

TRABAJO FIN DE MÁSTER

ESTUDIO DE LA RELACIÓN ENTRE ÍNDICE DE CREENCIERTE E ÍNDICES DE VEGETACIÓN PARA EL GÉNERO *PINUS* DURANTE EL PERÍODO 2000 – 2014

Autora: María Royo Navascués

***Directores: Dr. Luis Alberto Longares Aladrén
Lic. Edurne Martínez del Castillo***

Máster Universitario en

**Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Diciembre de 2015



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



RESUMEN

El presente trabajo tiene como objetivo analizar la relación entre el índice de crecimiento obtenido a través de métodos dendrocronológicos y las diferentes variables obtenidas desde el sensor MODIS y su producto MOD13Q1 encargado de los índices de vegetación. La metodología se ha centrado en la descarga, pre-tratamiento y extracción de datos de las imágenes necesarias para el estudio y un posterior análisis estadístico de los datos obtenidos. Se ha realizado un estudio de las series temporales a través del programa "TIMESAT" permitiendo observar el comienzo y final de los períodos de crecimiento, su valor base o su valor más alto, además de su amplitud y duración. Posteriormente se ha realizado un estudio estadístico a través del análisis de correlación bivariada. Las principales conclusiones obtenidas son: a) las coníferas tienen una amplia distribución y una gran capacidad de adaptación a las condiciones climáticas y por lo tanto es complicado dar respuestas biológicas generalizadas espacialmente a los resultados estadísticos, b) a través del estudio estadístico de correlación se ha comprobado como a pesar de la complejidad antes descrita, se observa para algunas variables de las obtenidas desde el sensor correlación positiva, c) la elaboración de cartografías ha permitido mostrar alguno de los patrones de agrupación de especies con correlaciones en las variables.

ABSTRACT

This paper aims to analyze the relation between the growth rate obtained through dendrochronology methods and the different variables obtained from MODIS sensor and his product MOD13Q1 taken charge of the indexes of vegetation. The methodology has focused on the unload, pre-treatment and extraction of image data necessary for the study and for a statistical analysis of the data obtained. There has been realized a study of the time-serie using "TIMESAT" program allowing to observe the beginning and end of the periods of growth, its base value or higher value and his amplitude and duration. Subsequently there has been a statistical study through the analysis of bivariate correlation. The main conclusions are: a) Coniferous have a wide distribution and great adaptability to climate conditions and thus it is complicated to give biological answers, b) through the statistical study of correlation it has been verified that there are positive correlation in some variables, c) the development of cartography has allowed to show any of the clustering patterns of species with correlations in variables.

ÍNDICE DE CONTENIDO

AGRADECIMIENTOS	6
1 INTRODUCCIÓN	8
1.1 EL SENSOR MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)	9
1.2 PRODUCTOS DE MODIS: NDVI Y EVI	11
1.3 Los bosques de coníferas: El género <i>Pinus</i>	13
2 OBJETIVO E HIPOTESIS	14
2.1 Objetivo	14
2.2 Hipótesis	14
3 ÁREA DE ESTUDIO	14
4 METODOLOGÍA	17
4.1 Series de crecimiento dendrocronológicas	17
4.2 Selección de las series dendrocronológicas para el estudio.....	18
4.3 Descarga de las imágenes MODIS.....	20
4.4 Unión y re proyección de las imágenes	22
4.5 Descarga y tratamiento de los datos de NDVI y EVI	24
4.6 Análisis de los datos en TIMESAT	24
4.7 Preparación de los datos para SPSS y análisis estadístico	28
5 RESULTADOS	28
5.1 Tipos de curvas dependiendo de la cubierta vegetal	28
5.2 Resultados obtenidos de <i>TIMESAT</i> : Ejemplos de curvas NDVI Y EVI de las Series Temporales MODIS 30	
5.2.1 NDVI	30
5.2.2 EVI	32
5.3 Resultados del estudio de Correlación entre Índice de Crecimiento y las variables obtenidas desde MODIS 34	
5.3.1 Resultados del Índice de vegetación NDVI	34
5.3.2 Resultados del Índice de vegetación EVI	41
6 CONLUSIONES	45
7 BIBLIOGRAFÍA	48
7.1 RECURSOS WEB	48
8 ANEXOS	49
8.1 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA NDVI	49
8.2 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA EVI	62

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Procedimiento para datar elementos de madera y complementación de la cronología hacia el pasado con maderas de diversas procedencias (Gutiérrez, E. 2008)	8
Figura 2: Fórmula para el cálculo del NVDI.....	12
Figura 3: Fórmula para el cálculo del EVI.....	12
Figura 4: Distribución de las especies analizadas en el proyecto. Fuente de información: Universidad Politécnica de Valencia.....	14
Figura 5: Mapa del área de estudio y localización de las muestras dendrocronológicas obtenidas en campo. Elaboración propia.....	15
Figura 6: Regiones Biogeográficas y sus provincias en España. IGN.....	16
Figura 7: Mapa conceptual de la metodología llevada a cabo. En tonalidad azul procesos metodológicos desarrollados en su totalidad por la autora de este TFM. Elaboración propia	17
Figura 8: Representación de tres localizaciones diferentes. Imagen 1 densidad 40% - cobertura 30%; Imagen 2 densidad 95% - cobertura 90%; Imagen 3 densidad 95% - Cobertura 50%.	18
Figura 9: Parte I del script utilizado	20
Figura 10: Figura 9: Parte II del script utilizado	20
Figura 11: Representación sinusoidal y localización en los bloques de España. Elaboración propia.....	21
Figura 12: Parte III del script utilizado	21
Figura 13: Parte IV del script utilizado	21
Figura 14: Parte V del script utilizado	22
Figura 15: Parte I del script utilizado	22
Figura 16: Parte II del script utilizado	23
Figura 17: Mosaico de imágenes MODIS para la Península Ibérica.....	23
Figura 18: NDVI de España con la máscara aplicada	24
Figura 19: Interface de trabajo del programa TIMESAT.	25
Figura 20: Algunos de los parámetros estacionarios generados por TIMESAT: (a) beginning of season, (b) end of season, (c) length of season, (d) base value, (e) time of middle of season, (f) maximum value, (g) amplitude, (h) small integrated value, (h+) large int	27
Figura 21: Curva NDVI de matorrales. Remote sensing phenology, USGST	28
Figura 22: Curva NDVI coníferas con influencia de nieve	29
Figura 23: Curva NDVI coníferas sin influencia de nieve	29
Figura 24: Curva NDVI con dos estaciones de crecimiento	29
Figura 25: Curva NDVI obtenida de TIMESAT de <i>Pinus halepensis</i>	30
Figura 26: Curva NDVI obtenida de TIMESAT de <i>Pinus sylvestris</i>	31
Figura 27: Curva NDVI obtenida de TIMESAT de <i>Pinus halepensis</i>	32
Figura 28: Curva EVI obtenida de TIMESAT para <i>Pinus halepensis</i>	32

Figura 29: Curva EVI obtenida en TIMESAT para <i>Pinus sylvestris</i>	33
Figura 30: Curva EVI obtenida en TIMESAT para <i>Pinus halepensis</i>	33
Figura 31: Localización de las series con correlaciones entre Base val., e índice de crecimiento.....	34
Figura 32: Localización de las series con correlaciones entre Peak val., e Índice de Crecimiento	35
Figura 33: Localización series con correlaciones entre Length e índice de Crecimiento	36
Figura 34: Gráficos de dispersión de El Grado.....	39
Figura 35: Gráficos de dispersión de Sierra de San Jordi.....	40
Figura 36: Localización de las series de NDVI con correlaciones.....	40
Figura 37: Localización de las series con correlaciones entre Base val., e índice de crecimiento.....	41
Figura 38: Localización de las series con correlaciones entre END e Índice de Crecimiento	42
Figura 39: Correlaciones obtenidas para el caso de Fuensanta	43
Figura 40: Correlaciones obtenidas para la localización de Barranco de San Juste.	44

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Características de las bandas espectrales del sensor MODIS (Fuente: NASA, MODIS WebSite, 2015)	10
Tabla 2: Características de las bandas espectrales del sensor MODIS (Fuente: NASA, MODIS WebSite, 2015)	11
Tabla 3: Información contenida en las bandas de MOD13Q1.....	12
Tabla 4: Localizaciones seleccionadas para su estudio	19
Tabla 5: Parámetros seleccionados para el procesado de los datos en TIMESAT.....	25
Tabla 6: Correlaciones NDVI Tabla 7: Correlaciones EVI.....	37

AGRADECIMIENTOS

Con estas líneas quiero agradecer, en primer lugar a mi director de proyecto el Doctor Luis Alberto Longares, por toda la ayuda y atención prestada durante todos estos años, por haber querido dirigir tanto mi proyecto fin de carrera como el de máster, y en definitiva por dejarme aprender y formarme bajo su tutela.

Agradecer también la ayuda prestada por parte del Doctor Martín de Luis Arrillaga, por proporcionarme los datos necesarios y ayudarme siempre que lo he necesitado. Y por supuesto, agradecer enormemente a la doctoranda Edurne Martínez por dejarme participar en uno de sus proyectos y por dejarme trabajar con ella, ayudarme en todos los momentos que la he necesitado y por haberme hecho un poco más sencillo este proyecto. Y sobre todo por haberme aconsejado desde los primeros años de carrera al enterarse de que por fin había alguien interesada en la Biogeografía y en las plantitas. Muchas gracias Edurne.

No me puedo olvidar de mis dos jinetes de máster, Víctor y Sara, sin los cuales seguro que el año hubiera sido más aburrido, los trabajos y las prácticas hubieran sido otro cantar y sobre todo agradecerles todos los ánimos dados en el último mes, porque han sido fundamentales para conseguir que este proyecto llegara a buen puerto.

Y finalmente agradecer a toda mi familia su paciencia porque son los que más han sufrido en este periodo final del máster.

*Excelente maestro es aquel que, enseñando poco,
hace nacer en el alumno un deseo
grande de aprender.*

Arturo Graf.

1 INTRODUCCIÓN

El cambio climático a día de hoy es una realidad. Las evidencias de ello se pueden encontrar en algunos hechos como la reducción de los glaciares o la apertura de vías navegables en el Ártico a consecuencia de la disminución del manto de hielo. No obstante, la mayor parte de las evidencias del cambio climático se pueden observar en el comportamiento de las especies y de los ecosistemas (Gutiérrez & Picatoste, 2012).

En este aspecto, los anillos de crecimiento de los árboles son archivos naturales de las condiciones medioambientales tales como: temperatura, precipitación, composición química del aire o del agua, variaciones del crecimiento de la biomasa vegetal, erupciones volcánicas, variaciones geomorfológicas, actividad solar y rayos cósmicos (Reedy *et al.* 1983; Bradley 1999).

La dendrocronología es una disciplina científica dotada de un conjunto de principios, técnicas y métodos que permiten datar los anillos de crecimiento anuales, extraer, separar e interpretar la información que contienen de los diferentes factores que han influido en su crecimiento (Gutiérrez, 2008).

Dicha información obtenida de los anillos de crecimiento permite reconstruir el clima del pasado para períodos de los cuales no se dispone de registros meteorológicos, analizar y estudiar procesos ecológicos, geomorfológicos o arqueológicos, etc... (Figura 1).

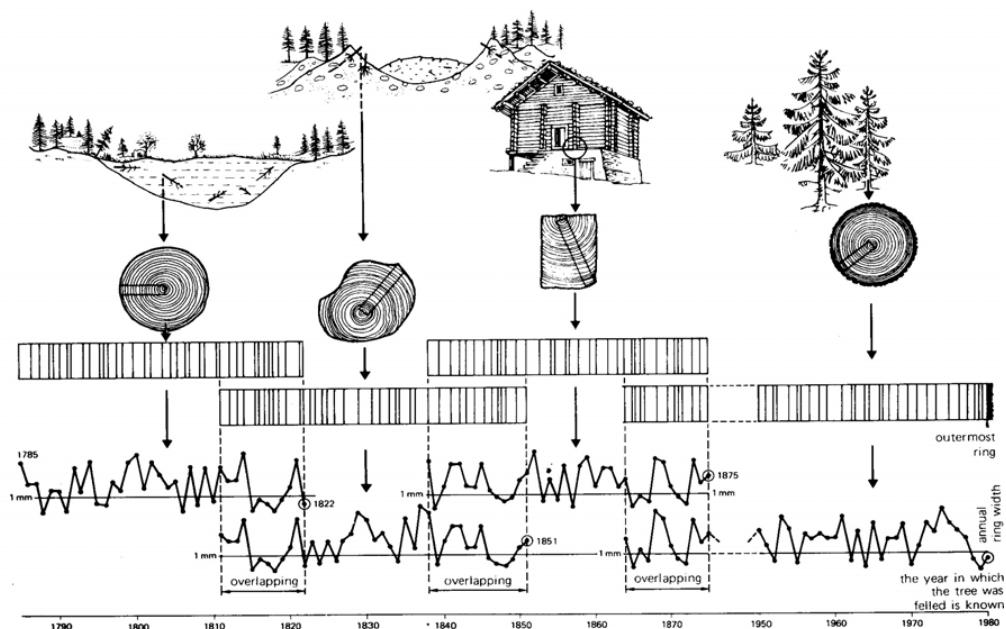


Figura 1: Procedimiento para datar elementos de madera y complementación de la cronología hacia el pasado con maderas de diversas procedencias (Gutiérrez, E. 2008)

Junto a estas técnicas con una importante dosis de trabajo de campo, hoy en día existen nuevas técnicas que se han ido incorporando a las diferentes disciplinas científicas como complemento perfecto para los datos obtenidos en campo. Dentro de estas nuevas tecnologías se debe de hacer alusión, en el ámbito geográfico, a la Teledetección. La teledetección tiene por finalidad identificar y caracterizar los materiales de la superficie terrestre y los procesos que en ella ocurren a partir de la radiación electromagnética procedente de la misma, entendiendo por tal tanto la emitida por la propia superficie terrestre como la reflejada de la que llega del sol, prevaleciendo una sobre otra en función del intervalo espectral considerado (Gilabert *et al.*, 1997).

En los últimos años, la teledetección en relación con el estudio del crecimiento de los árboles y su respuesta frente al clima ha ido cobrando mayor presencia, relacionando datos dendrocronológicos con las imágenes analizadas mediante teledetección, siendo utilizadas para el análisis de procesos breves en el

tiempo, pero también en los de medio y largo plazo. Una de las aplicaciones más utilizadas de la teledetección en este sentido, es el seguimiento de la fenología de las masas forestales para evaluar el impacto de los cambios o variaciones del clima, que puede variar entre las especies debido a la diferente sensibilidad que tienen las diversas especies a los cambios estacionales en la temperatura, luz o precipitación (Jönsson, A.M., *et al.* 2010).

Por lo tanto, la utilización de series temporales de vegetación derivadas de las mediciones espectrales de los satélites, pueden utilizarse para la obtención de información sobre el desarrollo de la vegetación estacional. Este análisis permite obtener información sobre las características funcionales y estructurales de la cubierta global y regional de la tierra y se suma al conocimiento actual sobre los ciclos globales de energía y materia (Eklundh, L. *et al.* 2015).

1.1 EL SENSOR MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer)

El sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS), es un espectro-radiométrico de imágenes de media resolución. Este sensor se encuentra a bordo de los satélites Terra y Aqua, los cuales forman parte de la misión EOS (Earth Observing System) de la NASA.

MODIS proporciona una resolución radiométrica de 12 bits, en 36 bandas del espectro electromagnético, abarcando las longitudes de onda desde 0.4 a 14.4 μm . De las 36 bandas, dos poseen una resolución espacial nominal de 250 metros; cinco de 500 metros y las 29 restantes, de 1 kilómetro (Tabla 1).

Los datos que se pueden obtener de este sensor cuentan con una alta sensibilidad radiométrica, buena calidad geométrica, alta resolución temporal, y son distribuidos de manera gratuita a través de diferentes portales de internet (Mas, JF. 2011).

Por sus características espaciales y espectrales, es uno de los más importantes para el monitoreo de los procesos de cambio en la tierra (Tabla 1), ya que gracias a los diferentes sensores que forman parte de las plataformas Terra y Aqua se obtienen diferentes tipos de información con las mismas condiciones atmosféricas, ángulos de iluminación y observación, permitiendo asimismo la inter-calibración entre sensores.

Los productos de MODIS se obtienen en el formato Hierarchical Data Format (HDF), desarrollado por el Centro Nacional de Aplicaciones de Supercomputación. Este formato permite guardar tanto los datos como diferentes aplicaciones para manipularlos.

Por otro lado, los metadatos resultan de especial relevancia para manejar los datos descargados de MODIS. Las características más importantes de estos metadatos son:

- Xdim e Ydim: representan respectivamente el número de filas y columnas
- Proyección sinusoidal con esferoide de 6.371.007.181 metros.
- Los campos “UpperLeftPointMtrs” y “LowerRightMtrs” se expresan en el sistema de coordenadas de la proyección e identifican respectivamente las esquinas arriba y a la izquierda y abajo a la derecha de la imagen.
- Campos adicionales indican la latitud y longitud de la imagen en coordenadas geográficas
- Los atributos de los metadatos contienen también información para cada capa de información como rango de los valores y factores de escala. (Mas, JF. 2011).

Tabla 1: Características de las bandas espectrales del sensor MODIS (Fuente: NASA, MODIS WebSite, 2015)

Uso Principal	Banda ¹	Longitud de onda ¹	Radiancia espectral ²
Superficie/Nubes/Límites Aerosoles	1	620 - 670	21.8
	2	841 - 876	24.7
Superficie/Nubes/Propiedades Aerosoles	3	459 - 479	35.3
	4	545 - 565	29.0
	5	1230 - 1250	5.4
	6	1628 - 1652	7.3
	7	2105 - 2155	1.0
	8	405 - 420	44.9
	9	438 - 448	41.9
Color del Océano	10	483 - 493	32.1
	11	526 - 536	27.9
	12	546 - 556	21.0
	13	662 - 672	9.5
	14	673 - 683	8.7
	15	743 - 753	10.2
	16	862 - 877	6.2
Vapor de agua atmosférico	17	890 - 920	10.0
	18	931 - 941	3.6
	19	915 - 965	15.0
Uso Principal	Banda ¹	Longitud de onda ¹	Radiancia espectral ²
Superficie/Temperatura nubes	20	3.660 - 3.840	0.45(300K)
	21	3.929 - 3.989	2.38(335K)
	22	3.929 - 3.989	0.67(300K)
	23	4.020 - 4.080	0.79(300K)
Temperatura atmosférica	24	4.433 - 4.498	0.17(250K)
	25	4.482 - 4.549	0.59(275K)
Nubes cirros	26	1.360 - 1.390	6.00
	27	6.535 - 6.895	1.16(240K)
	28	7.175 - 7.475	2.18(250K)
Propiedades nubes	29	8.400 - 8.700	9.58(300K)
Ozono	30	9.580 - 9.880	3.69(250K)
Superficie/Temperatura nubes	31	10.780 - 11.280	9.55(300K)
	32	11.770 - 12.270	8.94(300K)
Altitud tope nubes¹	33	13.185 - 13.485	4.52(260K)
	34	13.485 - 13.785	3.76(250K)
	35	13.785 - 14.085	3.11(240K)
	36	14.085 - 14.385	2.08(220K)

¹ Bandas de la 1 a la 19 in nm; Bandas de la 20 a la 36 en μm

² Valores de Radiancia espectral expresados en ($\text{W}/\text{m}^2/\mu\text{m}/\text{sr}$)

Una de las características importantes del sensor MODIS es ser uno de los sensores con un mayor nivel de procesamiento. El uso de algoritmos específicos permite la generación de productos de alta calidad ya que incluyen las correcciones del efecto atmosférico, radiométricas y geométricas.

En el caso de este proyecto se han empleado productos del nivel 3, nivel en el que se puede llegar a realizar un remuestreo a una menor resolución elaborando productos de intervalo menor, como 8 y 16 días, para permitir la combinación de ambos datos de los sensores (Modis terra y Modis Aqua) y obtener resultados sin fisuras ni errores.

Además, hay que destacar la incorporación en todos los productos la información sobre la calidad de los mismos. Estos datos juegan un papel muy importante en el uso de los datos obtenidos ya que describen la calidad de cada uno de los píxeles y permiten la eliminación de aquellos datos que puedan estar afectados por cobertura de nieve o por la presencia de nubes antes de proceder a su análisis.

1.2 PRODUCTOS DE MODIS: NDVI Y EVI

Los índices de vegetación son combinaciones de bandas espectrales registradas por los satélites, cuyo objetivo es realizar la vegetación en función de su respuesta espectral y atenuar los detalles de otros elementos como el suelo o la iluminación.

El presente trabajo se ha llevado cabo con la utilización de dos índices de vegetación, el Normalized Difference Vegetation Index (conocido como NDVI por sus siglas) y el Enhanced Vegetation Index (EVI por sus siglas).

En MODIS ambos índices se obtienen del producto MOD13, producidos cada 16 días y mensuales de manera global a resoluciones de 250, 500, 1000 metros y 0.05°. En este caso, el producto utilizado del sensor MODIS es el MOD13Q1, el cual nos permite obtener los dos índices de vegetación necesarios para la investigación (Tabla 2).

Tabla 2: Características de las bandas espectrales del sensor MODIS (Fuente: NASA, MODIS WebSite, 2015)

Clave MOD13Q1			
Plataforma	Terra Aqua	Versión	5
Resolución temporal	16 - Días	Tamaño del archivo	5-270
Resolución espacial	250 m	Número de capas	12
Extensión espacial	Tile	Capa(s) más importantes	NDVI, EVI
Nivel	L3	Fecha de inicio de producción	24/02/2000
Fase de validación	2	(Terra y Aqua)	14/07/2002

En este trabajo se ha seleccionado el producto de índices de vegetación de MOD13Q1, el cual pertenece al grupo de productos MODLAND. Y dentro del propio producto se ha trabajado con la capa 1, 2 y 3 de las 12 que componen el producto, que son las que hacen referencia a NDVI, a EVI y a la calidad del píxel (tabla 3).

Tabla 3: Información contenida en las bandas de MOD13Q1

Banda	Información
1	NDVI
2	EVI
3	Información de calidad (VI Quality)
4	Reflectividad en el rojo
5	Reflectividad en el Infrarrojo cercano
6	Reflectividad en el azul
7	Reflectividad en el Infrarrojo medio
8	Ángulo cenital de visión
9	Ángulo cenital solar
10	Ángulo acimutal relativo
11	Fecha de toma de pixeles del compuesto
12	Fiabilidad del pixel

El **NDVI** es utilizado para la estimación de la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación con base a la medición de la intensidad de la radiación de ciertas bandas del espectro electromagnético que la vegetación emite o refleja. Para su obtención se lleva a cabo el cálculo del cociente normalizado de la banda del infrarrojo cercano y la banda del rojo (Figura 2):

$$NDV = \frac{R_{IRC} - RR}{R_{IRC} + R_R}$$

Figura 2: Fórmula para el cálculo del NDVI

Por otro lado, el **EVI** (Figura 3) permite obtener la respuesta de las variaciones estructurales del dosel vegetal, incluyendo el índice de área foliar, tipo y arquitectura del dosel además de la fisonomía de la planta.

Fue desarrollado para optimizar la señal de la vegetación con sensibilidad mejorada para altas densidades de biomasa, lográndose esto al separar la señal proveniente de la vegetación y la influencia atmosférica, solucionando aquellos inconvenientes que puedan aparecer en la aplicación del NDVI.

$$EVI = G \frac{R_{IRC} - R_R}{R_{IRC} + C1R_R - C2R_A + L}$$

Figura 3: Fórmula para el cálculo del EVI

Una de las características que lo diferencia del NDVI es su sensibilidad ante las variaciones estructurales del dosel vegetal, mientras que el NDVI lo es a la clorofila. La combinación de ambos hace que se mejore la detección de los cambios y la extracción de parámetros biofísicos del dosel gracias a su complementación.

1.3 Los bosques de coníferas: El género *Pinus*

Pinus es un género de plantas vasculares pertenecientes al grupo de las coníferas y dentro de este grupo a la familia de las pináceas. En la región mediterránea el género *Pinus* es quizás el más importante de los fanerófitos, en él se encuentran representadas un gran número de especies diferentes entre las que se pueden distinguir: *Pinus halepensis*, *Pinus pinea*, *Pinus pinaster*, *Pinus sylvestris*, *Pinus nigra* y *Pinus uncinata* como las más características.

Este género se distribuye desde los Pirineos hasta el Sistema Bético, pasando por el Sistema Central y el Sistema Ibérico (Figura 4). Es uno de los taxones cuyo tallo está constituido por madera homoxila, es decir, formada únicamente por traqueidas todas iguales y con canales resiníferos. Sus hojas son de forma acicular, agrupadas en fascículos de 2, 3 o 5, envueltas por una vaina en su parte inferior. Presenta estróbilos masculinos de color amarillo, y agrupados en amentos mientras que los femeninos son erectos. En cuanto a los conos femeninos, denominados piñas, son escamosos leñosos y llegan a abrirse cada dos o tres años soltando semillas aladas. Su madera es de color blanca-amarillenta, dura y resinaosa.

A continuación se especificarán las características más relevantes de cada una de las especies de este género estudiadas en el presente proyecto:

- ***Pinus halepensis*:** Puede alcanzar los 25 m de altura, con un tronco macizo y tortuoso y con un color gris rojizo en la corteza. Las acículas son largas y agrupadas de dos en dos, flexibles y ligeramente amarillentas. Las piñas son pequeñas y pedunculadas. Es una especie que resiste muy bien la aridez, además de ser una especie pirófita, siendo beneficioso el fuego o en su defecto las altas temperaturas, para su propagación con el estallido de las piñas y expansión de las semillas.
- ***Pinus nigra*:** Puede alcanzar los 55 m de altura, con la corteza de color blanco ceniciento y con surcos toscos. Las acículas son largas y fuertes y se agrupan de dos en dos. Las piñas o estróbilos son pequeñas y con hojas redondeadas. La forma de la copa es cónica redondeada, llegando a ser irregular con la edad.
- ***Pinus sylvestris*:** Puede llegar a medir 30 m de altura. Cuando es joven el tronco está cubierto por una corteza pero serán los años los que lo desnuden de ella para aparecer sin ella al ser un ejemplar adulto. Las acículas son simples, rígidas, cortas y punzantes, agrupadas de dos en dos. Los estróbilos femeninos son conos de forma oblonga, de color marrón y apófisis poco saliente. Se adapta a todo tipo de suelo, cuanto más fértil sea el suelo mayor será su desarrollo.
- ***Pinus uncinata*:** raramente supera los 20 m de altura, tiene una copa piramidal y follaje denso y oscuro. Su tronco es erecto salvo en situaciones muy expuestas o ventisqueros, arqueándose con el peso de la nieve. Su estructura ramificada va casi desde la base hasta la copa, con una corteza gris oscura. Las acículas son de color verde oscuro con un borde áspero y en disposición muy densa sobre las ramas y agrupadas de dos en dos. Sus piñas se localizan casi sentadas sobre las ramas, aovadas, asimétricas y de color pardo, con escamas provistas de un escudete recurvado hacia atrás.

Las especies analizadas en este proyecto se distribuyen por parte importante de la Península Ibérica. Tal y como se observa en la Figura 4, las diferentes especies tienen una distribución muy concreta. En el caso del *Pinus halepensis* se distribuye por las regiones mediterráneas mientras que el *Pinus sylvestris* lo hace por el Pirineo, Sistema Ibérico, Maestrazgo y Sistema central.

También se observa como el *Pinus uncinata* es el que menor presencia tiene dentro de la península, pues su distribución se centra únicamente en el sector pirenaico. Por último, el *Pinus nigra* se extiende por el Sistema Ibérico meridional, Cordilleras Catalanas y Sistema Bético Oriental.

DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA DE LAS PINACEAS EN ESPAÑA

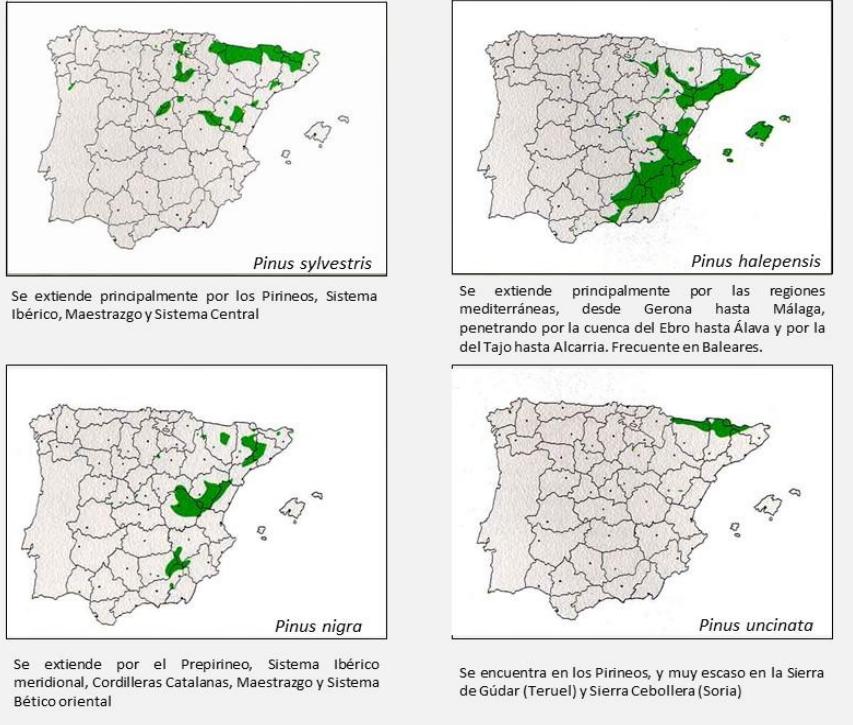


Figura 4: Distribución de las especies analizadas en el proyecto. Fuente de información: Universidad Politécnica de Valencia.

2 OBJETIVO E HIPOTESIS

2.1 Objetivo

El principal objetivo de este proyecto es analizar la relación existente entre los índices de vegetación NDVI y EVI obtenidos del sensor MODIS y el índice de crecimiento obtenido de los anillos de crecimiento de las especies muestreadas en campo entre el 2000 y 2014.

2.2 Hipótesis

Tal y como se ha comentado anteriormente, los índices de vegetación recogen información sobre la actividad fotosintética de los árboles, influyendo directamente en el crecimiento. Las variables obtenidas de las diferentes curvas de NDVI y de EVI han de estar íntimamente relacionadas con el crecimiento, esperando una respuesta correlacionada, es decir, a mayor valor, ya sea máximo o mínimo de NDVI, mayor crecimiento, al igual que a mayor duración de periodo de actividad vegetal, mayor crecimiento.

3 ÁREA DE ESTUDIO

La zona de estudio que comprende este trabajo (Figura 5), abarca el ámbito peninsular del territorio español, en concreto la parte occidental mediterránea de la Península Ibérica, territorio por el que tienen sus principales áreas de distribución las especies del género *Pinus* analizadas.

LOCALIZACIÓN DE LAS SERIES CON CORRELACIONES ENTRE END E ÍNDICE DE CRECIMIENTO

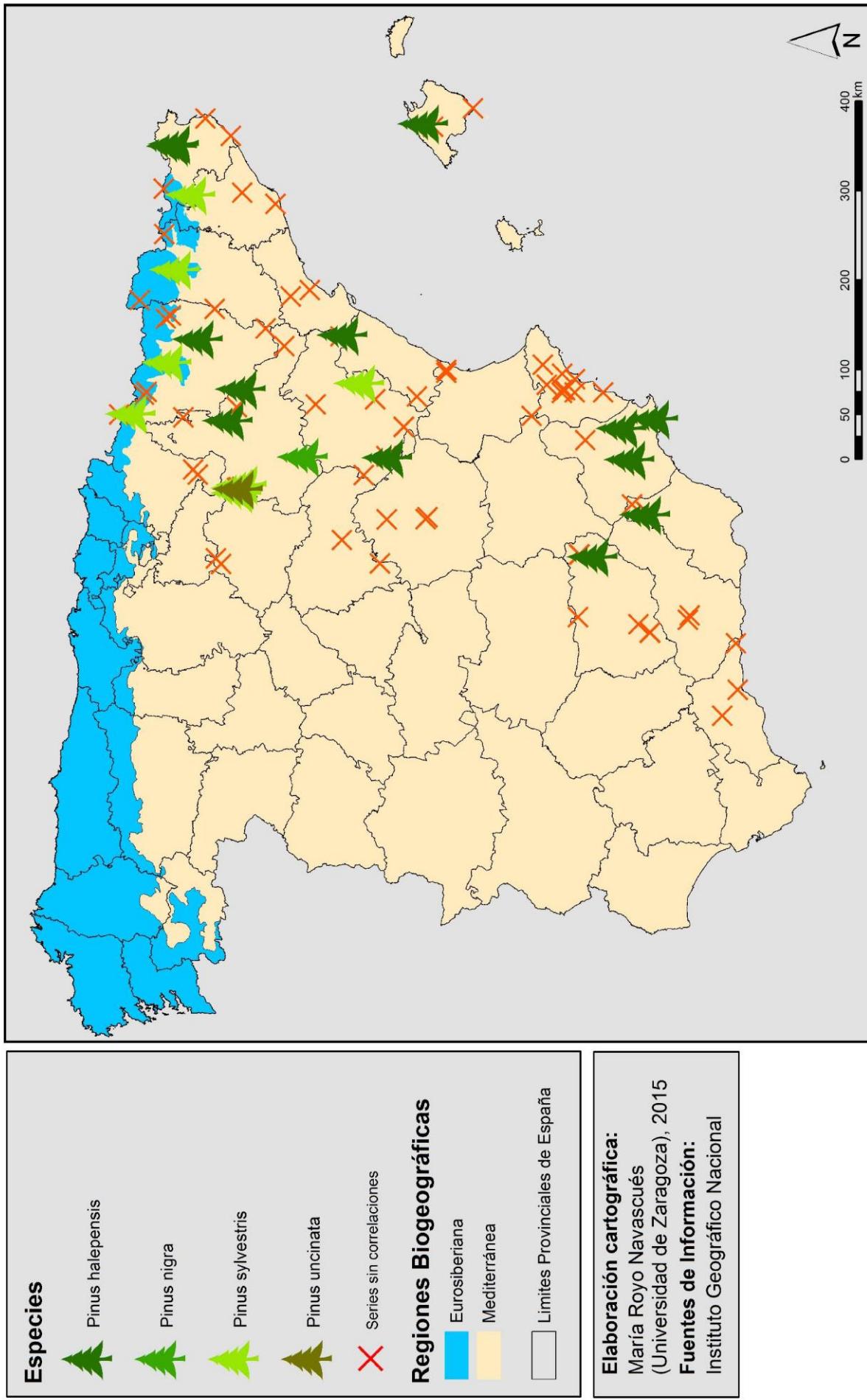


Figura 5: Mapa del área de estudio y localización de las muestras dendrocronológicas obtenidas en campo. Elaboración propia.

