (<https://link.springer.com/article/10.1007/s001070050377>)

Forests, Trees and Human Health and Well-being: Introduction Kjell Nilsson 2010 [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9806-1\\_1](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-90-481-9806-1_1)

Francis, C. M., et al. (2012). Urban biodiversity: Ecosystem structure, function and services. *Progress in Physical Geography*, 36(4), 448-469. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0269749111000960>

Francisco Lloret, Eric G. Keeling, Anna Sala., 2011 Components of tree resilience: effects of successive low-growth episodes in old ponderosa pine forests. <https://nsojournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1600-0706.2011.19372.x>

García-Ávalos, I., & Rigueiro-Rodríguez, A. (2009). Selección de especies arbóreas para el arbolado urbano en clima mediterráneo: El caso de la ciudad de Murcia, España.

García-Ávalos, I., Cortazar-Hernández, J. A., & Aguirre-Salazar, O. (2015). Impacto del arbolado urbano en la calidad del aire y la salud pública: Un estudio de caso en la ciudad de Monterrey, México

García-Ávalos, I., Cortazar-Hernández, J. A., & Aguirre-Salazar, O. (2015). Impacto del efecto isla de calor urbano en la calidad del aire y la salud pública: Un estudio de caso en la ciudad de Monterrey, México. (<https://www.redalyc.org/pdf/2033/203332667024.pdf>)

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786508000350>

Ian Harris, Timothy J. Osborn, Phil Jones & David Lister . 2020) Version 4 of the CRU TS monthly high-resolution gridded multivariate climate dataset. <https://www.nature.com/articles/s41597-020-0453-3>

J.S Dan., et al. (1998). Chronometric Dating in Archaeology. [https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-9694-0\\_2](https://link.springer.com/chapter/10.1007/978-1-4757-9694-0_2)

Koji Tamai., et al. (2020). The evaluation of forest functions of flood control and water resources conservation <https://www.witpress.com/elibrary/EI-volumes/3/4/2726>

Konnis, G., et al. (2004). Urban tree design and noise reduction. *Journal of Arboriculture and Urban Forestry*, 30(4), 245-252. <https://joa.isa-arbor.com/>

Lara A. Roman., et al. (2011). Street tree survival rates: Meta-analysis of previous studies and application to a field survey in Philadelphia, PA, USA. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1618866711000422>

Linares, J.C., Taïqui, L., Sangüesa-Barreda, G., Seco, J.I., Camarero, J.J., 2013. Age-related drought sensitivity of Atlas cedar (*Cedrus atlantica*) in the Moroccan Middle Atlas forests. *Dendrochronologia* 31, 88–96. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2012.08.003>

Miguel García-Hidalgo, Ángel García-Pedrero, Daniel Colón, Gabriel Sangüesa-Barreda, Ana I. García-Cervigón, Juan López-Molina, Héctor Hernández-Alonso, Vicente Rozas, José Miguel Olano, Víctor Alonso-Gómez ., 2022. CaptuRING: A do-it-yourself tool for wood sample digitization. <https://besjournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1111/2041-210X.13847>

Mohammed Bouhia et al. (2018). Evaluation of *Cedrus atlantica* for urban forestry in Rabat, Morocco ([https://www.researchgate.net/publication/233217904\\_Analysis\\_of\\_Moroccan\\_Atlas\\_Cedarwood\\_Oil\\_Cedrus\\_atlantica\\_Manetti](https://www.researchgate.net/publication/233217904_Analysis_of_Moroccan_Atlas_Cedarwood_Oil_Cedrus_atlantica_Manetti))

Muhammad Iqbal et al. (2018). *Cedrus deodara*: A promising tree species for urban forestry in Pakistan. (<https://www.sciencedirect.com/topics/agricultural-and-biological-sciences/cedrus-deodara>)

Muhammad Zubair et al. (2017) Evaluation of *Cedrus deodara* for urban forestry in Lahore, Pakistan. ([https://www.researchgate.net/publication/373254725\\_Cedrus\\_deodara\\_Roxb\\_a\\_review\\_on\\_the\\_recent\\_update\\_on\\_its\\_pharmacological\\_and\\_phytochemical\\_profile](https://www.researchgate.net/publication/373254725_Cedrus_deodara_Roxb_a_review_on_the_recent_update_on_its_pharmacological_and_phytochemical_profile))

Nowak, D. J., & Dwyer, J. F. (2007). Assessing the environmental impact of urban trees and greenspaces. *Environmental Management*, 32(4), 395-402. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1352231022003405>)

Oliva-Olivares, J. M., & Azcarate-Aguirre, M. (2008). Selección de especies arbóreas para el arbolado urbano en climas áridos y semiáridos. ([https://www.researchgate.net/publication/233217904\\_Analysis\\_of\\_Moroccan\\_Atlas\\_Cedarwood\\_Oil\\_Cedrus\\_atlantica\\_Manetti](https://www.researchgate.net/publication/233217904_Analysis_of_Moroccan_Atlas_Cedarwood_Oil_Cedrus_atlantica_Manetti))

Promoting health and well-being: A systematic review and meta-analysis. *Environmental Health Perspectives*, 122(6), 396-404.

Sancho, A. I., et al. (2011). El efecto isla de calor urbano y sus consecuencias en la salud pública. ([http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0188-49992019000200421](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0188-49992019000200421))

Shazia Iqbal et al. (2016). Air pollution tolerance of *Cedrus deodara* in Lahore, Pakistan. ([https://www.researchgate.net/publication/373254725\\_Cedrus\\_deodara\\_Roxb\\_a\\_review\\_on\\_the\\_recent\\_update\\_on\\_its\\_pharmacological\\_and\\_phytochemical\\_profile](https://www.researchgate.net/publication/373254725_Cedrus_deodara_Roxb_a_review_on_the_recent_update_on_its_pharmacological_and_phytochemical_profile))

Simona Altieri., et al. (2023).Influence of drought and minimum temperature on tree growth and water use efficiency of Mediterranean species.  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786523001121>

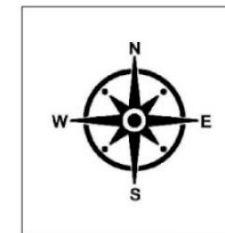
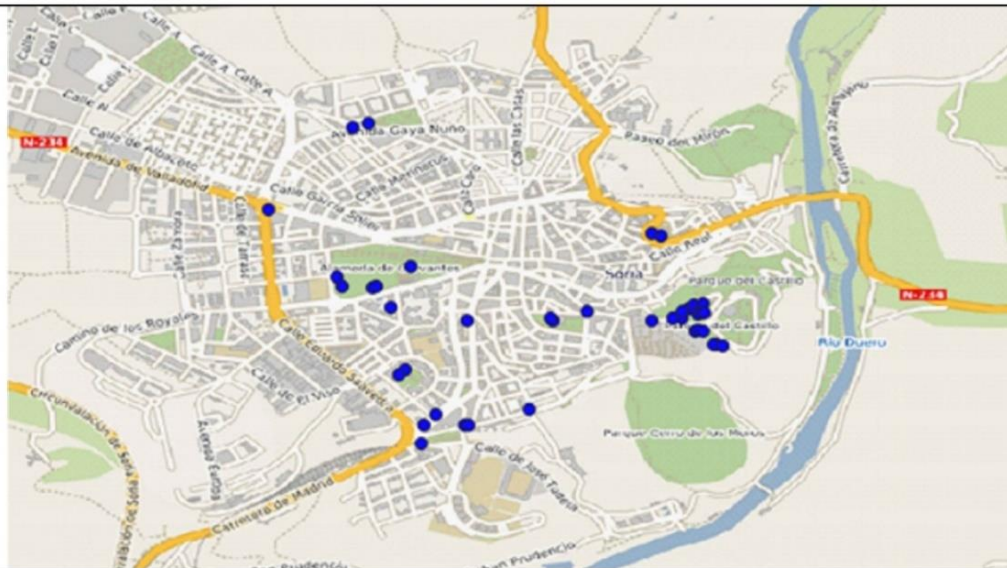
Simona Arteri., et al. (2023).Tree responses to drought.<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1125786523001121>



Speer, J.H., 2012. Fundamentals of tree-Ring Research.

Tognetti, S., et al. (2021). Adaptación de árboles urbanos a condiciones climáticas extremas

Vargas-Ríos, M. A., et al. (2015). Impacto del cambio climático en el arbolado urbano y estrategias de adaptación (<https://www.redalyc.org/pdf/4498/449844866006.pdf>)

## 9. PLANOS



|                                                                                                                                                 |  |                                                                                                                          |                               |                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                            |  | <b>U.V.A. E.I. FORESTAL, AGRONÓMICA Y DE LA BIOENERGÍA</b><br><b>GRADO EN INGENIERÍA FORESTAL: INDUSTRIAS FORESTALES</b> |                               |  |
|                                                                                                                                                 |  | <b>PROMOTOR:</b> MIGUEL ERDOZÁIN DE BLAS                                                                                 |                               |                                                                                       |
| <b>TÍTULO: ANÁLISIS DE LA RESPUESTA DEL CRECIMIENTO RADIAL A LOS CAMBIOS EN EL RIEGO Y EL CLIMA EN EL ARBOLADO URBANO DE LA CIUDAD DE SORIA</b> |  |                                                                                                                          |                               |                                                                                       |
| <b>LOCALIZACIÓN:</b> SORIA (ESPAÑA)                                                                                                             |  |                                                                                                                          | <b>ESCALA:</b> VARIAS ESCALAS |                                                                                       |
| <b>FECHA:</b> 14/07/2024<br><b>FIRMA:</b>                                                                                                       |  | <b>DENOMINACIÓN:</b> MAPAS DE LOCALIZACIÓN                                                                               |                               | <b>PLANO Nº:</b> 1                                                                    |
| <b>ALUMNO:</b> MIGUEL ERDOZÁIN DE BLAS                                                                                                          |  |                                                                                                                          |                               |                                                                                       |

