



Master
T.A.P.A.S

Análisis estadístico de la climatología y la
dinámica de la vegetación en una región de la
ribera del Duero.



Universidad politécnica de Madrid
Escuela Técnica Superior de Ingeniería
Agronómica, Alimentaria y de Biosistemas

Autor:

[Alfonso Bermejo Saiz](#)

Tutor:

[Jesús Javier Litago Lavilla](#)

Cotutor:

[César Sáenz Flores](#)

Fecha:

[24/06/2022](#)



POLITÉCNICA
"Ingeniamos el futuro"

Índice

Prologo.....	9
Agradecimientos.....	9
1. Abstract.....	10
2. Resumen.	11
3. Introducción.	12
4. Objetivos.....	15
4.1. Objetivo general.	15
4.2. Objetivos específicos.....	15
5. Materiales y métodos.....	15
5.1. Definición del área de estudio.	15
5.2. Cultivos estudiados y su fenología.	19
5.2.1. Vid.....	19
5.2.2. Cultivos de secano.....	21
5.2.3. Cultivos de regadío.	22
6. Metodología.....	22
6.1.1. Información de campo.....	22
6.1.2. Información de teledetección.	23
6.2. Obtención de las series de tiempo.	24
6.3. Análisis estadístico de series de tiempo.....	25
6.4. Estacionariedad de las series.....	26
6.5. Función de autocorrelación	26
6.6. Análisis espectral (periodograma)	27
7. Resultados.....	27

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

7.1.	Obtención de mapas de NDVI.....	27
7.2.	Análisis de la Estacionariedad.....	28
7.3.	Resumen estadístico de las series.....	29
7.4.	Análisis de las series.....	30
7.4.1.	Valbuena de Duero.....	30
7.4.1.1.	Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 2002-2020. 30	
7.4.1.2.	Análisis del NDVI.....	32
7.4.1.2.1.	Viñedo.....	32
7.4.1.2.2.	Secano.....	34
7.4.1.2.3.	Regadío.....	35
7.4.2.	Gumiel del Mercado.....	37
7.4.2.1.	Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021. 37	
7.4.2.2.	Análisis del NDVI.....	39
7.4.2.2.1.	Viñedo.....	39
7.4.2.2.2.	Secano.....	41
7.4.2.2.3.	Regadío.....	42
7.4.3.	Vadocondes.....	44
7.4.3.1.	Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 2002-2020. 44	
7.4.3.2.	Análisis del NDVI.....	46
7.4.3.2.1.	Viñedo.....	46
7.4.3.2.2.	Secano.....	48
7.4.3.2.3.	Regadío.....	49
7.4.4.	Hontoria de Valdearados.....	51

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

7.4.4.1.	Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021.	51
7.4.4.2.	Análisis del NDVI.	53
7.4.4.2.1.	Viñedo.	53
7.4.4.2.2.	Secano.	54
7.4.4.2.3.	Regadío.	56
7.4.5.	San Esteban de Gormaz.	58
7.4.5.1.	Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021.	58
7.4.5.2.	Análisis del NDVI.	60
7.4.5.2.1.	Viñedo.	60
7.4.5.2.2.	Secano.	62
7.4.5.2.3.	Regadío.	63
7.5.	Análisis de las relaciones entre las variables climáticas y los NDVI de cada cultivo.	65
8.	Discusión.	68
9.	Conclusiones.	71
10.	Bibliografía.....	73
ANEXO I.....		77

Índice de Figuras

Figura 1: Distribución de las distintas zonas de cultivo estudiadas.	16
Figura 2: mapa de altimetría de la zona estudiada.....	17
Figura 3: Clasificación climática de Köppen de la zona de estudio.	18
Figura 4: Distribución de la primera selección de píxeles analizados.	24
Figura 5: Distribución final de los píxeles y las estaciones climáticas.	25
Figura 6: Diferencias entre el máximo y el mínimo NDVI en un año.	27
Figura 7: variación interanual de las precipitaciones en la estación climática de Valbuena de Duero durante el periodo 2002-2020.....	30
Figura 8: variación interanual de la temperatura en Valbuena de Duero durante el periodo 2002-2020.	31
Figura 9: Climograma de Valbuena de Duero en el periodo 2002-2020.	31
Figura 10: Series de tiempo de los NDVI analizados en Valbuena de Duero. .	32
Figura 11: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Valbuena de Duero.	32
Figura 12: Autocorrelaciones para el píxel de viñedo.....	33
Figura 13: Periodograma de la serie P_1461.....	33
Figura 14: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Valbuena de Duero.	34
Figura 15: Autocorrelaciones para el píxel de secano.....	34
Figura 16: Periodograma de la serie P_1049.....	35
Figura 17: Serie NDVI para un píxel de regadío en el municipio de Valbuena de Duero.	35
Figura 18: Autocorrelaciones para el píxel de regadío.	36
Figura 19: Periodograma de la serie P_520.....	36

Figura 20: Variación interanual de las precipitaciones en Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.	37
Figura 21: Variación interanual de las temperaturas en Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.	38
Figura 22: Climograma de Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.	38
Figura 23: Series de tiempo de los NDVI analizados en Gumiel del Mercado.	39
Figura 24: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Gumiel del Mercado.	39
Figura 25: Autocorrelaciones de la serie P_6342.	40
Figura 26: Periodograma de la serie P_6342.	40
Figura 27: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Gumiel del Mercado.	41
Figura 28: Autocorrelaciones de la serie P_2355.	41
Figura 29: Periodograma de la serie P_2355.	42
Figura 30: Serie NDVI para un píxel de regadío en el municipio de Gumiel del Mercado.	42
Figura 31: Autocorrelaciones de la serie P_5601.	43
Figura 32: Periodograma de la serie P_5601.	43
Figura 33: Variación interanual de las precipitaciones en Vadocondes durante el periodo 2002-2020.	44
Figura 34: Variación interanual de la temperatura en Vadocondes durante el periodo 2002-2020.	45
Figura 35: Climograma de Vadocondes en el periodo 2002-2020.	45
Figura 36: Series de tiempo de los NDVI analizados en Vadocondes.	46
Figura 37: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Vadocondes.	46
Figura 38: Autocorrelaciones para el píxel P3869.	47