En este espacio, se han obtenido un total de 97 series dendrocronológicas (Figura 5) abarcando distintas regiones biogeográficas (Figura 6), tratando por tanto de cubrir ambientes con características bioclimáticas diferentes y que pudieran poner en evidencia la posibilidad de un diferente comportamiento de las especies ante la variabilidad de los factores.

En este sentido, en España se pueden diferenciar tres regiones biogeográficas: Eurosiberiana, Mediterránea y Macaronésica (Figura 6).

- Eurosiberiana, localizada en el Norte y Noroeste peninsular. Sus temperaturas son suaves y los veranos húmedos, favoreciendo el desarrollo de la cubierta vegetal, en especial las especies forestales caducifolias.
- Mediterránea, ocupa casi el 80 % de la Península y Baleares. Los veranos de esta zona son cálidos y secos, exponiendo a las especies a un estrés hídrico y dominando las especies con morfologías de hojas aciculares y con dominio de los géneros *Quercus* y *Pinus*.
- Macaronésica, pertenece a las Islas Canarias, y está expuesta a influencias contrapuestas; por un lado a las masas de aire frío y húmedo aportadas por los alisios y por otro lado, a los vientos saharianos secos y cálidos.

Debido a la corología mostrada por el género *Pinus*, la mayor parte de las series dendrocronológicas utilizadas en este proyecto, se localizan en la región mediterránea, aunque existen series localizadas en la cordillera pirenaica y por tanto dentro de la región Eurosiberiana.



Figura 6: Regiones Biogeográficas y sus provincias en España. IGN.

4 METODOLOGÍA

En el siguiente apartado se van a desarrollar todos los pasos llevados a cabo para la realización de este proyecto. En estos procesos se engloba la propia descarga de las imágenes MODIS, la descarga de los datos del producto MOD13Q1, la elaboración de una BBDD específica para su importación en programas de estadística, y la elaboración de un *script* que permita la automatización de la descarga y tratamiento de las imágenes de MODIS (Figura 7).

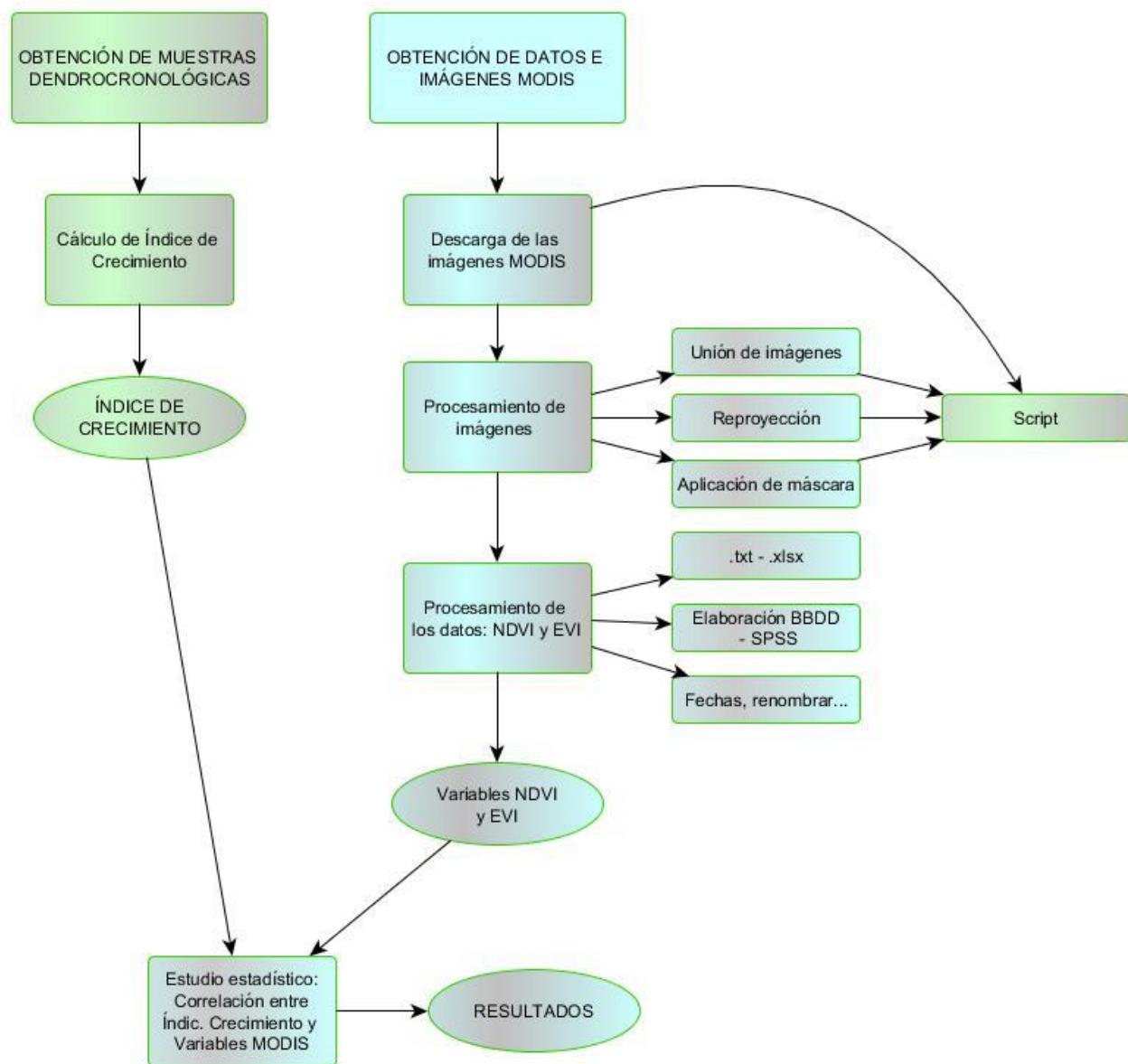


Figura 7: Mapa conceptual de la metodología llevada a cabo. En tonalidad azul procesos metodológicos desarrollados en su totalidad por la autora de este TFM. Elaboración propia

4.1 Series de crecimiento dendrocronológicas

Para el proyecto que aquí se presenta se han utilizado las muestras generadas por el grupo de investigación consolidado del Gobierno de Aragón Clima Agua y Cambio Global, perteneciente al Dpto. de Geografía y Ordenación del Territorio y al Instituto Universitario de Investigación de Ciencias Ambientales de Aragón de la Universidad de Zaragoza (IUCA), en concreto para las especies *Pinus halepensis* (Novak *et al.*, 2013), *Pinus sylvestris*, *Pinus uncinata* y *Pinus nigra* (Tejedor *et al.*, 2015).

Del conjunto de muestras disponibles, se seleccionaron aquellas que pertenecen a las especies citadas en el párrafo anterior, obteniendo un total de 97 muestras. La información utilizada en relación con estas series dendrocronológicas ha sido el índice de crecimiento de cada una de ellas, obtenida mediante el análisis de los anillos anuales de crecimiento. La obtención de este índice, requiere el trabajo previo de la medición de los grosores de los anillos, con una precisión de 1/100 mm., obteniéndose los grosores brutos de los anillos de crecimiento (en mm.), dato que posteriormente es procesado siguiendo técnicas dendrocronológicas estandarizadas (Cook and Kairiukstis, 1990) para eliminar la tendencia del crecimiento que abarca la edad y el tamaño y obtener de esta forma índices de crecimiento (con escala logarítmica), que pueden compararse entre sí.

4.2 Selección de las series dendrocronológicas para el estudio

Del total de series disponibles para las especies analizadas, se llevó a cabo una selección de las mismas en función de una serie de criterios relacionados con los objetivos planteados para el trabajo.

El primero de los criterios utilizados fue que tanto la cobertura como la densidad de pinos en el pixel fuera superior a 85%. La razón por la que se tomó esta decisión fue para evitar que pudiera existir interacción de otras especies u otras coberturas en los datos y por lo tanto ser resultados 100% para pinos. (Figura 8).



Figura 8: Representación de tres localizaciones diferentes. Imagen 1 densidad 40% - cobertura 30%; Imagen 2 densidad 95% - cobertura 90%; Imagen 3 densidad 95% - Cobertura 50%.

Tal y como se puede observar en la imagen anterior (Figura 8) se plantean tres situaciones diferentes en cuanto a densidades y coberturas. La imagen situada a la izquierda hace referencia a un pixel en el que la densidad es de un 40% y la cobertura un 30%. La densidad indica las características de dispersión de los ejemplares, es decir, si existe una concentración o una dispersión de la mancha de vegetación. En este ejemplo la densidad es de un 40% puesto que dentro del píxel hay una pequeña agrupación de vegetación, pero más de la mitad de la vegetación es pastos o matorrales y por lo tanto podrían interferir en los datos.

Situación similar se encuentra en la imagen situada a la derecha, en la que el punto de muestreo está dentro de una densidad del 95% pero la cobertura de la masa de pinos tan sólo cubre el 50% del espacio ocupado por el pixel. En cambio en la central, tanto la densidad como la cobertura superan el 90%, se trata de un pixel en el que la única especie vegetal existente es el pino y por lo tanto no hay ninguna otra que pudiera interferir en la obtención de los datos.

Tras este primer análisis, se seleccionaron las localizaciones óptimas para el estudio según este primer criterio, teniendo en total 26 muestras óptimas para el proyecto, llevando a cabo una nueva selección relacionada con la utilización del programa *TIMESAT*, que posteriormente se pasará a explicar.

Por último se manejó el criterio relacionado con los datos de los índices de vegetación, ya que en un principio se intentó obtener ambos índices de cada una de las localizaciones, pero en muchos casos, al obtener los datos de NDVI salían series completas y útiles para el análisis pero al obtener del mismo sitio el EVI se obtuvieron series con datos 0 y por lo tanto se tuvieron que dar como nulas, obligando a la selección de otras localizaciones para este índice.

El resultado de todas estas fases de selección de la variable independiente fue un total de 27 series dendrocronológicas, 18 de ellas aptas para el análisis en relación con el NDVI y 15 para el análisis del EVI, con la cobertura y densidad necesarias (Tabla 4)

Tabla 4: Localizaciones seleccionadas para su estudio

Localización	Altitud	X	Y	Especies	Densidad	Cobertura
Benatanduz_-_Muela_Manchon_(TE)	1700	715530	4492400	PISY	95	100
Alcubierre_(San_Caprasio)	738	709132	4624660	PIHA	90	90
Cartagena_(Murcia)	116	675868	4164240	PIHA	90	90
PN_Cazorla_-_Cortijos_Nuevos_(Jaen)	960	521733	4232420	PIHA	90	90
Bosc_de_Dalt	1500	842671	4698200	PISY	90	90
Daroca	937	633374	4555620	PIHA	90	100
Daroca_(Zaragoza)	937	633374	4555620	PINI	90	100
Estopinan_del_Castillo	502	799266	4653220	PIHA	80	90
Fuensanta_(Murcia)	138	665383	4199960	PIHA	70	95
El_Grado	168	764941	4672780	PIHA	85	100
Les_Lloses_(Ripoll)	800	926290	4680740	PISY	95	90
Chalet_catalan_(PN_Moncayo)	1020	598775	4629530	PISY	100	95
Collado_la_Loma_(PN_Moncayo)	1635	602376	4623990	PISY	90	90
Arroyo_los_Cejos_(PN_Moncayo)	1520	593135	4629680	PISY	90	100
Sendero_Haya_Seca_- _Coll._Castilla_(PN_Moncayo)	1765	597546	4628060	PIUN	95	90
Mallorca_(Caimari)	386	1005620	4421260	PIHA	90	90
Puig_de_les_Forques_(Girona)	185	983067	4699100	PIHA	100	95
Pinar_del_Pla_(Castellon)	1280	769521	4511280	PIHA	90	100
Salto_de_Bolarque_(Cuenca)	635	514955	4468820	PIHA	85	100
Sierra_Espuna_(Murcia)	846	630211	4190990	PIHA	90	100
Barranco_de_San_Juste	800	738866	4707340	PISY	90	90
PN_Sierra_Maria- Los_Velez2_(Almeria_Murcia)	1190	568892	4173560	PIHA	90	100
Sierra_de_Sant_Jordi_(Girona)	235	980557	4701300	PIHA	90	90
Valdecuenca_(Teruel)	1441	632388	4461250	PIHA	90	100
Valdecuenca_(TE)	1600	634632	4461560	PISY	85	80
Villanueva_de_Gallego	452	673813	4639120	PIHA	95	90
Anso_Zuriza__LlanaTaxeras	1400	681517	4747610	PISY	95	100

Leyenda ³de Especies: *Pinus halepensis* (PIHA), *Pinus sylvestris* (PISY), *Pinus uncinata* (PIUN), *Pinus nigra* (PINI).

³ Tabla de localizaciones seleccionadas. Especificación de las siglas de cada una de las especies seleccionadas.

4.3 Descarga de las imágenes MODIS

Una vez obtenidas las localizaciones de los muestreos, se procedió a la obtención de las imágenes MODIS para los lugares citados anteriormente. El servidor utilizado para ello fue el de *Earth Explorer* del USGS: <http://earthexplorer.usgs.gov/>.

En el caso de MODIS, tanto el NDVI como el EVI son productos ya preparados, y por lo tanto se descargan directamente de la página web mencionada con anterioridad.

Toda esta primera parte de metodología ha sido realizada a través de un *script* base, que ha sido modificado y adecuado por la autora para este trabajo, permitiendo de este modo automatizar el proceso. A continuación se va a explicar qué función tiene cada una de las líneas de código.

Para poder utilizar este *script* es necesario descargar e instalar varios paquetes de bibliotecas de investigación, estas son *Rcurl* y *rgdal*, además de la instalación del programa *MRT*, del que habrá que especificar dónde se localiza en el ordenador. El código sería el siguiente:

```
library(rgdal)
library(RCurl)
# Obtener la herramienta: http://lpdaac.usgs.gov/landdaac/tools/modis/index.asp
setwd("E:/brachy/TFM/MODIS")

# Localización de las imágenes MODIS dee 250 m:
MOD13Q1 <- "ftp://e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD1301.005/"
MOD13Q1a <- "ftp://anonymous:test@e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/MOD1301.005/"

# Localización de la herramienta MRT en nuestro ordenador:
MRT <- 'E:\\brachy\\\\TFM\\\\MODIS\\\\MRT\\\\'
workd <- 'E:\\brachy\\\\TFM\\\\MODIS'
options(download.file.method="auto")
```

Figura 9: Parte I del script utilizado

En esta primera parte del script (Figura 9) se han instalado las dos librerías necesarias (*library(rgdal)* y *library(RCurl)*), se ha establecido el directorio de trabajo con el comando *setwd()*, además de localizar el servido de las imágenes MODIS y la dirección de la ubicación del programa MRT (MODIS reprojection tool) en el ordenador y la ruta de salida para el almacenamiento de los resultados.

Una vez establecidos los directorios e instaladas las librerías necesarias se seguirá con la obtención de la lista de los directorios (figura 10). Hay que tener en cuenta que la distribución típica de las imágenes de MODIS es en formato HDF (*Hierarchical Data Format*) en proyección sinusoidal, de ahí que se necesite la herramienta MRT. Por otro lado, MOD13Q1 puede ser descargado directamente desde el FTP de la NASA.

```
# Obtención de los directorios:
items <- strsplit(getURL(MOD13A3), "\n")[[1]]
# items[2]
# [1] "drwxr-xr-x 2 90 118784 Jan 5 2009 2000.02.01|r"
# you get the folders (and files) but the folder names are in the form of a unix directory listing
# get the last word of any lines that start with 'd':
folderLines <- items[substr(items, 1, 1)=='d']
# get the directory names and create a new data frame:
dirs <- unlist(lapply(strsplit(folderLines, " "), function(x){x[length(x)]}))
dates <- data.frame(dirname=unlist(strsplit(dirs, "|r")))
```

Figura 10: Figura 9: Parte II del script utilizado

Posteriormente y para la selección de las imágenes, se necesita saber qué posición o bloques comprende la zona de estudio. En este caso, los archivos necesarios son H 17 V4, H17 V5, H18 V4 Y H18 V5 (figura 11).

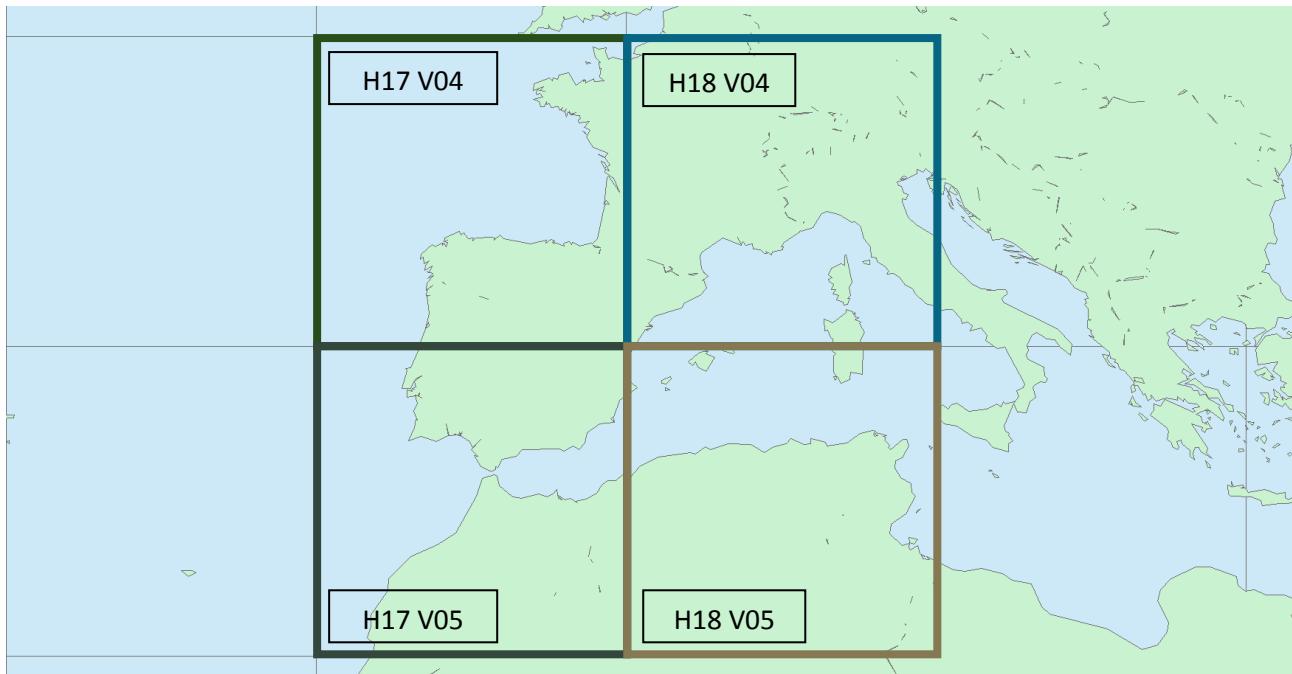


Figura 11: Representación sinusoidal y localización en los bloques de España. Elaboración propia.

Una vez conocidas las posiciones de las imágenes necesarias se proseguirá con la obtención de un listado de todos los archivos de imágenes que componen el FTP, al tener cada bloque un nombre único será más sencillo obtener los necesarios para el desarrollo del proyecto (Figura 12).

```
> getlist <- strsplit(getURL(paste(MOD13A3, dates$dirname[[1]], "/", sep="")),
+ .opts=curlOptions(ftpListonly=TRUE\)), "\r\n")[[1]]
> str(getlist)
chr [1:1144] "BROWSE.MOD13A3.A2000032.h00v08.005.2006271174446.1
> getlist[1101:1102]
#! [1] "MOD13Q1.A2000032.h31v10.005.2006271174005.hdf"
#! [2] "MOD13Q1.A2000032.h31v10.005.2006271174005.hdf.xml"
```

Figura 12: Parte III del script utilizado

La línea de código indica que el servidor al que se ha accedido tiene 1144 archivos en total, de los cuales sólo 4 son los que se necesitan. Para obtenerlos se puede utilizar el método de *grep*, método que permite la búsqueda de coincidencias de patrón en la argumentación dentro de cada uno de los elementos vectoriales, encontrando las diferencias en el formato y en la cantidad de detalle de los resultados (R Domumentation) (Figura 13).

```
> BLOCK1 <- getlist[grep(getlist, pattern="MOD13Q1.*.h17v04.*.hdf")][1]
> BLOCK2 <- getlist[grep(getlist, pattern="MOD13Q1.*.h18v04.*.hdf")][1]
> BLOCK3 <- getlist[grep(getlist, pattern="MOD13Q1.*.h117v05.*.hdf")][1]
> BLOCK1 <- getlist[grep(getlist, pattern="MOD13Q1.*.h18v5.*.hdf")][1]
[1] "MOD13Q1.A2000032.h17v04.005.2006271173514.hdf"
```

Figura 13: Parte IV del script utilizado

Se puede observar cómo el nombre de los archivos tiene una serie de números y de letras. Esto es consecuencia de la codificación HDF y su propia nomenclatura de identificación. El significado de cada número y letra es el siguiente:

MOD13Q1.A2000049.h17v04,005.2006269163246

1 2 3 24 5 6

1. Hace referencia al nombre de la plataforma
2. Indica el tipo de producto
3. Fecha de adquisición de la imagen (los días hay que recordar que están en formato juliano)
4. Indica las coordenadas de la imagen en la rejilla sinusoidal de MODIS
5. Número de la versión de procesamiento o colección
6. Fecha del procesamiento (Año, día juliano, hora, minuto y segundo. En este caso, año 2006, día juliano 269 (26 de agosto), 16 horas, 32 minutos y 46 segundos.

Una vez obtenida la lista con los archivos necesarios es el momento de descargarlos con el método *download.file* y con el paquete *exe wget*, el cual hay que tener descargado en el ordenador para que R sea capaz de descargar los archivos (figura 14).

```
> download.file(paste(MOD13Q1, dates$dirname[[i]], "/", BLOCK1, sep=""),
+ destfile=paste(getwd(), "/", BLOCK1, sep=""), mode='wb', method='wget')
--2009-03-01 18:21:37--  ftp://anonymous:password@e4ftl01u.ecs.nasa.gov/MOLT/...
    |    => `D:/PineBeetleBC/MODIS/MOD13Q1.A2000032.h17v04.005.2006271173514.hdf'
Resolving e4ftl01u.ecs.nasa.gov... 152.61.4.83
Connecting to e4ftl01u.ecs.nasa.gov|152.61.4.83|:21... connected.
Logging in as anonymous ... Logged in!
==> SYST ... done.    ==> PWD ... done.
==> TYPE I ... done.    ==> CWD /MOLT/MOD13Q1.005/2000.02.01 ... done.
==> SIZE MOD13Q1.A2000032.h17v04.005.2006271173514.hdf ... 3523318
==> PASV ... done.    ==> RETR MOD13Q1.A2000032.h17v04.005.2006271173514.hdf ... done.
Length: 3523318 (3.4M)
```

Figura 14: Parte V del script utilizado

Con la utilización de este *script* se consigue que el proceso de descarga de imágenes de MODIS sea más rápida y pueda utilizarse con la descarga de cualquier otro producto, puesto que con la modificación de alguna de las partes sería posible.

4.4 Unión y re proyección de las imágenes

Una vez obtenidas las imágenes MODIS se tiene la posibilidad de crear un mosaico para unir, en este caso, las cuatro imágenes que pertenecen a la zona de estudio. Este mosaico se elaborará, de nuevo, a través de un script que automatice todo el proceso. En este script la herramienta que se utilizará para la creación de este mosaico será *MODIS Reampling Tool*.

Lo primero de todo será la creación de un listado con las imágenes que se desea unir (Figura 15).

```
# Eliminación del ","
dirname1 <- sub(sub(pattern="\\" , replacement="_", dates$dirname[[i]]), pattern="\\" , replacement="_", dates$dirname[[i]])
# Obtención del listado de imágenes a unir
mosaicname = file(paste(MRT, "TmpMosaic.prm", sep=""), open="wt")
write(paste(workd, BLOCK1, sep=""), mosaicname)
write(paste(workd, BLOCK2, sep=""), mosaicname, append=T)
write(paste(workd, BLOCK3, sep=""), mosaicname, append=T)
write(paste(workd, BLOCK4, sep=""), mosaicname, append=T)
close(mosaicname)
```

Figura 15: Parte I del script utilizado

Tras crear el listado con las imágenes se procederá a la creación del mosaico de unión a través de la herramienta ya comentada *MRT*. Donde –s “0 1 0 0 0 0 0 0 0 0 0” hace referencia a la definición de la selección espectral, en este caso es la segunda banda de la imagen EVI, y ‘TmpMosaic.hdf’ es la imagen temporal que se obtiene.

Una vez creado el mosaico temporal se procederá a la re-proyección de la imagen al sistema de coordenadas WGS84. Para ello es necesario generar un archivo de parámetros de MRT (figura 16).

Tras realizar este proceso, el mosaico estaría re-proyectado según las características dadas para cada sistema de coordenadas.

```
#Parámetros para la re-proyección_
filename = file(paste(MRT, "mrt", dirname1, ".prm", sep=""), open="wt")
write(paste('INPUT_FILENAME = ', workd, 'TmpMosaic.hdf', sep=""), filename)
write('SPECTRAL_SUBSET = ( 1 )', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('SPATIAL_SUBSET_TYPE = OUTPUT_PROJ_COORDS', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('SPATIAL_SUBSET_UL_CORNER = ( 637278.0 1701350.0 )', filename, append=TRUE\)
write('SPATIAL_SUBSET_LR_CORNER = ( 1907278.0 335350.0 )', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write(paste('OUTPUT_FILENAME = ', workd, 'tmp', dirname1, '.tif', sep="), filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('RESAMPLING_TYPE = NEAREST_NEIGHBOR', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('OUTPUT_PROJECTION_TYPE = AEA', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('OUTPUT_PROJECTION_PARAMETERS = ( ', filename, append=TRUE\)
write(' 0.0 0.0 50.0', filename, append=TRUE\)
write(' 58.5 -126.0 45.0', filename, append=TRUE\)
write(' 1000000.0 0.0 0.0', filename, append=TRUE\)
write(' 0.0 0.0 0.0', filename, append=TRUE\)
write(' 0.0 0.0 0.0 )', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('DATUM = NAD83', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
write('OUTPUT_PIXEL_SIZE = 1000', filename, append=TRUE\)
write(' ', filename, append=TRUE\)
close(filename)
```

Figura 16: Parte II del script utilizado

El resultado de la unión de las imágenes y su re-proyección sería el observado en la Figura 17. Tal y como se ve en la figura, al descargar las imágenes para España también se han descargado Francia y el Norte de África.

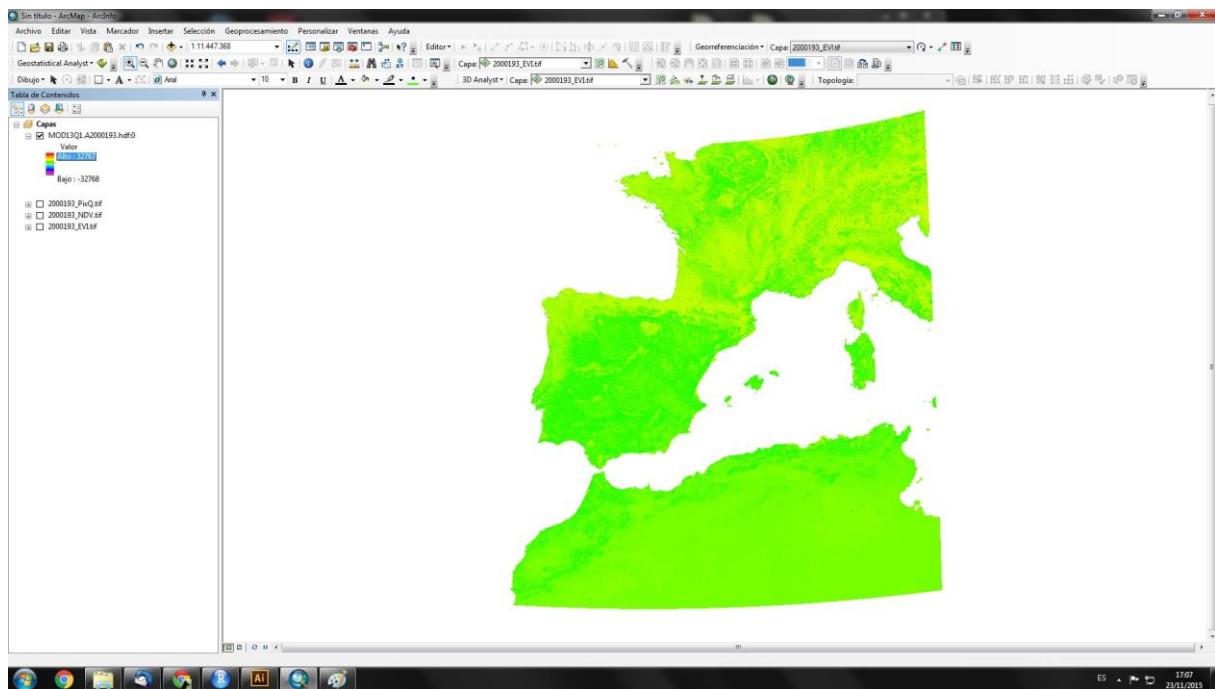


Figura 17: Vista del mosaico de imágenes MODIS para la Península Ibérica en ArcGIS.

Para poder trabajar con mayor comodidad al mosaico de imágenes resultante del paso anterior, se le ha aplicado una máscara con la cual obtener sólo España (Figura 18):

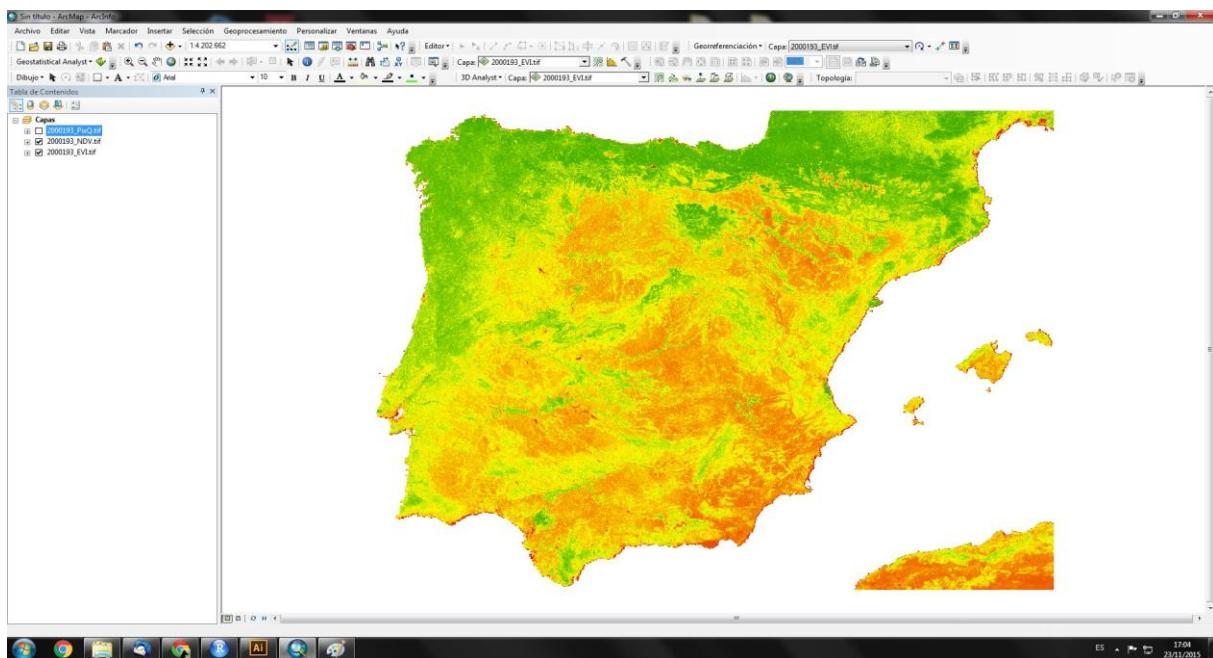


Figura 18: Aspecto del NDVI de España con la máscara aplicada visto en ArcGIS.