**LEYENDA**

- CEDRUS ATLANTICA
- CEDRUS DEODARA



## **10.ANEXOS**



## 10. ANEXOS

### 10.1 Anexo I: Tabla de datos del arbolado urbano

Tabla 2: Datos generales arbolado urbano

| Identificador | Especie    | Diametro_T | Altura_Tot | Fecha_GPS  | Hora_GPS   | Altura_GNS | Latitud    | Longitud    | CodigoEsp | RIEGO |
|---------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|-----------|-------|
| SOCT01        | Cdeodara   | 68         | 14.5       | 05/02/2024 | 10:29:33am | 1050.602   | 41.7570273 | -2.47028982 | CEDE      | NO    |
| SOCT02        | Cdeodara   | 67.5       | 14.6       | 05/02/2024 | 10:45:23am | 1046.412   | 41.7570132 | -2.47012196 | CEDE      | NO    |
| SOCT03        | Cdeodara   | 53         | 13.7       | 05/02/2024 | 11:00:18am | 1052.68    | 41.7562544 | -2.47214983 | CEDE      | SI    |
| SOCT04        | Catlantica | 89.5       | 22.9       | 05/02/2024 | 11:35:58am | 1057.425   | 41.7570358 | -2.47207026 | CEAT      | SI    |
| SOCT05        | Catlantica | 53.7       | 18.2       | 05/02/2024 | 11:46:31am | 1055.662   | 41.7574713 | -2.47153901 | CEAT      | SI    |
| SOCT06        | Cdeodara   | 58.5       | 12.7       | 05/02/2024 | 12:31:30pm | 1031.613   | 41.7577217 | -2.46747633 | CEDE      | SI    |
| SOCT07        | Catlantica | 53.7       | 20.2       | 05/02/2024 | 01:06:05pm | 1050.578   | 41.761549  | -2.47019119 | CEAT      | SI    |
| SOCT08        | Catlantica | 33.5       | 15         | 05/02/2024 | 01:20:05pm | 1068.955   | 41.7594296 | -2.47282899 | CEAT      | SI    |
| SOCT09        | Catlantica | 38.2       | 14.8       | 05/02/2024 | 01:27:39pm | 1068.991   | 41.7591857 | -2.47315459 | CEAT      | SI    |
| SOCT10        | Cdeodara   | 82.2       | 22.3       | 05/02/2024 | 02:02:42pm | 1072.44    | 41.7621357 | -2.47348037 | CEDE      | SI    |
| SOCT11        | Cdeodara   | 63.1       | 12.6       | 05/02/2024 | 02:27:16pm | 1078.202   | 41.766329  | -2.47877753 | CEDE      | SI    |
| SOCT12        | Catlantica | 51.1       | 20.5       | 06/02/2024 | 10:55:40am | 1095.857   | 41.761812  | -2.46018319 | CEAT      | NO    |
| SOCT13        | Cdeodara   | 47.6       | 18.1       | 06/02/2024 | 10:57:22am | 1090.124   | 41.7618848 | -2.46004196 | CEDE      | NO    |
| SOCT14        | Cdeodara   | 50.5       | 20.2       | 06/02/2024 | 11:06:46am | 1088.492   | 41.7618997 | -2.45991269 | CEDE      | NO    |
| SOCT15        | Catlantica | 34.8       | 12.6       | 06/02/2024 | 11:14:05am | 1087.126   | 41.7616731 | -2.46090454 | CEAT      | NO    |
| SOCT16        | Catlantica | 41.9       | 15.1       | 06/02/2024 | 11:31:16am | 1079.776   | 41.7616383 | -2.46127208 | CEAT      | NO    |
| SOCT17        | Catlantica | 39.9       | 15.7       | 06/02/2024 | 11:39:23am | 1083.846   | 41.7619155 | -2.46087439 | CEAT      | NO    |
| SOCT18        | Catlantica | 44         | 12.5       | 06/02/2024 | 11:48:27am | 1075.005   | 41.7615354 | -2.46216384 | CEAT      | NO    |
| SOCT19        | Catlantica | 57.6       | 21.4       | 06/02/2024 | 12:02:40pm | 1071.204   | 41.761954  | -2.46497717 | CEAT      | SI    |
| SOCT20        | Catlantica | 47.7       | 17.3       | 06/02/2024 | 12:30:07pm | 1079.467   | 41.7615344 | -2.46644435 | CEAT      | SI    |
| SOCT21        | Cdeodara   | 42.2       | 14.6       | 06/02/2024 | 12:39:08pm | 1079.465   | 41.7616442 | -2.46655645 | CEDE      | SI    |
| SOCT22        | Catlantica | 39.1       | 11.5       | 06/02/2024 | 01:22:52pm | 1094.158   | 41.7610823 | -2.46028671 | CEAT      | NO    |
| SOCT23        | Catlantica | 40.6       | 13.4       | 06/02/2024 | 01:24:22pm | 1093.847   | 41.7611514 | -2.46018682 | CEAT      | NO    |
| SOCT24        | Catlantica | 43.6       | 15.2       | 06/02/2024 | 01:26:25pm | 1088.488   | 41.7610727 | -2.45994457 | CEAT      | NO    |
| SOCT25        | Catlantica | 33.4       | 9.06       | 06/02/2024 | 01:38:40pm | 1093.432   | 41.760531  | -2.45940244 | CEAT      | NO    |
| SOCT26        | Catlantica | 29.2       | 13.9       | 06/02/2024 | 01:39:59pm | 1093.871   | 41.7605283 | -2.45953464 | CEAT      | NO    |
| SOCT27        | Catlantica | 36.1       | 11         | 06/02/2024 | 01:41:53pm | 1094.384   | 41.7604734 | -2.45912606 | CEAT      | NO    |
| SOCT28        | Catlantica | 62.2       | 21.5       | 12/02/2024 | 11:04:35am | 1037.28    | 41.7651835 | -2.46177112 | CEAT      | SI    |
| SOCT29        | Catlantica | 71         | 20.1       | 12/02/2024 | 11:09:11am | 1044.275   | 41.7652866 | -2.46218547 | CEAT      | SI    |
| SOCT30        | Cdeodara   | 66.7       | 14.8       | 12/02/2024 | 11:56:41am | 1079.263   | 41.7698988 | -2.47516327 | CEDE      | NO    |
| SOCT31        | Cdeodara   | 57.4       | 12.6       | 12/02/2024 | 12:03:37pm | 1080.166   | 41.7701028 | -2.47447862 | CEDE      | SI    |
| SOCT32        | Cdeodara   | 58.7       | 18.8       | 12/02/2024 | 12:37:35pm | 1068.063   | 41.7630399 | -2.47560118 | CEDE      | SI    |
| SOCT33        | Catlantica | 51.6       | 17.7       | 12/02/2024 | 12:56:21pm | 1074.508   | 41.7634079 | -2.47584577 | CEAT      | SI    |
| SOCT34        | Cdeodara   | 58.1       | 19.8       | 12/02/2024 | 01:06:19pm | 1075.699   | 41.7629428 | -2.47430647 | CEDE      | SI    |
| SOCT35        | Catlantica | 62         | 20.6       | 12/02/2024 | 01:12:04pm | 1068.713   | 41.7630419 | -2.47413226 | CEAT      | SI    |
| SOCT36        | Catlantica | 58.9       | 21.9       | 19/02/2024 | 01:59:02pm | 1065.735   | 41.7638674 | -2.4726406  | CEAT      | SI    |
| SOCT37        | Catlantica | 51.1       | 18.4       | 19/02/2024 | 01:00:23pm | 1082.679   | 41.7620616 | -2.46057527 | CEAT      | NO    |
| SOCT38        | Catlantica | 43.4       | 16.7       | 19/02/2024 | 01:08:32pm | 1085.789   | 41.7621533 | -2.4603002  | CEAT      | NO    |
| SOCT39        | Catlantica | 57.2       | 16.5       | 19/02/2024 | 01:09:30pm | 1085.254   | 41.7621962 | -2.46038323 | CEAT      | NO    |
| SOCT40        | Catlantica | 41.5       | 15.2       | 19/02/2024 | 01:13:29pm | 1085.956   | 41.7622901 | -2.45997225 | CEAT      | NO    |

## 10.2 Anexo II: Tabla de datos de crecimiento de anillos de todos los testigos de *C.atlántica* y *C.deodara* por año

Tabla 3: Datos de crecimiento de anillos del 1 al 15 de todos los testigos de *C.atlántica* y *C.deodara* por año, con su media y desviación estándar