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

Figura 39: Periodograma de la serie P_3869.....	47
Figura 40: Serie NDVI para un píxel de seco en el municipio de Vadocondes.	48
Figura 41: Autocorrelaciones para el píxel P_5537.....	48
Figura 42: Periodograma de la serie P_5537.....	49
Figura 43: Serie NDVI para un píxel de seco en el municipio de Vadocondes.	49
Figura 44: Autocorrelaciones para la serie P_6776.....	50
Figura 45: Periodograma para la serie P_6776.....	50
Figura 46: Variación interanual de la precipitación en Hontoria de Valdearados en el periodo 1985-2021.	51
Figura 47: Variación interanual de las temperaturas en la estación climática de Hontoria de Valdearados en el periodo 1985-2021	52
Figura 48: Climograma de Hontoria de Valdearados.	52
Figura 49: Series de tiempo de los NDVI analizados en Hontoria de Valdearados.	53
Figura 50: Serie de NDVI del píxel P_10811.....	53
Figura 51: Autocorrelaciones para la serie P_10811.....	54
Figura 52: Periodograma de la serie P_10811.....	54
Figura 53: Serie de NDVI del píxel P_5804.....	55
Figura 54: Autocorrelaciones de la serie P_5804.....	55
Figura 55: Periodograma de la serie P5804.....	56
Figura 56: Serie de NDVI del píxel P_8848.....	56
Figura 57: Autocorrelaciones de la serie P_8848.....	57
Figura 58: periodograma de la serie P_8848.	57

Figura 59: Variación interanual de las precipitaciones en San Esteban de Gormaz en el periodo 1985-2021.	58
Figura 60: Variación interanual de las temperaturas en San Esteban de Gormaz en el periodo 1985-2021.	59
Figura 61: Climograma de San Estaban de Gormaz.	59
Figura 62: Series de tiempo de los NDVI analizados en San Esteban de Gormaz.	60
Figura 63: Serie de NDVI del píxel P_2461.	60
Figura 64: Autocorrelaciones de la serie P_2461.	61
Figura 65: Periodograma de la serie P_2461.	61
Figura 66: Serie de NDVI del píxel P_10146.	62
Figura 67: autocorrelaciones de la serie P_10146.	62
Figura 68: Periodograma de la serie P_10146.	63
Figura 69: Serie de NDVI del píxel P_10701.	63
Figura 70: autocorrelaciones de la serie P_10701.	64
Figura 71: Periodograma de la serie P_10701.	64
Figura 72: Variación interanual del NDVI de cada tipo de cultivo en las cinco estaciones climáticas analizadas.	67
Figura 73: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Valbuena de Duero.	78
Figura 74: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Valbuena de Duero.	79
Figura 75: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Gumiel del Mercado.	80
Figura 76: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Gumiel del Mercado.	81
Figura 77: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Vadocondes.	82

Figura 78: Evolución del NDVI respecto a la Temperatura en Vadocondes.....	83
Figura 79: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Hontoria de Valdearados	84
Figura 80: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Hontoria de Valdearados	85
Figura 81: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en San Esteban de Gormaz.....	86
Figura 82: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en San Esteban de Gormaz.....	87
Figura 83: Evolución del NDVI en los distintos cultivos elegidos.....	88

Prólogo

Este trabajo de investigación con título “Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.” se ha realizado dentro del programa del Máster en Tecnología Agroambiental para una Agricultura Sostenible cursado en la Universidad Politécnica de Madrid, durante el curso 2021-2022. Este trabajo ha sido motivado por el interés en el aprendizaje de nuevas técnicas de teledetección y de análisis de series temporales.

Agradecimientos

Agradezco a mis tutores Javier Litago y César Sáenz por su gran ayuda y colaboración y por guiarme con sus conocimientos para la realización de este trabajo, y a Víctor Cicuendez por su esfuerzo y gran apoyo, ayudándome también con el TFM en las últimas semanas.

A Sara, a mis padres y a mis suegros por su enorme apoyo y también a mis amigos.

1. Abstract.

In Castilla y León, more specifically on the riverside of the Duero, the vineyard has great importance. It is a crop with deep cultural roots due to the winemaking tradition of the area, which means that there is a large area of vineyards that are several decades old. In the present work, the dynamics of the vine vegetation on the riverside of the Duero and specifically in the region delimited by the D.O.P Ribera del Duero were analyzed using remote sensing and compared with the dynamics of other crops of great importance also in the region, such as cereals (both rainfed and irrigated), with high number of hectares cultivated. The objective of the present study was to analyze the dynamics of the vegetation through the use of the NDVI index and to relate this index with climatic variables to study how the climate influences the development of crops. For this, the time series of the NDVI extracted from MODIS images of the aforementioned crops in the period 2002-2020 were analyzed and this NDVI was related to the time series of two climatic variables such as temperature and precipitation, to evaluate the influence that these have on the dynamics of the vegetation of the area. The stationarity of the time series was analyzed using the Dickey-Fuller test and, through the use of autocorrelation graphs and periodograms, their seasonality was analyzed. It was observed that none of the climatic and NDVI series studied had a trend and it was also observed that the NDVI series had a clear annual cycle. Through the analysis of the different NDVI series, it was possible to detect differences in the spectral signatures of each crop and through the representation of the climatic series and NDVI, patterns could be observed that allowed us to intuit that there is a relationship that can be studied in the future. Therefore, this work aims to serve as a basis for future research.