4.5 Descarga y tratamiento de los datos de NDVI y EVI

Tal y como se ha comentado en apartados anteriores, los productos de NDVI y EVI son datos ya procesados y preparados para la descarga. Para este proyecto se han utilizado cuatro bandas: EVI, NDVI, Quality y Pixel Reliability.

Las cuatro bandas utilizadas se descargan automáticamente a través del script explicado en el apartado anterior.

4.6 Análisis de los datos en TIMESAT

Con el fin de obtener todos los datos necesarios para cumplir el objetivo del proyecto, los datos obtenidos y tratados de las imágenes MODIS han sido analizados en el programa TIMESAT.

TIMESAT es un programa diseñado principalmente para el análisis de series temporales obtenidas de los sensores. Es un software que utiliza el método de filtrado de Savitzky-Golay adaptativa y otros métodos como Gauss. Se compone de un número de rutinas numéricas y gráficos codificados en Matlab y Fortran 2003.

Este programa permite realizar análisis de series temporales obtenidas desde satélites. Modificando diferentes parámetros se puede ajustar a todas las necesidades del estudio tanto el inicio como el final de la estación, o el número de estaciones por año que se quieren obtener.

La Figura 17 muestra la *interface* con la que se trabaja en TIMESAT y en donde se modifican los diferentes parámetros para realizar el análisis de los datos (Figura 19).

- 1- **Data plotting:** En esta parte del programa es donde se especifica el tipo de filtro que se quiere emplear y los elementos que se desean añadir al gráfico, como por ejemplo los puntos de inicio y final de la estación.
- 2- **Área de gráfico:** Es el espacio en el que se muestra la serie temporal a estudiar y en donde irán apareciendo los elementos que se añadan. Por ejemplo en la imagen se ve en azul la propia

serie temporal obtenida de MODIS, con una línea naranja se representa el filtro de Savitzky-Golay y con puntos naranjas se representan el inicio y el final de la estación.

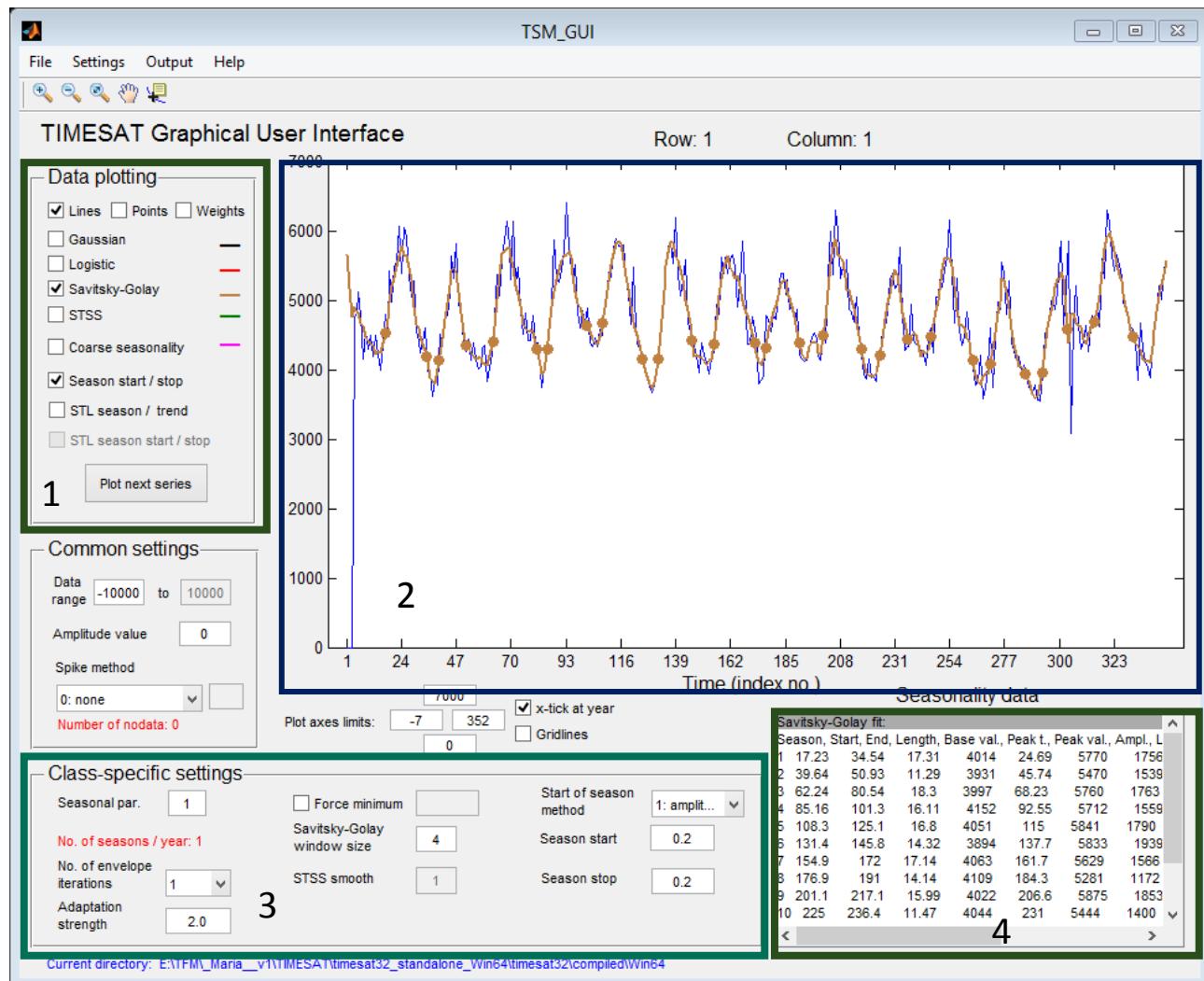


Figura 19: Interface de trabajo del programa TIMESAT.

- 3- **Class-specific settings:** Otros parámetros que se pueden modificar y de ese modo forzar al programa, es el número de estación a buscar en un año (Seasonal par), o el inicio y el final de la estación.
- 4- **Seasonality data:** En esta tabla es donde se mostrarán los datos numéricos de la serie temporal una vez modificados por los parámetros establecidos en las ventanas explicadas anteriormente. Estos datos serán los que se exportarán para ser analizados posteriormente en SPSS.

Para la obtención de las variables se han seleccionado diferentes parámetros que permiten filtrar los datos y buscar un número determinado de estaciones en la serie temporal (Tabla 5).

Tabla 5: Parámetros seleccionados para el procesado de los datos en TIMESAT.

FILTRO	Savitzky-Golay
SEASONAL PAR	1
SEASON START	0,2
SEASON STOP	0,2
SEASON START/STOP	ok

El filtro utilizado ha sido el de Savitzky-Golay. Este filtro al utilizar un tamaño de ventana relativamente estrecha es capaz de capturar los cambios rápidos inter-anuales, es decir, cambios en la sincronización temporal entre años, siendo por esta propiedad, el más adecuado para el estudio de la dinámica de la vegetación (Jönsson *et al.* 2010).

En el caso de *Seasonal Par* se ha considerado la búsqueda de una estación por año en la serie temporal, siendo esta estación la que mayores valores máximos de NDVI tiene, además de mostrar en la gráfica los puntos de inicio y de final de cada una (*Season start/stop*).

Además de los parámetros comentados y aprovechando los datos de calidad que incorporan los productos de MODIS, se han incorporado dichos datos asignándoles unos pesos específicos para eliminar aquellos datos de baja calidad. Esos pesos han sido los siguientes:

Files values	Weight
From 0 to 0	1 (Estos píxeles son los de máxima calidad)
From 1 to 1	0.5 (Píxeles de dudosa calidad)
From 2 to 3	0.01 (Píxeles de mala calidad, como píxeles de nubes o nieve)

Por otro lado, las variables que se van a obtener tras el procesado de los datos en *TIMESAT* son las siguientes (figura 20):

- **Time for the start of the season:** Inicio de la respuesta espectral.
- **Time for the end of the season:** Final de la respuesta espectral.
- **Length of the season:** Duración de la respuesta espectral.
- **Base level:** media de los valores mínimos tanto de la izquierda como de la derecha.
- **Time for the mid of the season:** es calculado como el valor medio de las series temporales para que, respectivamente el borde izquierdo incremente al 80% y el derecho decrezca al nivel de 80%.
- **Largest data value for the fitted function during the season:** De esta variable se obtiene el valor más alto de toda la función.
- **Seasonal amplitude:** Con esta variable se obtendrá la altura de la curva, pues se obtiene calculando la diferencia entre el nivel más alto y el más bajo obtenido en la misma curva.
- **Rate of increase at the beginning of the season:** Se obtiene el ratio de incremento del inicio de la estación calculado como la diferencia entre el 20% izquierdo y los niveles del 80% y la diferencia de tiempo correspondiente.
- **Rate of decrease at the end of the season:** Ratio de disminución al final de la estación, calculado como la diferencia entre el 20% derecho y el 80% y la diferencia de tiempo correspondiente.
- **Large seasonal integral:** La integral de la función describe la estación desde su inicio hasta su final, teniendo en cuenta que la integral no tiene sentido cuando la parte de la función ajustada es negativa.

- **Small seasonal integral:** Es la integral de la diferencia entre la función que describe la estación y el nivel base del inicio hasta el final de la estación.

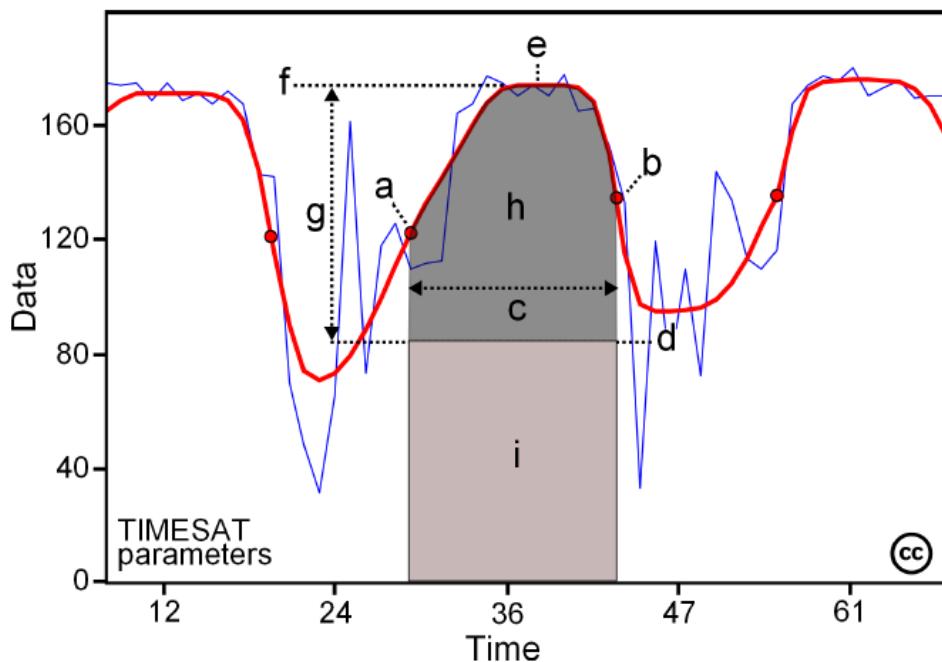


Figura 20: Algunos de los parámetros estacionales generados por TIMESAT: (a) beginning of season, (b) end of season, (c) length of season, (d) base value, (e) time of middle of season, (f) maximum value, (g) amplitude, (h) small integrated value, (h+i) large int

Todas las variables obtenidas serán sometidas a un estudio estadístico de correlación con el índice de crecimiento obtenido de las muestras. No obstante, las variables *Rate of increase at the beginning of the season*, *Rate of decrease at the end of the season*, *Large seasonal integral* y *Small seasonal integral* no serán analizadas respecto al índice de crecimiento en cuanto a resultados, ya que, al no tener una respuesta biológica deberán de ser analizadas desde una perspectiva científica diferente a la que se plantea en este trabajo.

Tal y como se comentó en apartados anteriores, el formato de fecha que se obtiene de MODIS es en día juliano, y por lo tanto las fechas obtenidas en *TIMESAT* son también en día juliano, algo a tener en cuenta a la hora de analizar los posteriores resultados.

Algunos de los problemas que conlleva la obtención de las variables desde *TIMESAT*, es que no todos los datos se pueden utilizar en el posterior análisis de correlación directamente y por lo tanto conllevan un post-procesado para hacerlos útiles en el análisis.

Las variables que han llevado un post-proceso han sido el inicio de la estación, el final y el valor más alto de la serie. Las tres series tenían en común el significado del dato que se obtenía no era el día juliano en el que empezaba la estación o terminaba, sino que se obtenía entre qué serie de imágenes sucedía, es decir, si el dato de inicio de estación es de 17,5 quiere decir que la estación comenzaba en el medio de las imágenes 17 y 18, haciendo difícil especificar en qué día juliano comienza la estación.

El programa calcula las fechas con relación al inicio del periodo analizado y no al inicio de cada año, y para solucionar este problema se ha optado por asimilar el dato dado por el programa en la primera serie como “fecha” de inicio (entre comillas porque como se ha comentado anteriormente este valor indica en realidad el número de imagen en la que sucede), al año dos restarle al valor dado por *TIMESAT* 24, ya que se tienen 24 imágenes por año, al tercero 48 y así sucesivamente hasta completar las series temporales, obteniendo tres variables más con las que correlacionar el índice de crecimiento.

4.7 Preparación de los datos para SPSS y análisis estadístico

Los datos obtenidos en *TIMESAT* (en formato .txt) se trasladarán a una base de datos creada para el efecto y en la que se elaborarán los diferentes post-procesos explicados en el apartado anterior. Una vez realizados estos procesos se realizará el análisis en SPSS.

Para obtener respuesta al principal objetivo planteado en este trabajo se ha llevado a cabo un análisis estadístico con el que poder establecer relaciones existentes entre las variables obtenidas en *TIMESAT* y el índice de crecimiento obtenido de las muestras dendrocronológicas.

El análisis estadístico llevado a cabo ha sido un análisis de correlación bivariante, la cual permite averiguar si dos variables tienen relación entre sí, si dicha relación es fuerte, moderada o débil y por último qué dirección tiene la relación.

La correlación está basada en la asociación lineal, es decir, cuando los valores de una variable aumentan los valores de la otra variable pueden aumentar o disminuir proporcionalmente. La correlación de Pearson o la de Spearman son las técnicas más utilizadas para este tipo de estudio. Ambas están basadas en la misma información, pero se utilizan en momentos diferentes. La de Pearson se utiliza en aquellas variables que siguen la curva normal mientras que la correlación de Spearman es más conveniente usarla cuando las variables no siguen la curva normal (Cardenas, J. 2013).

De este estudio estadístico se obtendrán los resultados necesarios para responder al objetivo principal del proyecto.

5 RESULTADOS

5.1 Tipos de curvas dependiendo de la cubierta vegetal

Antes de pasar a los resultados obtenidos de los diferentes procesos metodológicos anteriores, se hará una breve explicación de las diferentes curvas que se pueden obtener dependiendo de la cubierta vegetal ya que para la explicación posterior de los resultados pueden servir de ejemplo.

Independientemente del método usado, es difícil crear algoritmos suficientemente robustos para poder obtener valores fenológicos de las series temporales de NDVI para algunas cubiertas de vegetación. Un ejemplo a mostrar es la curva del NDVI obtenido de un pixel con matorrales (Figura 21). Es esta curva se puede observar una amplitud estacional muy leve.

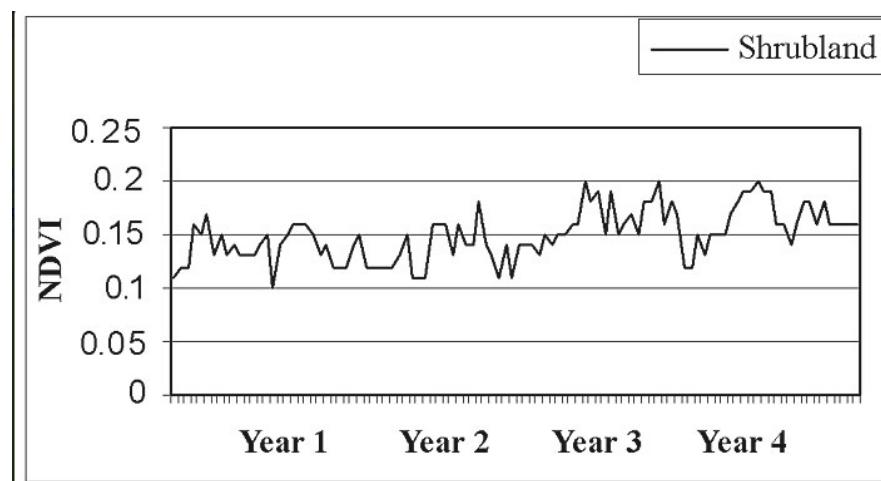


Figura 21: Curva NDVI de matorrales. *Remote sensing phenology, USGST*

Por otro lado tenemos los ecosistemas que se componen de vegetación de hoja perenne, que en cuanto a su curva de NDVI puede dar señales engañosas. En el gráfico de la parte de abajo (figura 22), se muestra la curva NDVI de un pixel de un bosque de coníferas en las Montañas Rocosas de Colorado. Los datos muestran lo que parece una señal estacional que es similar a la de tierras de cultivo, yendo desde el suelo desnudo hasta la cubierta espesa de vegetación. Sin embargo, en este caso, los valores obtenidos en invierno posiblemente hagan referencia a la capa de nieve en un lugar de cambio de vegetación.

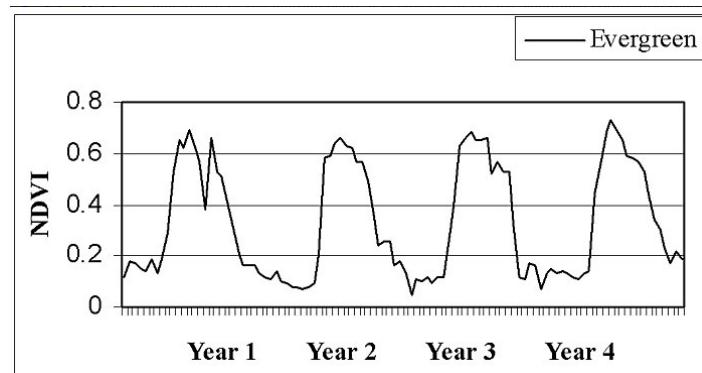


Figura 22: Curva NDVI coníferas con influencia de nieve

Si en vez de tener un pixel con una posible influencia de nieve, se tiene un pixel donde el denso dosel presenta una menor influencia de nieve la curva de NDVI sería la siguiente (Figura 23):

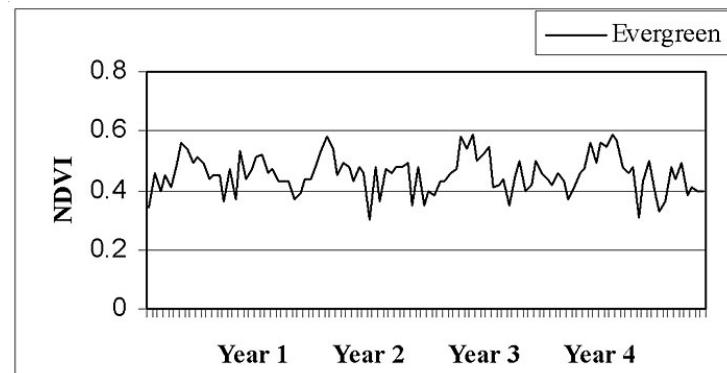


Figura 23: Curva NDVI coníferas sin influencia de nieve

Por último, se muestra la curva NDVI en la que aparece la región con dos picos de NDVI por año (Figura 24). Es complicado analizar dos temporadas de crecimiento anuales en la fenología a través de teledetección.

El método utilizado para este proyecto sólo permite obtener la información de una temporada por año, ya que así ha sido especificado en los parámetros, siendo la principal época de mayor respuesta espectral, caracterizado por los valores NDVI máximos más altos.

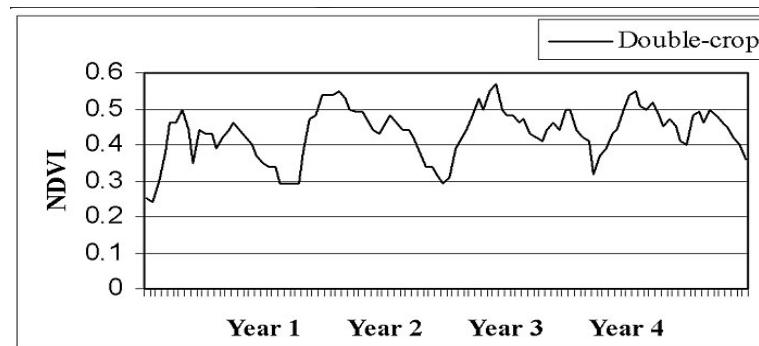


Figura 24: Curva NDVI con dos estaciones de crecimiento

5.2 Resultados obtenidos de *TIMESAT*: Ejemplos de curvas NDVI Y EVI de las Series Temporales MODIS

En este apartado de los resultados se van a mostrar como ejemplo, tres series temporales de tres localizaciones diferentes con sus respectivas curvas NDVI y EVI obtenidas de *TIMESAT*. (Las gráficas restantes se localizan en el Anexo I).

5.2.1 NDVI

El primer índice de vegetación del que se explicarán los resultados obtenidos en *TIMESAT* será el NDVI.

La primera curva NDVI hace referencia a la serie temporal de la localización de Cartagena (Murcia) (Figura 25), y la especie muestreada en *Pinus halepensis*.

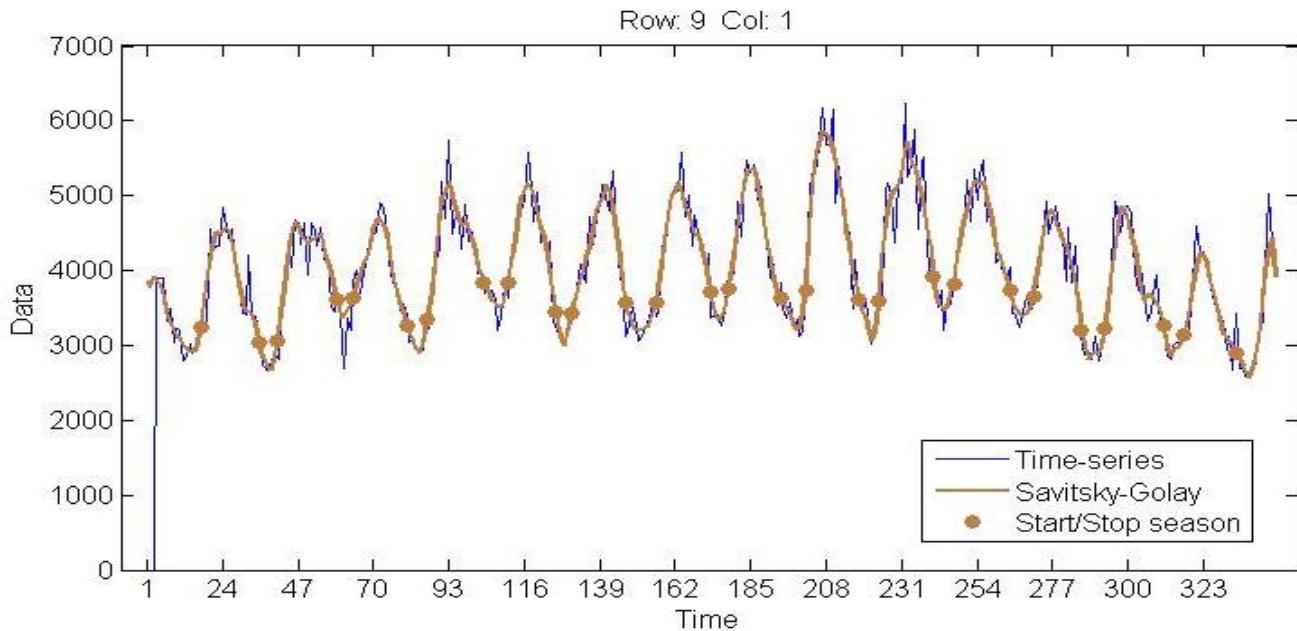


Figura 25: Curva NDVI obtenida de *TIMESAT* de *Pinus halepensis*

El resultado obtenido del tratamiento de los datos de las series temporales en *TIMESAT*, son este tipo de gráficas en las que se puede observar la existencia de un periodo estacional donde hay una mayor respuesta espectral. En este caso esa mayor respuesta espectral coincide con el periodo invernal. Esto puede estar causado a que durante el crecimiento de las agujas su respuesta espectral es menor, y por lo tanto cuando dejan de crecer su respuesta aumenta, coincidiendo en este caso con el periodo invernal. También puede estar causado por la sequía estival, momento en el que los estomas se cierran y la actividad fotosintética disminuye.

Se puede observar también como predomina una homogeneidad de respuesta espectral durante los 14 años de estudio, sin tener grandes cambios anuales. La duración del periodo de mayor respuesta espectral durante todos los años de estudio es similar, lo cual ayuda a establecer una homogeneidad en la respuesta espectral.

Con esta representación gráfica se podría entrever en qué años ha tenido un mayor crecimiento ya que al observar valores altos de NDVI cabría esperar un mayor crecimiento generalizado del bosque durante ese periodo de tiempo.

Otra de las variables que se deriva de los propios gráficos son los punto base, los cuales varían de año a año siendo otro de los indicadores más precisos a la hora de saber si la respuesta espectral de la especie es mayor en un año que en otro.

La segunda localidad con serie dendrocronológica analizada, corresponde a Benatanduz (Teruel) (Figura 26), y la especie muestreada es *Pinus sylvestris*.

En este caso también se muestra una estación por año, habiendo una mayor respuesta espectral en ese momento que en el resto del año.

Observando el periodo de mayor valor de NDVI, esta vez no coincide con el periodo invernal como el anterior caso, sino que coincide con primavera. Esta diferencia observada está relacionada con las localizaciones de las series. En este caso al localizarse en Teruel las características climáticas varían, teniendo un periodo de sequía más suave en Teruel que en Murcia. Además del periodo estival, las temperaturas también varían. En Teruel en invierno las temperaturas son más frías que en Murcia, entrando el pino en periodo de inactividad fotosintética y por lo tanto, representándose en las gráficas el periodo en primavera.

En cuanto a la duración de la mayor respuesta espectral es muy parecida durante todo el periodo de estudio, obteniendo valores muy similares entre ellos.

En este caso la homogeneidad que se veía en el ejemplo anterior se ve alterada por la diferencia entre las amplitudes de las curvas. En esta gráfica se puede observar cómo los valores de NDVI son, en general, más elevados que en el caso anterior, yendo desde 0.5 hasta casi 0.8 mientras que en el caso de Murcia los valores varían entre 0.3 y 0.6, habiendo una mayor actividad fotosintética aquí que en el caso anterior.

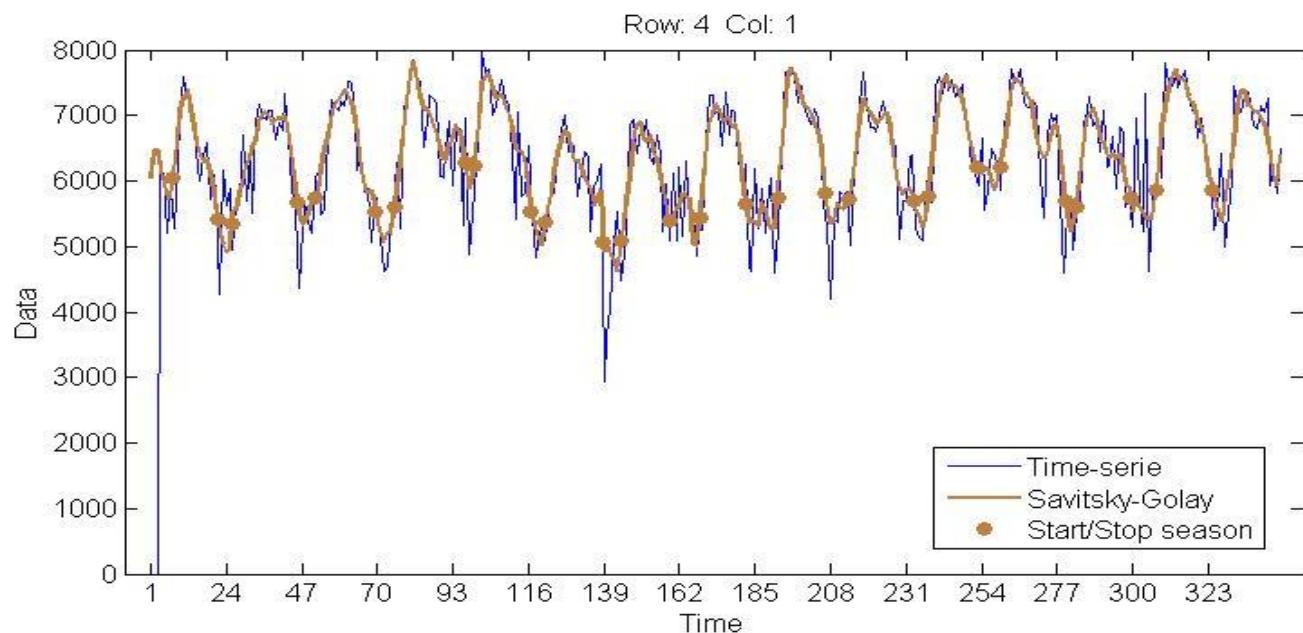


Figura 26: Curva NDVI obtenida de TIMESAT de *Pinus sylvestris*

Por último, la tercera localización pertenece a Valdecuenca (Teruel) (figura 27), cuyo ejemplar es de *Pinus halepensis*.

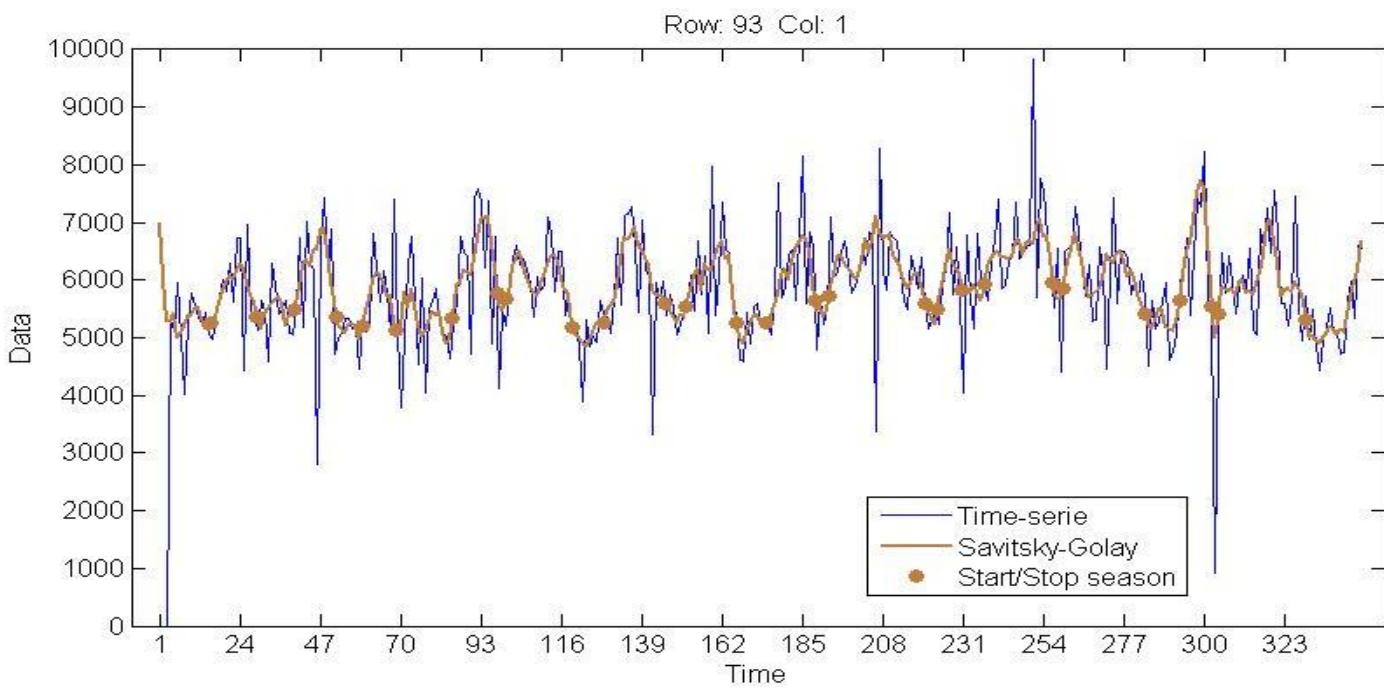


Figura 27: Curva NDVI obtenida de TIMESAT de *Pinus halepensis*

En esta curva, al igual que en las anteriores, se observa un periodo de mayor respuesta espectral por año, tal y como se había parametrizado en un principio, aunque en este caso es más complejo divisarla, pues no existe homogeneidad alguna, como en los casos anteriores.