| Year     | SOCT01     | SOCT02     | SOCT03     | SOCT04     | SOCT05     | SOCT06     | SOCT07     | SOCT08     | SOCT09     | SOCT10     | SOCT11     | SOCT12     | SOCT13     | SOCT14     | SOCT15     |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1943     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1944     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1945     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1946     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1947     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1948     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1949     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1950     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1951     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1952     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1953     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 7.02       |            |
| 1954     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 10.2       |            |
| 1955     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 9.35       |            |
| 1956     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5.5        | 8.72       | 1.45       |
| 1957     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 1.05       | 8.74       | 3.83       |
| 1958     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 2.8        | 6.79       | 3.96       |
| 1959     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 3.06       | 9.98       | 4.26       |
| 1960     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 3.29       | 7.14       | 2.87       |
| 1961     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 9.97       | 4.33       | 3.66       |
| 1962     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 10.45      | 5.14       | 3.63       |
| 1963     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 7.35       | 5.15       | 2.04       |
| 1964     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 10.05      | 6.26       | 5.92       |
| 1965     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 6.47       | 5.36       | 0.85       |
| 1966     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 7.22       | 1.21       | 7.96       |
| 1967     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.36       | 9.3        | 3.02       |
| 1968     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5          | 3.69       | 4.97       |
| 1969     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 6.52       | 6.84       | 3.39       |
| 1970     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 2.84       | 4.72       | 6.18       |
| 1971     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 5.06       | 7.67       | 4.17       |
| 1972     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 3.22       | 7.19       | 2.32       |
| 1973     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.53       | 5.84       | 4.93       |
| 1974     |            |            |            |            | 2.39       |            |            |            |            |            |            |            | 3.09       | 3.97       | 2.87       |
| 1975     |            |            |            |            | 0.98       |            |            |            |            |            |            |            | 3.3        | 7.99       | 5.35       |
| 1976     |            |            |            |            | 1.31       |            |            |            |            |            |            |            | 2.12       | 5.93       | 3.25       |
| 1977     |            |            |            |            | 4.76       |            |            |            |            |            |            |            | 4.13       | 8.02       | 3.72       |
| 1978     |            |            |            |            | 3.84       |            |            |            |            |            |            |            | 2.9        | 7.43       | 3.13       |
| 1979     |            |            |            |            | 0.68       |            |            |            |            |            |            |            | 3.61       | 4.59       | 2.42       |
| 1980     |            |            |            |            | 1.43       |            |            |            |            |            |            |            | 3.33       | 7.39       | 2.92       |
| 1981     |            |            |            |            | 1.33       |            |            |            |            |            |            |            | 2.13       | 4.36       | 2.2        |
| 1982     |            |            |            |            | 0.95       |            |            |            |            | 4.63       |            |            | 3.26       | 3.82       | 2.34       |
| 1983     |            |            |            |            | 2.46       |            |            |            |            | 5.85       | 1.83       |            | 4.36       | 2.7        | 2.35       |
| 1984     |            |            |            |            | 1.28       |            |            |            |            | 4.94       | 2.1        | 1.41       | 4.94       | 1.2        | 2.55       |
| 1985     |            |            |            |            | 3.7        |            |            |            |            | 3.81       | 3.02       | 0.28       | 3.02       | 0.17       | 1.28       |
| 1986     |            |            |            |            | 4.83       |            |            |            |            | 3.91       | 1.37       | 4.65       | 3.28       | 3.28       | 3.39       |
| 1987     |            |            |            |            | 5.63       |            |            |            |            | 6.18       | 3.15       | 6.75       | 4.82       | 4.77       | 4.77       |
| 1988     |            |            |            |            | 4.63       |            |            |            |            | 0.14       | 6.14       | 2.94       | 2.48       | 2.48       | 3.34       |
| 1989     |            |            |            |            | 3.41       |            |            |            |            | 0.39       | 3.37       | 2.91       | 2.34       | 2.72       | 2.72       |
| 1990     | 8.07       |            |            |            | 4.88       | 5.41       |            |            |            | 0.38       | 4.73       | 3.11       | 2.13       | 2.4        | 2.4        |
| 1991     | 9.76       |            |            | 2.07       | 5.52       | 3.2        | 6.35       |            |            | 1.49       | 5.02       | 0.48       | 0.62       | 1.13       | 1.13       |
| 1992     | 11.61      |            |            | 0.67       | 7.62       | 4.54       | 6.11       |            |            | 3.58       | 1.66       | 1.78       | 1.87       | 2.04       | 2.04       |
| 1993     | 11.3       | 15.24      |            | 1.87       | 8.91       | 7.45       | 6.04       |            |            | 5.95       | 3.09       | 1.53       | 1.65       | 1.77       | 1.77       |
| 1994     | 11.62      | 22.05      |            | 10.41      | 11.51      | 7.27       | 5.53       | 6.28       | 3.27       | 2.94       | 11.62      | 2.7        | 0.44       | 1.1        | 0.87       |
| 1995     | 10.95      | 14.16      |            | 10.39      | 10.47      | 6.45       | 4.77       | 4.49       | 1.84       | 3.32       | 9.15       | 2.76       | 0.2        | 0.47       | 0.25       |
| 1996     | 10.48      | 9.82       |            | 0.48       | 10.58      | 8.59       | 7.46       | 4.62       | 1.53       | 3.53       | 9.33       | 5.13       | 3.32       | 3.13       | 2.12       |
| 1997     | 13.81      | 19.05      |            | 2.14       | 15.13      | 5.65       | 8.39       | 5.89       | 1.71       | 5.55       | 18.42      | 14.24      | 7.57       | 8.09       | 5.24       |
| 1998     | 12.37      | 12.75      |            | 1.75       | 16.08      | 7.87       | 4.12       | 4.76       | 0.84       | 4.1        | 10.12      | 8.37       | 5.56       | 4.35       | 3.95       |
| 1999     | 13.46      | 13.51      |            | 1.97       | 16.91      | 8.94       | 4.38       | 5.56       | 0.37       | 2.76       | 9.14       | 10.17      | 3.61       | 2.47       | 2.09       |
| 2000     | 10.61      | 8.8        |            | 1.57       | 17.99      | 8.25       | 9.75       | 5.64       | 0.51       | 3.28       | 9.98       | 6.8        | 3.6        | 3.18       | 2.64       |
| 2001     | 9.03       | 9.43       |            | 2.71       | 15.23      | 2.74       | 8.86       | 7.33       | 1.53       | 4.63       | 11.43      | 9.56       | 4.1        | 4.11       | 3.65       |
| 2002     | 7.98       | 8.69       |            | 7.31       | 13.48      | 2.89       | 8.52       | 5.49       | 2.51       | 1.71       | 11.22      | 5.1        | 2.04       | 1.36       | 1.82       |
| 2003     | 6.77       | 8.83       |            | 7.04       | 16.33      | 2.17       | 9.08       | 7.71       | 0.31       | 3.87       | 11.06      | 12.51      | 3.12       | 3.7        | 3.98       |
| 2004     | 5.49       | 12.49      |            | 7.53       | 16.45      | 2.3        | 9.06       | 7.81       | 3.66       | 2.36       | 10.53      | 12         | 3.36       | 3.54       | 3.13       |
| 2005     | 5.97       | 8.52       |            | 8.31       | 15.54      | 2.51       | 10.22      | 4.72       | 0.7        | 2.61       | 8.19       | 10.67      | 0.67       | 0.32       | 0.5        |
| 2006     | 5.21       | 5.43       |            | 2.8        | 16.78      | 3.94       | 11.28      | 2.12       | 5.67       | 6.07       | 9.77       | 7.58       | 1.71       | 1.87       | 1.84       |
| 2007     | 6.29       | 8.59       |            | 11.12      | 16.51      | 3.41       | 8.58       | 2.67       | 6.45       | 7.25       | 11.8       | 10.03      | 2.28       | 2.25       | 2.67       |
| 2008     | 6.22       | 8.33       |            | 2.42       | 13.48      | 4.13       | 10.67      | 5.11       | 7.06       | 6.33       | 12.1       | 10.12      | 2.45       | 3.3        | 3.4        |
| 2009     | 6.14       | 7.08       |            | 7.31       | 14.31      | 4.4        | 8.63       | 2.68       | 7.73       | 8.59       | 9.86       | 7.85       | 0.61       | 0.84       | 0.91       |
| 2010     | 8.44       | 10.05      |            | 9.94       | 10.82      | 4.83       | 8.79       | 5.51       | 8.64       | 10.29      | 12.85      | 10.12      | 2.35       | 3.8        | 3.58       |
| 2011     | 17.25      | 7.55       |            | 11.71      | 11.14      | 4.36       | 8.98       | 5.41       | 10.59      | 12.47      | 13.32      | 12.04      | 1.29       | 2.83       | 2.7        |
| 2012     | 17.22      | 5.71       |            | 9.21       | 10.53      | 4.58       | 7.59       | 8.28       | 9.82       | 11.98      | 11.16      | 7.76       | 0.58       | 0          | 0.29       |
| 2013     | 16.94      | 8.1        |            | 11.04      | 9.24       | 3.53       | 7.99       | 8.63       | 9.2        | 11.46      | 13.22      | 8.22       | 1.22       | 2.73       | 3.15       |
| 2014     | 14.13      | 8.13       |            | 11.2       | 10.53      | 4.92       | 6.22       | 8.13       | 8.21       | 11.3       | 14.68      | 10.53      | 1.99       | 2.57       | 2.72       |
| 2015     | 10.07      | 6.35       |            | 10.07      | 9.17       | 4.89       | 6.77       | 5.87       | 5.42       | 10.64      | 13.78      | 9.4        | 1.8        | 3.4        | 3.18       |
| 2016     | 8.5        | 6.64       |            | 10.33      | 8.74       | 5.68       | 5.91       | 6.92       | 5.72       | 9.41       | 15.47      | 10.04      | 0.84       | 3.11       | 2.7        |
| 2017     | 6.73       | 6.27       |            | 9.78       | 9.61       | 4.71       | 4.6        | 7.16       | 4.52       | 5.36       | 10.89      | 9.73       | 2.93       | 0.93       | 1.28       |
| 2018     | 6.3        | 7.67       |            | 11.2       | 9.91       | 7.03       | 5.88       | 7.76       | 6.42       | 7.53       | 13.25      | 9.97       | 0.99       | 5.09       | 5.05       |
| 2019     | 4.78       | 6.93       |            | 14.96      | 8.92       | 6.08       | 3.97       | 4.57       | 6.4        | 3.47       | 12.18      | 8.17       | 0.23       | 1.39       | 2.58       |
| 2020     | 4.46       | 6.76       |            | 13.27      | 7.4        | 6.57       | 4.85       | 3.58       | 7.03       | 4.5        | 11.16      | 10.12      | 1.91       | 2.58       | 3.94       |
| 2021     | 3.93       | 6.6        |            | 10.22      | 8.32       | 7.03       | 3.64       | 3.54       | 7.34       | 4.52       | 12.68      | 7.78       | 1.93       | 3.7        | 5          |
| 2022     | 2.73       | 5.23       |            | 9.94       | 7.04       | 4.97       | 4.01       | 2.13       | 6.08       | 2.79       | 8.06       | 4.16       | 0.52       | 1.09       | 1.62       |
| 2023     | 2.38       | 6.14       |            | 8.77       | 6.77       | 9.09       | 5.56       | 3.25       | 5.57       | 6.53       | 16.2       | 6.34       | 1.41       | 2.53       | 2.59       |
| MEDIA    | 9.02941176 | 9.38387097 | 7.31848485 | 12.164     | 4.6064     | 6.90176471 | 5.51878788 | 4.88833333 | 5.94419355 | 11.9451852 | 7.63642857 | 3.4547619  | 3.69397059 | 3.68338028 | 2.24926471 |
| DESV EST | 4.02599729 | 3.96673138 | 4.24080853 | 3.44200583 | 2.03666414 | 2.26946192 | 1.81568644 | 3.11174758 | 3.27494913 | 2.39579178 | 3.01831102 | 1.67063054 | 1.64568189 | 1.5535925  | 1.03629878 |