2. Resumen.

En Castilla y León, y más concretamente en la ribera del Duero, tiene gran importancia el cultivo de la vid. Se trata de un cultivo con mucho arraigo cultural debido a la tradición vitivinícola de la zona, lo que hace que haya una gran superficie de viñedos con varias décadas de antigüedad. En el presente trabajo se analizó mediante la teledetección la dinámica de la vegetación de la vid en la ribera del Duero específicamente en la región delimitada por la D.O.P Ribera del Duero y se comparó con la dinámica de otros cultivos de gran importancia también en la zona, por el número de hectáreas cultivadas como el cereal (secano y regadío). El objetivo del estudio fue analizar la dinámica de la vegetación mediante el uso del índice NDVI y relacionar este con variables climáticas para poder estudiar cómo influye el clima en el desarrollo de los cultivos. Para ello, se analizó las series de tiempo de NDVI para el periodo 2002-2020 extraídas de imágenes de MODIS de los cultivos anteriormente citados y se relacionó con las series de tiempo de dos variables climáticas como la temperatura y la precipitación. Para evaluar la influencia que estas variables tienen en la dinámica de la vegetación de la zona. Se analizó la estacionariedad de las series de tiempo, mediante el test de Dickey-Fuller y mediante el uso de la función de autocorrelación y periodogramas, se analizó su estacionalidad. Se observó que ninguna de las series estudiadas tanto climáticas como de NDVI tenían tendencia y también se observó que las series de NDVI tenían un claro ciclo anual. Mediante el análisis de las distintas series de NDVI se pudieron detectar diferencias en las firmas espectrales de cada cultivo. Al representando las series climáticas y de NDVI se observan patrones que hicieron intuir que existe una relación que puede estudiarse en un futuro y por ello este trabajo pretende servir como una base para futuras investigaciones.

3. Introducción.

La agricultura en España es un sector de gran importancia económica. La superficie agraria útil es aproximadamente 23 millones de hectáreas, donde 17 millones de hectáreas son aprovechadas y están dedicadas a cultivos. La superficie se divide en cultivos de secano (76%) y regadío (24%) (Ministerio de Agricultura, 2021). Los cultivos que mayor superficie ocupan son los herbáceos, seguidos de los leñosos.

En España, una de las zonas agrícolas más importantes es Castilla y León (CyL), donde existen 3,5 millones de hectáreas sembradas. Los cultivos que predominan son los cultivos herbáceos de secano, como los cereales de invierno y los cultivos leñosos como la vid. Los cereales de invierno representan la tercera parte de la superficie nacional con un total 1,7 millones de hectáreas y una producción de 9,9 millones de toneladas (Ministerio de Agricultura, 2021). La vid (*Vitis vinífera* L.) es un cultivo de gran importancia, debido a la tradición vinícola de la región, donde existen hasta 14 Denominaciones de Origen Protegido (D.O.P). A pesar de la importancia que tiene la agricultura en CyL, el medio físico no es el más apropiado para esta actividad por diversos motivos como: un clima muy árido debido a las bajas precipitaciones, que oscilan entre los 400 a 500 mm de media anual, la elevada altura media de la meseta (800 m), las temperaturas extremas donde se observan temperaturas muy altas en verano y muy bajas en invierno, que son causantes de las heladas. Estas heladas son un factor climático de riesgo, puesto que se producen muchas veces en periodos críticos para el cultivo, como la emergencia o la floración.

La dinámica de la vegetación ligada a los factores climáticos es de especial importancia. Se trata de un indicador muy importante para evidenciar la existencia de procesos desertizadores en ambientes semiáridos. En la dinámica de la vegetación influye la resistencia que esta tenga a periodos prolongados de sequía, la eficiencia en el uso del agua y las características edáficas del suelo (Younis et al., 1999). Mediante el uso de la teledetección

podemos realizar un seguimiento temporal de la cubierta vegetal a escala regional (Meliá et al., 1996) y analizar la dinámica vegetal.

La teledetección es una técnica que nos permitirá a través del uso de sensores montados en plataformas espaciales, la obtención de datos e imágenes de la superficie terrestre con los que se puede monitorear áreas terrestres de gran extensión. El uso de este tipo de sensores tiene numerosas aplicaciones entre las que destacan todas aquellas relacionadas con la agricultura y el medio ambiente. Es destacable la identificación de áreas agrícolas, zonificación de viñedos, estudios de cartografía vegetal, uso del suelo, cartografía de áreas quemadas, inventarios forestales, predicción del rendimiento y fenología de los cultivos, evaluación del impacto fenómenos meteorológicos extremos en los cultivos (Lopez-Fornieles et al., 2022). En los últimos años, esta técnica se ha incrementado notablemente pudiendo encontrar en la actualidad múltiples productos, algunos de pago y la mayoría gratuitos. Gracias a esta tecnología podremos obtener información de zonas remotas y de difícil acceso, de una forma rápida (Redo et al., 2011).

Las imágenes usadas en este trabajo provienen del sensor Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS). Este sensor va a bordo de los satélites TERRA y AQUA, lanzados por la NASA en el año 1999 y 2002 respectivamente. MODIS oferta una gran cantidad de productos cuyas principales diferencias son la resolución espacial, la resolución temporal y la longitud de onda. El producto que hemos usado en este trabajo es el MOD09A1, que nos ofrece imágenes satelitales con una resolución espacial de 500 metros y una resolución temporal de 8 días. Estas características nos permiten estudiar la dinámica de los cultivos con una gran cantidad de datos (Guindin-Garcia et al., 2012; Palacios-Orueta et al., 2012). MOD09A1 tiene 7 bandas de reflectancia con las que podremos calcular distintos índices de vegetación que podrán ser usados para el seguimiento de la dinámica de la vegetación y uso del suelo. Estos índices se obtienen mediante relaciones matemáticas entre las distintas longitudes de onda que el sensor capta. Uno de los índices más usados en modelos de escala local, regional y global es el Índice de Vegetación Normalizado (NDVI) (Tucker, 1979) el cual nos permite medir la cubierta vegetal de un cultivo y relacionarlo con

varios parámetros biofísicos como, el índice de área foliar (LAI), etc. El NDVI ha demostrado con los años ser una gran fuente de información de la dinámica vegetal de los cultivos y del uso del suelo (de Castro Victoria et al., 2012; Marini, 2013). Se ha utilizado para analizar la deforestación de los ecosistemas montañosos o para evaluar los procesos de regeneración vegetal tras un incendio (Morante-Carballo et al., 2022)

Las series de tiempo tienen una gran utilidad, ya que nos permiten estudiar el comportamiento de una variable en un periodo de tiempo. Mediante la combinación de la teledetección y las series de tiempo, tenemos una potente herramienta que nos permitirá analizar y visualizar la información obtenida de las imágenes (Zhou et al., 2015).