En algunos años, se puede observar la existencia de dos picos en la curva de NDVI dentro de un mismo ciclo anual de crecimiento, algo frecuente en coníferas.

5.2.2 EVI

El segundo índice de vegetación del cual se mostrarán tres gráficos de las localidades anteriores será el EVI.

Tal y como se ha comentado en el apartado anterior, la primera localización de muestreo es Cartagena (Murcia), y la especie es *Pinus halepensis* (Figura 28).

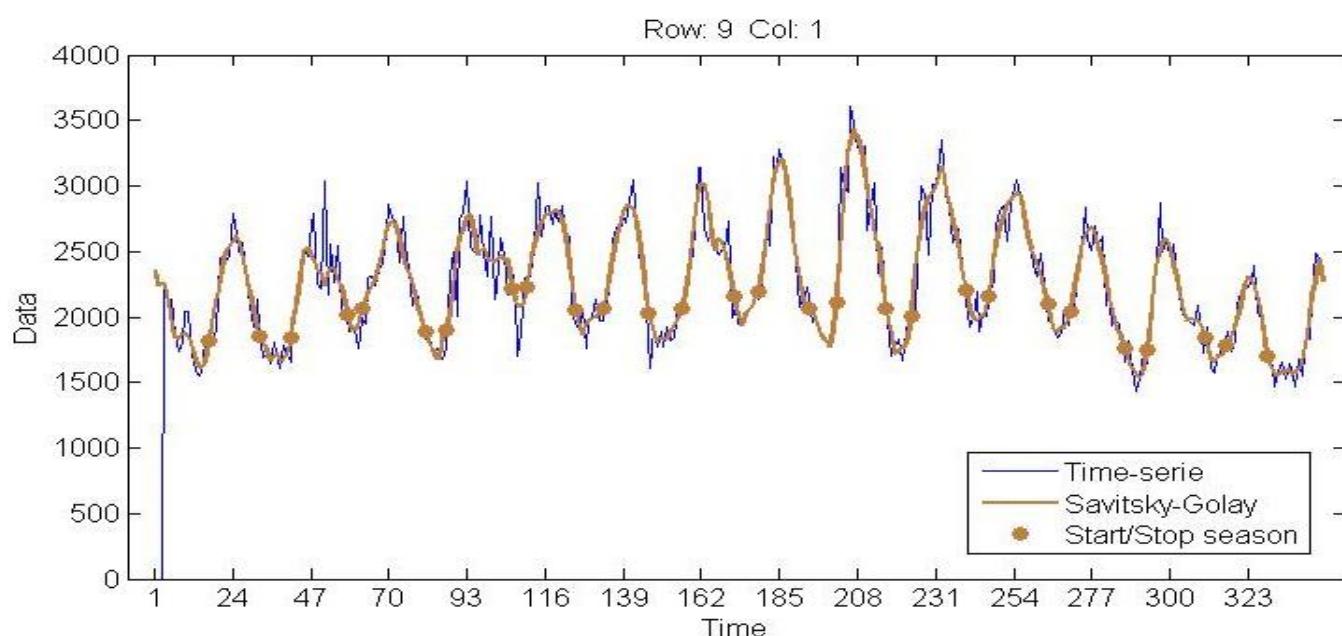


Figura 28: Curva EVI obtenida de TIMESAT para *Pinus halepensis*

La curva de EVI para esta localización se caracteriza por una ligera homogeneidad durante toda la serie temporal, exceptuando un año en la que la amplitud es mayor que el resto (*Time* = 208, eje x). En cuanto a la duración de la estación de mayor respuesta espectral se podría decir que es homogénea durante todo el periodo de estudio.

Se puede observar cómo la tendencia del punto de mayor de EVI es ascendente los 9 primeros años y a partir de ahí su tendencia es descendente, terminando con su valor más bajo de toda la serie.

La segunda gráfica corresponde al EVI de un *Pinus sylvestris* localizado en Benatanduz (Teruel) (figura 29).

Para esta especie su curva de EVI parece homogénea exceptuando alguna pequeña variación en un año en cuanto a su amplitud. Su punto máximo se varía ligeramente a lo largo de los años al igual que el punto base.

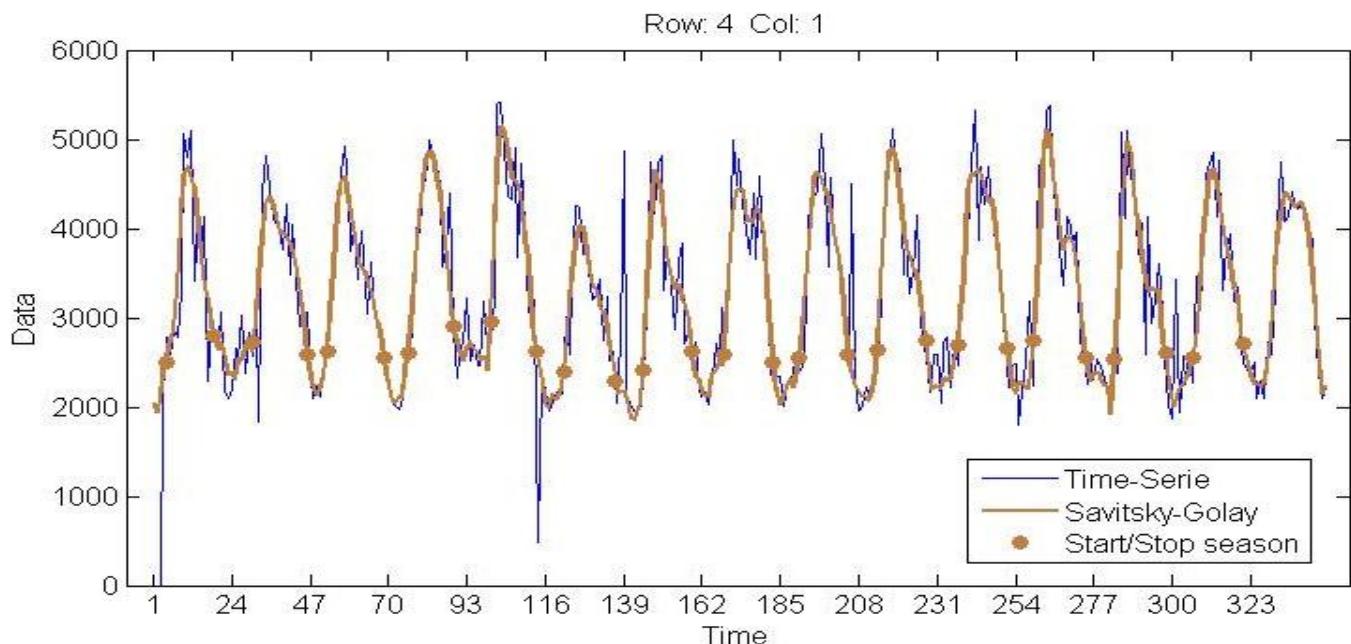


Figura 29: Curva EVI obtenida en TIMESAT para *Pinus sylvestris*

La duración del periodo de respuesta espectral definida en TIMESAT tiende a ser homogénea durante el periodo de estudio, existiendo pequeñas variaciones de un año a otro.

Por último, la gráfica de EVI de la localización de Valdecuenca (Teruel), de *Pinus halepensis* (Figura 30).

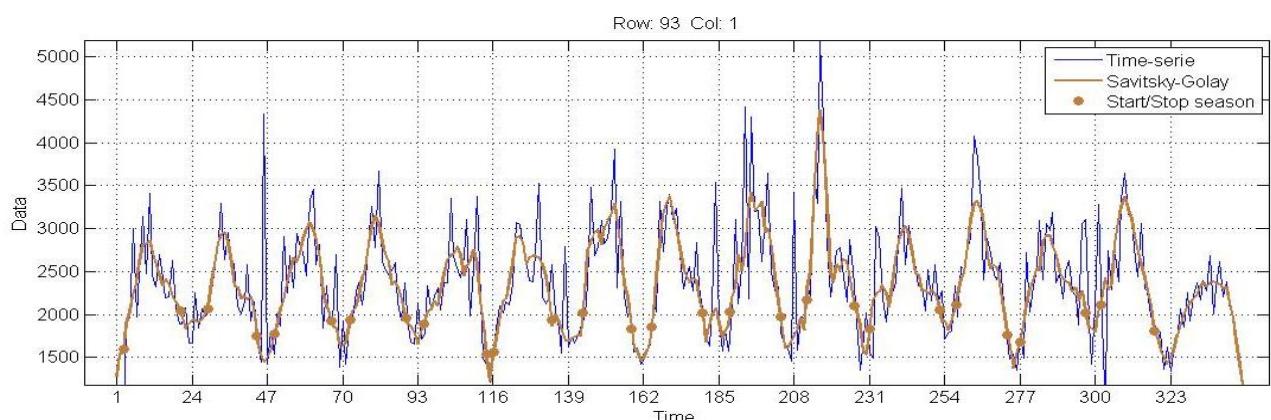


Figura 30: Curva EVI obtenida en TIMESAT para *Pinus halepensis*

En este caso la representación del índice de vegetación EVI muestra una variación durante todo el periodo de estudio en diferentes variables. Por un lado, el valor máximo tiende una variación notable durante toda la serie al igual que lo tiene el valor base y a consecuencia de estas variaciones, la amplitud del periodo también se altera durante la serie, obteniendo como resultados años en los que la amplitud es mayor que en otros años.

5.3 Resultados del estudio de Correlación entre Índice de Crecimiento y las variables obtenidas desde MODIS

A continuación, se van a mostrar los resultados obtenidos tras el análisis de correlación elaborado entre el índice de crecimiento obtenido de las muestras dendrocronológicas y las diferentes variables obtenidas del sensor MODIS.

A modo resumen, en la tabla 6 se muestran los resultados obtenidos para los datos de NDVI de las localizaciones seleccionadas y en la tabla 7 las correspondientes correlaciones para el índice de vegetación EVI.

5.3.1 Resultados del Índice de vegetación NDVI

El estudio de las correlaciones entre las variables obtenidas de MODIS y el índice de crecimiento de las muestras dendrocronológicas ha permitido obtener el grado de relación entre ellas, objetivo principal de este proyecto.

En cuanto al análisis de las variables en sí, se puede observar como *Base value* y *Peak value* son las que han obtenido más correlaciones positivas y por lo tanto una mejor respuesta estadística que el resto de variables. Hay que destacar que entre estas dos variables y el valor de crecimiento no hay ninguna correlación negativa, siendo una correlación positiva la predominante en esta variable para diferentes localizaciones (Figura 31) (Figura 32).

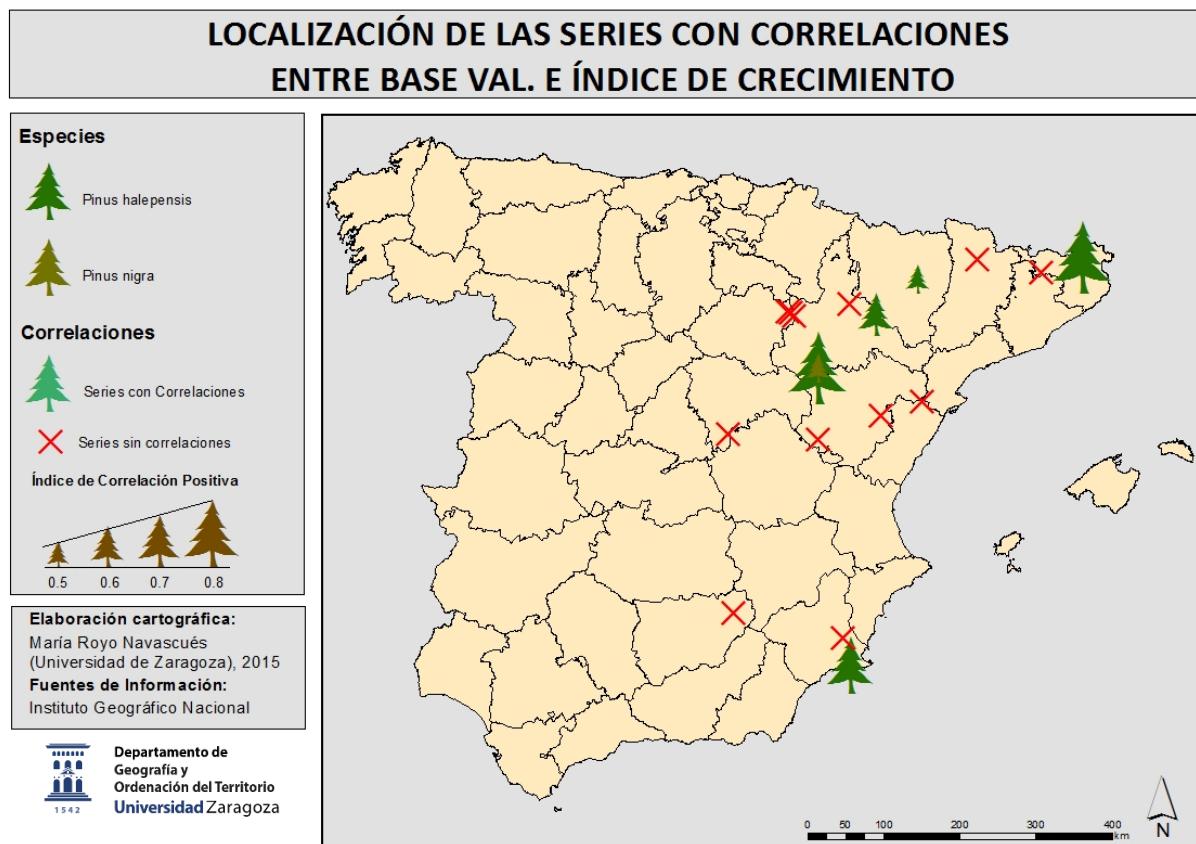


Figura 31: Localización de las series con correlaciones entre Base val., e índice de crecimiento

LOCALIZACIÓN DE LAS SERIES CON CORRELACIONES ENTRE PEAK VAL. E ÍNDICE DE CRECIMIENTO

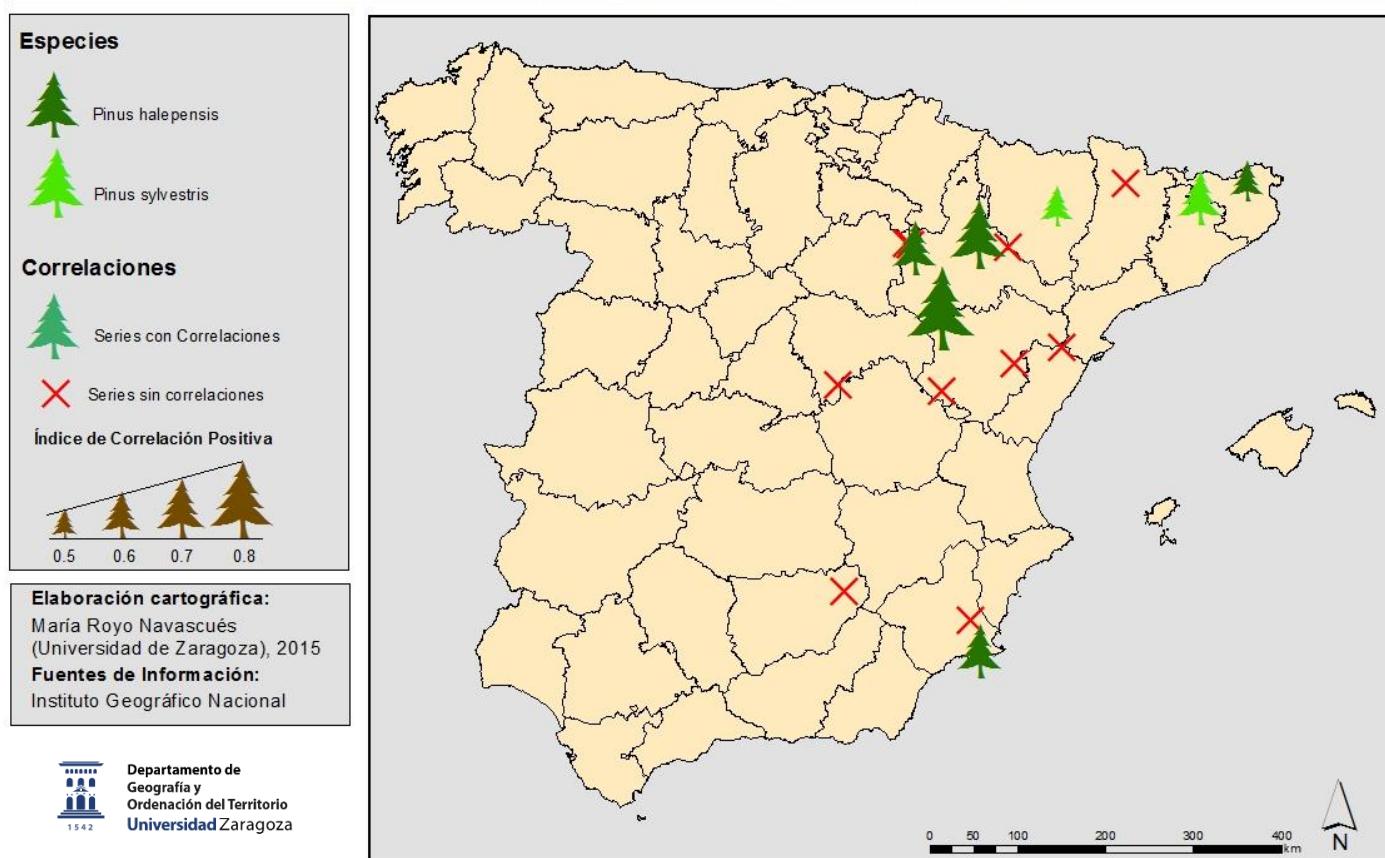


Figura 32: Localización de las series con correlaciones entre Peak val., e Índice de Crecimiento

Estas correlaciones positivas significan, a mayor valor base mayor índice de crecimiento se obtendrá y lo mismo para el punto máximo de NDVI, cuanto mayor sea este punto mayor índice de crecimiento se tendrá.

Otra de las variables de la que se ha obtenido resultados de correlaciones, tanto negativas como positivas, es de la variable *Length* (longitud), que hace referencia a la longitud del periodo comprendido entre *Start* y *End*.

En este caso, no todas las correlaciones han sido positivas (Figura 33) como en las dos variables anteriores, y por lo tanto la interpretación de los resultados varía. Para las correlaciones positivas, sería el mismo planteamiento, a mayor longitud mayor índice de crecimiento, pero en aquellas correlaciones negativas la respuesta obtenida sería para longitudes menores mayor índice de crecimiento se obtendrá.

LOCALIZACIÓN DE LAS SERIES CON CORRELACIONES ENTRE LENGTH E ÍNDICE DE CRECIMIENTO

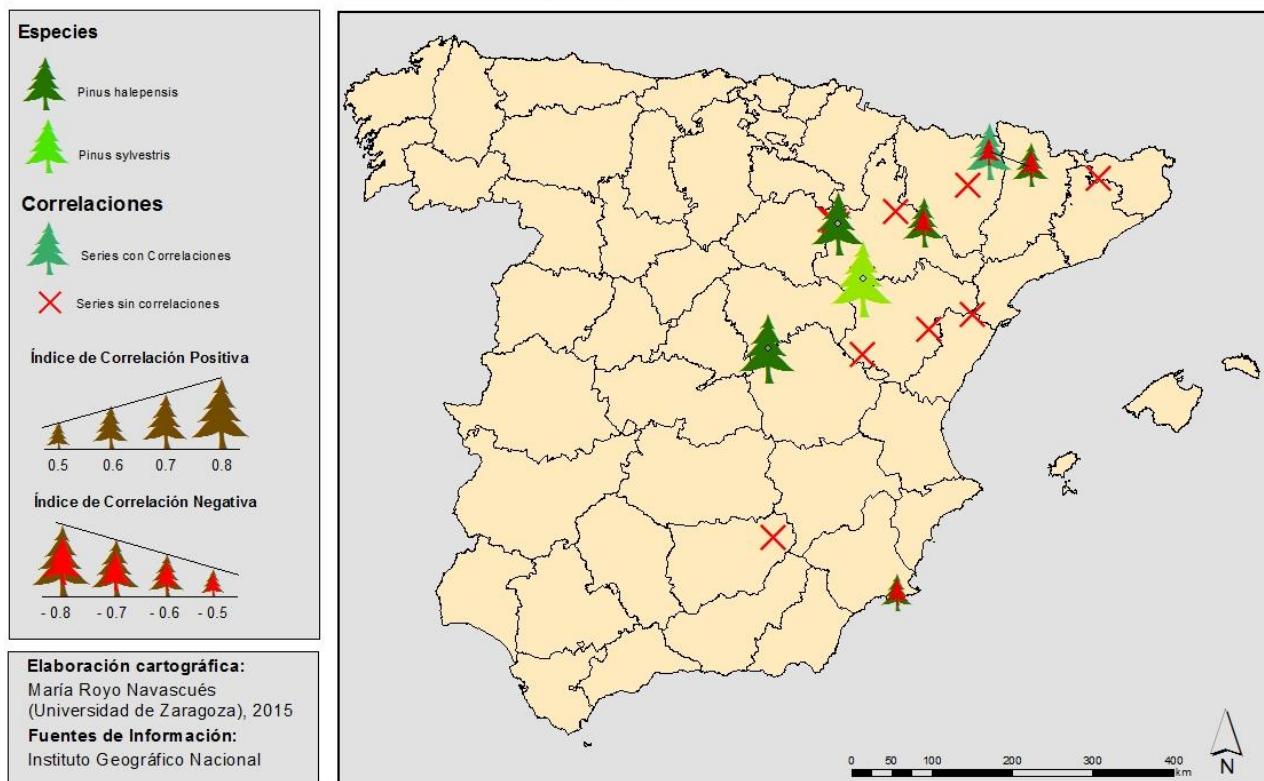


Figura 33: Localización series con correlaciones entre Length e índice de Crecimiento

Por otro lado, en la variable *Start* se han obtenido tres localizaciones con correlación positiva, indicando que cuanto más tarde empiece la respuesta espectral de la especie mayor índice de crecimiento se tendrá.

En cuanto a la variable *End*, las correlaciones obtenidas han sido tanto positivas como negativas. En este caso, el resultado sería que, para las correlaciones negativas, cuanto más pronto termine el periodo de respuesta espectral, menor crecimiento se obtendrá, mientras que para las correlaciones positivas, cuanto más tarde termine el periodo de respuesta espectral mayor índice de crecimiento habrá.

De la variable *Peak T.* (fecha del pico máximo del índice de vegetación analizado) se han obtenido correlaciones mayoritariamente negativas. Interpretando estos resultados se podría decir que cuanto más pronto se produzca el pico máximo de NDVI menor índice de crecimiento se obtendrá. Por lo contrario, cuanto más tarde se produzca este pico, mayor crecimiento habrá ese año.

Por último, la variable *amplitude* es otra de las variables que menor respuesta de correlación se ha obtenido. Los resultados de esta variable, son mayoritariamente positivas y su interpretación sería la de a cuanta mayor amplitud haya en el periodo de respuesta espectral, mayor índice de crecimiento. Todo lo contrario ocurrirá en aquellas correlaciones negativas, cuanto mayor sea esta amplitud menor será el índice de crecimiento.

Tal y como se ha comentado en el apartado de metodología, las variables *L. deriv.*, *R. deriv.*, *L. integral.*, *S. integral* no van a ser analizadas, puesto que no tienen una explicación biológica tan clara como el resto de variables, y se alejan del objetivo principal del proyecto.

Tabla 6: Correlaciones NDVI

CORRELACIONES NDVI							
SITE	USABLE START	USABLE END	USABLE PEAK T	Length	Base val.	Peak val.	Amplitud
SPAIN_NA_BES_PISY_M	0.260490685	0.292139207	0.334836424	0.105647596	0.321094732	0.378957419	0.268442736
SPAIN_piba06_CAP_PIHA_M	0.712771937	-0.074117163	0.309711473	-0.629940749	0.570445066	0.015698594	-0.24536059
SPAIN_piba13_CAT_PIHA_M	-0.327720795	-0.569350092	-0.43005912	-0.95029197	0.587514604	0.600033394	-0.10059488144
SPAIN_piba16_CNC_PIHA_M	-0.085038677	-0.128853618	-0.04915125	-0.171139536	0.378824766	0.398670028	0.086660685
SPAIN_NA_DAL_PISY_M	0.398178641	-0.267624121	0.12049303	-0.554091428	0.078778039	0.243897624	0.086525658
SPAIN_NA_DAR_PINI_M	-0.322443959	0.293856009	-0.236862448	0.732407894	0.776927888	0.906191902	0.653064099
SPAIN_piba05_DAR_PIHA_M	-0.005902602	0.09669828	-0.076050745	0.467321877	0.515511036	0.797333665	0.71205782
SPAIN_NA_LLO_PISY_M	0.048314253	0.111609112	0.259637323	0.12828253	0.334378317	0.503161557	0.137819196
SPAIN_NA_M03_PISY_M	-0.046153432	-0.780594909	-0.593125979	0.137695147	0.312816948	0.559951753	0.482871666
SPAIN_NA_M17_PISY_M	-0.15411078	-0.091338701	-0.386640636	0.061160404	-0.11232077	-0.358648965	-0.07481692
SPAIN_NA_M40_PIUN_M	-0.010147551	0.062749129	-0.06978942	0.107847217	0.154804421	-0.394007582	-0.296279848
SPAIN_piba05_PDP_PIHA_M	0.400464584	0.476765799	0.436259561	0.090575806	0.07155464	-0.216051101	-0.205154491
SPAIN_piba01_SSU_PIHA_M	0.731469413	-0.982935044	-0.953640186	0.543921925	0.8704048709	0.574633449	-0.012789608
SPAIN_piba06_VLL_PIHA_M	-0.192940775	-0.382145827	-0.171643194	-0.192706269	0.475153625	0.515250493	0.43921022
SPAIN_piba13_FUE_PIHA_M	-0.47950079	-0.913504513	-0.782780741	-0.789420993	-0.400014258	0.17984061	0.41157397
SPAIN_piba04_GRA_PIHA_M	0.772158242	0.696638162	0.7601172055	0.204942447	0.513076592	0.673202595	0.672632105
SPAIN_piba07_SDB_PIHA_M	0.187692771	0.518895177	0.40375738	0.71605677	-0.202772715	0.066231917	0.388466855
SPAIN_piba09_VAC_PIHA_M	-0.121896891	0.275941178	0.008650186	0.362830036	0.261402752	-0.492598384	-0.592037567

Tabla 7: Correlaciones EVI

CORRELACIONES EVI							
SITE	USABLE START	USABLE END	USABLE PEAK T	Length	Base val.	Peak val.	Amplitud
SPAIN_NA_BES_PISY_M	0.247185606	0.302689037	0.309981741	0.268642	0.338753707	0.019849	-0.0917583
SPAIN_piba13_CAT_PIHA_M	-0.37586286	-0.541321741	-0.2329333209	-0.48361	0.766478842	0.403105	0.06121545
SPAIN_NA_LLO_PISY_M	0.10855034	0.041780127	0.033852455	-0.15437	0.503627544	0.238289	-0.0373931
SPAIN_NA_M01_PISY_M	-0.388150024	-0.639247242	-0.583493076	-0.59903	0.224727602	0.210666	-0.01444209
SPAIN_piba18_PA2_PIHA_M	-0.148686231	-0.190742387	-0.130145218	0.002164	0.570812701	0.369438	0.135774486
SPAIN_piba01_PDF_PIHA_M	-0.028482344	0.066953513	-0.003265213	0.082018	0.302705808	0.134513	-0.26777838
SPAIN_NA_SIU_PISY_M	0.552196502	0.523892798	0.503056096	0.046472	-0.106177158	0.364882	0.33713463
SPAIN_piba14_SM2_PIHA_M	0.213160191	0.229673388	0.274238972	0.048182	-0.220047807	-0.781134	-0.55776684
SPAIN_piba09_VAC_PIHA_M	0.380174584	0.30593841	0.390266996	-0.23743	0.291709056	0.098248	0.05051811
SPAIN_piba06_VLL_PIHA_M	-0.668256231	0.01795005	-0.709302125	-0.25896	0.64652425	0.133249	-0.17644336
SPAIN_NA_ZUR_PISY_M	-0.579296188	-0.033186264	-0.337676462	0.593378	0.084338435	-0.371259	-0.34484094
SPAIN_piba03_EST_PIHA_M	0.325130663	0.019552011	0.292182477	-0.33563	0.18503561	0.305954	0.13420203
SPAIN_piba13_FUE_PIHA_M	-0.47950079	-0.913491137	-0.782780741	-0.78942	-0.40014258	0.179864	0.41146406
SPAIN_piba14_SES_PIHA_M	-0.292856248	-0.787138818	-0.730403839	-0.37213	0.603092435	-0.248442	-0.95706765
SPAIN_piba09_VAC_PIHA_M	0.313767211	-0.045086	0.150307891	-0.67659	-0.480081808	0.370454	0.46190609

Una vez interpretados los datos obtenidos para cada variable se procederá a explicar los resultados de algunas de las localizaciones seleccionadas para el estudio.

Una de las series temporales que más resultados ha arrojado es la situada en El Grado (Figura 34). En la variable *Start* la correlación obtenida ha sido positiva, es decir, cuanto más tarde comience el periodo de respuesta espectral, mayor índice de crecimiento se obtendrá. Al mismo tiempo, en la variable *End*, también se ha obtenido una correlación positiva, obteniendo un mayor índice de crecimiento cuanto más tarde acabe el periodo de respuesta espectral.

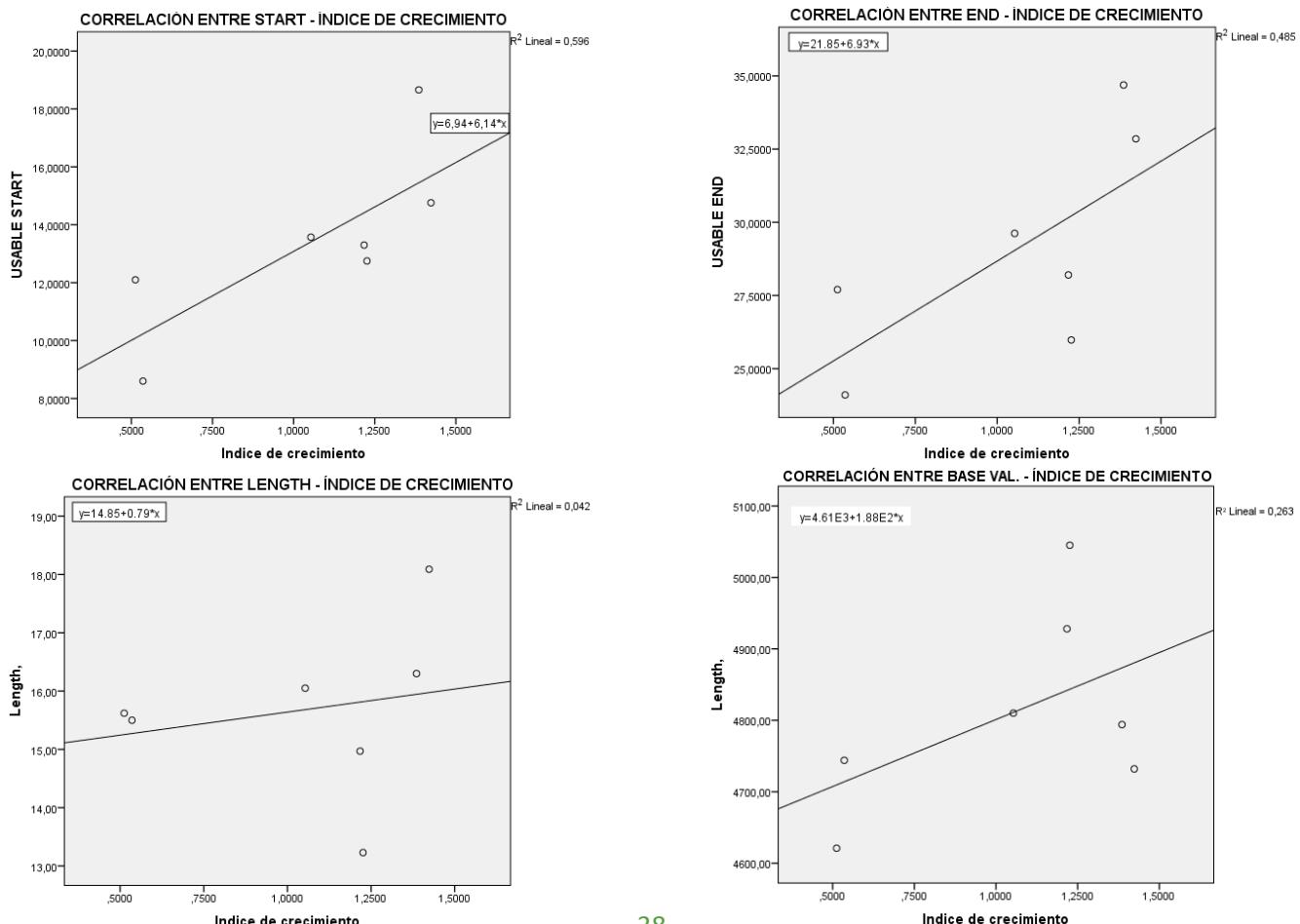
La variable de *Peak T.* también ha arrojado una correlación positiva, obteniendo un mayor índice de crecimiento cuanto más tarde se produzca el pico de NDVI en el periodo.