Tabla 4: Datos de crecimiento de anillos del 16 al 30 de todos los testigos de *C.atlántica* y *C.deodara* por año, con su media y desviación estándar

| Year     | SOCT16     | SOCT17     | SOCT18     | SOCT19     | SOCT20     | SOCT21     | SOCT22     | SOCT23     | SOCT24     | SOCT25     | SOCT26     | SOCT27     | SOCT28     | SOCT29     | SOCT30     |
|----------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1943     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1944     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1945     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1946     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1947     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1948     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1949     |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1950     |            |            | 2.92       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1951     |            |            | 2.45       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1952     |            |            | 3.85       |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1953     |            |            | 3.2        |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |            |
| 1954     |            |            | 3.28       |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 9.36       | 8.28       |            |
| 1955     |            |            | 4.51       |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 8.92       | 11.97      |            |
| 1956     |            |            | 3.88       |            |            |            |            |            |            |            |            |            | 4.01       | 9.49       |            |
| 1957     |            | 2.45       | 3.54       |            |            |            |            | 2.34       |            |            |            |            | 6.28       | 9.12       |            |
| 1958     | 4.36       | 5.52       | 5.46       |            |            |            | 4.42       |            |            |            |            |            | 7.77       | 11.36      |            |
| 1959     | 7.11       | 6.4        | 6.98       |            |            |            | 1.38       |            |            |            |            |            | 7.87       | 9.79       |            |
| 1960     | 5.84       | 4.95       | 3.73       |            |            |            | 2.49       |            |            |            |            |            | 4.34       | 11.21      |            |
| 1961     | 5.41       | 6.22       | 3.84       |            |            |            | 3.42       | 0.53       |            |            |            |            | 4.97       | 7.02       |            |
| 1962     | 6.56       | 8.09       | 4.25       |            |            |            | 0.43       | 0.21       |            |            |            |            | 6.65       | 8.31       |            |
| 1963     | 4.88       | 6.59       | 4.16       |            |            |            | 0.59       | 1.83       |            |            |            |            | 6.61       | 7.7        |            |
| 1964     | 7.49       | 5.95       | 5.16       |            |            |            | 1.28       | 2.26       |            |            |            |            | 6.9        | 10.39      |            |
| 1965     | 2.42       | 3.67       | 3.75       |            |            |            | 1.41       | 2.35       | 2.3        | 3.12       |            |            | 6.48       | 6.11       |            |
| 1966     | 2.9        | 4.65       | 5.02       |            |            |            | 1.57       | 2.51       | 1.91       | 1.95       |            |            | 5.83       | 5.68       |            |
| 1967     | 2.07       | 2.6        | 3.67       |            |            |            | 1.29       | 1.26       | 1.86       | 2.12       |            |            | 5.69       | 4.74       |            |
| 1968     | 1.93       | 2.95       | 4.21       |            |            |            | 2.14       | 2.13       | 2.22       | 2.96       |            |            | 8.61       | 3.12       |            |
| 1969     | 3.97       | 6.62       | 5.02       |            |            |            | 3.06       | 2.06       | 2.79       | 3.96       |            |            | 8.07       | 8.99       |            |
| 1970     | 1.65       | 2.59       | 2.17       |            |            |            | 3.93       | 2.08       | 1.29       | 2.25       | 2.88       |            | 1.59       | 9.62       |            |
| 1971     | 3.62       | 5.71       | 4.34       |            |            |            | 4.62       | 4.9        | 1.78       | 3.11       | 4.74       |            | 2.21       | 5.85       |            |
| 1972     | 1.98       | 2.65       | 1.89       |            |            |            | 2.98       | 6.65       | 1.79       | 3.45       | 3.71       | 0.4        | 3.6        | 3.7        |            |
| 1973     | 3.6        | 3.82       | 3.63       |            |            |            | 3.52       | 6.86       | 1.97       | 4.12       | 4.33       | 1.31       | 4.44       | 7.51       |            |
| 1974     | 3.07       | 2.67       | 3.97       |            |            |            | 2.9        | 4.85       | 3.51       | 3.34       | 2.74       | 1.42       | 4.18       | 6.28       |            |
| 1975     | 4.2        | 1.84       | 2.63       | 3.76       |            |            | 6.67       | 4.32       | 3.33       | 3.41       | 2.84       | 1.52       | 2.99       | 4.3        |            |
| 1976     | 2.25       | 0.67       | 1.6        | 0.5        |            |            | 6.12       | 3.74       | 4          | 3.82       | 1.99       | 1.3        | 2.01       | 1.75       |            |
| 1977     | 4.16       | 3.04       | 2.75       | 1.19       |            |            | 5.55       | 5.99       | 5.22       | 4.76       | 3.51       | 2.59       | 3.11       | 4.43       |            |
| 1978     | 3.26       | 1.91       | 2.07       | 3.13       |            |            | 4.65       | 5.62       | 4.83       | 4.62       | 2.97       | 1.94       | 2.81       | 4.84       |            |
| 1979     | 4.56       | 2.96       | 2.61       | 5.59       |            |            | 2.92       | 5.7        | 6.17       | 5.45       | 3.35       | 3.48       | 3.6        | 5.15       |            |
| 1980     | 4.39       | 3.63       | 3.35       | 6.19       |            |            | 2.3        | 4.91       | 5.93       | 4.21       | 2.85       | 2.53       | 2.68       | 4.17       |            |
| 1981     | 2.62       | 2.27       | 1.86       | 6.42       |            |            | 1.45       | 4.8        | 4.36       | 3.03       | 1.7        | 3.38       | 1.33       | 1.66       |            |
| 1982     | 2.82       | 2.03       | 2.14       | 6.08       |            |            | 2.26       | 3.59       | 3.51       | 3.23       | 1.08       | 3.39       | 1.55       | 1.32       |            |
| 1983     | 5.06       | 2.51       | 1.78       | 7.15       |            |            | 3.7        | 3.16       | 3.74       | 2.57       | 0.81       | 3.41       | 1.77       | 1          |            |
| 1984     | 3.7        | 1.86       | 1.1        | 5.78       |            |            | 1.39       | 2.43       | 3.4        | 2.11       | 1.16       | 2.82       | 2.14       | 1.03       |            |
| 1985     | 3.77       | 4          | 1.8        | 7.63       |            |            | 3.73       | 5.14       | 4.51       | 2.21       | 1.45       | 3.67       | 2.09       | 1.03       |            |
| 1986     | 1.66       | 2.32       | 1.21       | 6.73       | 12.82      |            | 8.08       | 2.52       | 2.75       | 2.36       | 0.86       | 4.58       | 1.65       | 1.57       |            |