En teledetección, el análisis de las series de tiempo se puede orientar de varias formas. La primera es desde un enfoque fenométrico, en el que se evalúan los ecosistemas y su funcionamiento, a través de la fecha en el que ocurren ciertos eventos fenológicos que pueden extraerse de los valores de las series de tiempo. Existen trabajos que evalúan los distintos parámetros fenológicos extraídos de las series de tiempo para relacionarlos con el rendimiento en cereales (Benabdelouahab et al., 2021). Los eventos más relevantes suelen ser el inicio o fin de la estación de crecimiento de los ecosistemas, las fechas de transición entre fenofases, etc. (Eklundh et al., 2009; Jenkins et al., 2002; Moulin et al., 1997). Otra forma de orientar el análisis de las series de tiempo es mediante el análisis estadístico en los dominios temporal y espectral. La segunda forma de análisis nos permite tanto analizar la variabilidad estadística de las series temporales (tendencias, ciclos y periodicidades) como modelizar y hacer predicciones (Box et al., 2008). Esto aplicado a la teledetección, nos permitirá la evaluación del funcionamiento de los ecosistemas y de su dinámica, además de cuantificar la cantidad de información contenida en las series temporales pudiendo así evaluar el nivel de incertidumbre de los resultados. Estos modelos estadísticos son de gran complejidad y por ello en este campo existe un número limitado de trabajos (Huesca et al., 2009; Palacios-Orueta et al., 2005). Sin embargo, la unión entre el análisis temporal y espacial, proporcionan un gran potencial a este tipo de análisis.

El área escogida, será la zona geográfica que comprende la D.O.P Ribera del Duero, en la que la producción vitícola es muy importante. En esta región la vid tiene gran importancia, pero en la misma área geográfica nos encontramos grandes superficies de terrenos cultivados de otros cultivos de secano como los cereales y algunas pequeñas zonas de cultivos de regadío próximas al cauce del Río Duero. Esta región está comprendida en la cuenca del Duero y se extiende por las provincias de Soria, Burgos, Valladolid y Segovia. Para el estudio de la vegetación en esta región, haremos uso de la teledetección y las series de tiempo.

4. Objetivos.

4.1. Objetivo general.

Hacer una primera estimación de la influencia de las variables climáticas en la dinámica de la vegetación de tres cultivos significativos en la ribera del Duero.

4.2. Objetivos específicos.

- Construir la serie de tiempo de NDVI con datos MODIS para el área de estudio.
- Construir las series de tiempo de las variables climáticas de cada estación climática seleccionada en la frecuencia de MODIS (datos cada 8 días).
- Analizar las series de tiempo de cada variable climática en las estaciones seleccionadas.
- Analizar las series de tiempo de NDVI de los cultivos seleccionados en cada estación asociada.
- Relacionar la información obtenida de las series de tiempo de NDVI con los datos de variables climáticas proporcionados por las estaciones meteorológicas.
- Elaborar mapas con los resultados y obtener conclusiones.

5. Materiales y métodos.

5.1. Definición del área de estudio.

La elección del área de estudio ha sido motivada por las siguientes razones: (1) La importancia que tiene la vid en esta región al ser una zona con historia en

viticultura. Este hecho es una gran ventaja puesto que existen muchas hectáreas de cultivo de viñedo con varias décadas de arraigo, (2) La gran cantidad de cultivos cerealistas de secano que existen en las provincias que comprenden el área de estudio, (3) La importancia que tienen los cultivos analizados en la económica local.

El área de estudio está situada al sur de la comunidad autónoma de Castilla y León y comprende las provincias de Soria, Burgos, Segovia y Valladolid. Esta región está compuesta por un total de 106 municipios tiene una longitud de 115 km y una anchura de 35 km, siendo su superficie de 4025 km². El área de estudio es atravesada de Este a Oeste por el Río Duero

Se han definido tres tipos de cultivos: cultivos de viñedo, cultivos de secano y cultivos de regadío. En la Figura 1 están representadas las superficies correspondientes a cada cultivo. La superficie de cultivos de secano es de 869.938,011 ha, la superficie de regadío es de 27.699,63 ha y la de viñedo de 18.348,10 ha (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018)

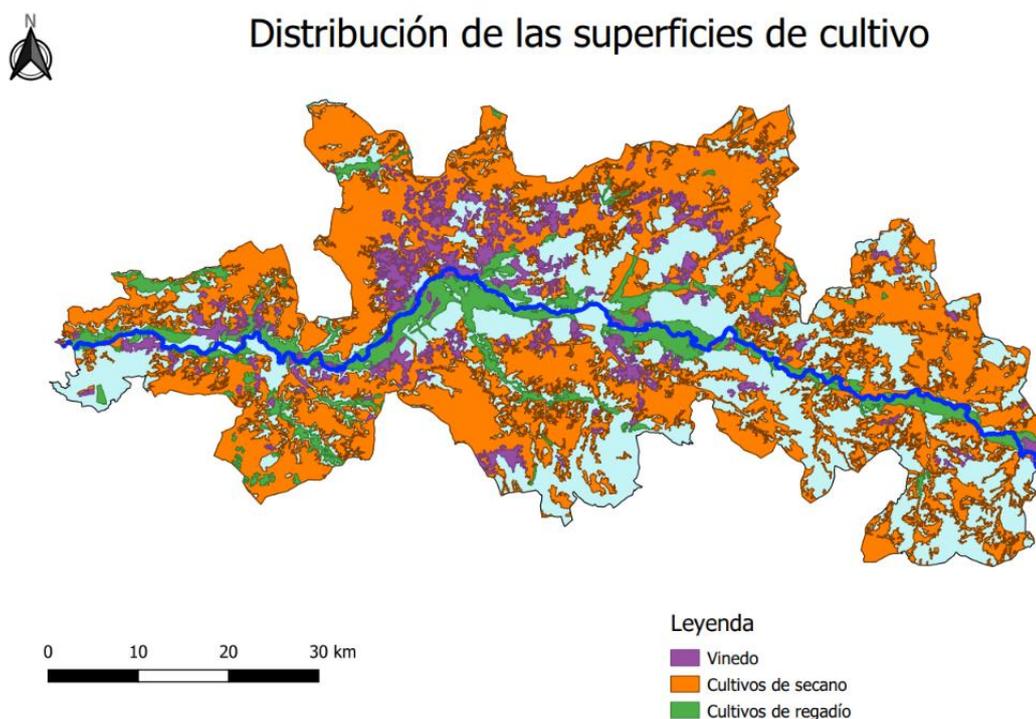


Figura 1: Distribución de las distintas zonas de cultivo estudiadas.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