En cuanto a la variable *Base val.*, la correlación también es positiva, obteniendo un mayor índice de crecimiento cuanto más alto sea el valor. Pasa lo mismo en la variable *Peak val.*, la correlación es positiva y por lo tanto se obtendrá un mayor índice de crecimiento cuanto mayor sea el pico máximo de la curva.

Por último el resultado obtenido para la variable *amplitud* ha sido positiva al igual que el resto de variables, interpretando de esta manera, que a mayor amplitud mayor índice de crecimiento.

En general los resultados obtenidos en esta localización estarían acorde con la hipótesis de partida planteada al inicio de esta memoria, esperando un mayor índice de crecimiento a mayor valor de *Peak val.*, *Base val.*, o a un *Start* temprano.

Obtener correlación positiva en la variable *Peak T.*, tiene bastante lógica ya que conforme más tarde termine el periodo de respuesta espectral más tarde se obtendrá el pico de NDVI. Además, las correlaciones positivas del *Base val.*, del *Peak val.*, y de *amplitude* también arrojan cierta lógica, puesto que cuanto más bajo sea el *Base va.*, y más alto sea el *Peak val.*, mayor amplitud se obtendrá y por lo tanto a mayor amplitud cabría esperar mayor crecimiento.



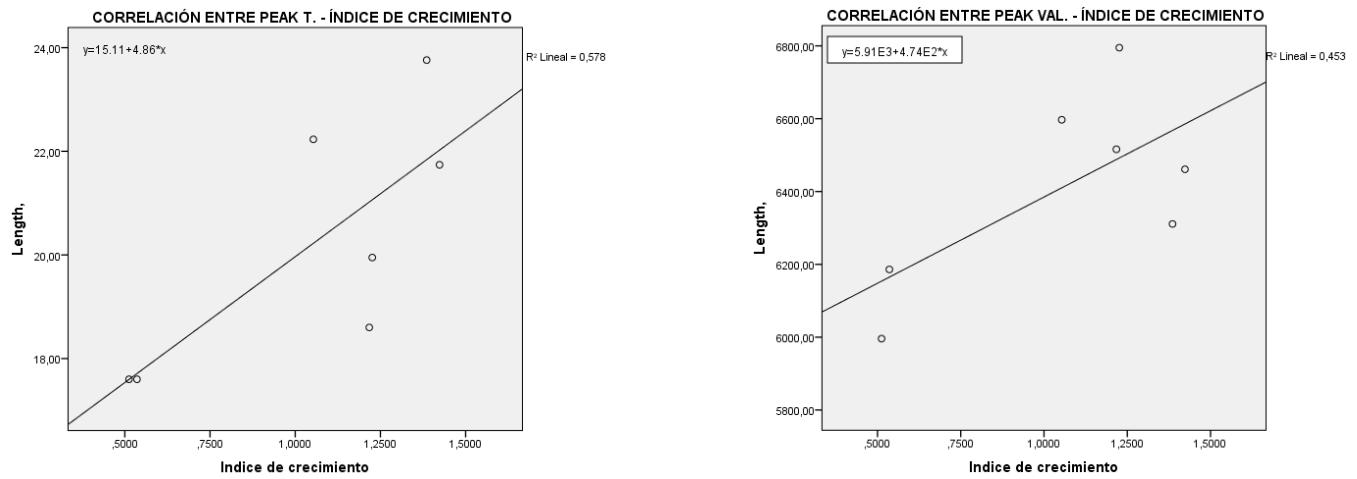


Figura 34: Gráficos de dispersión de El Grado

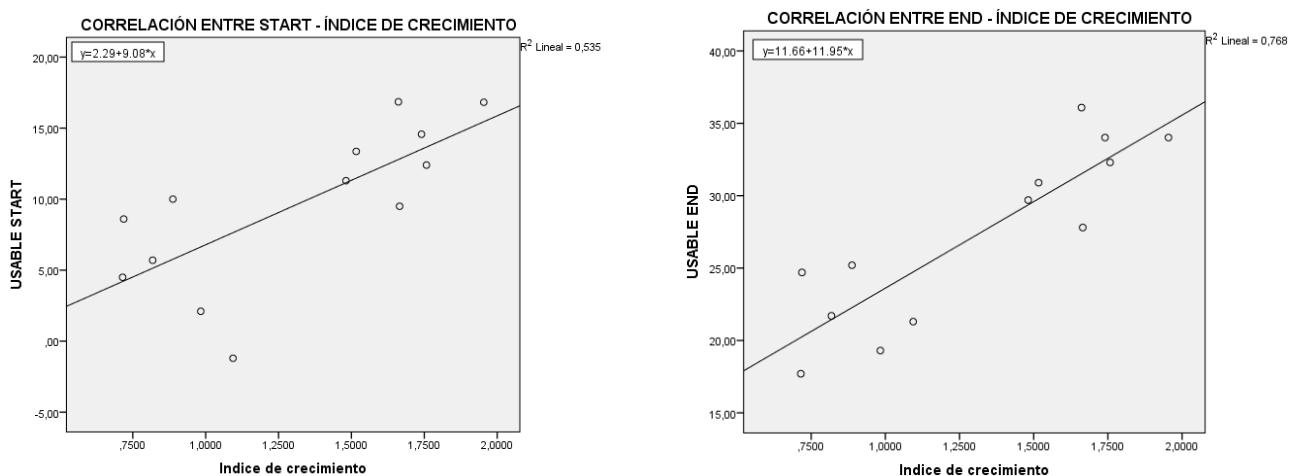
Otra localización de la que se han obtenido resultados es la que está situada en la Sierra de San Jordi en Girona (Figura 35).

La variable *Start* ha arrojado una correlación positiva, obteniendo un mayor índice de crecimiento cuanto más tarde comience el periodo de mayor respuesta espectral. Al mismo tiempo, en la variable *End* la correlación obtenida es negativa, obteniendo un menor índice de crecimiento cuanto más pronto termine el periodo.

En cuanto a la variable *Peak T.*, la correlación obtenida ha sido negativa, adquiriendo un menor índice de crecimiento cuanto más pronto se produzca el pico de NDVI.

Por otro lado, tanto la variable *Base val.*, como la *Peak val.*, han arrojado correlaciones positivas al igual que en el caso anterior, obteniendo mayor índice de crecimiento conforme más alto sea el valor de base y el valor del pico, respectivamente. Además, en esta localización la variable *length*, ha proyectado una correlación positiva, siendo el crecimiento mayor conforme aumenta la longitud o duración del periodo de respuesta espectral.

Estos resultados no son muy coherentes en cuanto a la hipótesis de partida planteada. El obtener una correlación positiva en la variable *Start* y una correlación negativa en la variable *End* conlleva una respuesta contradictoria en cuanto al análisis de los datos. Sería contradictorio puesto que la correlación obtenida para *Length* es positiva, es decir, cuanto mayor será la duración del periodo mayor crecimiento se obtendrá, indicando una duración de la respuesta mayor que la que indican las variables *Start* y *End*.



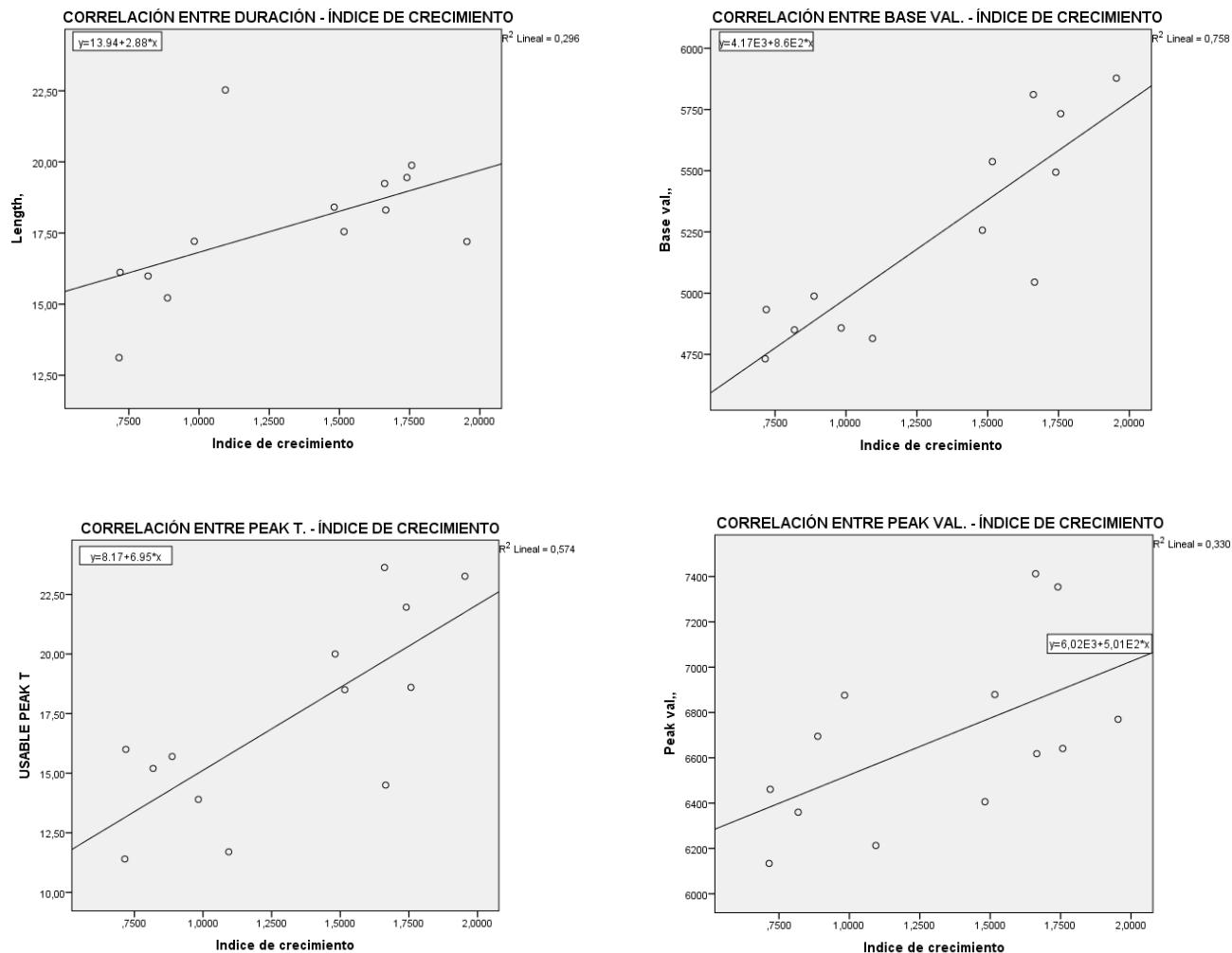


Figura 35: Gráficos de dispersión de Sierra de San Jordi

En cuanto al resto de localizaciones cuatro de ellas no han arrojado ningún tipo de correlaciones en ninguna de las variables estudiadas. Estas localizaciones son: Begur en Girona, PN Cazorla en Jaén, Collado de Castilla en el Parque Natural del Moncayo y Pinar del Pla en Castellón (Figura 36). En estos casos, el NDVI obtenido y las variables derivadas del índice de vegetación, no ayudan a estimar el crecimiento de estos bosques.



Figura 36: Localización de las series de NDVI con correlaciones

En este caso habría que analizar los diferentes factores relacionados con la localización geográfica que puedan afectar al crecimiento de la especie tales como precipitaciones, temperaturas, características edafológicas, etc... factores que influyen directamente en el crecimiento del bosque. Este análisis no ha sido abarcado ya que no forma parte del objetivo ni de la hipótesis de partida planteados.

5.3.2 Resultados del Índice de vegetación EVI

Los resultados obtenidos para el índice de vegetación EVI han sido diferentes a los obtenidos para NDVI.

De nuevo la variable que ha arrojado mejores resultados en cuanto a correlaciones positivas ha sido *Base val.*, (Figura 37) obteniendo en todo momento una correlación positiva. Estos valores hacen referencia al valor mínimo obtenido de NDVI en el periodo de respuesta espectral y obteniendo un mayor índice de crecimiento cuanto mayor sea este valor.



Figura 37: Localización de las series con correlaciones entre Base val., e índice de crecimiento

Otra de las variables de la que se ha obtenido mayor número de correlaciones ha sido la variable *End* (Figura 38), en la que predominan las correlaciones negativas sobre las positivas, significando la obtención de un mayor índice de crecimiento terminando el periodo de respuesta espectral antes.

En cuanto a la variable *Length*, las correlaciones vuelven a ser negativas, exceptuando una positiva, obteniendo en la mayoría un mayor índice de crecimiento cuanto menor sea la duración del periodo de mayor respuesta espectral.

La variable *Peak T.*, también se podría considerar como una de las variables que mejor comportamiento ha tenido en cuanto al análisis estadístico. Las correlaciones obtenidas han sido la mayoría negativas, exceptuando una positiva, resultando un mayor índice de crecimiento produciéndose el pico antes para las correlaciones negativas y un mayor índice de crecimiento cuanto más tarde se produzca el pico en las correlaciones positivas.

En el caso de la variable *Start* sucede lo mismo que para NDVI, en general la respuesta al análisis estadístico no ha sido bueno, puesto que tan sólo de tres localizaciones se han obtenido resultados correlacionados.

LOCALIZACIÓN DE LAS SERIES CON CORRELACIONES ENTRE END E ÍNDICE DE CRECIMIENTO

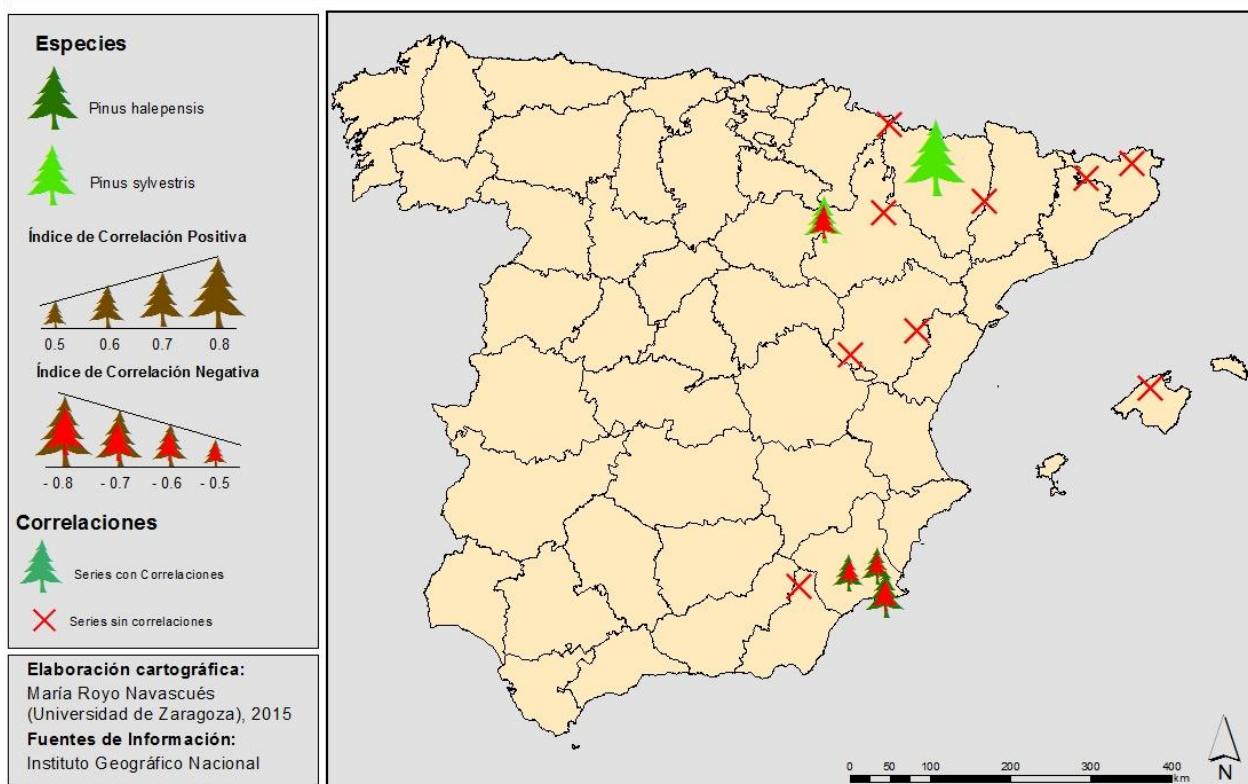


Figura 38: Localización de las series con correlaciones entre END e Índice de Crecimiento

En esta variable de las correlaciones negativas se obtiene un mayor índice de crecimiento al dar comienzo el periodo de respuesta espectral más pronto al contrario que para las correlaciones positivas, en las que se obtendría un mayor índice de crecimiento comenzando el periodo de respuesta espectral más tarde.

Las dos variables que menos resultados han arrojado son la *Amplitud* y *Peak val.*, obteniendo una y dos correlaciones respectivamente.

En cuanto al análisis de las localizaciones la respuesta ha sido menor que para el análisis realizado para el índice NDVI.

Los resultados obtenidos para el ejemplar localizado en Fuensanta, Murcia, han sido correlaciones negativas para las variables *End*, *Peak T.*, y *length* (Figura 39).

Para la variable *End* se ha obtenido una alta correlación negativa de la que se obtiene un índice de crecimiento menor cuanto más tarde se dé por finalizado el periodo de respuesta espectral.

Otra de las variables de la que se ha obtenido respuesta estadística ha sido para la variable *Peak T.*, consiguiendo un menor crecimiento cuanto más tarde se produzca el punto máximo de NDVI. Al igual que para la variable *Length*, la correlación al ser negativa se obtiene un menor crecimiento cuanto más dura el periodo de respuesta espectral.

Para el resto de variables no se han obtenido resultados de correlación aunque sí valores muy cercanos al 0.5.

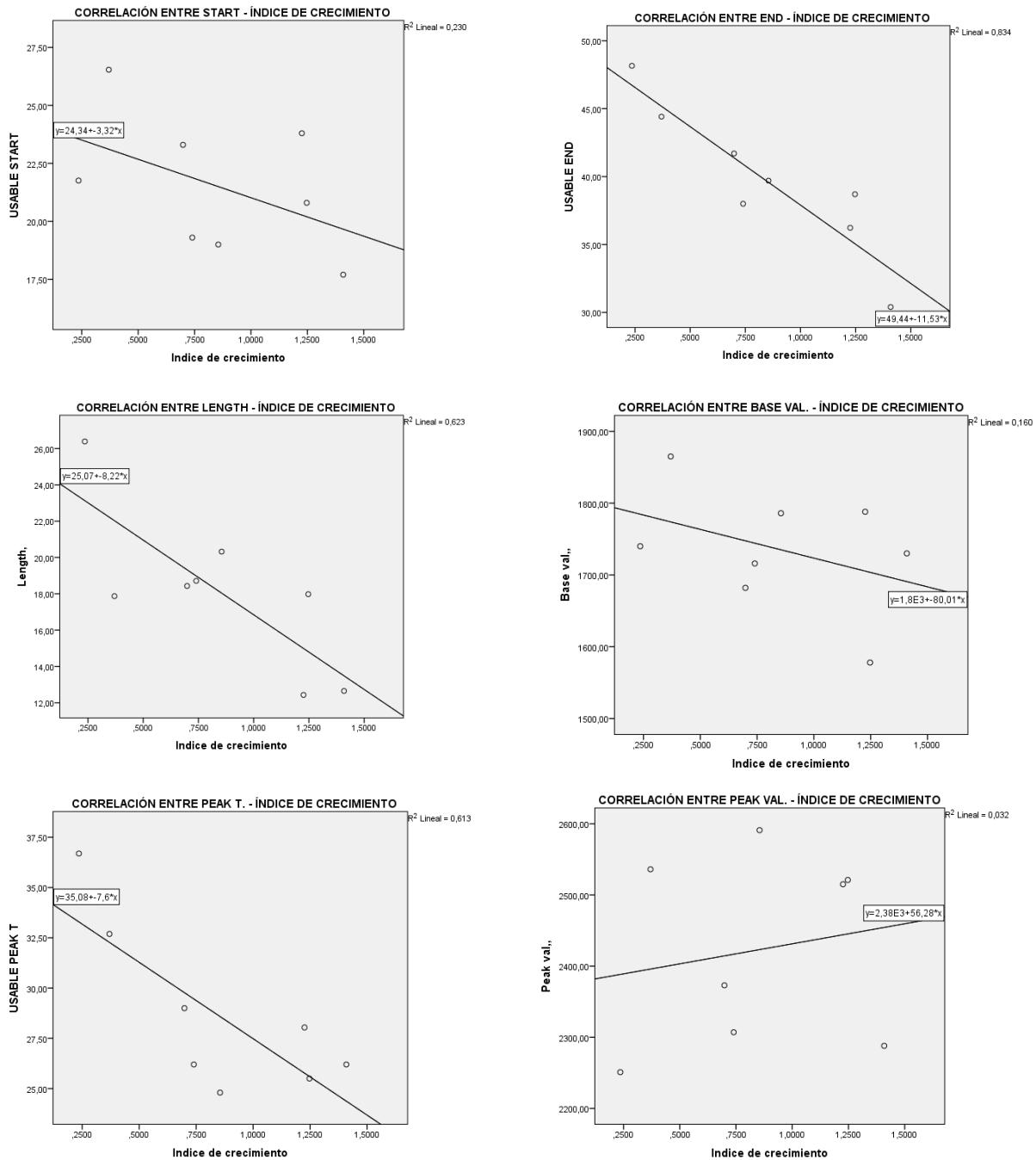


Figura 39: Correlaciones obtenidas para el caso de Fuensanta

Para la serie dendrocronológica situada en el Barranco de San Juste, las variables que han arrojado correlaciones han sido *Start*, *End* y *Peak T.*, siendo las únicas variables en haber mostrado correlación (Figura 40).

En la variable *Start*, la correlación obtenida ha sido positiva, consiguiendo un mayor crecimiento cuanto más tarde empieza el periodo de respuesta espectral. Algo similar sucede para la variable *End*, al haber arrojado una correlación positiva se obtiene un mayor crecimiento si el periodo de reflectancia termina más tarde.

Por último la variable *Peak T.*, también ha arrojado una correlación positiva como las anteriores variables, obteniendo un mayor crecimiento si se produce el pico máximo de NDVI más tarde.

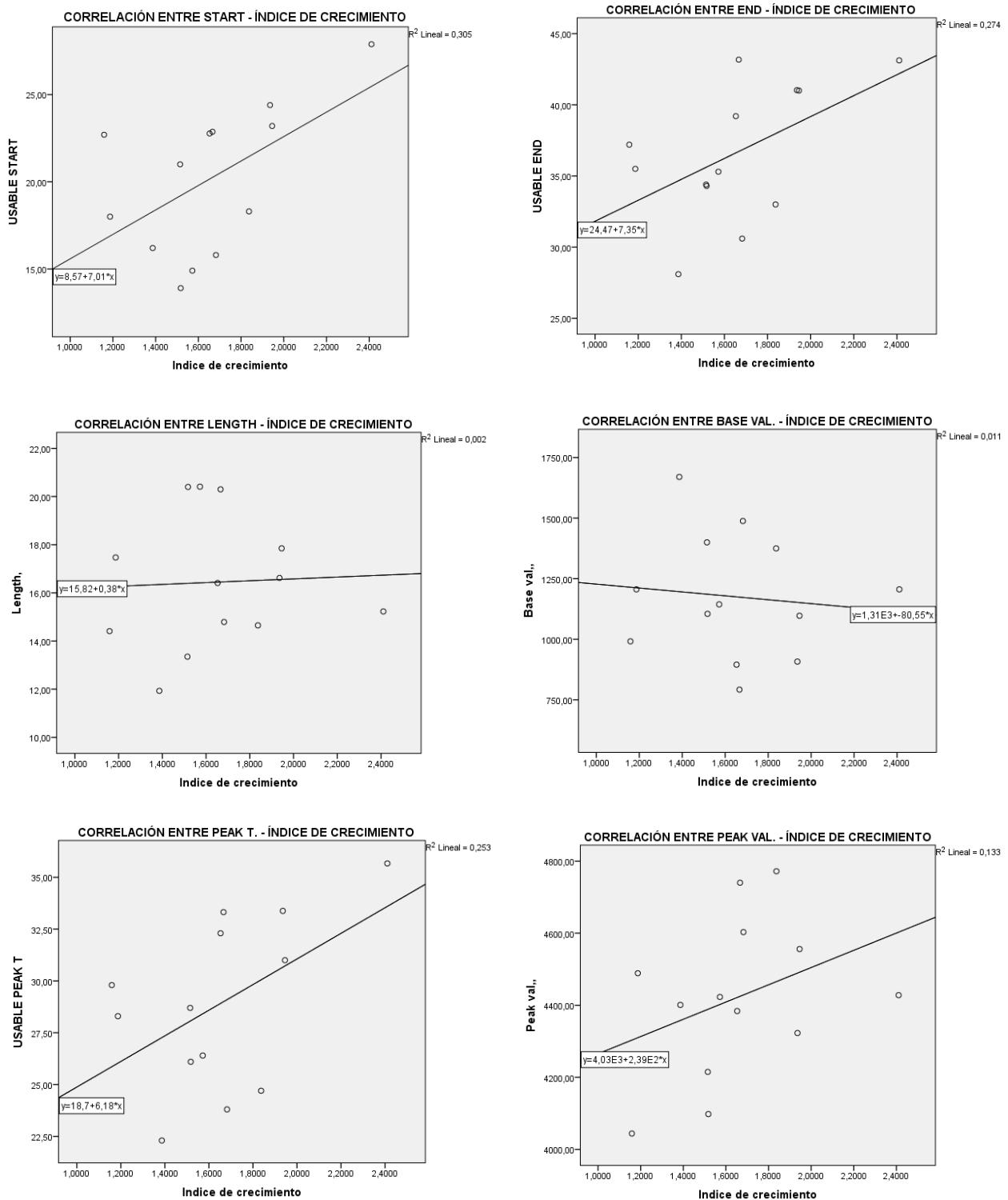


Figura 40: Correlaciones obtenidas para la localización de Barranco de San Juste.

En cuanto a la serie temporal obtenida en el Parque Natural del Moncayo (Chalet del catalán), las correlaciones obtenidas son similares a las resultantes en Fuensanta. Correlaciones negativas en las tres únicas variables que arrojan respuesta estadística correlacionada, *End*, *Peak T.*, y *Length*.

La variable *End* al arrojar una correlación negativa indica que cuanto más tarde en acabar el periodo de respuesta espectral menor crecimiento se obtendrá al igual que para la variable *Peak T.*, el crecimiento será menor si el pico máximo de NDVI se obtiene en fechas más tardías.

Por último, la variable *length*, al dar negativa como el resto de las variables explicadas para esta localización, implica un menor crecimiento con una duración menor del periodo de respuesta espectral.

6 CONCLUSIONES

La teledetección ha demostrado ser una de las herramientas más útiles en el estudio del medio natural. A día de hoy se cuenta con una gran información obtenida desde los diferentes satélites, proporcionando al investigador diversas opciones (resolución, frecuencia temporal...) para realizar sus proyectos.

En el caso de este proyecto la elección del sensor MODIS como fuente de información ha sido promovido por las ventajas que ofrece. Tener acceso gratuito a través de internet a todo el conjunto de datos y productos derivados del sensor es una ventaja a tener en cuenta a la hora de realizar un proyecto, ya que el precio de las imágenes satélite suele ser elevado. Por otro lado, obtener datos con un rango mínimo de uno o dos días hacen que su elevada frecuencia temporal sea primordial para la realización de estudios multitemporales. Y por último la gran fiabilidad que proporcionan los datos de calidad de los mismos al ser incorporados en todos los productos derivados.

Al igual que la teledetección, la dendrocronología es una herramienta fundamental para el estudio del crecimiento de las especies y sobre todo para conocer qué ha ocurrido en ese lugar años atrás. De ese modo, las muestras dendrocronológicas se convierten en archivos naturales de temperaturas, precipitaciones o de procesos geomorfológicos que en un momento determinado han sucedido y afectado al ejemplar en un lugar determinado.

Los resultados obtenidos a través del análisis de los datos MODIS dejan entrever la compleja dinámica de crecimiento que caracterizan a las coníferas. Son una especie que tiene presencia en multitud de ámbitos geográficos, adecuándose a características climáticas o edafológicas muy diversas provocando que al estudiar los diversos índices de vegetación (NDVI y EVI) se obtengan resultados tan diferentes entre las series temporales analizadas.

Actualmente es todo un reto poder relacionar datos derivados de la teledetección con el crecimiento en coníferas, ya que su propio crecimiento es complejo. Los pinos son una especie arbórea que no pierde las hojas anualmente además de que sus hojas pueden llegar a ser funcionales varios años. También hay que añadir que, en ambientes mediterráneos, tienen ciclos de crecimiento muy largos y en ocasiones pueden llegar a sufrir una fuerte sequía retrasando su crecimiento, hechos que afectan a los índices de vegetación siendo difícil establecer una relación directa con el crecimiento.

La obtención de periodos de mayor respuesta espectral con dos picos de máxima reflectividad viene dada por el crecimiento desigual que tienen las propias coníferas. Puede haber años en los que en primavera el pino tenga primer periodo de crecimiento, posteriormente frenar su crecimiento en época estival, provocado por ejemplo por un aumento de la aridez de la localización y en otoño volver a mostrar un segundo periodo de crecimiento. Que sucedan o no este tipo de procesos depende de las características de la situación geográfica en la que se localice el ejemplar, puesto que afectan de una manera diferente según su localización.

El principal problema detectado en el estudio de los datos obtenidos desde MODIS con el software TIMESAT ha sido la obtención de datos “0” en muchas de las series temporales estudiadas, obligando a, determinar cómo series nulas todos los años de estudio, puesto que se asume que todos los datos anteriores y posteriores al “0” están obtenidos erróneamente. Este error ocurre cuando la curva del índice de vegetación analizado tiene mucho ruido y no presenta una estacionalidad definida, por tanto el programa no es capaz de calcular las variables necesarias para cada año analizado.

El análisis de correlación entre el índice de crecimiento y las variables MODIS ha permitido conocer la relación existente entre la información obtenida en campo a través de muestreos y la información obtenida a través de sensores.

Una de las variables que más información ha aportado al estudio ha sido la variable *Base val.* (Valor base), arrojando correlaciones positivas tanto para el índice de NDVI como de EVI. En este caso, la correlación positiva obtenida tiene bastante lógica puesto que al obtener valores más altos del valor mínimo el crecimiento es mayor.

Algo parecido pasa con la variable *Peak val.* (Valor del pico máximo), aunque en este caso sólo para NDVI se han obtenido correlaciones. Al igual que la variable anterior, los resultados obtenidos son coherentes ya que cuanto más elevado sea el valor del pico en un año determinado, se asume que la actividad fotosintética ha sido mayor y por tanto se espera observar una mayor índice de crecimiento.

Las dos variables anteriores están muy relacionadas con la variable *Amplitud*, en el índice de vegetación NDVI. Los datos obtenidos permiten concluir que cuanto mayor sea la diferencia entre el Base value y el Peak value, es decir, cuanto mayor sean las diferencias en actividad vegetal a lo largo del año, mayor crecimiento hay.

En cuanto al resto de variables, han sido muy dispares las respuestas obtenidas al análisis estadístico. En este caso, habría que realizar un análisis más profundo en los datos tanto de MODIS como de las cronologías para poder responder a esta variabilidad en las correlaciones.

Por otro lado, para el índice de vegetación EVI las variables han tenido un comportamiento diferente al análisis estadístico. Hay que destacar que al igual que en NDVI la variable que más información ha aportado al proyecto ha sido *Base val.*, arrojando correlaciones positivas, mientras que otras variables como la variable *End* se han obtenido correlaciones negativas para la mayoría de las series temporales.

Respecto a las correlaciones obtenidas para las series temporales individuales, se podría decir que los resultados esperados serían los obtenidos en la serie de El Grado, obteniendo correlaciones positivas en las variables de inicio, final, fecha del pico máximo, valor de base, valor del máximo de reflectancia y amplitud. Las correlaciones positivas que ha arrojado esta serie indican que cuanto más tarde en iniciarse, más tarde en terminar el periodo de mayor respuesta espectral, más tarde se dé el pico de máxima reflectividad y cuanto más alto sea el valor base y el valor de la máxima reflectancia, mayor será el índice de crecimiento.

Tal y como se ha indicado en apartados anteriores, la distribución tan amplia que tienen las coníferas en el territorio hacen que los resultados obtenidos para cada una de las series temporales sean muy diferentes entre sí.

La elaboración de cartografías en las que representar aquellas variables con mayor número de correlaciones han permitido observar un patrón espacial en cuanto a la distribución de estas. En el caso de las correlaciones obtenidas para NDVI, se distingue una concentración al noroeste de la Península Ibérica mientras que para el índice EVI las correlaciones tienen una distribución más dispersa por el territorio nacional.