| 1987     | 2.85       | 4.14       | 1.85       | 6.48       | 12.43      |            | 4.27       | 3.14       | 4.86       | 1.92       | 1.03       | 5.34       | 1.98       | 3.71       |            |
| 1988     | 4.32       | 5.41       | 3.21       | 6.23       | 10.65      | 14.31      | 4.49       | 6.42       | 6.42       | 4.88       | 2.4        | 6.42       | 3.53       | 10.51      |            |
| 1989     | 2.56       | 3.89       | 3.18       | 6.68       | 8.04       | 12.33      | 4.38       | 3.99       | 3.81       | 2.47       | 1.38       | 4.89       | 3.57       | 8.52       |            |
| 1990     | 2.37       | 3.76       | 3.28       | 7.55       | 1.39       | 1.79       | 1.48       | 3.29       | 2.76       | 2.96       | 1.51       | 3.62       | 6.22       | 10.23      |            |
| 1991     | 2.8        | 4.88       | 2.92       | 7.28       | 0.22       | 0.72       | 2.63       | 2.93       | 2.82       | 2.09       | 1.67       | 4.05       | 7.51       | 8.76       |            |
| 1992     | 1          | 2.1        | 1.75       | 4.55       | 0.46       | 0.24       | 2.08       | 0.96       | 1.72       | 1.11       | 1.25       | 2.75       | 6.86       | 5.91       |            |
| 1993     | 1.69       | 2.92       | 2.68       | 7.22       | 1.78       | 1.89       | 0.5        | 1.76       | 2.93       | 1.61       | 1.47       | 3.75       | 7.02       | 4.94       |            |
| 1994     | 1.36       | 2.96       | 1.8        | 6.63       | 2.05       | 1.13       | 1.11       | 1.72       | 2.88       | 1.49       | 1.83       | 4.24       | 6.43       | 5.65       | 2.27       |
| 1995     | 1.51       | 1.58       | 1.62       | 4.81       | 1.13       | 0.7        | 0.67       | 1.26       | 1.78       | 0.78       | 1.12       | 3.78       | 4.67       | 4.16       | 9.52       |
| 1996     | 2.62       | 3.64       | 2.07       | 7.42       | 0.48       | 0.5        | 3.53       | 3.08       | 3.34       | 0.38       | 2.1        | 6.66       | 3.57       | 6.07       | 7.22       |
| 1997     | 5.97       | 6.12       | 4.07       | 7.2        | 2.23       | 0.48       | 4.05       | 5.18       | 8.03       | 2.3        | 3.58       | 11.42      | 4.04       | 4.98       | 1.12       |
| 1998     | 3.49       | 2          | 2.93       | 6.2        | 1.09       | 0.22       | 3.93       | 2.91       | 4.08       | 6.84       | 2.32       | 7.68       | 3.79       | 4.3        | 0.73       |
| 1999     | 2.14       | 1.44       | 1.78       | 3.11       | 2.07       | 0.73       | 2.26       | 1.27       | 1.93       | 2.96       | 1.14       | 4.27       | 2.13       | 2.47       | 4.26       |
| 2000     | 2.55       | 1.46       | 2.29       | 3.75       | 1.25       | 0.64       | 2.08       | 1.37       | 2.66       | 1.2        | 1.35       | 3.58       | 2.4        | 2.18       | 7.19       |
| 2001     | 3.92       | 2.47       | 1.34       | 3.33       | 1.14       | 1.3        | 4.02       | 2.22       | 4.08       | 0.85       | 2.15       | 3.32       | 3.53       | 3.01       | 11.3       |
| 2002     | 2.63       | 1.59       | 0.83       | 3.33       | 2.03       | 1.73       | 1.61       | 0.69       | 1.61       | 1.43       | 1.18       | 2.92       | 3.05       | 2.29       | 12.75      |
| 2003     | 3.75       | 2.68       | 1.51       | 3.66       | 5.23       | 4.49       | 3.36       | 1.92       | 4.46       | 0.41       | 2.07       | 4.51       | 2.5        | 2.34       | 15.88      |
| 2004     | 4.11       | 4.1        | 2.55       | 6.03       | 6.78       | 5.97       | 5.38       | 2.16       | 5.2        | 1.3        | 3.16       | 5.59       | 3.19       | 3.19       | 17.42      |
| 2005     | 1.06       | 0.44       | 0.92       | 4.08       | 6.54       | 5.46       | 0.97       | 0.63       | 1.23       | 0.56       | 0.61       | 1.58       | 1.25       | 1.89       | 13.87      |
| 2006     | 2.4        | 2.02       | 1.78       | 3.84       | 9.38       | 6.48       | 2.27       | 1.06       | 1.59       | 0.88       | 1.77       | 2.69       | 1.8        | 2.58       | 15.82      |
| 2007     | 2.94       | 2.18       | 2.38       | 3.89       | 8.9        | 8.3        | 2.6        | 1.37       | 2.47       | 0.79       | 2.97       | 5.22       | 2.71       | 2.43       | 14.2       |
| 2008     | 3.93       | 2.62       | 2.22       | 3.33       | 8.04       | 5.14       | 2.54       | 1.89       | 2.57       | 1.55       | 3.1        | 11.17      | 2.96       | 2.18       | 14.77      |
| 2009     | 1.97       | 0.97       | 1.53       | 1.34       | 8.28       | 2.84       | 1.37       | 1.22       | 1.39       | 0.92       | 1.95       | 5.79       | 1.38       | 1.1        | 13.48      |
| 2010     | 3.99       | 1.88       | 2.62       | 2.93       | 8.19       | 6.59       | 4.2        | 2.99       | 3.08       | 3.19       | 4.54       | 7          | 1.87       | 1.15       | 12.18      |
| 2011     | 3.48       | 1.15       | 3.46       | 2.26       | 7.16       | 7.91       | 2.32       | 1.62       | 2.6        | 1.89       | 2.69       | 7.25       | 1.36       | 0.77       | 13.18      |
| 2012     | 0.91       | 0.42       | 0.99       | 2.5        | 4.11       | 6.63       | 0.37       | 0.19       | 0.42       | 0.31       | 0.35       | 2.71       | 0.29       | 0.75       | 14.97      |
| 2013     | 3.17       | 0.35       | 1.84       | 2.5        | 5.84       | 9.02       | 2.71       | 1.35       | 2.03       | 1.53       | 1.82       | 3.48       | 0.57       | 0.93       | 15.4       |
| 2014     | 3.62       | 0.57       | 2.3        | 2.78       | 6.86       | 8.2        | 3.91       | 1.75       | 2.5        | 1.52       | 2.53       | 7.47       | 0.72       | 0.82       | 14.23      |
| 2015     | 4.05       | 0.2        | 2.31       | 4.72       | 5.58       | 5.41       | 3.52       | 1.79       | 2.57       | 2.15       | 2.36       | 4.63       | 1.45       | 2.38       | 12.61      |
| 2016     | 3.52       | 0.22       | 2.07       | 8.2        | 6.25       | 5.81       | 2.18       | 1.48       | 1.97       | 2.01       | 2.06       | 4.84       | 2.16       | 2.39       | 12.31      |
| 2017     | 1.74       | 0.5        | 1.2        | 6.66       | 6.94       | 6.09       | 0.65       | 0.47       | 1.21       | 0.99       | 0.79       | 4.83       | 1.9        | 2.27       | 11.76      |
| 2018     | 4.24       | 0.13       | 2.26       | 10.92      | 9.2        | 5.64       | 3.42       | 2.37       | 2.82       | 4.11       | 2.67       | 6.02       | 2.61       | 3.02       | 10.33      |
| 2019     | 2.61       | 1.07       | 1.61       | 8.68       | 7.69       | 6.6        | 1.45       | 1.19       | 1.46       | 1.54       | 1.85       | 3.65       | 2.65       | 1.73       | 9.8        |
| 2020     | 3.87       | 0.14       | 2.35       | 11.02      | 7.89       | 5.59       | 3.55       | 2.28       | 2.62       | 2.74       | 2.42       | 3.83       | 3.86       | 3.36       | 9.23       |
| 2021     | 3.96       | 0.57       | 2.28       | 7.25       | 7.17       | 5.72       | 4.05       | 2.18       | 3          | 2.72       | 2.1        | 6.84       | 3.65       | 3.83       | 11.06      |
| 2022     | 1.74       | 0.52       | 0.89       | 6.01       | 3.27       | 3.69       | 1.14       | 1.23       | 1.45       | 1.14       | 0.82       | 2.07       | 2.38       | 2.09       | 11.17      |
| 2023     | 3.61       | 0.45       | 1.84       | 9.32       | 5.7        | 3.97       | 2.18       | 2.04       | 1.9        | 2.11       | 2.55       | 4.99       | 0.9        | 0.31       | 11.32      |
| MEDIA    | 3.32969697 | 2.78626866 | 2.73364865 | 5.3844898  | 5.42789474 | 4.56277778 | 3.03703704 | 2.66343284 | 2.88063492 | 2.35186441 | 2.19898305 | 4.28442308 | 3.77957143 | 4.68128571 | 11.045     |
| DESV EST | 1.15476584 | 1.47783023 | 0.7462298  | 2.52678613 | 3.04229391 | 2.78846766 | 1.27343658 | 0.96642569 | 1.38283867 | 1.26363409 | 0.8852878  | 2.25448312 | 1.908188   | 2.22060702 | 4.34566351 |