La influencia del clima en el área de estudio es muy importante debido a factores climáticos derivados de su participación en la formación de la cuenca del Duero dentro de la península. Entre estos factores destacan el aislamiento de la cuenca del Duero y la elevada altitud media que tiene toda la zona. Nos encontramos en una zona con una altitud promedio de 910 m, donde la altitud mínima es de 750 m y la máxima de 1350 m.

En la Figura 2, se observa el mapa de la altimetría de la región estudiada, donde las zonas de color verdes son las que menor altimetría tienen y las de color marrón tienen una altimetría más alta.

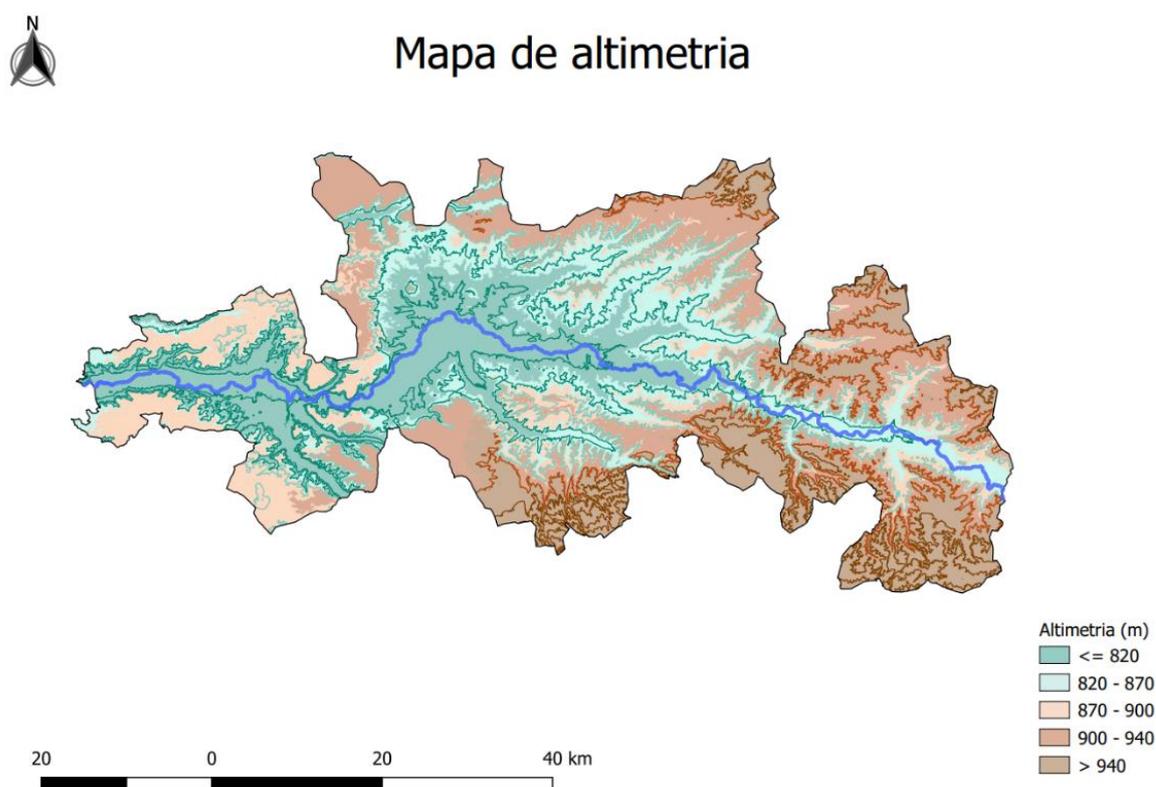


Figura 2: mapa de altimetría de la zona estudiada.

Respecto al clima, nos encontramos ante una región con un clima mediterráneo continental, donde los inviernos son fríos y largos, con temperaturas entre 4°C y 7°C. Los veranos son cortos y muy calurosos, con medias de temperatura entre 19°C y 22°C, siendo un clima muy árido durante los meses de verano. La pluviosidad anual está entre los 450 - 500 mm.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

Si clasificamos el clima según el criterio de la clasificación de Köppen-Geiger (Kottek et al., 2006) nos encontramos ante un clima de tipo C. Los climas tipo C pueden ser clasificados en dos subtipos: los climas Cs y los climas Cf.

En la zona de estudio, tenemos dos zonas diferenciadas de climas como se puede observar en la Figura 3. En la parte Este, tenemos un clima de tipo Cfb, el cual se caracteriza por tener veranos templados, con temperatura media del mes más cálido inferior a 22°C, y temperatura media superior a 10°C en más de cuatro meses al año. En la parte central y oeste tenemos un clima Csb, el cual se caracteriza también por tener veranos templados, con la temperatura media durante el mes más cálido inferior a 22°C, y la temperatura media durante más de 4 meses superior a 10°C. Sin embargo, la principal diferencia entre ambos climas es que el clima Cfb se caracteriza por la ausencia de la época seca durante los meses de verano.