Los resultados del análisis de correlación para los índices de NDVI y EVI dejan entrever que esta metodología funciona en algunos casos con determinadas variables tal y como ha sucedido (variables de duración, valor base y valor máximo) aunque siempre estarían condicionadas por los factores climáticos y características de la situación geográfica en las que se sitúen los ejemplares de los cuales obtener las muestras y los datos del sensor. Posiblemente con esta metodología se obtendrían mayores resultados si se utilizase con frondosas, pues éstas tienen un crecimiento más regular y se establecerían respuestas biológicas con mayor facilidad.

Tras analizar los resultados obtenidos y ver que se ha conseguido establecer una relación entre NDVI (con la variable *Peak val.*, por ejemplo) y el índice de crecimiento, se podría pensar en utilizar las imágenes MODIS para analizar lugares donde no se ha realizado ningún muestreo dendrocronológico y prever como ha sido el crecimiento en esos lugares, siempre y cuando las localizaciones (o bosques) mantengan las características de los bosques con los que se ha testeado la hipótesis, es decir, misma especie pero también misma densidad, estructura de bosque, situación topográfica, etc...

En resumen, el sensor MODIS y sus respectivos productos derivados son muy útiles y son de una gran ayuda para el análisis del crecimiento de una especie, aunque siempre teniendo en cuenta variables externas al sensor que influyen en el desarrollo de las coníferas.

7 BIBLIOGRAFÍA

- Eklundh, L. and Jönsson, P., 2015:** *TIMESAT 3.2 Software Manual*. Lund and Malmö University, Sweden.
- Gilabert, M.A.; González-Piqueras, J. y García-Haro, J. (1997):** "Acerca de los Índices de Vegetación". *Revista de Teledetección* Nº 8, Diciembre 1997.
- Giraldo Jiménez, Jorge Andrés (2011):** "Dendrocronología en el trópico: Aplicaciones actuales y potenciales". *Colombia Forestal Vol. 14(1): 97-111/Enero-Junio, 2011*
- Gutiérrez A. y Picatoste J. R. (2012):** *Evidencias del cambio climático y sus efectos en España*. Plan Nacional de Adaptación al Cambio Climático. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente. NIPO: 280-12-108-1
- Gutiérrez Merino, Emilia (2008):** *La dendrocronología: métodos y aplicaciones*. En "Arqueología náutica mediterránea" X. Nieto i M. Am Cau (eds.) pp. 303-315.
- Jönsson, A.M.; Eklundh, L.; Hellström, M.; Bärring, I. y Jönsson, P. (2010):** *Annual changes in MODIS Vegetation indices os Swedish coniferous forest in relation to snow dynamics and tree phenology*. *Remote Sensing of Environment* 114 (2010).
- Mas, Jean-François (Ed.) (2011):** Aplicaciones del sensor MODIS para el monitoreo del territorio. México. Secretaría de medio ambiente y recursos naturales
- Mauricio, F. y Rivas, R. (2010):** "Relación entre índices de vegetación provenientes de imágenes MODIS y el endimismo en girasol en el área centro de la Pampa. Argentina". *Revista Ciencia* vol. 5, núm. 19-29:43. Universidad de Catamarca.
- Meneses-Tovar, C.L. (2011):** "El índice normalizado diferencial de la vegetación como indicador de la degradación del bosque". *Unasylva* 238, Vol. 62, 2011/2.
- Novak, K.; Saz Sánchez, M.A.; Cufar, K.; Raventós, J. y de Luis, M. (2013):** "Age, climate and intra-annual density fluctuations in *Pinus halepensis* in Spain". *IAWA Journal* 34 (4), 2013: 459 – 474.
- Tejedor, E.; de Luis, M.; Cuadrat, J.M.; Saz, M.A. (2015):** *Tree-ring-based drought reconstruction in the Iberian Range (east of Spain) since 1694*. International Journal of Biometeorology.
- Cook, E. R., and Kairiukstis, L.A. (1990):** *Methods of Dendrochronology*.

7.1 RECURSOS WEB

Cardenas, Julio: Blog Networkianos. Blog se Sociología. Qué es la correlación bivariada y cómo analizarla. Consultada 22 de noviembre de 2015.

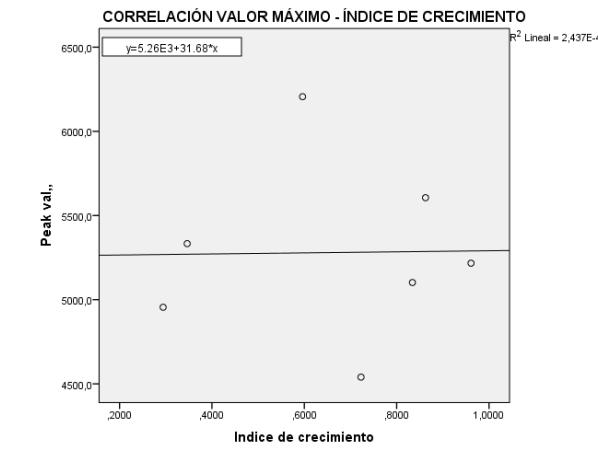
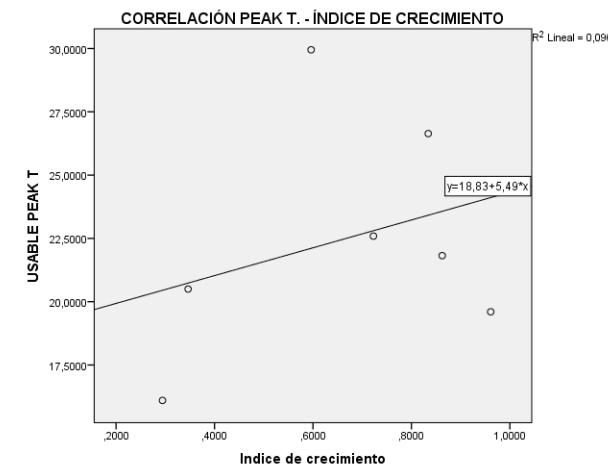
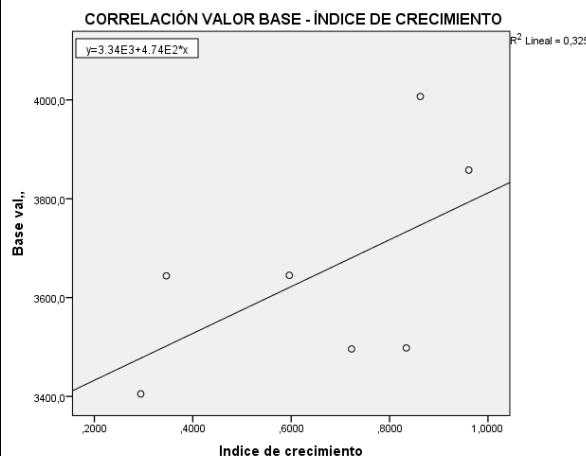
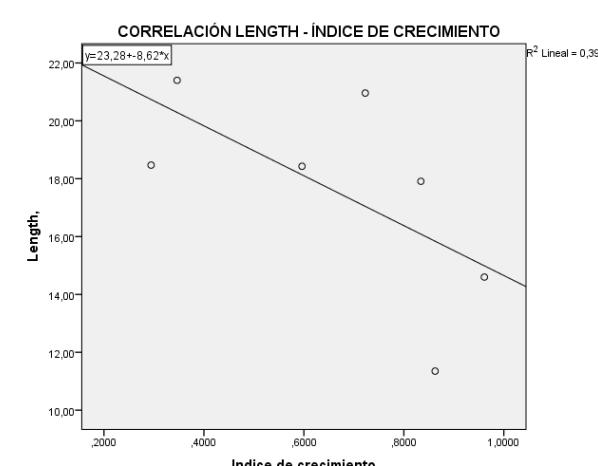
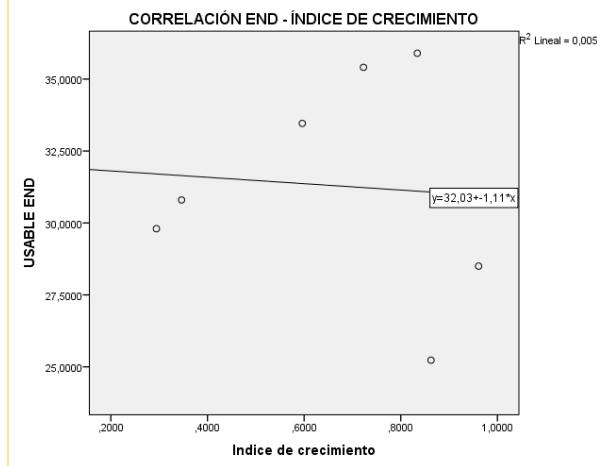
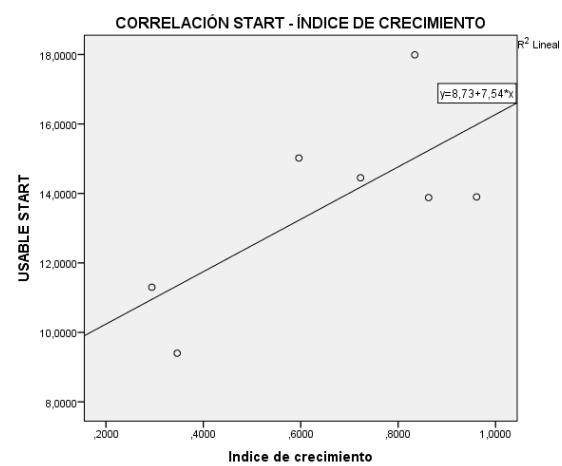
Remoting Sensing Phenology: Challenges in Deriving Phenological Metrics. USGS. Consultada 22 de noviembre de 2015

8 ANEXOS

8.1 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA NDVI

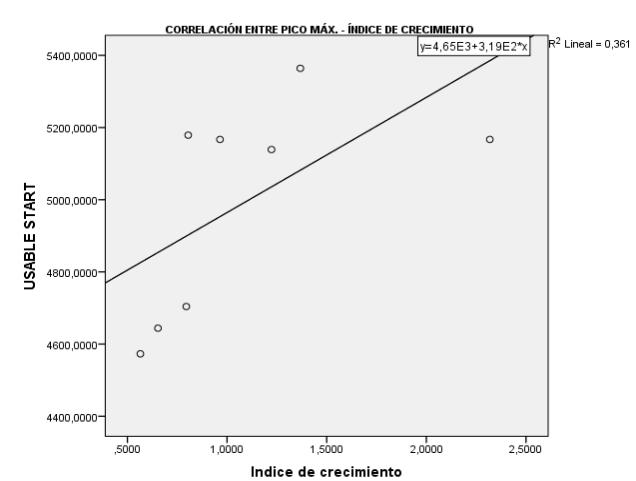
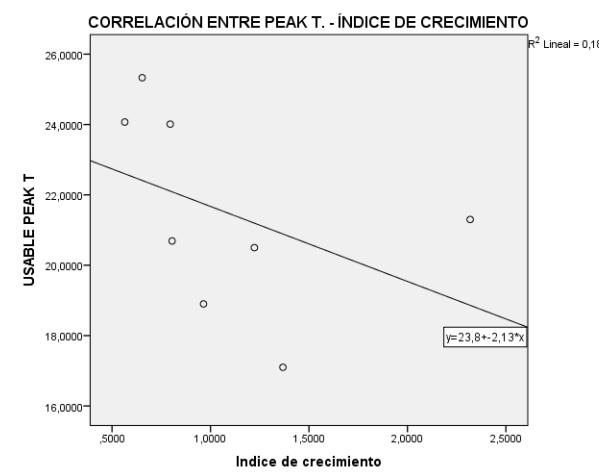
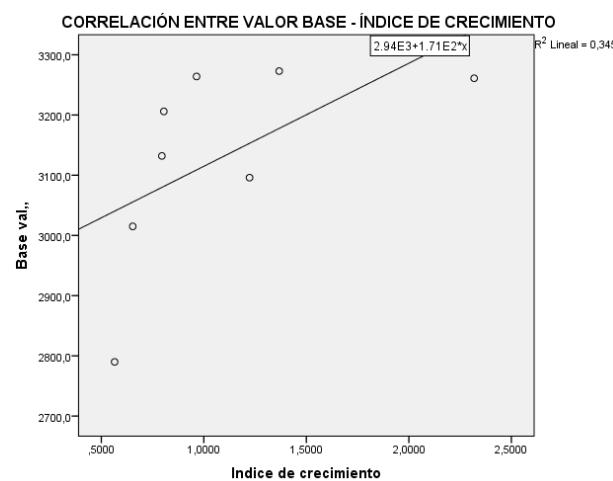
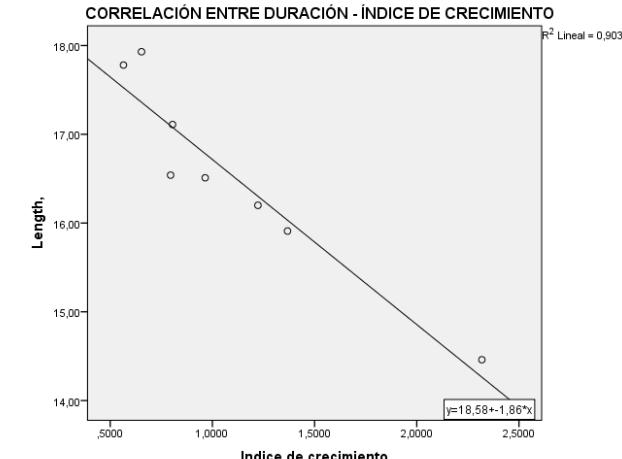
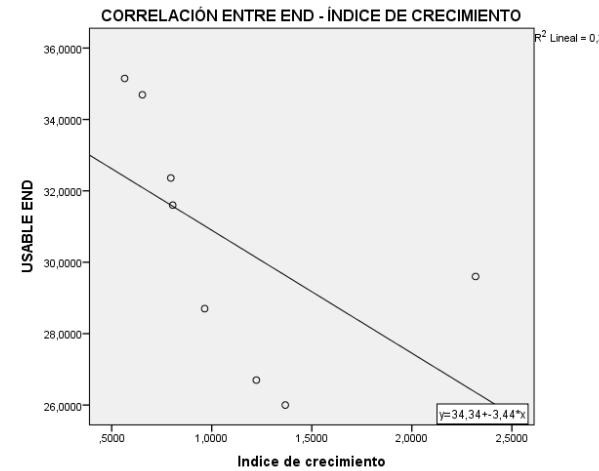
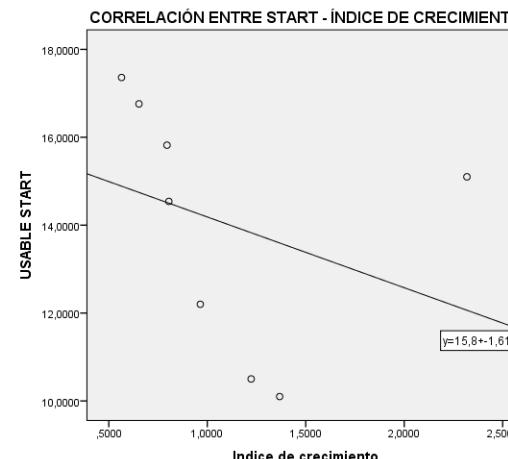
Alcubierre (San Caprasio)

	Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral	
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,713	-,074	-,630	,570	,310	,016	-,246	-,237	,153	-,595	-,591



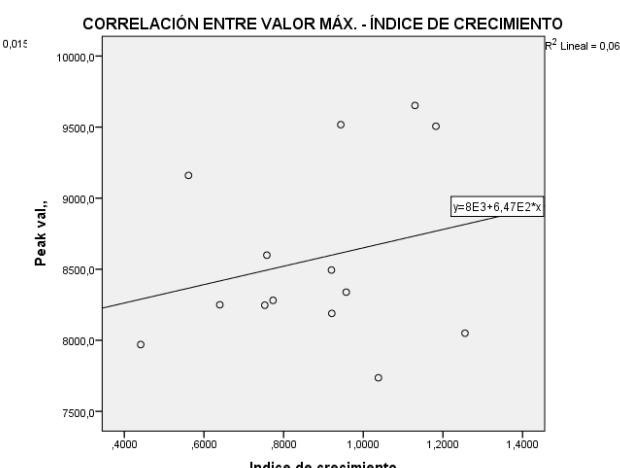
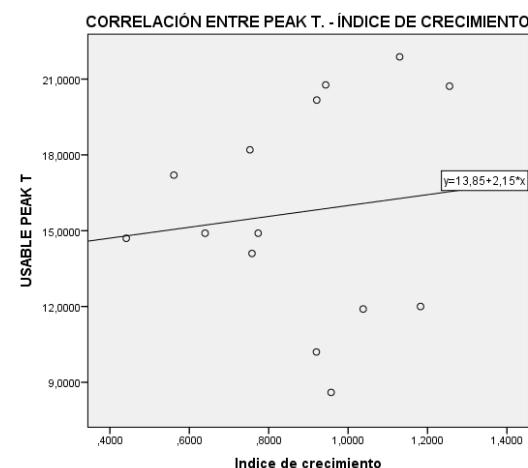
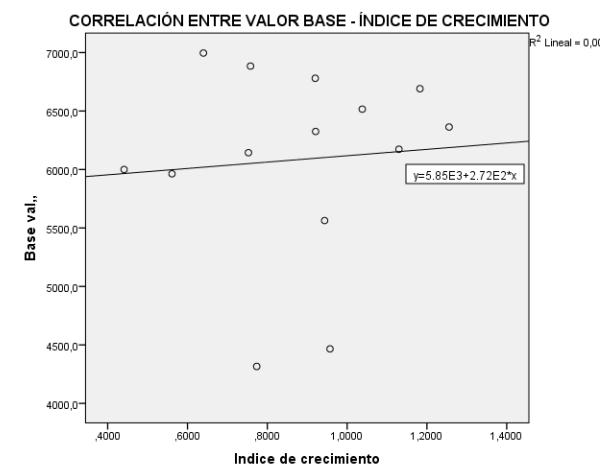
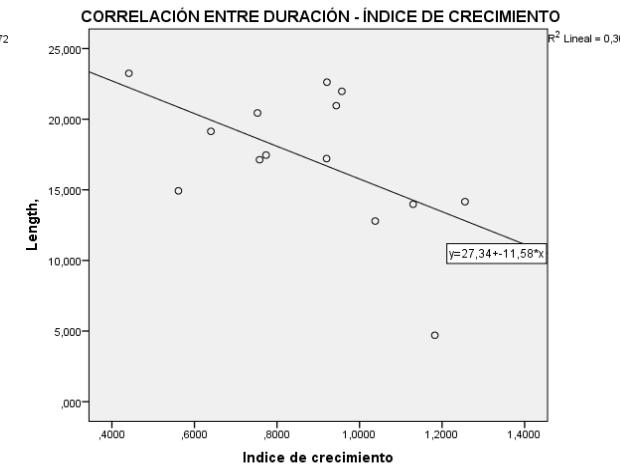
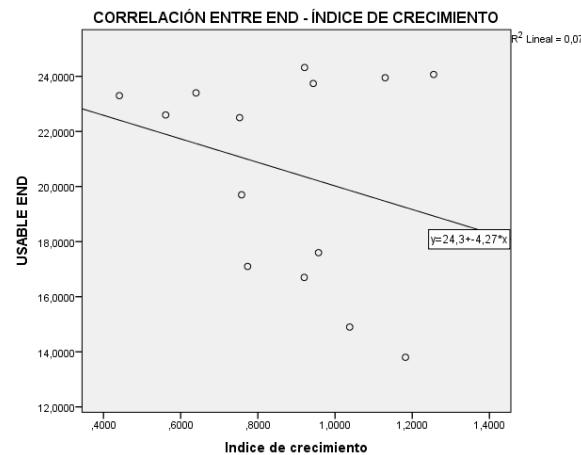
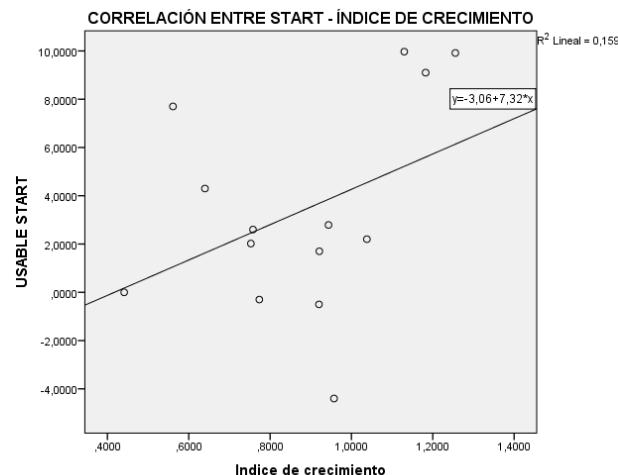
Cartagena (Murcia)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAKT	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,328	-,569	-,950**	,588	-,430	,601	,449	-,101	,482	-,650	-,230



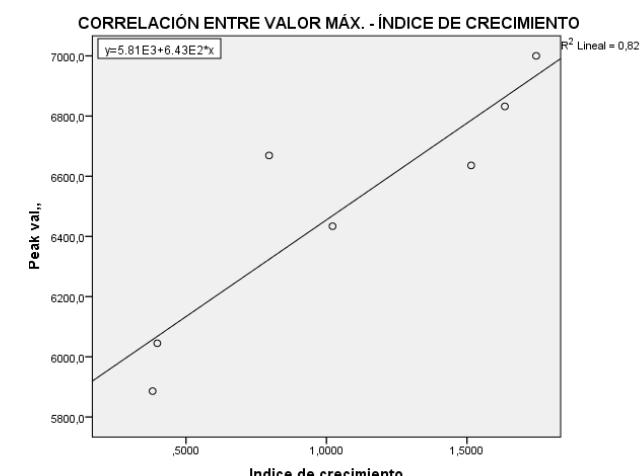
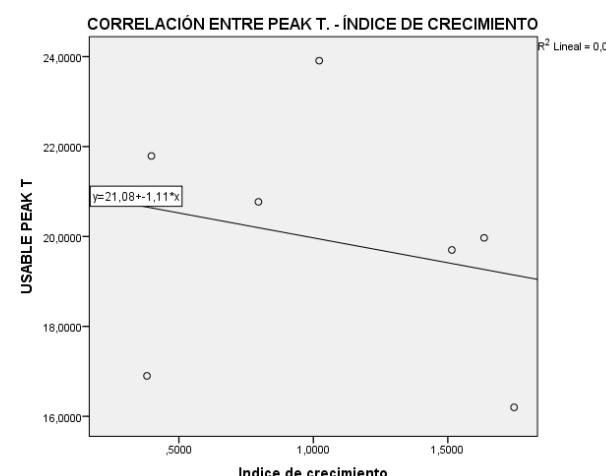
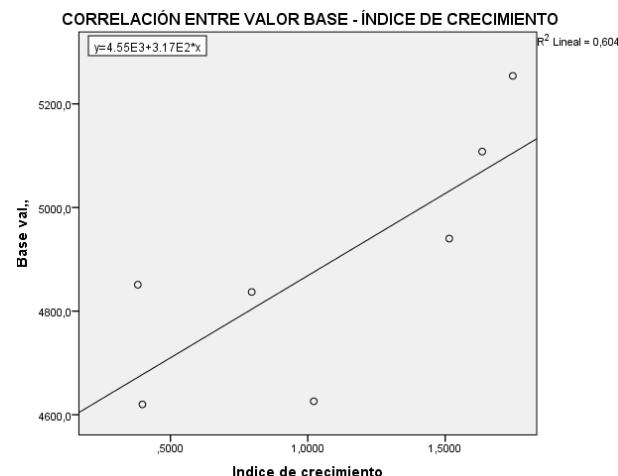
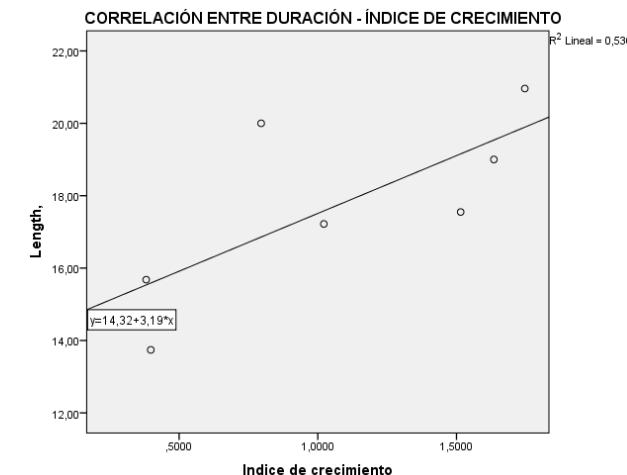
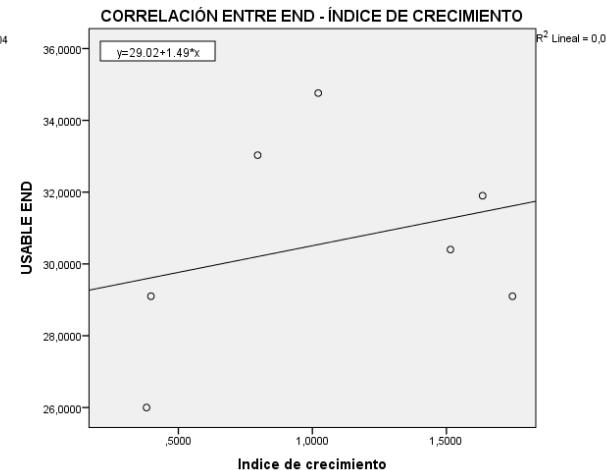
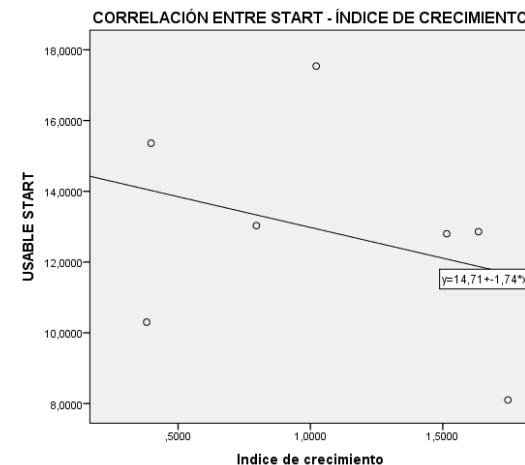
Bosco de Dalt

	Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral	
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,398	-,268	-,554*	,079	,121	,244	,087	,338	,100	-,538*	-,189



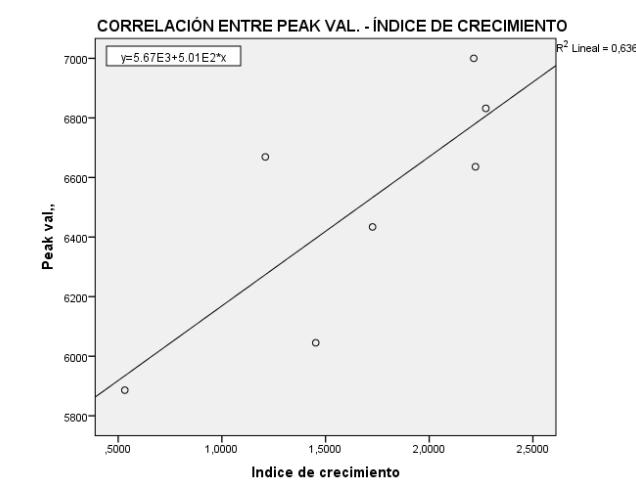
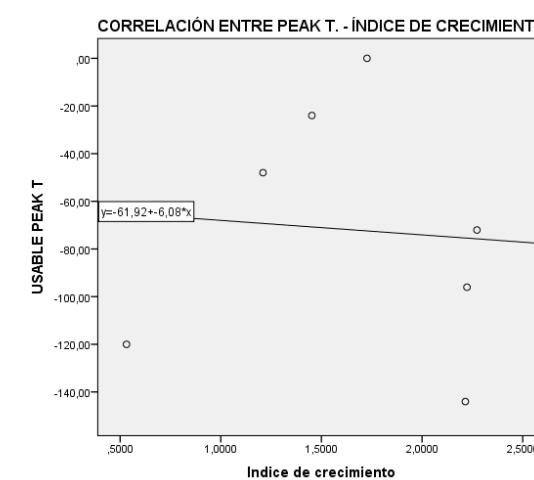
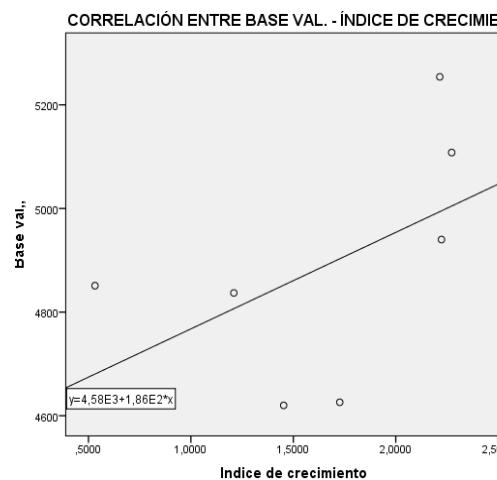
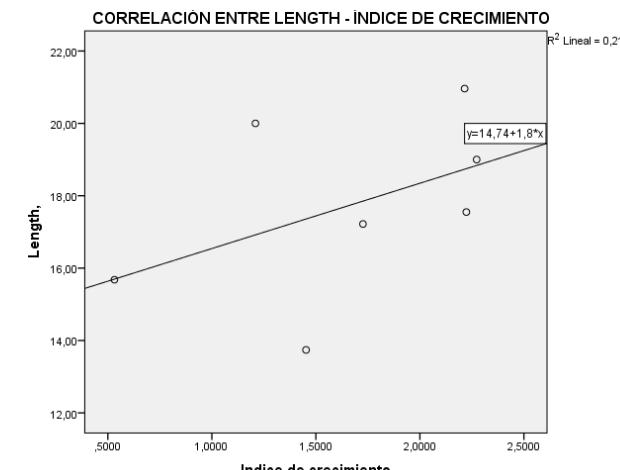
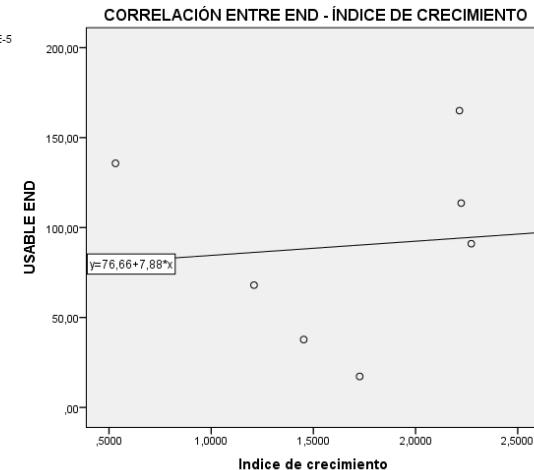
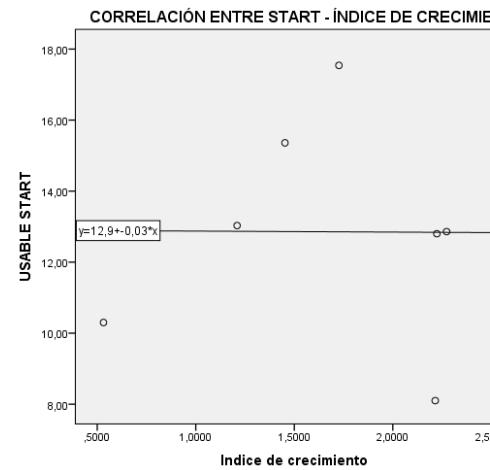
Daroca (Zaragoza)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,322	,294	,732	,777*	-,237	,906**	,653	-,507	-,310	,766*	,504