Tabla 5: Datos de crecimiento de anillos del 31 al 40 de todos los testigos de *C.atlántica* y *C.deodara* por año, con su media y desviación estándar

| Year     | SOCT31     | SOCT32     | SOCT33     | SOCT34     | SOCT35    | SOCT36     | SOCT37B     | SOCT38B     | SOCT39     | SOCT40A     |
|----------|------------|------------|------------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|------------|-------------|
| 1943     |            |            | 1.56       |            |           |            |             |             |            |             |
| 1944     |            |            | 2.39       |            |           |            |             |             |            |             |
| 1945     |            |            | 5.23       |            |           |            | 1.47        |             |            |             |
| 1946     |            |            | 5.92       |            |           |            | 1.46        |             |            |             |
| 1947     |            |            | 4.73       |            |           |            | 0.46        |             |            |             |
| 1948     |            | 3.58       | 2.18       |            |           |            | 0.13        |             |            |             |
| 1949     |            | 5.17       | 2.39       |            |           |            | 0.78        |             |            |             |
| 1950     |            | 7.31       | 4.39       |            |           |            | 1.49        |             |            |             |
| 1951     |            | 7.67       | 3.36       |            |           |            | 3.13        |             |            |             |
| 1952     |            | 7.06       | 2.15       |            |           | 0.94       | 2.68        |             |            |             |
| 1953     |            | 8.25       | 1.52       |            |           | 0.96       | 3.8         |             |            |             |
| 1954     |            | 6.3        | 5.62       | 1.35       | 8.27      | 2.38       | 3.33        |             |            |             |
| 1955     |            | 5.88       | 11.56      | 2.89       | 2.18      | 4.15       | 4.25        |             |            |             |
| 1956     |            | 4.57       | 11.59      | 5.62       | 8.39      | 1.42       | 4.36        |             | 7.55       |             |
| 1957     |            | 5.16       | 4.36       | 5.27       | 6.35      | 0.82       | 2.61        |             | 4.81       |             |
| 1958     |            | 2.86       | 5.32       | 2.83       | 3.99      | 0.87       | 2.9         |             | 6.85       |             |
| 1959     |            | 1.87       | 8.58       | 6.69       | 4.92      | 2.09       | 4.38        | 8.04        | 8.6        |             |
| 1960     |            | 0.99       | 10.29      | 3.72       | 6.37      | 2.57       | 3.83        | 7.36        | 6.38       |             |
| 1961     |            | 1.1        | 7.48       | 2.78       | 5.96      | 2.21       | 6.08        | 8.49        | 5.58       |             |
| 1962     |            | 2.53       | 7.18       | 3.47       | 6.37      | 0.82       | 6.27        | 8           | 13.68      |             |
| 1963     |            | 1.79       | 4.57       | 2.29       | 4.78      | 0.41       | 6.43        | 5.05        | 7.08       |             |
| 1964     |            | 1.95       | 3.41       | 2.37       | 4.67      | 2.45       | 5.26        | 5.12        | 5.1        |             |
| 1965     |            | 1.96       | 2.21       | 1.54       | 5.34      | 0.97       | 4.13        | 4.43        | 3.72       |             |
| 1966     |            | 2.28       | 4.03       | 1.7        | 6.27      | 1.98       | 6.05        | 3.07        | 4.36       |             |
| 1967     |            | 1.51       | 1.98       | 1.46       | 6.92      | 3.71       | 3           | 2.58        | 2.63       |             |
| 1968     |            | 1.24       | 2.2        | 1.64       | 3.24      | 3.71       | 1.72        | 2.95        | 3.61       |             |
| 1969     |            | 1.99       | 2.29       | 2.59       | 7.59      | 2.29       | 5.82        | 5.21        | 6.13       |             |
| 1970     |            | 1.48       | 0.82       | 0.93       | 2.49      | 1.36       | 2.78        | 1.31        | 2.19       | 2.8         |
| 1971     |            | 2.83       | 2.35       | 2.76       | 4.91      | 3.22       | 5.5         | 3.02        | 4.69       | 4.76        |
| 1972     |            | 2.26       | 1.18       | 1.59       | 3.08      | 4.19       | 2.65        | 2.14        | 2.51       | 2.8         |
| 1973     |            | 3.41       | 3.02       | 2.1        | 1.18      | 4.98       | 5.51        | 3.52        | 4.06       | 4.26        |
| 1974     |            | 2.84       | 1.77       | 1.45       | 0.33      | 5.6        | 3.32        | 2.43        | 3.24       | 3.44        |
| 1975     |            | 2.08       | 1.39       | 1.82       | 3.31      | 3.58       | 3.88        | 2.99        | 4.03       | 3.94        |
| 1976     |            | 1.2        | 0.52       | 1.67       | 3.16      | 4.41       | 1.76        | 2.11        | 2.69       | 2.61        |
| 1977     |            | 3.04       | 3.57       | 4.49       | 3.98      | 3.03       | 4.93        | 4.63        | 5.87       | 5.99        |
| 1978     |            | 3.02       | 2.6        | 2.8        | 3.53      | 3.81       | 3.6         | 2.96        | 5.01       | 5.25        |
| 1979     |            | 4.38       | 2.3        | 2.8        | 0.18      | 5.56       | 3.6         | 3.72        | 5.02       | 6.05        |
| 1980     |            | 3.72       | 1.86       | 2.69       | 1.36      | 4.88       | 5.05        | 3.45        | 6.09       | 6.34        |
| 1981     |            | 2.46       | 1.17       | 1.1        | 1.16      | 3.92       | 2.26        | 2.85        | 3.9        | 4.22        |
| 1982     |            | 2.07       | 0.72       | 1.39       | 1.09      | 2.54       | 3.91        | 2.04        | 3.87       | 3.69        |
| 1983     |            | 1.92       | 0.48       | 1.76       | 1.06      | 3.12       | 2.28        | 1.15        | 3.28       | 4.32        |
| 1984     |            | 2.24       | 0.85       | 1.91       | 1.81      | 2.13       | 3.88        | 2.36        | 3.51       | 5.27        |
| 1985     |            | 3.38       | 1.33       | 2.64       | 0.27      | 3.7        | 4.63        | 2.33        | 4.41       | 6.1         |
| 1986     |            | 2.29       | 0.77       | 3.58       | 0.5       | 2.95       | 2.89        | 0.97        | 2.26       | 3.5         |
| 1987     |            | 1.94       | 1.7        | 3.96       | 1.75      | 4.24       | 5.39        | 2.43        | 4.59       | 4.95        |
| 1988     |            | 3.37       | 3.06       | 5.86       | 4.02      | 3.01       | 6.25        | 4.26        | 6.57       | 7.26        |
| 1989     |            | 1.4        | 1.15       | 3.19       | 3.79      | 3.6        | 2.13        | 3.37        | 4.86       | 4.39        |
| 1990     |            | 1.76       | 0.87       | 2.98       | 4.27      | 3.4        | 4.61        | 3.3         | 5.11       | 3.27        |
| 1991     |            | 1.45       | 1.32       | 2.98       | 5.56      | 0.94       | 3.81        | 2.76        | 5.42       | 3.46        |
| 1992     |            | 0.71       | 0.48       | 0.85       | 2.84      | 1.32       | 1.95        | 1.11        | 3.39       | 1.81        |
| 1993     |            | 1.55       | 1.18       | 2.04       | 4.75      | 2.84       | 3.06        | 1.82        | 3.95       | 3.17        |
| 1994     |            | 0.89       | 0.93       | 2.25       | 5.14      | 5.29       | 2.17        | 1.36        | 3.43       | 3.12        |
| 1995     |            | 1.6        | 2.14       | 2.17       | 6.61      | 6.12       | 2.2         | 1.02        | 2.76       | 3.01        |
| 1996     |            | 3          | 5.12       | 4.97       | 8.05      | 5.85       | 3.95        | 2.59        | 4.71       | 6.82        |
| 1997     | 2.45       | 6.24       | 11.23      | 10.27      | 12.76     | 8.04       | 4.89        | 4.18        | 6.71       | 10.09       |
| 1998     | 4.01       | 4.69       | 8.46       | 6.83       | 12.02     | 6.23       | 4.63        | 2.16        | 4.19       | 5.83        |
| 1999     | 0.9        | 5.98       | 5.96       | 3.97       | 7.32      | 6.18       | 1.88        | 1.16        | 2.79       | 3.31        |
| 2000     | 0.59       | 4.95       | 4.18       | 2.81       | 6.1       | 6.84       | 2.01        | 1.21        | 3.03       | 3.63        |
| 2001     | 4.83       | 5.31       | 4.74       | 2.59       | 6.75      | 5.99       | 2.9         | 1.63        | 3.9        | 6.04        |
| 2002     | 12.84      | 2.79       | 3.5        | 1.56       | 4.2       | 5.5        | 1.38        | 0.74        | 2.7        | 2.7         |
| 2003     | 12.5       | 3.56       | 3.26       | 4.61       | 4.35      | 4.36       | 2.23        | 1.68        | 3.65       | 4.77        |
| 2004     | 9.18       | 5.21       | 2.6        | 7.32       | 5.66      | 9.39       | 3.48        | 1.75        | 4.64       | 5.99        |
| 2005     | 0.84       | 2.4        | 0.95       | 2.81       | 1.87      | 5.88       | 0.74        | 0.24        | 1.7        | 1.21        |
| 2006     | 2.3        | 3.34       | 1.37       | 6.54       | 2.37      | 6.14       | 1.66        | 1.26        | 2.74       | 3.73        |
| 2007     | 3.17       | 4.45       | 0.99       | 6.95       | 2.65      | 8.52       | 2.01        | 2.43        | 3.84       | 2.18        |
| 2008     | 7.54       | 5.04       | 1.39       | 8.46       | 3.09      | 9.03       | 2.45        | 3.1         | 4.27       | 3.54        |
| 2009     | 1.14       | 2.83       | 1.22       | 10.9       | 2.22      | 6.18       | 0.94        | 1.53        | 2.1        | 1.72        |
| 2010     | 2.36       | 4.86       | 1.7        | 6.86       | 3.66      | 6.64       | 4.94        | 3.8         | 3.52       | 4.15        |
| 2011     | 5.1        | 7.33       | 1.74       | 3.51       | 3.87      | 6.88       | 2.87        | 3.64        | 2.61       | 3.02        |
| 2012     | 8.77       | 2.21       | 0.88       | 1.26       | 1.63      | 5.65       | 0.3         | 1.5         | 0.87       | 0.27        |
| 2013     | 12.44      | 3.83       | 1.57       | 4.83       | 3.05      | 6.17       | 2.51        | 3.88        | 1.88       | 3.19        |
| 2014     | 13.29      | 4          | 1.05       | 4.71       | 5.65      | 6.66       | 2.56        | 3.93        | 2.86       | 4.92        |
| 2015     | 11.47      | 4.34       | 1.66       | 5.21       | 6.28      | 7.14       | 3.62        | 3.07        | 4.24       | 5.53        |
| 2016     | 13.63      | 2.79       | 1.19       | 4.29       | 4.69      | 4.18       | 3.41        | 2.03        | 3.7        | 4.69        |
| 2017     | 16.59      | 3.21       | 1.53       | 3.81       | 3.76      | 5.28       | 0.88        | 1.24        | 2.68       | 2.39        |
| 2018     | 14.17      | 4.11       | 2.8        | 6.06       | 5.68      | 4.19       | 4.57        | 1.17        | 4.11       | 7.22        |
| 2019     | 11.64      | 1.96       | 0.94       | 3.57       | 4.4       | 2.91       | 1.95        | 3.03        | 3.8        | 2.8         |
| 2020     | 12.31      | 2.69       | 1.57       | 4.24       | 3.95      | 3.84       | 3.29        | 3.67        | 4.56       | 7.02        |
| 2021     | 12.43      | 3          | 0.29       | 3.93       | 4.56      | 4.23       | 2.52        | 3.62        | 5.14       | 6.67        |
| 2022     | 9.2        | 2.69       |            | 2.2        | 2.93      | 3.36       | 0.9         | 0.94        | 2.15       | 2.77        |
| 2023     | 12.21      | 3.11       |            | 3.03       | 4.65      | 3.33       |             |             |            | 6.6         |
| MEDIA    | 8.07037037 | 3.31881579 | 3.03683544 | 3.57242857 | 4.313     | 4.07055556 | 3.196025641 | 2.95140625  | 4.26686567 | 4.307037037 |
| DESV EST | 5.09939399 | 1.58198481 | 2.40761592 | 2.4356715  | 2.4618107 | 1.98641886 | 1.269963314 | 1.117783419 | 1.20729294 | 2.071123077 |