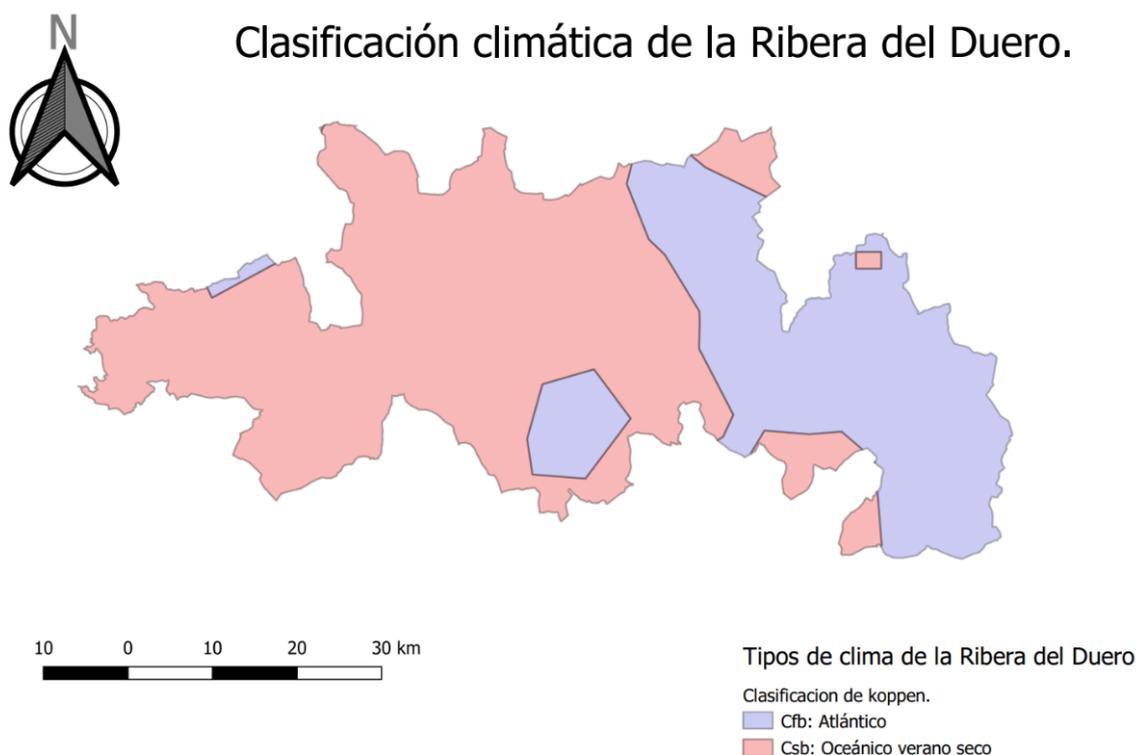


Figura 3: Clasificación climática de Köppen de la zona de estudio.

5.2. Cultivos estudiados y su fenología.

5.2.1. Vid.

La vid (*Vitis vinífera L.*) es una planta semileñosa que puede llegar a alcanzar más de 30 m cuando crece libremente. Sin embargo, queda reducida a un pequeño arbusto de 1 m de altura debido a diversas prácticas agrícolas realizadas, como puede ser la poda al inicio de cada año. Su fruto, es una baya denominada uva que es comestible y que se usa para la elaboración de vino y otras bebidas alcohólicas. La vid es un cultivo característico del paisaje y cultura de la mayor parte del territorio de España y concretamente de los territorios que engloban la D.O.P Ribera del Duero, donde el número de hectáreas de viñedo es de 18.348,10 (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018)

Su fenología es muy variable dependiendo de la zona, de las variedades usadas, de la meteorología, etc. En CyL el ciclo fenológico de la vid varía desde los 180 días en aquellas comarcas más continentales y frías hasta los 230 días en las zonas que son más soleadas y secas. Esto favorece la producción de vinos con distintas características. Se trata de una planta que necesita pocas exigencias edáficas, por lo que es ideal para cultivarla en aquellos terrenos con menor productividad como son los pedregosos, con pendientes importantes y deficientes en nutrientes. Para una buena producción de vino, la vid requiere que durante el invierno reciba la suficiente cantidad de frío, en primavera tenga disposición de agua suficiente para su desarrollo y en verano sol y calor suficiente para favorecer al crecimiento y la maduración de los frutos (de Cara García, 2009)

En las latitudes correspondientes a la Península Ibérica, se pueden encontrar viñedos tanto en zonas más o menos llanas, como en laderas hasta los 1000 m de altura. En los terrenos menos soleados se suelen plantar variedades de mayor precocidad, mientras que en las zonas más soleadas se ponen variedades tardías.

La vid es un cultivo que tiene una gran sensibilidad a varios factores climáticos como las heladas primaverales, las altas temperaturas en verano, las granizadas tanto en primavera como en verano, las lluvias en épocas de vendimia y el calor

húmedo durante todo el ciclo vegetativo. Por ello la climatología es un factor que afecta muy significativamente al ciclo de la planta y a su producción por la gran dependencia que tiene este cultivo a las variables climáticas (Jones et al., 2005).

Otro aspecto fundamental para la maduración de la baya (producción de azúcar), es que el clima tenga veranos soleados, moderadamente calurosos y secos. Las temperaturas muy elevadas en verano pueden detener el crecimiento de los frutos y adelantar su maduración, además de incrementar mucho el contenido de azúcar de las bayas (incrementando el grado alcohólico del vino tras la fermentación). También estas elevadas temperaturas aumentan el contenido de potasio, reduciendo el contenido de ácido tartárico, dando vinos menos frescos. Cuando las elevadas temperaturas van acompañadas de viento seco, pueden provocar que las hojas y los racimos se quemen.

Los inviernos deberán ser fríos y con bastantes precipitaciones. Debe tenerse especial precaución con las temperaturas, ya que, aunque la vid es una planta que en estado de paro vegetativo (meses de invierno), es capaz de soportar temperaturas cercanas a -20°C en invierno (si la temperatura baja aún más puede llegar a sufrir graves daños), cuando empieza a brotar, es muy sensible a las temperaturas inferiores a -2°C . Temperaturas muy bajas en época de brotación pueden suponer que la cosecha se arruine totalmente. Aun así, el frío es fundamental para el desarrollo de la vid, una carencia de horas de frío producirá cosechas muy pobres y tardías que afectarán a la calidad del vino. En general la mayoría de las variedades existentes necesitan unas necesidades de frío de unas 200 horas/frío para su correcto desarrollo (de Cara García, 2009).