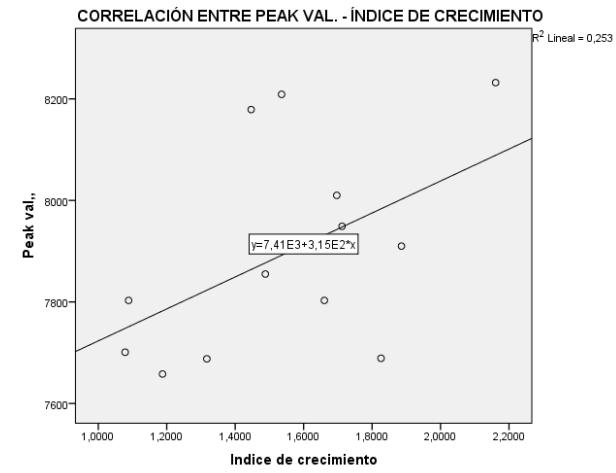
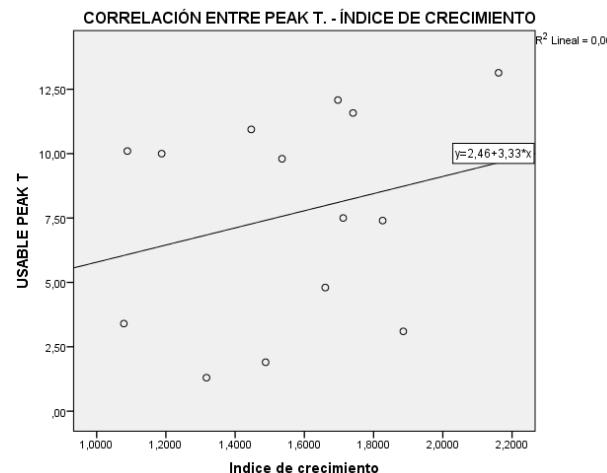
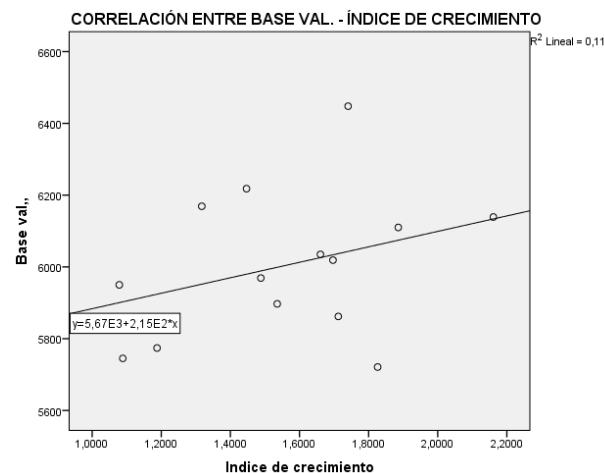
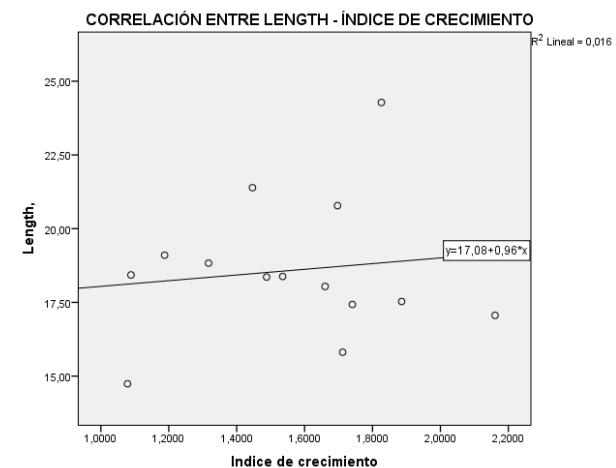
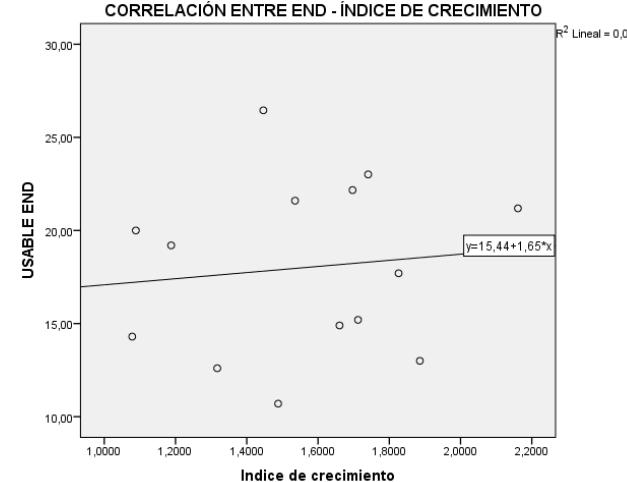
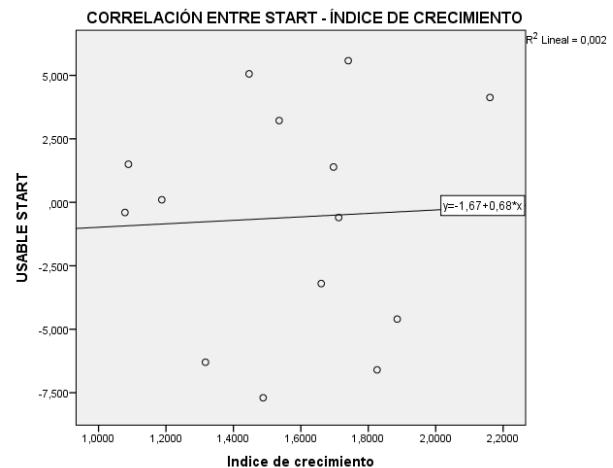
Daroca (Zaragoza)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,006	,097	,467	,516	-,076	,797*	,712	-,463	,103	,517	,418



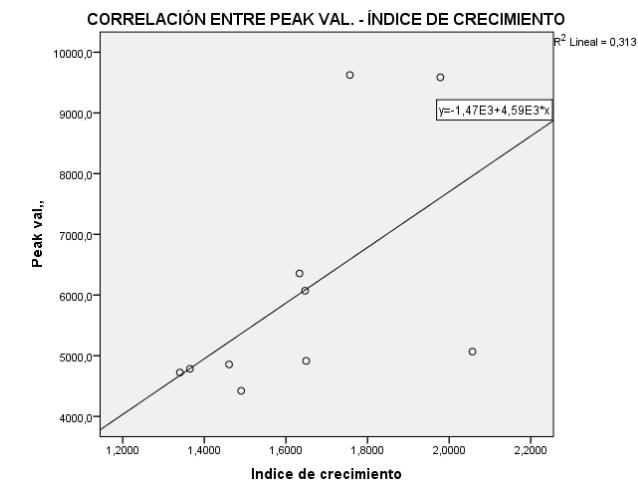
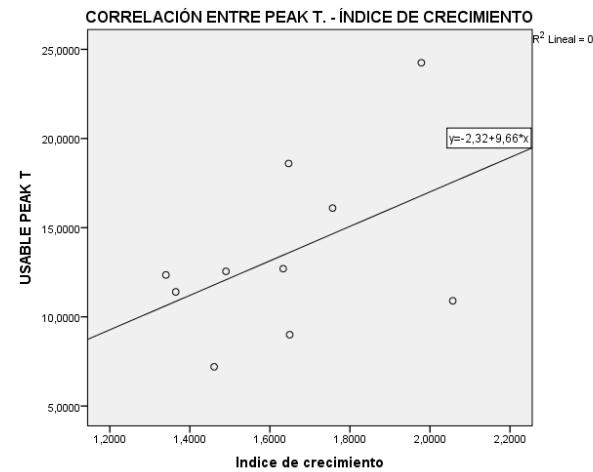
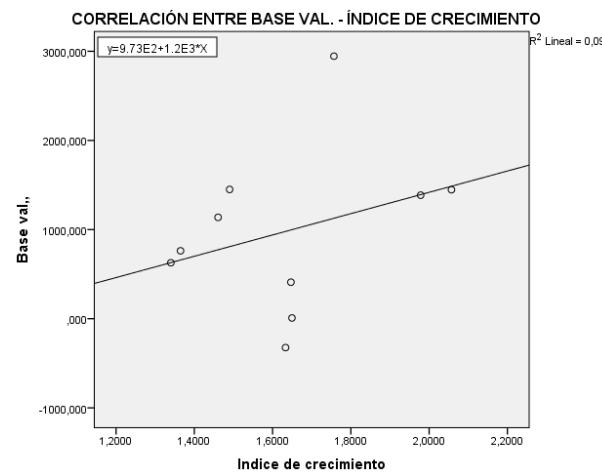
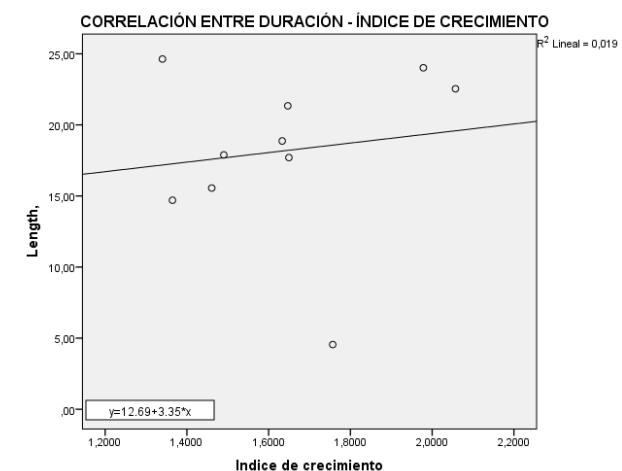
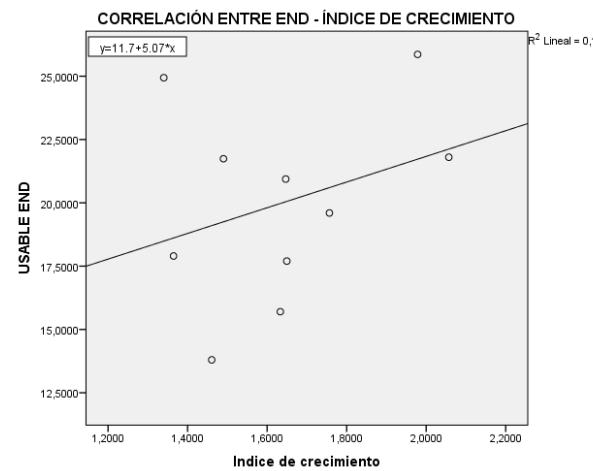
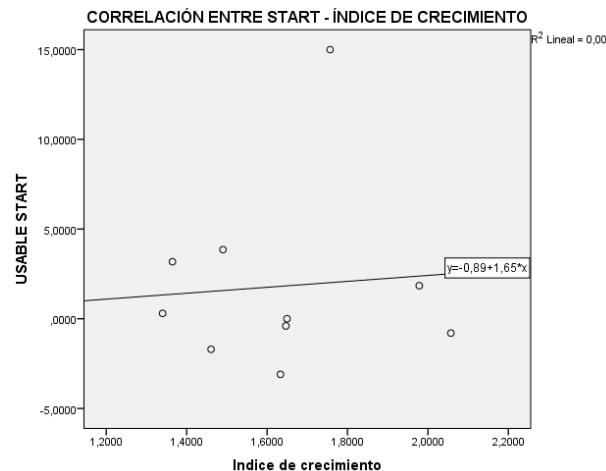
Les Lloses (Ripol)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	L,integral,	S,integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,048	,112	,128	,334	,260	,503	,138	,096	,674 **	,316	,401



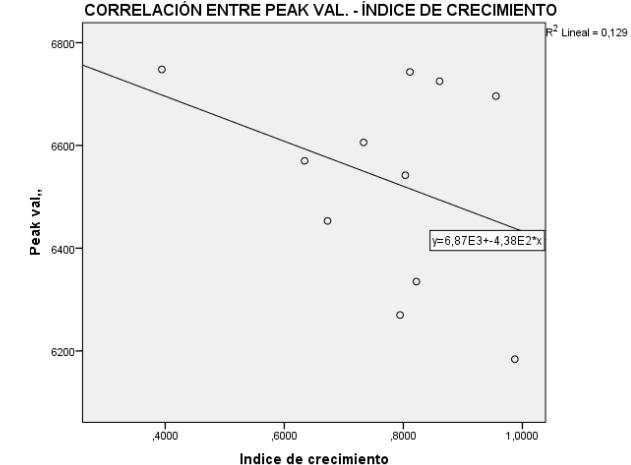
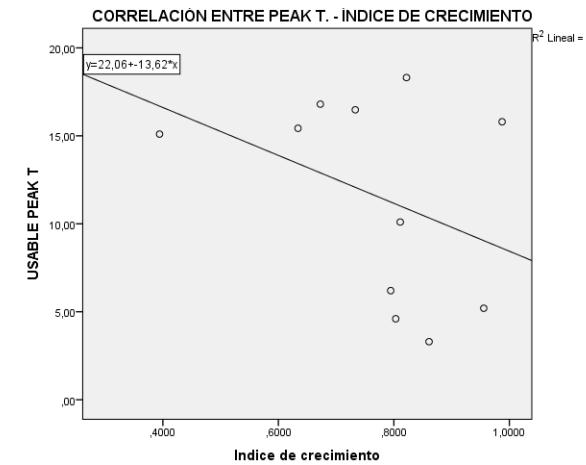
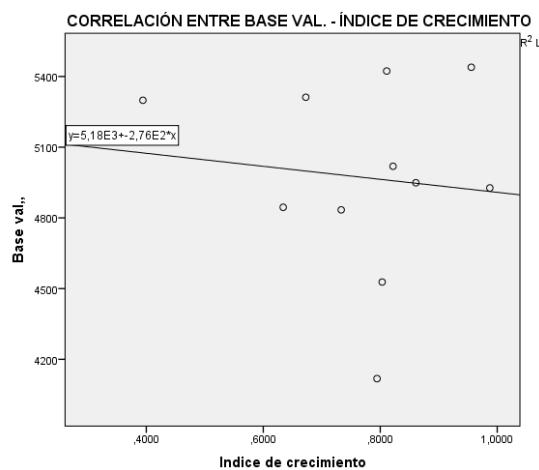
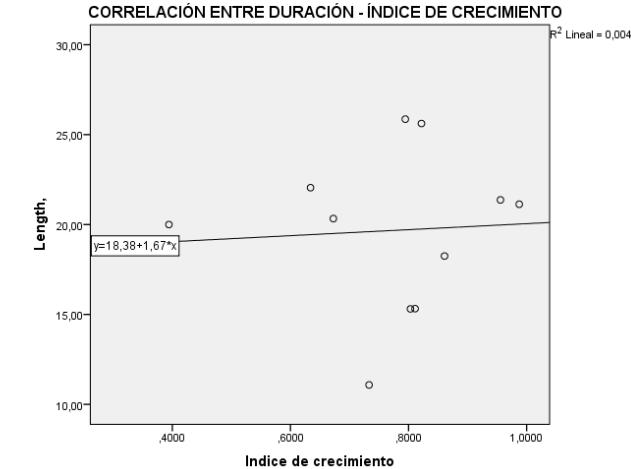
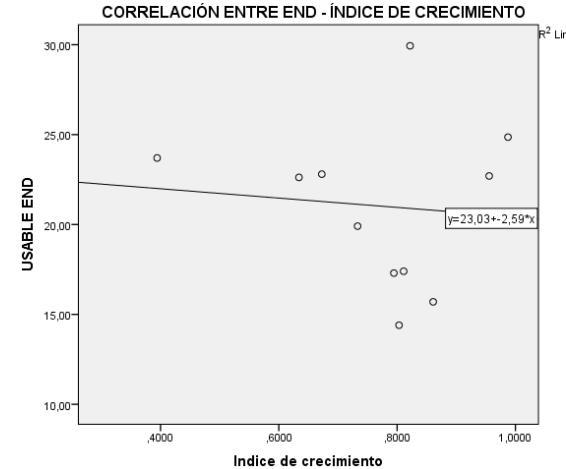
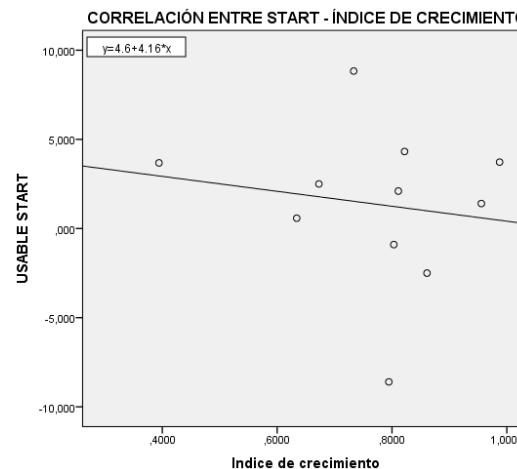
Collado de la Loma (Parque Natural del Moncayo)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	L,integral	S,integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,078	,318	,138	,313	,469	,560	,483	,184	,324	,343	,072



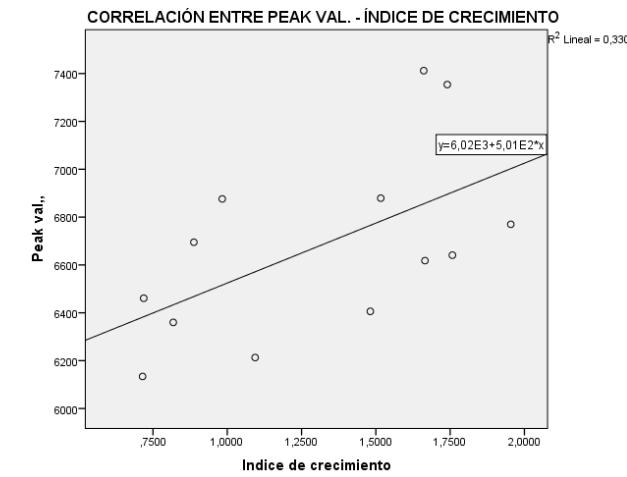
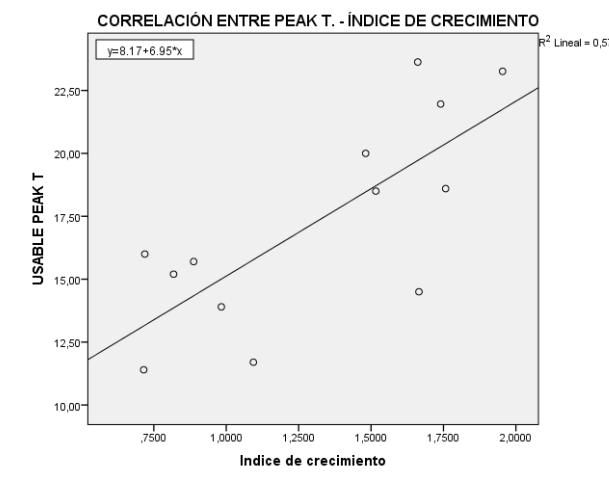
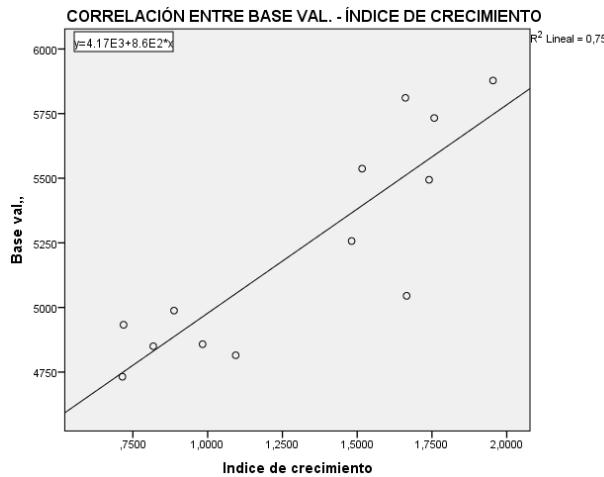
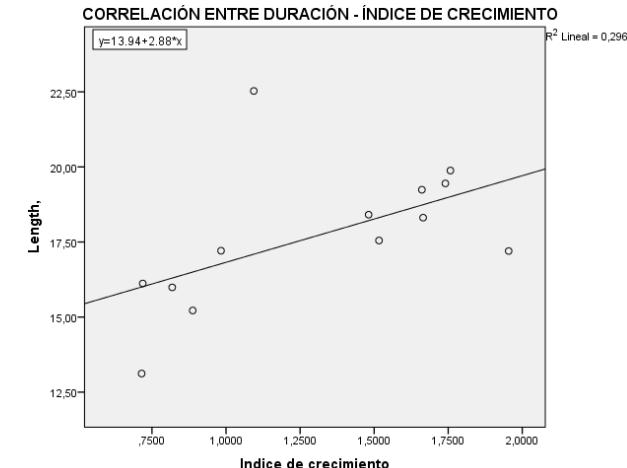
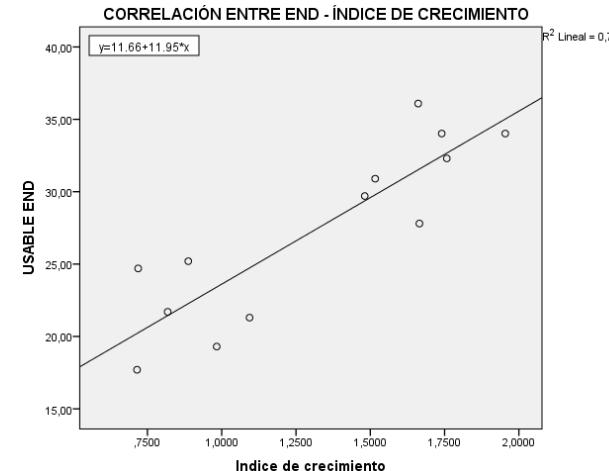
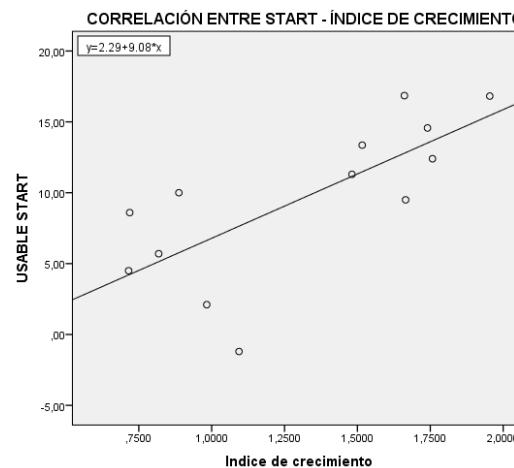
Arroyo los Cejos (Parque Natural del Moncayo)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,154	-,092	,061	-,112	-,387	-,359	-,078	,500	-,119	-,004	,001



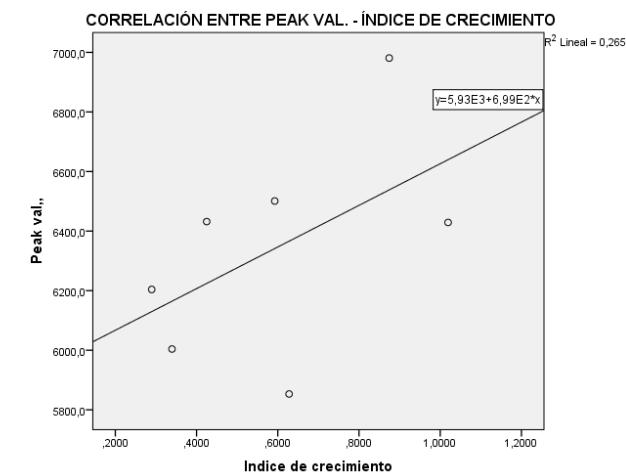
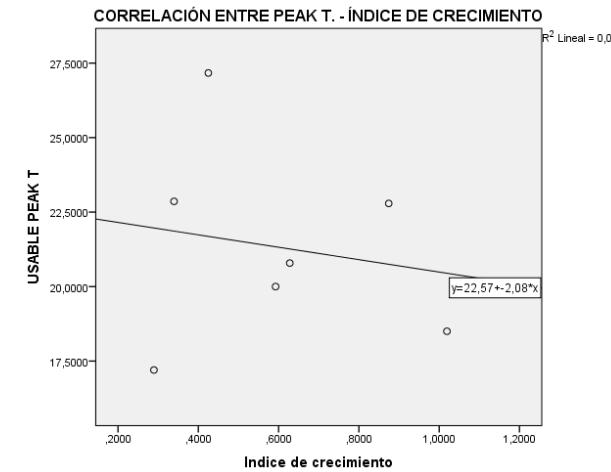
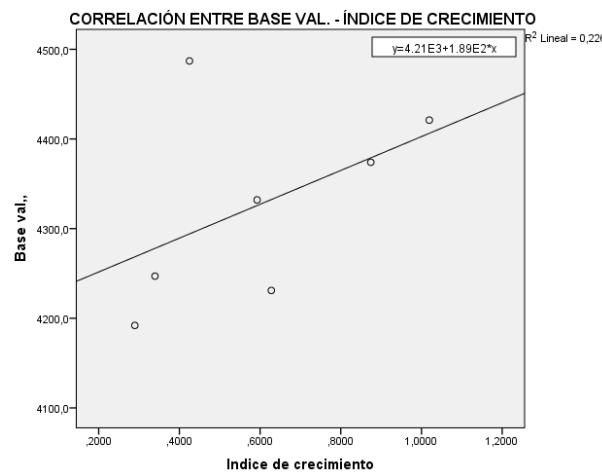
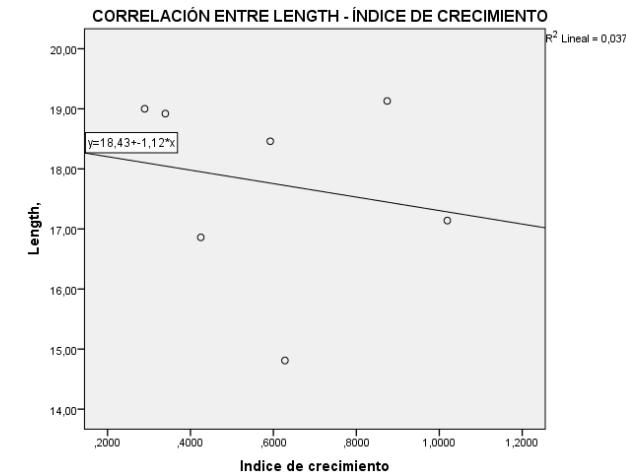
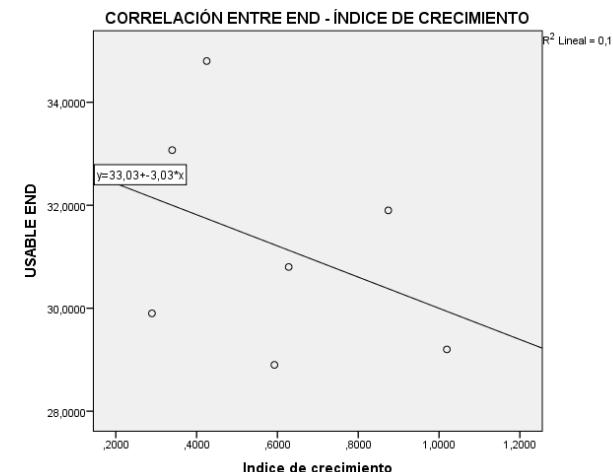
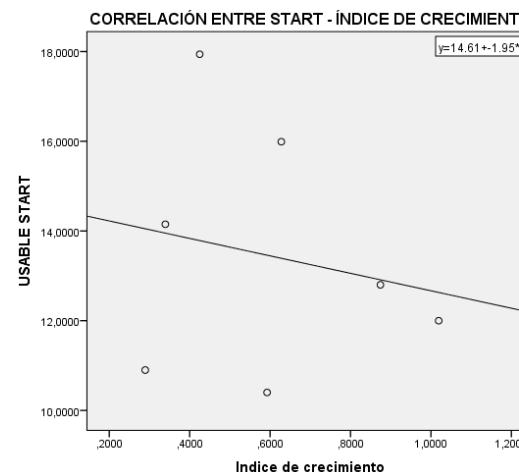
Sierra de San Jordi (Girona)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	L_deriv.,	R_deriv.,
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,731 **	,876 **	,544	,870 **	,757 **	,575 *	,265	-,624 *



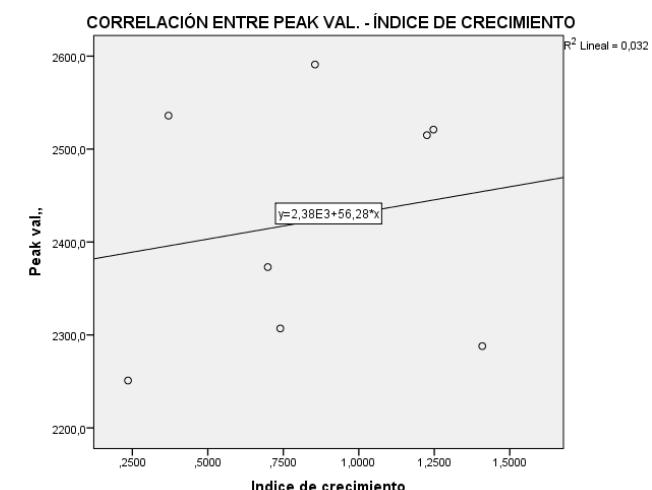
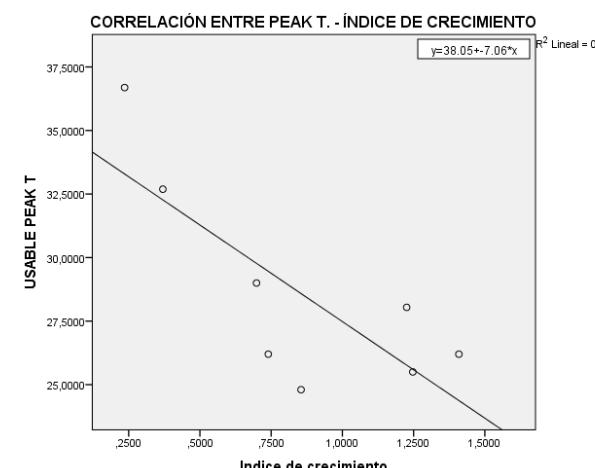
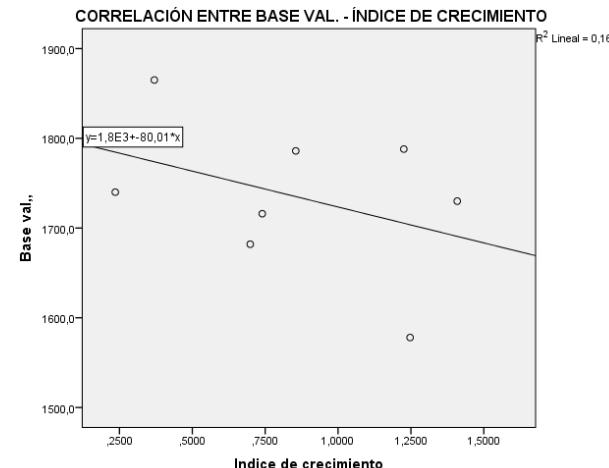
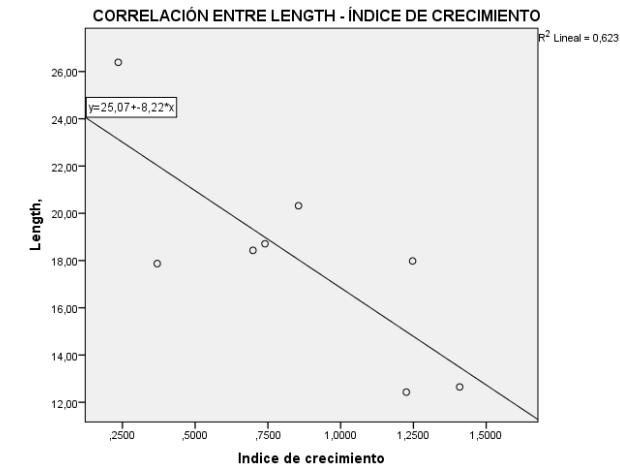
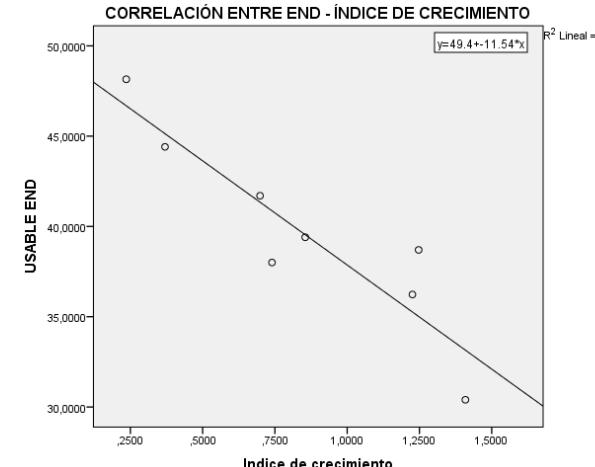
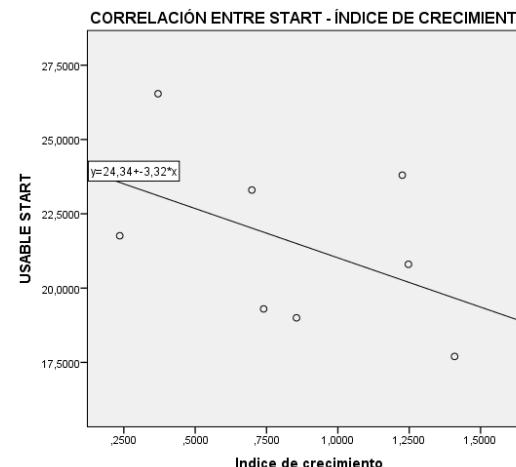
Villanueva de Gállego

Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,193	-,382	-,193	,475	-,172	,515	,439	,450	,104