## 10.3 Anexo III: Datos del TWR de resistencia, recuperación y resiliencia de *C.atlántica* y *C.deodara* del año 2005, 2012 y 2017

Tabla 6: Datos del TWR de anillos del 1 al 15 de la resistencia, recuperación y resiliencia de *C.atlántica* y *C.deodara*, de los años 2005, 2012 y 2017

| Year       | SOCT01     | SOCT02      | SOCT03      | SOCT04      | SOCT05      | SOCT06      | SOCT07      | SOCT08      | SOCT09      | SOCT10     | SOCT11     | SOCT12     | SOCT13     | SOCT14     | SOCT15     |
|------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| 1943       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1944       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1945       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1946       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1947       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1948       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1949       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1950       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1951       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1952       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            |            |
| 1953       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            | 7.02       |
| 1954       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            | 10.2       |
| 1955       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            |            |            | 9.35       |
| 1956       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            | 5.5        |            | 8.72       |
| 1957       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            | 1.05       |            | 8.74       |
| 1958       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            | 2.8        |            | 6.79       |
| 1959       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            | 3.06       |            | 9.98       |
| 1960       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            |            | 3.29       |            | 7.14       |
| 1961       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 9.97       | 4.33       |            | 7.69       |
| 1962       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 10.45      | 5.14       |            | 5          |
| 1963       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 7.35       | 5.15       |            | 2.04       |
| 1964       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 10.05      | 6.26       |            | 5.92       |
| 1965       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 6.47       | 5.36       |            | 0.85       |
| 1966       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 7.22       | 1.21       |            | 7.96       |
| 1967       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 4.36       | 9.3        |            | 3.02       |
| 1968       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 5          | 3.69       |            | 4.97       |
| 1969       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 6.52       | 6.84       |            | 3.39       |
| 1970       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 2.84       | 4.72       |            | 6.18       |
| 1971       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 5.06       | 7.67       |            | 4.17       |
| 1972       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.22       | 7.19       |            | 2.32       |
| 1973       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 4.53       | 5.84       |            | 4.93       |
| 1974       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.09       | 3.97       |            | 2.87       |
| 1975       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.3        | 7.99       |            | 5.35       |
| 1976       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 2.12       | 5.93       |            | 3.25       |
| 1977       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 4.13       | 8.03       |            | 3.72       |
| 1978       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 2.9        | 7.43       |            | 3.13       |
| 1979       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.61       | 4.59       |            | 2.42       |
| 1980       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.33       | 7.39       |            | 2.92       |
| 1981       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 2.13       | 4.36       |            | 2.2        |
| 1982       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 4.63       | 3.26       |            | 3.82       |
| 1983       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 5.85       | 1.83       |            | 4.36       |
| 1984       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 4.94       | 2.1        |            | 1.41       |
| 1985       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.81       | 3.02       |            | 0.28       |
| 1986       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.91       | 1.37       |            | 4.65       |
| 1987       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 6.18       | 3.15       |            | 6.75       |
| 1988       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 0.14       | 6.14       |            | 2.94       |
| 1989       |            |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 0.39       | 3.37       |            | 2.91       |
| 1990       | 8.07       |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 0.38       | 4.73       |            | 3.11       |
| 1991       | 9.76       |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 1.49       | 5.02       |            | 0.48       |
| 1992       | 11.61      |             |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 3.58       | 1.66       |            | 1.78       |
| 1993       | 11.3       | 15.24       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 5.95       | 3.09       |            | 1.53       |
| 1994       | 11.62      | 22.05       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 11.62      | 2.7        |            | 0.44       |
| 1995       | 10.95      | 14.16       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 9.15       | 2.76       |            | 0.2        |
| 1996       | 10.48      | 9.82        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 9.33       | 5.13       |            | 3.32       |
| 1997       | 13.81      | 19.05       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 14.24      | 7.57       |            | 8.09       |
| 1998       | 12.37      | 12.75       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 10.12      | 8.37       |            | 5.56       |
| 1999       | 13.46      | 13.51       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 10.17      | 3.61       |            | 2.47       |
| 2000       | 10.61      | 8.8         |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 6.8        | 3.18       |            | 2.64       |
| 2001       | 9.03       | 9.43        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 11.43      | 9.56       |            | 4.1        |
| 2002       | 7.98       | 8.69        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 5.1        | 2.04       |            | 1.36       |
| 2003       | 6.77       | 8.83        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 12.51      | 3.12       |            | 3.7        |
| 2004       | 5.49       | 12.49       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 12         | 3.36       |            | 3.54       |
| 2005       | 5.97       | 8.52        | 8.31        | 15.54       | 2.51        | 10.22       | 4.72        | 0.7         | 2.61        | 8.19       | 10.67      | 0.67       | 0.32       | 0.5        | 0.73       |
| 2006       | 5.21       | 5.43        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 7.58       | 1.71       |            | 1.87       |
| 2007       | 6.29       | 8.59        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 11.8       | 10.03      |            | 2.28       |
| 2008       | 6.22       | 8.33        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 12.1       | 10.12      |            | 2.45       |
| 2009       | 6.14       | 7.08        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 7.85       | 0.61       |            | 0.84       |
| 2010       | 8.44       | 10.05       |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 12.85      | 10.12      |            | 2.35       |
| 2011       | 17.25      | 7.55        |             |             |             |             |             |             |             |            |            | 12.04      | 1.29       |            | 2.83       |
| 2012       | 17.22      | 5.71        | 9.21        | 10.53       | 4.58        | 7.59        | 8.28        | 9.82        | 11.98       | 11.16      | 7.76       | 0.58       | 0          | 0.29       | 0.34       |
| 2013       | 16.94      | 8.1         | 11.04       | 9.24        | 3.53        | 7.99        | 8.63        | 9.2         | 11.46       | 13.22      | 8.22       | 1.22       | 2.73       |            | 3.15       |
| 2014       | 14.13      | 8.13        | 11.2        | 10.53       | 4.92        | 6.22        | 8.13        | 8.21        | 11.3        | 14.68      | 10.53      | 1.99       | 2.57       |            | 2.72       |
| 2015       | 10.07      | 6.35        | 10.07       | 9.17        | 4.89        | 6.77        | 5.87        | 5.42        | 10.64       | 13.78      | 9.4        | 1.8        | 3.4        |            | 3.18       |
| 2016       | 8.5        | 6.64        | 10.33       | 8.74        | 5.68        | 5.91        | 6.92        | 5.72        | 9.41        | 15.47      | 10.04      | 0.84       | 3.11       |            | 2.7        |
| 2017       | 6.73       | 6.27        | 9.78        | 9.61        | 4.71        | 4.6         | 7.16        | 4.52        | 5.36        | 10.89      | 9.73       | 2.93       | 0.93       | 1.28       | 0.93       |
| 2018       | 6.3        | 7.67        | 11.2        | 9.91        | 7.03        | 5.88        | 7.76        | 6.42        | 7.53        | 13.25      | 9.97       | 0.99       | 5.09       |            | 5.05       |
| 2019       | 4.78       | 6.93        | 14.96       | 8.92        | 6.08        | 3.97        | 4.57        | 6.4         | 3.47        | 12.18      | 8.17       | 0.23       | 1.39       |            | 2.58       |
| 2020       | 4.46       | 6.76        | 13.27       | 7.4         | 6.57        | 4.85        | 3.58        | 7.03        | 4.5         | 11.16      | 10.12      | 1.91       | 2.58       |            | 3.94       |
| 2021       | 3.93       | 6.6         | 10.22       | 8.32        | 7.03        | 3.64        | 3.54        | 7.34        | 4.52        | 12.68      | 7.78       | 1.93       | 3.7        |            | 5          |
| 2022       | 2.73       | 5.23        | 9.94        | 7.04        | 4.57        | 4.01        | 2.13        | 6.08        | 2.79        | 8.06       | 4.16       | 0.52       | 1.09       |            | 1.12       |
| 2023       | 2.38       | 6.14        | 8.77        | 6.77        | 9.09        | 5.56        | 3.25        | 5.57        | 6.53        | 16.2       | 6.34       | 1.41       | 2.53       |            | 2.59       |
| TWR        | 9.02941176 | 9.383870968 | 7.318484848 | 12.164      | 4.6064      | 6.901764706 | 5.518787879 | 4.888333333 | 5.944193548 | 11.9451852 | 7.63642857 | 3.4547619  | 3.69397059 | 3.68338028 | 2.24926471 |
| Edad       | 34         | 31          | 33          | 30          | 50          | 34          | 33          | 30          | 31          | 27         | 42         | 63         | 68         | 71         | 68         |
| 2005_resis | 0.88488142 | 0.851716095 | 1.139396709 | 1.007782101 | 1.023097826 | 1.150037509 | 0.673964779 | 0.324074074 | 0.986146096 | 0.74885706 | 1.0810537  | 0.23591549 | 0.11162791 | 0.16797312 | 0.28853755 |
| 2005_recov | 0.9893914  | 0.874413146 | 0.655435219 | 1.003217503 | 1.524568393 | 0.995759948 | 0.699152542 | 9.133333333 | 2.509578544 | 1.37037037 | 0.86629178 | 3.2039801  | 7.72916667 | 5.27333333 | 3.52511416 |
| 2005_resil | 0.87549407 | 0.744751749 | 0.746800731 | 1.011024643 | 1.559782609 | 1.14516129  | 0.471204188 | 2.959876543 | 2.474811083 | 1.02621152 | 0.93650794 | 0.75586854 | 0.8627907  | 0.8857828  | 1.0171278  |
| 2012_resis | 1.62299717 | 0.694084279 | 0.954074586 | 0.870967742 | 1.011037528 | 0.8625      | 1.826470588 | 1.09272997  | 1.146411483 | 0.92922565 | 0.77574142 | 0.40941176 | 0          | 0.12101399 | 0.13746631 |
| 2012_recov | 0.79636082 | 1.318155283 | 1.169381107 | 0.916112694 | 0.970887918 | 0.921387791 | 0.911030596 | 0.774949084 | 0.92926656  | 1.24492234 | 1.20919244 | 2.87931034 | #DIV/0!    | 10.4022989 | 6.53921569 |
| 2012_resil | 1.29249136 | 0.914910859 | 1.115676796 | 0.797904604 | 0.981604121 | 0.79469697  | 1.663970588 | 0.846810889 | 1.06539075  | 1.15681377 | 0.93802066 | 1.17882353 | 1.16465863 | 1.25860263 | 0.89892183 |
| 2017_resis | 0.61743119 | 0.890625    | 0.928481013 | 1.01371308  | 0.91220142  | 0.73015873  | 1.026768642 | 0.700775194 | 0.51291866  | 0.74368313 | 0.97397397 | 1.89848812 | 0.30726872 | 0.44651163 | 0.43255814 |
| 2017_recov | 0.76968796 | 1.135566188 | 1.343899114 | 0.909816164 | 1.392781316 | 1.065217391 | 0.740689013 | 1.463864307 | 0.963930348 | 1.11998776 | 0.96813977 | 0.3560846  | 3.24731183 | 3.01302083 | 2.29032258 |
| 2017_resil | 0.47522956 | 1.011363636 | 1.2478481   | 0.922292546 | 1.270497095 | 0.777777778 | 0.760516252 | 1.025839793 | 0.494417863 | 0.8329516  | 0.94294294 | 0.67602592 | 0.99779736 | 1.34534884 | 0.99069767 |





Tabla 8: Datos del TWR de anillos del 31 al 40 de la resistencia, recuperación y resiliencia de C.atlántica y C.deodara, de los años 2005, 2012 y 2017