Las temperaturas más óptimas en las distintas etapas de desarrollo de la vid son las siguientes:

- Apertura de yemas: $9-10^{\circ}\text{C}$
- Floración: $18-22^{\circ}\text{C}$
- De floración a cambio de color de las hojas: $22-26^{\circ}\text{C}$
- De cambio de color a maduración: $20-24^{\circ}\text{C}$
- Época de vendimia: $18-22^{\circ}\text{C}$

Para un correcto desarrollo de la vid, la integral térmica deberá estar entorno 2500- 3000°C/día desde el inicio del año agrícola hasta el fin del periodo vegetativo.

Las precipitaciones son otro factor importante, ya que, aunque es una planta resistente a la falta de agua debido a sus profundas raíces, y puede adaptarse a zonas con precipitaciones de en torno a 250 mm, estas deberán caer de forma conveniente para que la planta pueda aprovechar esta agua (de Cara García, 2009).

5.2.2. Cultivos de secano.

Los cultivos de secano, como se puede ver en la Figura 1, comprenden prácticamente la totalidad del área de estudio. En estas zonas de secano se cultiva principalmente cereales (trigo, cebada, centeno, etc.) y también otros cultivos como el girasol. La superficie total de estos cultivos es de 869.938,011 ha (Ministerio de Agricultura, 2021).

Los cultivos de cereales tienen gran importancia a nivel mundial, ya que representan el 40% de las calorías aportadas en la alimentación, además de ser la base para la alimentación de la mayor parte de la ganadería (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, 2022). Por ello, es interesante saber cómo afecta la climatología a este tipo de cultivos y más en el contexto actual, donde a la escasez de ciertas materias primas como los cereales o girasol por el actual contexto internacional (Agronews Castilla y León, 2021), se le unen sequías como la de este año, que ponen en peligro la viabilidad económica de muchas cosechas. El último informe de la Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos pone de relieve la problemática que el incremento de las temperaturas puede tener sobre el rendimiento de los cereales. Se estima que, en las zonas meridionales como España donde la escasez de agua ya es un factor limitante de por sí en la producción agrícola, el aumento de las temperaturas puede suponer un incremento del número e intensidad de las sequías, las cuales podrían reducir el rendimiento de los cereales de invierno hasta un 15% (Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos, 2022). Para obtener un buen rendimiento, las precipitaciones deberán ser

abundantes en la época en la que el grano está creciendo, es decir durante la primavera.

5.2.3. Cultivos de regadío.

Las zonas de cultivos de regadío que están situadas en la zona de estudio se pueden ver en la Figura 1. La superficie total de estos cultivos es de 27629,63 ha (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018)

Estos cultivos sufren mucho menos la influencia de las precipitaciones en su desarrollo al disponer de agua mediante sistemas de riego. En estas zonas pueden encontrarse sobre todo cultivos de cereales, girasol, remolacha y algunos viñedos.

6. Metodología.

6.1.1. Información de campo.

La información meteorológica ha sido obtenida de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y de la Red SIAR. Para este estudio se han utilizado datos de 9 estaciones climáticas completas (datos de precipitación y temperaturas) y 5 estaciones pluviométricas. El periodo de datos ha sido de 30 años, de los cuales hemos seleccionado los 19 años que coinciden con la actividad del sensor MODIS. Las series de tiempo climáticas eran de frecuencia diaria y mensual y se debieron adaptar a frecuencia MODIS (frecuencia de ocho días), para poderlas relacionar posteriormente con las series de tiempo del NDVI.

La información geográfica se ha obtenido del Instituto Tecnológico Agrario de Castilla y León (Itacyl), del Instituto Geográfico Nacional, del SIGPAC y del proyecto Corine Land Cover (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018). De estas fuentes hemos podido obtener las capas necesarias para crear los mapas que acompañan al presente trabajo.

6.1.2. Información de teledetección.

El sensor MODIS, está a bordo del satélite Terra, en órbita desde el año 1999, aunque la primera imagen es del 18 de febrero del 2000. El sensor obtiene información de la superficie terrestre en 36 bandas distribuidas tanto en el rango óptico como en el térmico. MODIS ofrece diversos productos con diferentes resoluciones espaciales y temporales como pueden ser el producto MOD09A1, con una resolución espacial de 500 m y una resolución temporal de 8 días.

Para realizar este trabajo, se usó el producto MOD09A1.V06 y el tile que cubría el área de estudio fue el h17v04. MOD09A1 trabaja con 7 bandas en total: 450 nm (azul), 555 nm (verde), 645 nm (rojo), 860 nm (NIR), 1240 nm (SWIR1), 1640 nm (SWIR2), 2130 nm (SWIR3). Se obtienen imágenes cada 8 días, dando un total de 46 imágenes por año. El periodo de estudio es del 1/1/2002 hasta el 31/1/2020, dando un total de 874 imágenes. Se pueden descargar las imágenes de forma gratuita a través de la página de la NASA: <https://lpdaac.usgs.gov/>.

Los índices de vegetación como el NDVI son usados para hacer el seguimiento de la dinámica de la vegetación y uso del suelo de una determinada zona. MODIS nos ofrece varios índices de vegetación entre los que se encuentran el mencionado NDVI y el Índice de vegetación (EVI). Índice NDVI

El índice que se usará es el NDVI, el cual es el más utilizado mundialmente y el que más fuente de información proporciona para llevar el seguimiento de la masa vegetal de una zona. El NDVI se calcula con la siguiente ecuación.

$$\text{NDVI} = \frac{R_{\text{NIR}} - R_{\text{R}}}{R_{\text{NIR}} + R_{\text{R}}}$$

Donde:

- R_{NIR} : reflectancia en la banda del infrarrojo cercano (NIR).
- R_{R} : reflectancia en la banda del rojo (R).
- El valor del índice se calcula para cada píxel seleccionado de la imagen y esta toma valores entre -1, el cual corresponde a ausencia de vegetación y 1, que corresponde a vegetación densa.

6.2. Obtención de las series de tiempo.

Una vez elegido el área de estudio, se obtuvieron las series de tiempo para las estaciones climáticas y para las series de tiempo de NDVI-MODIS. Se suavizaron los datos aplicando un filtro de Savitzky-Golay con una ventana de 7 observaciones (Savitzky et al., 1964).