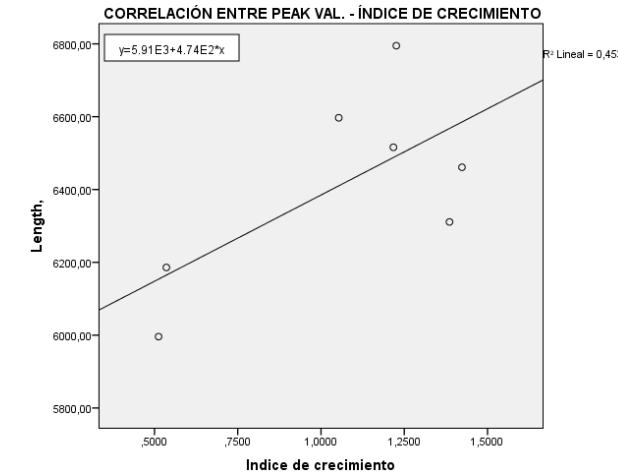
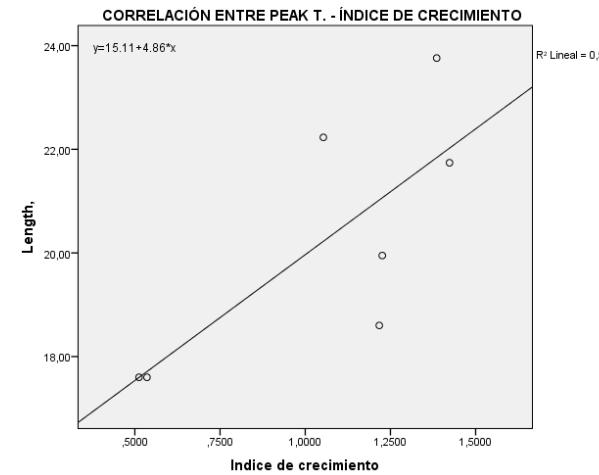
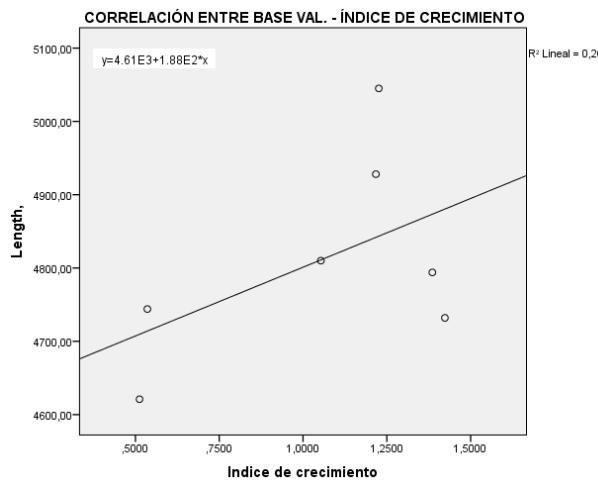
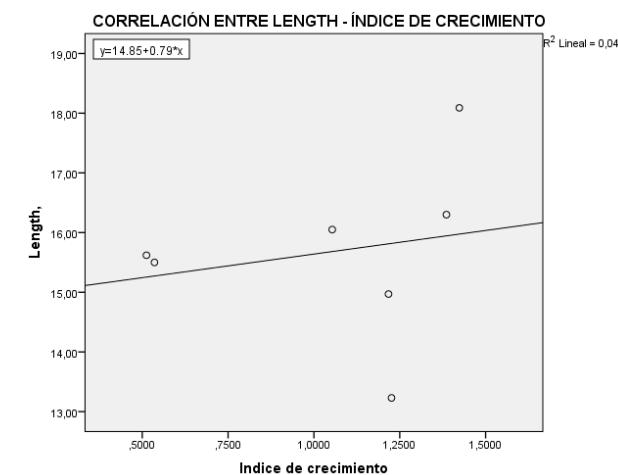
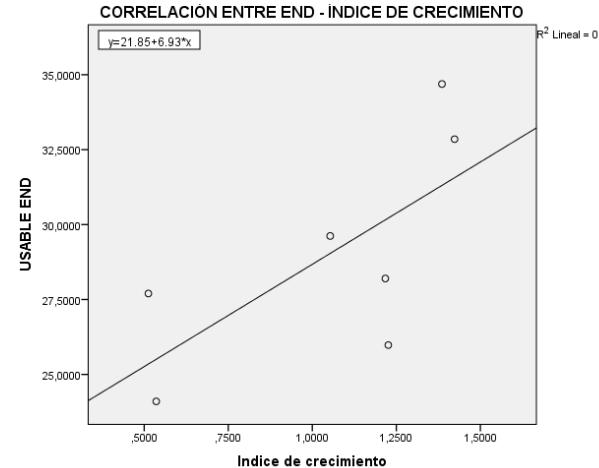
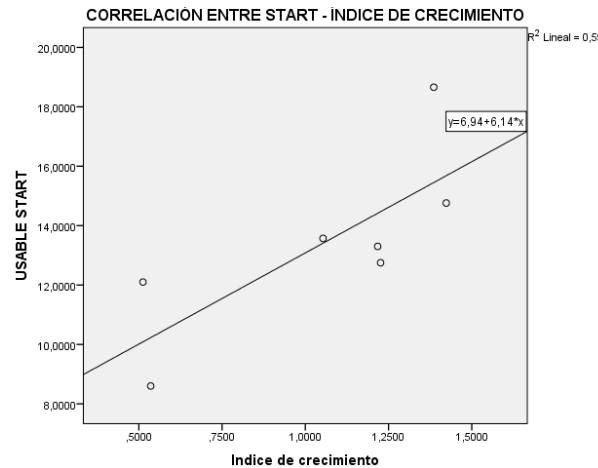
Fuensanta (Murcia)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,480	-,914 **	-,789 *	-,400	-,783 *	,180	,412	,506	,653	-,827 *	-,352



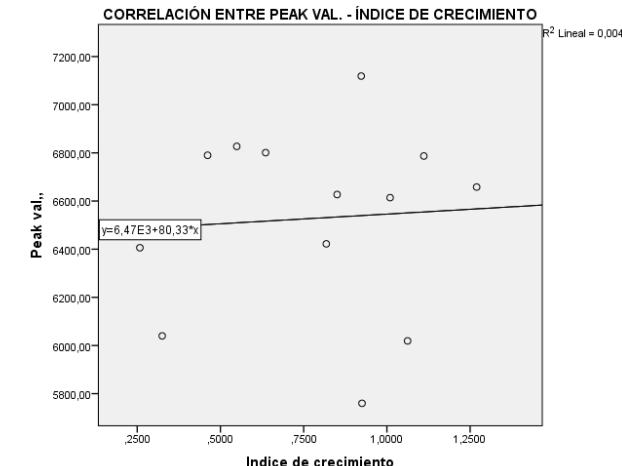
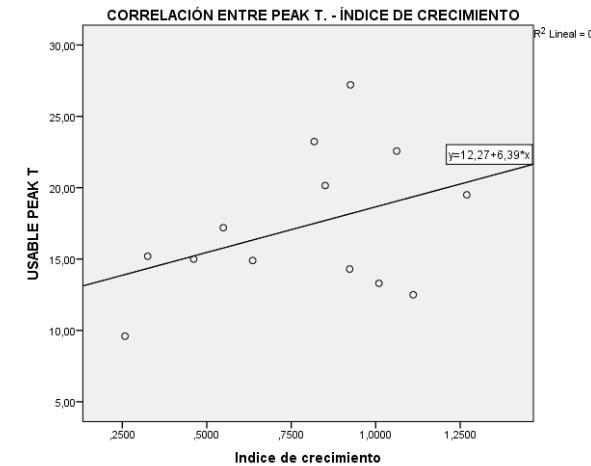
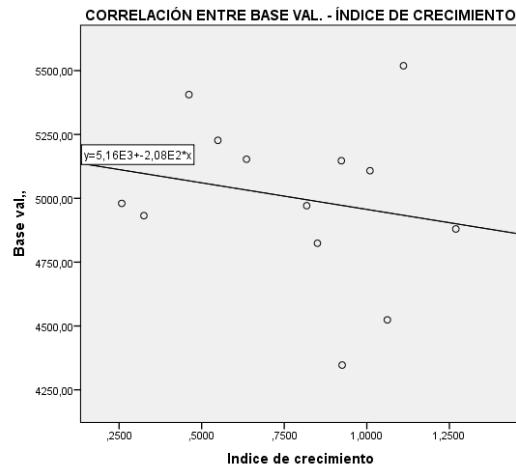
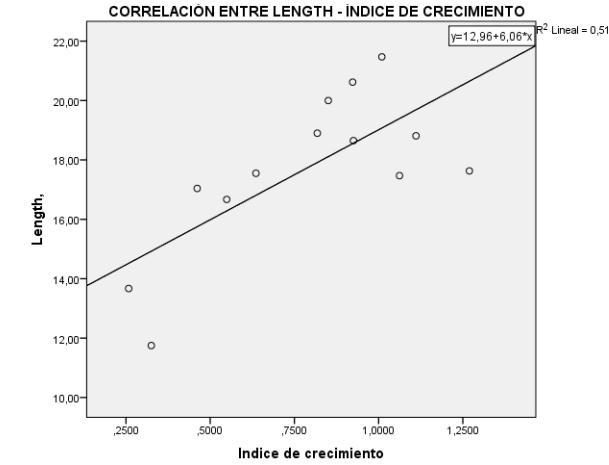
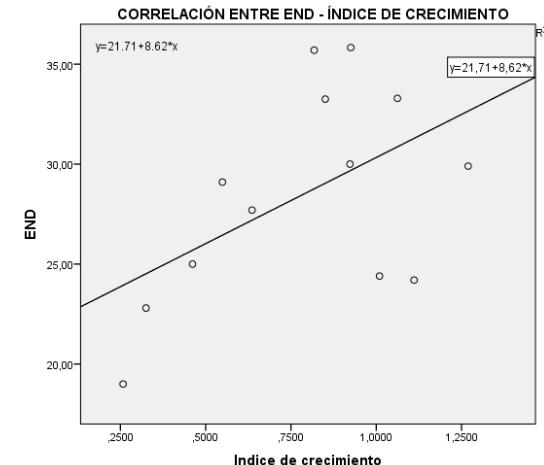
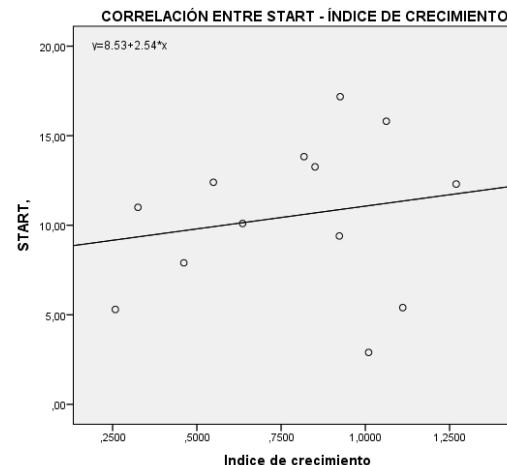
El Grado

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,772*	,697	,205	,513	,760*	,673	,673	,538	-,024	,672	,482



Salto de Bolarque (Cuenca)

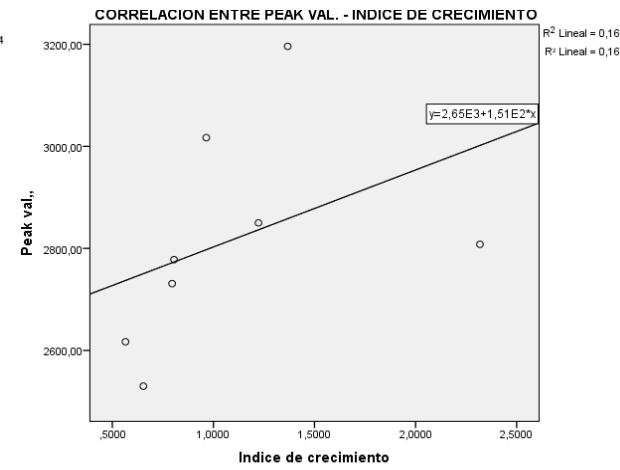
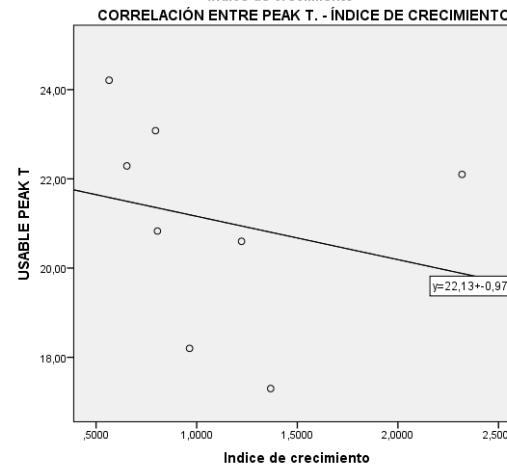
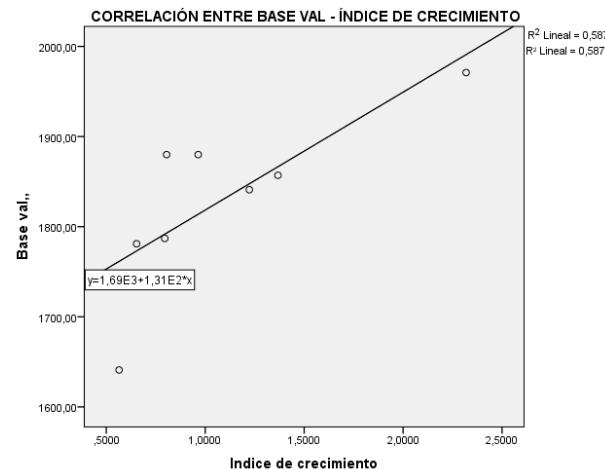
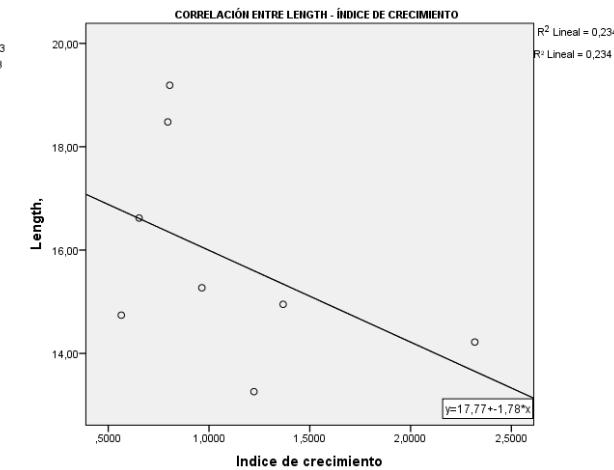
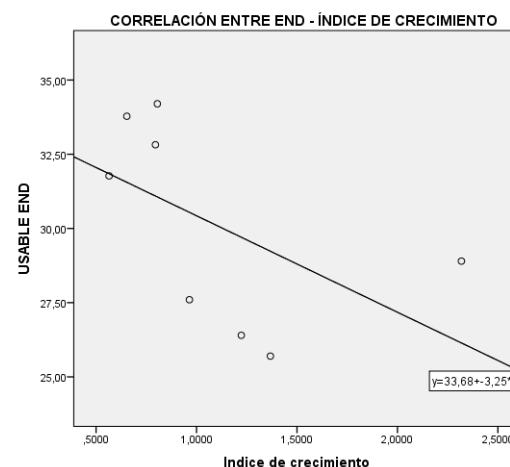
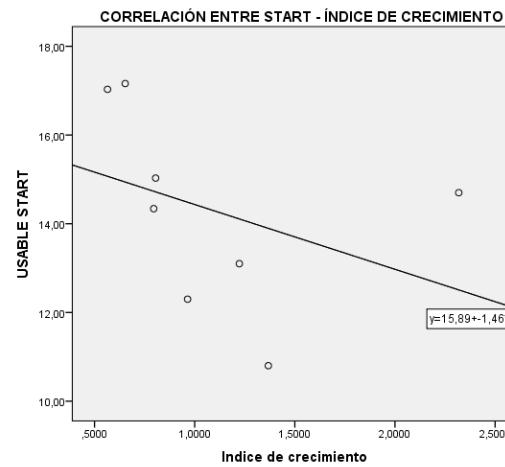
	Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,188	,519	,716 **	-,203	,404	,065	,388	-,480	,301



8.2 GRÁFICAS DE CORRELACIÓN DE LOS RESULTADOS PARA EVI

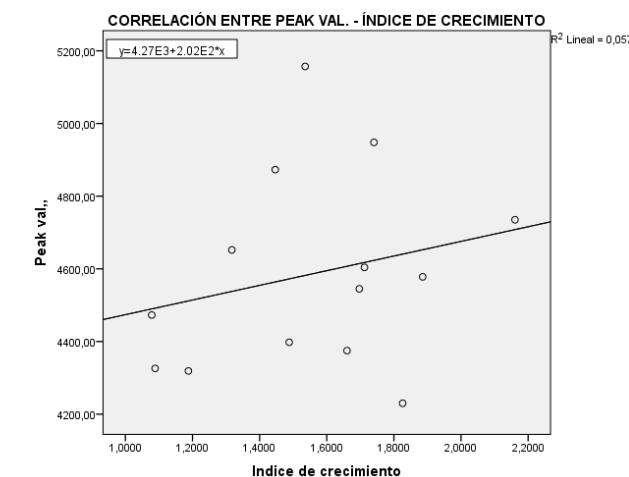
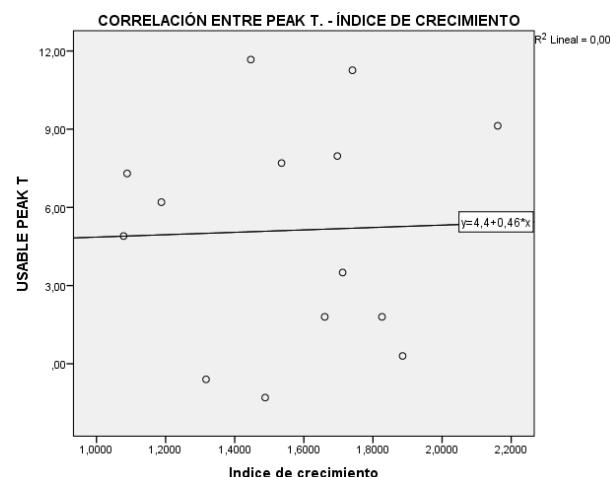
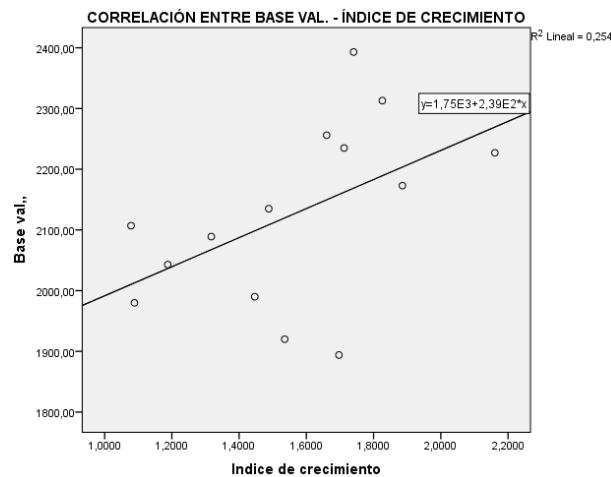
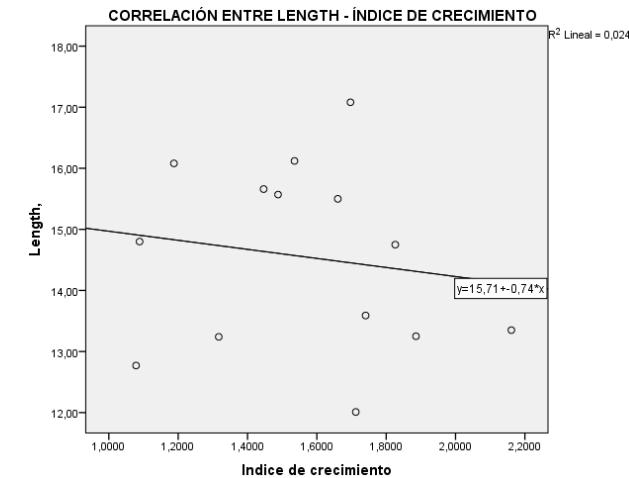
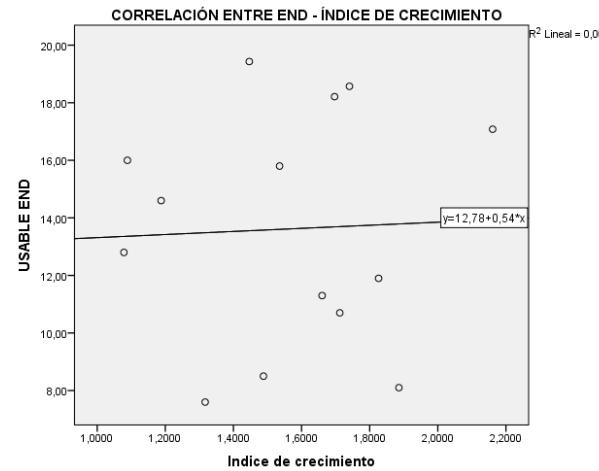
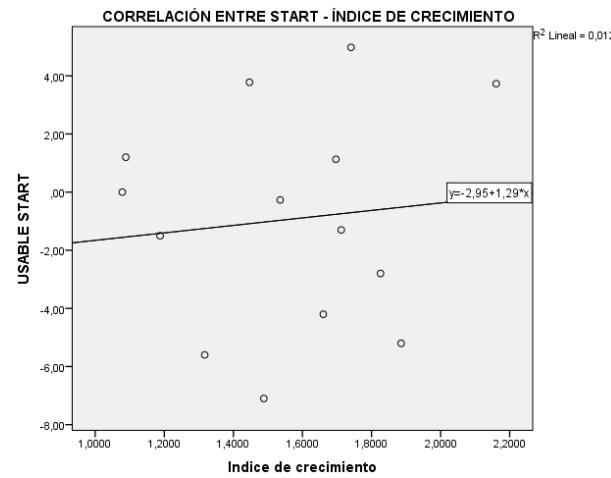
Cartagena (Murcia)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	L,integral	S,integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,376	-,541	-,484	,766*	-,233	,403	,061	-,123	,702	-,096	-,173



Les Lloses (Ripoll)

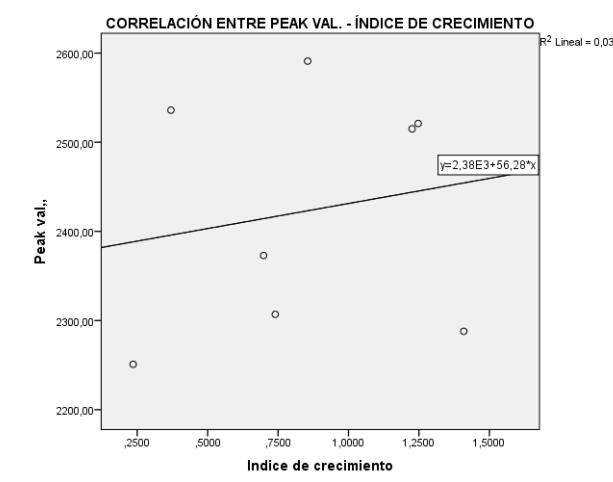
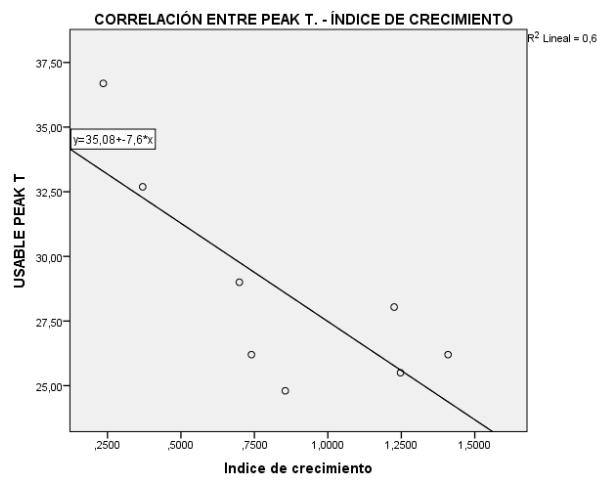
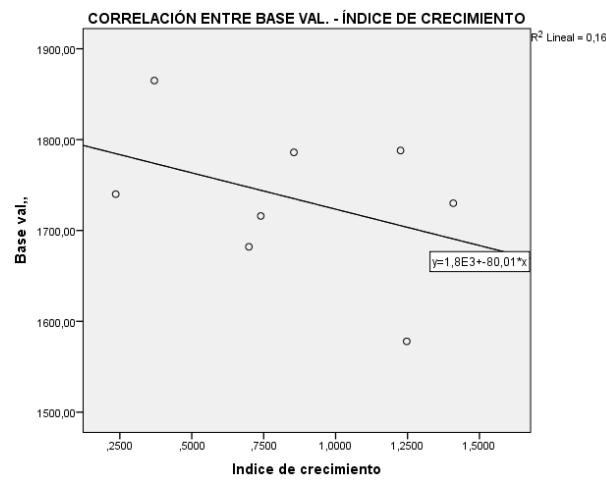
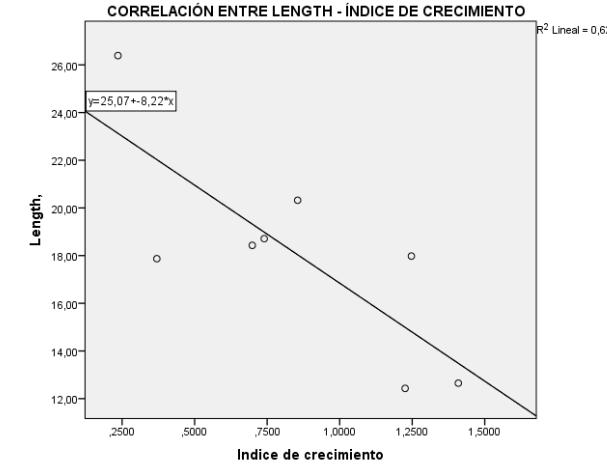
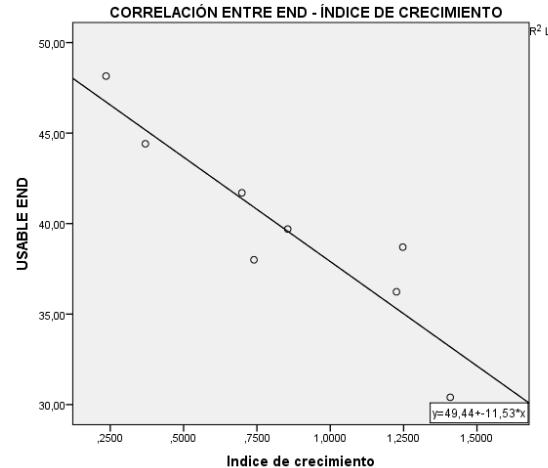
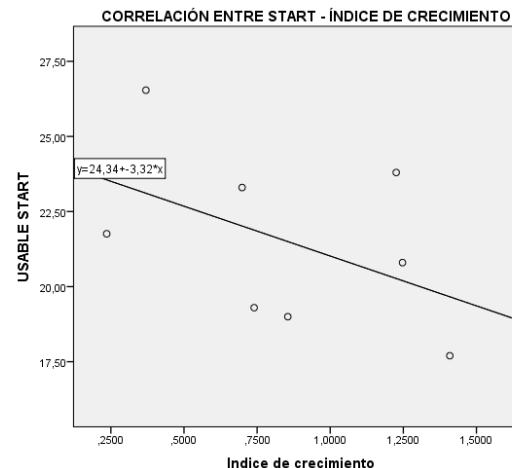
		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	L,integral	S,integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	,109	,042	-,154	,504	,034	,238	-,037	,052	,072	-,250	-,156



FUENSANTA

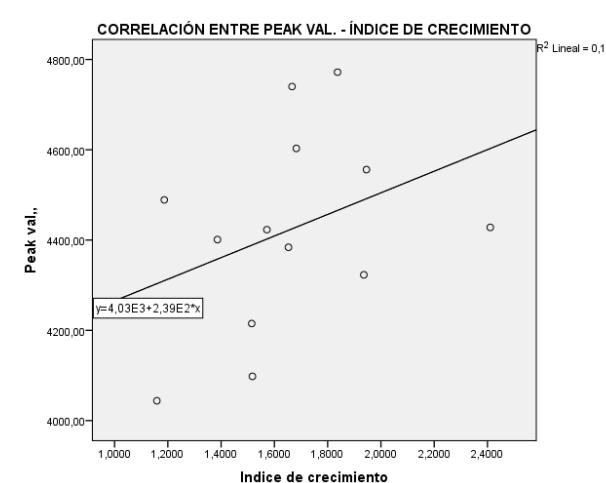
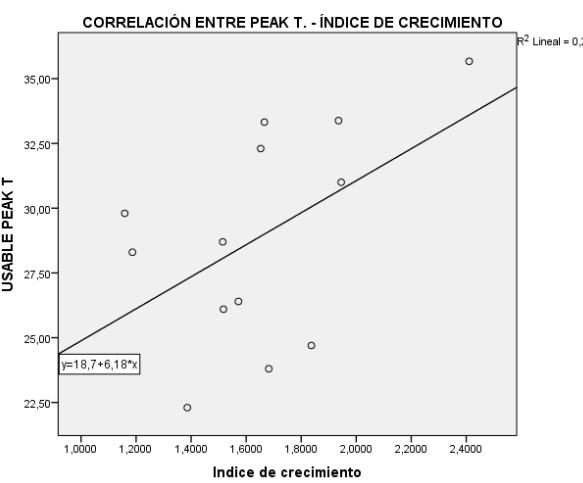
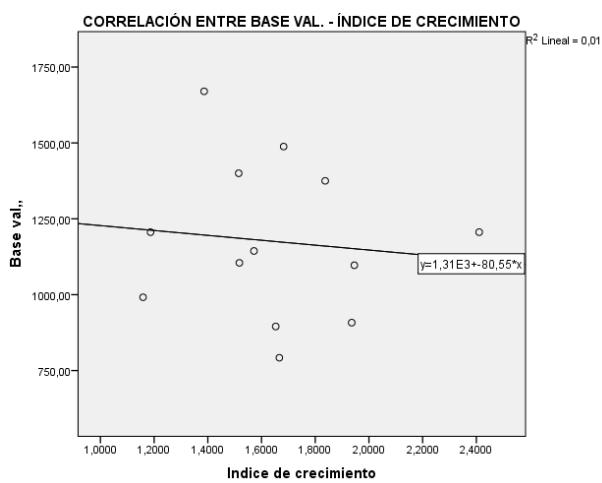
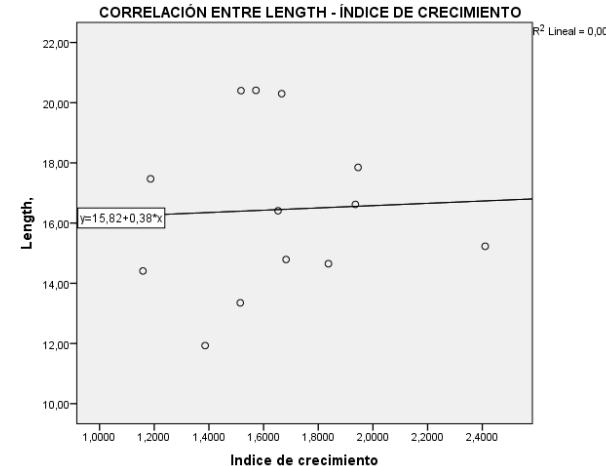
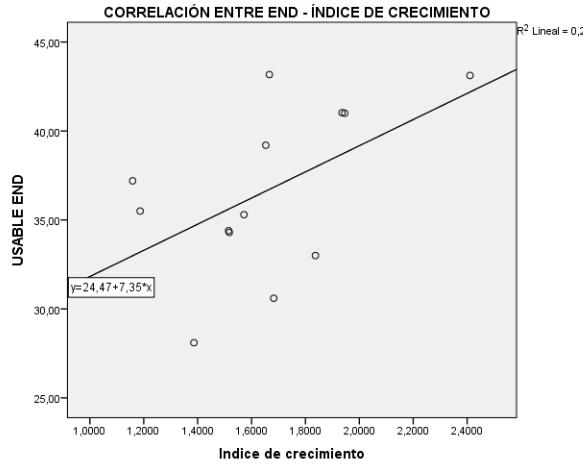
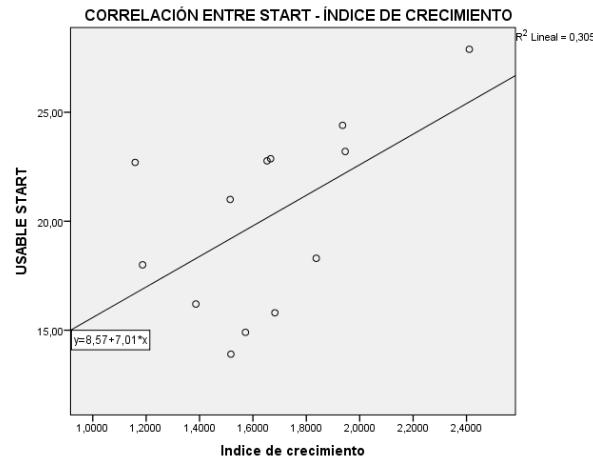
Correlaciones

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,480	-,913**	-,789*	-,400	-,783*	,180	,411	,506	,653	-,827*	-,352



Barranco de San Juste

Índice de crecimiento	Correlación de Pearson	Índice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L,deriv.,	R,deriv.,	L,integral,	S,integral
		1	,552	,524	,046	-,106	,503	,365	,337	,073	-,105	,208	-,107



Chalet catalán (Parque Natural del Moncayo)

		Indice de crecimiento	USABLE START	USABLE END	Length,	Base val.,	USABLE PEAK T	Peak val.,	Ampl.,	L_deriv.,	R_deriv.,	L_integral,	S_integral
Indice de crecimiento	Correlación de Pearson	1	-,388	-,639	-,599	,225	-,583	,211	-,014	,525	,230	-,519	-,186