| Year       | SOCT31      | SOCT32      | SOCT33      | SOCT34     | SOCT35      | SOCT36      | SOCT37B     | SOCT38B     | SOCT39      | SOCT40A     |
|------------|-------------|-------------|-------------|------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 1943       |             |             | 1.56        |            |             |             |             |             |             |             |
| 1944       |             |             | 2.39        |            |             |             |             |             |             |             |
| 1945       |             |             | 5.23        |            |             |             | 1.47        |             |             |             |
| 1946       |             |             | 5.92        |            |             |             | 1.46        |             |             |             |
| 1947       |             |             | 4.73        |            |             |             | 0.46        |             |             |             |
| 1948       |             | 3.58        | 2.18        |            |             |             | 0.13        |             |             |             |
| 1949       |             | 5.17        | 2.39        |            |             |             | 0.78        |             |             |             |
| 1950       |             | 7.31        | 4.39        |            |             |             | 1.49        |             |             |             |
| 1951       |             | 7.67        | 3.36        |            |             |             | 3.13        |             |             |             |
| 1952       |             | 7.06        | 2.15        |            |             | 0.94        | 2.68        |             |             |             |
| 1953       |             | 8.25        | 1.52        |            |             | 0.96        | 3.8         |             |             |             |
| 1954       |             | 6.3         | 5.62        | 1.35       | 8.27        | 2.38        | 3.33        |             |             |             |
| 1955       |             | 5.88        | 11.56       | 2.89       | 2.18        | 4.15        | 4.25        |             |             |             |
| 1956       |             | 4.57        | 11.59       | 5.62       | 8.39        | 1.42        | 4.36        |             | 7.55        |             |
| 1957       |             | 5.16        | 4.36        | 5.27       | 6.35        | 0.82        | 2.61        |             | 4.81        |             |
| 1958       |             | 2.86        | 5.32        | 2.83       | 3.99        | 0.87        | 2.9         |             | 6.85        |             |
| 1959       |             | 1.87        | 8.58        | 6.69       | 4.92        | 2.09        | 4.38        | 8.04        | 8.6         |             |
| 1960       |             | 0.99        | 10.29       | 3.72       | 6.37        | 2.57        | 3.83        | 7.36        | 6.38        |             |
| 1961       |             | 1.1         | 7.48        | 2.78       | 5.96        | 2.21        | 6.08        | 8.49        | 5.58        |             |
| 1962       |             | 2.53        | 7.18        | 3.47       | 6.37        | 0.82        | 6.27        | 8           | 13.68       |             |
| 1963       |             | 1.79        | 4.57        | 2.29       | 4.78        | 0.41        | 6.43        | 5.05        | 7.08        |             |
| 1964       |             | 1.95        | 3.41        | 2.37       | 4.67        | 2.45        | 5.26        | 5.12        | 5.1         |             |
| 1965       |             | 1.96        | 2.21        | 1.54       | 5.34        | 0.97        | 4.13        | 4.43        | 3.72        |             |
| 1966       |             | 2.28        | 4.03        | 1.7        | 6.27        | 1.98        | 6.05        | 3.07        | 4.36        |             |
| 1967       |             | 1.51        | 1.98        | 1.46       | 6.92        | 3.71        | 3           | 2.58        | 2.63        |             |
| 1968       |             | 1.24        | 2.2         | 1.64       | 3.24        | 3.71        | 1.72        | 2.95        | 3.61        |             |
| 1969       |             | 1.99        | 2.29        | 2.59       | 7.59        | 2.29        | 5.82        | 5.21        | 6.13        |             |
| 1970       |             | 1.48        | 0.82        | 0.93       | 2.49        | 1.36        | 2.78        | 1.31        | 2.19        | 2.8         |
| 1971       |             | 2.83        | 2.35        | 2.76       | 4.91        | 3.22        | 5.5         | 3.02        | 4.69        | 4.76        |
| 1972       |             | 2.26        | 1.18        | 1.59       | 3.08        | 4.19        | 2.65        | 2.14        | 2.51        | 2.8         |
| 1973       |             | 3.41        | 3.02        | 2.1        | 1.18        | 4.98        | 5.51        | 3.52        | 4.06        | 4.26        |
| 1974       |             | 2.84        | 1.77        | 1.45       | 0.33        | 5.6         | 3.32        | 2.43        | 3.24        | 3.44        |
| 1975       |             | 2.08        | 1.39        | 1.82       | 3.31        | 3.58        | 3.88        | 2.99        | 4.03        | 3.94        |
| 1976       |             | 1.2         | 0.52        | 1.67       | 3.16        | 4.41        | 1.76        | 2.11        | 2.69        | 2.61        |
| 1977       |             | 3.04        | 3.57        | 4.49       | 3.98        | 3.03        | 4.93        | 4.63        | 5.87        | 5.99        |
| 1978       |             | 3.02        | 2.6         | 2.8        | 3.53        | 3.81        | 3.6         | 2.96        | 5.01        | 5.25        |
| 1979       |             | 4.38        | 2.3         | 2.8        | 0.18        | 5.56        | 3.6         | 3.72        | 5.02        | 6.05        |
| 1980       |             | 3.72        | 1.86        | 2.69       | 1.36        | 4.88        | 5.05        | 3.45        | 6.09        | 6.34        |
| 1981       |             | 2.46        | 1.17        | 1.1        | 1.16        | 3.92        | 2.26        | 2.85        | 3.9         | 4.22        |
| 1982       |             | 2.07        | 0.72        | 1.39       | 1.09        | 2.54        | 3.91        | 2.04        | 3.87        | 3.69        |
| 1983       |             | 1.92        | 0.48        | 1.76       | 1.06        | 3.12        | 2.28        | 1.15        | 3.28        | 4.32        |
| 1984       |             | 2.24        | 0.85        | 1.91       | 1.81        | 2.13        | 3.88        | 2.36        | 3.51        | 5.27        |
| 1985       |             | 3.38        | 1.33        | 2.64       | 0.27        | 3.7         | 4.63        | 2.33        | 4.41        | 6.1         |
| 1986       |             | 2.29        | 0.77        | 3.58       | 0.5         | 2.95        | 2.89        | 0.97        | 2.26        | 3.5         |
| 1987       |             | 1.94        | 1.7         | 3.96       | 1.75        | 4.24        | 5.39        | 2.43        | 4.59        | 4.95        |
| 1988       |             | 3.37        | 3.06        | 5.86       | 4.02        | 3.01        | 6.25        | 4.26        | 6.57        | 7.26        |
| 1989       |             | 1.4         | 1.15        | 3.19       | 3.79        | 3.6         | 2.13        | 3.37        | 4.86        | 4.39        |
| 1990       |             | 1.76        | 0.87        | 2.98       | 4.27        | 3.4         | 4.61        | 3.3         | 5.11        | 3.27        |
| 1991       |             | 1.45        | 1.32        | 2.98       | 5.56        | 0.94        | 3.81        | 2.76        | 5.42        | 3.46        |
| 1992       |             | 0.71        | 0.48        | 0.85       | 2.84        | 1.32        | 1.95        | 1.11        | 3.39        | 1.81        |
| 1993       |             | 1.55        | 1.18        | 2.04       | 4.75        | 2.84        | 3.06        | 1.82        | 3.95        | 3.87        |
| 1994       |             | 0.89        | 0.93        | 2.25       | 5.14        | 5.29        | 2.17        | 1.36        | 3.43        | 3.12        |
| 1995       |             | 1.6         | 2.14        | 2.17       | 6.61        | 6.12        | 2.2         | 1.02        | 2.76        | 3.01        |
| 1996       |             | 3           | 5.12        | 4.97       | 8.05        | 5.85        | 3.95        | 2.59        | 4.71        | 6.82        |
| 1997       | 2.45        | 6.24        | 11.23       | 10.27      | 12.76       | 8.04        | 4.89        | 4.18        | 6.71        | 10.09       |
| 1998       | 4.01        | 4.69        | 8.46        | 6.83       | 12.02       | 6.23        | 4.63        | 2.16        | 4.19        | 5.83        |
| 1999       | 0.9         | 5.98        | 5.96        | 3.97       | 7.32        | 6.18        | 1.88        | 1.16        | 2.79        | 3.31        |
| 2000       | 0.59        | 4.95        | 4.18        | 2.81       | 6.1         | 6.84        | 2.01        | 1.21        | 3.03        | 3.63        |
| 2001       | 4.83        | 5.31        | 4.74        | 2.59       | 6.75        | 5.99        | 2.9         | 1.63        | 3.9         | 6.04        |
| 2002       | 12.84       | 2.79        | 3.5         | 1.56       | 4.2         | 5.5         | 1.38        | 0.74        | 2.7         | 2.7         |
| 2003       | 12.5        | 3.56        | 3.26        | 4.61       | 4.35        | 4.36        | 2.23        | 1.68        | 3.65        | 4.77        |
| 2004       | 9.18        | 5.21        | 2.6         | 7.32       | 5.66        | 9.39        | 3.48        | 1.75        | 4.64        | 5.99        |
| 2005       | 0.84        | 2.4         | 0.95        | 2.81       | 1.87        | 5.88        | 0.74        | 0.24        | 1.7         | 1.21        |
| 2006       | 2.3         | 3.34        | 1.37        | 6.54       | 2.37        | 6.14        | 1.66        | 1.26        | 2.74        | 3.73        |
| 2007       | 3.17        | 4.45        | 0.99        | 6.95       | 2.65        | 8.52        | 2.01        | 2.43        | 3.84        | 2.18        |
| 2008       | 7.54        | 5.04        | 1.39        | 8.46       | 3.09        | 9.03        | 2.45        | 3.1         | 4.27        | 3.54        |
| 2009       | 1.14        | 2.83        | 1.22        | 10.9       | 2.22        | 6.18        | 0.94        | 1.53        | 2.1         | 1.72        |
| 2010       | 2.36        | 4.86        | 1.7         | 6.86       | 3.66        | 6.64        | 4.94        | 3.8         | 3.52        | 4.15        |
| 2011       | 5.1         | 7.33        | 1.74        | 3.51       | 3.87        | 6.88        | 2.87        | 3.64        | 2.61        | 3.02        |
| 2012       | 8.77        | 2.21        | 0.88        | 1.26       | 1.63        | 5.65        | 0.3         | 1.5         | 0.87        | 0.27        |
| 2013       | 12.44       | 3.83        | 1.57        | 4.83       | 3.05        | 6.17        | 2.51        | 3.88        | 1.88        | 3.19        |
| 2014       | 13.29       | 4           | 1.05        | 4.71       | 5.65        | 6.66        | 2.56        | 3.93        | 2.86        | 4.92        |
| 2015       | 11.47       | 4.34        | 1.66        | 5.21       | 6.28        | 7.14        | 3.62        | 3.07        | 4.24        | 5.53        |
| 2016       | 13.63       | 2.79        | 1.19        | 4.29       | 4.69        | 4.18        | 3.41        | 2.03        | 3.7         | 4.69        |
| 2017       | 16.59       | 3.21        | 1.53        | 3.81       | 3.76        | 5.28        | 0.88        | 1.24        | 2.68        | 2.39        |
| 2018       | 14.17       | 4.11        | 2.8         | 6.06       | 5.68        | 4.19        | 4.57        | 3.17        | 4.11        | 7.22        |
| 2019       | 11.64       | 1.96        | 0.94        | 3.57       | 4.4         | 2.91        | 1.95        | 3.03        | 3.8         | 2.8         |
| 2020       | 12.31       | 2.69        | 1.57        | 4.24       | 3.95        | 3.84        | 3.29        | 3.67        | 4.56        | 7.02        |
| 2021       | 12.43       | 3           | 0.29        | 3.93       | 4.56        | 4.23        | 2.52        | 3.62        | 5.14        | 6.67        |
| 2022       | 9.2         | 2.69        |             | 2.2        | 2.93        | 3.36        | 0.9         | 0.94        | 2.15        | 2.77        |
| 2023       | 12.21       | 3.11        |             | 3.03       | 4.65        | 3.33        |             |             |             | 6.6         |
| TWR        | 8.07037037  | 3.318815789 | 3.036835443 | 3.57242857 | 4.313       | 4.070555556 | 3.196025641 | 2.95140625  | 4.266865672 | 4.307037037 |
| Edad       | 27          | 76          | 79          | 70         | 70          | 72          | 78          | 64          | 67          | 54          |
| 2005_resis | 0.073001159 | 0.62283737  | 0.304487179 | 0.62490734 | 0.3947924   | 0.916363636 | 0.313117066 | 0.172661871 | 0.464058235 | 0.269687964 |
| 2005_recov | 5.162698413 | 1.781944444 | 1.315789474 | 2.60379597 | 1.445632799 | 1.342970522 | 2.756756757 | 9.430555556 | 2.12745098  | 2.603305785 |
| 2005_resil | 0.376882966 | 1.109861592 | 0.400641026 | 1.62713121 | 0.570724842 | 1.230649351 | 0.863187588 | 1.628297362 | 0.987261146 | 0.702080238 |
| 2012_resis | 3.059302326 | 0.441411451 | 0.566523605 | 0.17771509 | 0.501538462 | 0.860406091 | 0.102857143 | 0.501672241 | 0.317132442 | 0.091113611 |
| 2012_recov | 1.41391106  | 1.835595777 | 1.621212121 | 3.9021164  | 3.063394683 | 1.178171091 | 9.655555556 | 2.417777778 | 3.440613027 | 16.83950617 |
| 2012_resil | 4.325581395 | 0.810252996 | 0.918454936 | 0.69346497 | 1.536410256 | 1.013705584 | 0.993142857 | 1.212931996 | 1.091130012 | 1.534308211 |
| 2017_resis | 1.296431362 | 0.865229111 | 1.176923077 | 0.80436312 | 0.678700361 | 0.880978865 | 0.275286757 | 0.411960133 | 0.744444444 | 0.473579921 |
| 2017_recov | 0.765923247 | 0.909657321 | 1.156862745 | 1.21347332 | 1.243794326 | 0.690656566 | 3.715909091 | 2.653225806 | 1.550995025 | 2.376569038 |
| 2017_resil | 0.992966918 | 0.787061995 | 1.361538462 | 0.97607319 | 0.844163658 | 0.608453838 | 1.022940563 | 1.093023256 | 1.15462963  | 1.125495376 |