La clasificación de los píxeles para su posterior análisis se hizo en base a los datos suministrados por el proyecto Corine Land Cover. (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018)

La primera selección de píxeles, que se puede ver en la Figura 4:

- 148 píxeles correspondientes a zonas de viñedo.
- 64 píxeles correspondientes a otros cultivos de secano.
- 40 píxeles correspondientes a cultivos de regadío.

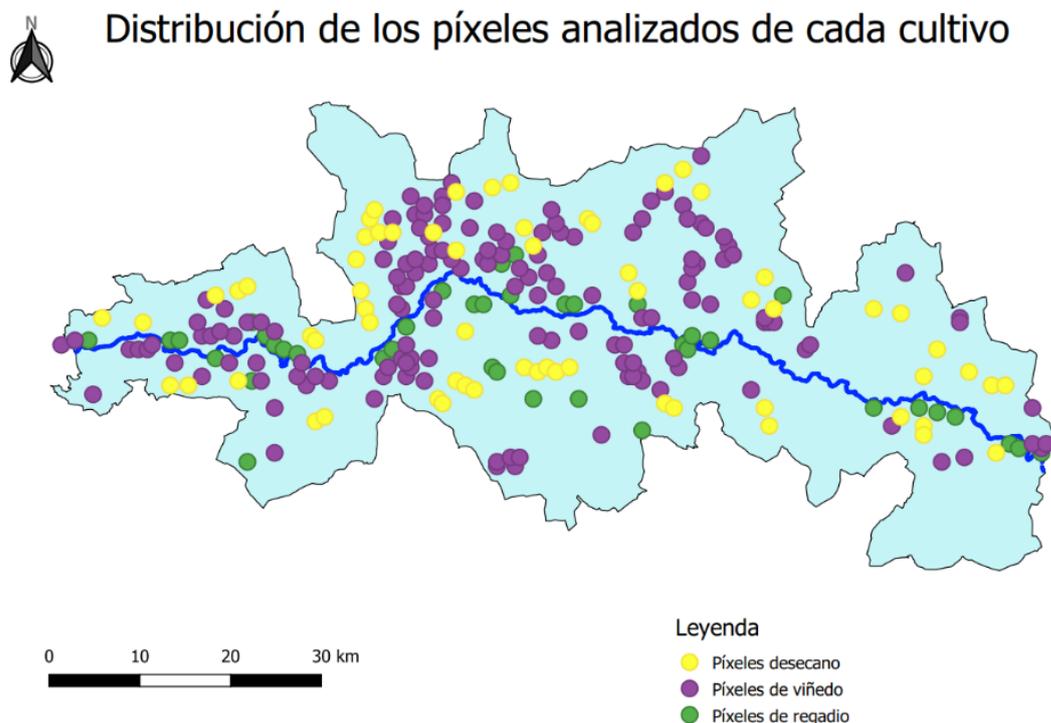


Figura 4: Distribución de la primera selección de píxeles analizados.

Posteriormente, con los datos proporcionados por el SIGPAC se hizo una segunda selección de píxeles, donde escogimos aquellos en los que su totalidad

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

correspondía a tierras cultivables de los cultivos a analizar. La distribución final tanto de los píxeles como de las estaciones climáticas seleccionadas finalmente se observa en la Figura 5.

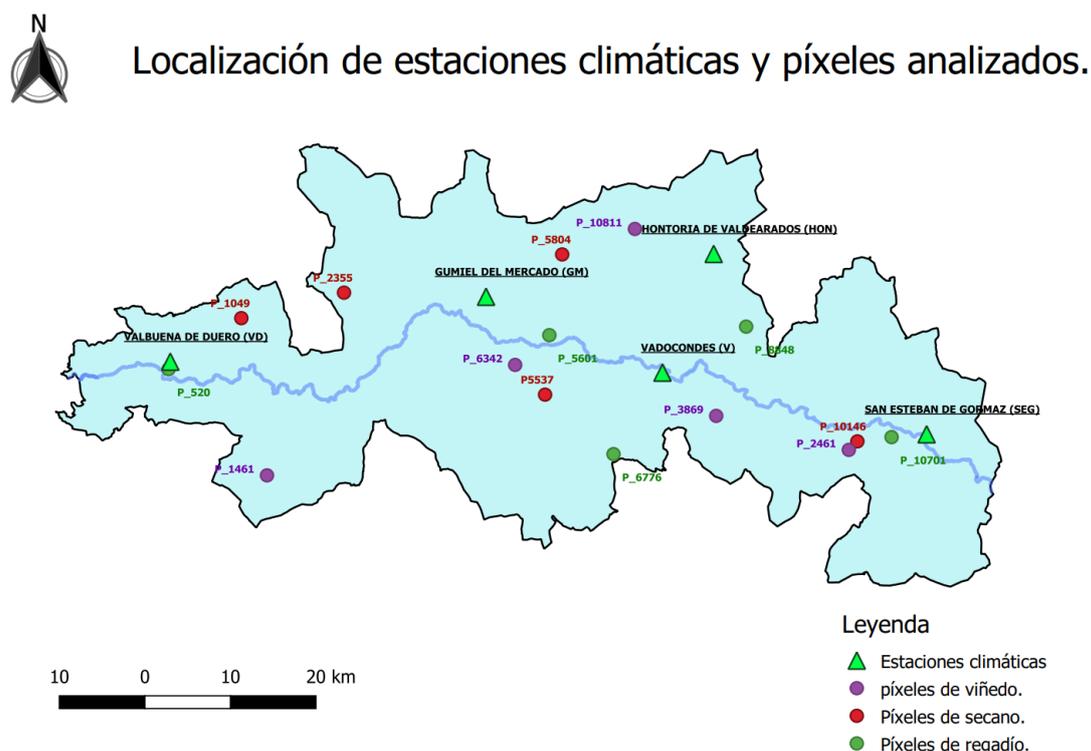


Figura 5: Distribución final de los píxeles y las estaciones climáticas.

Se ha analizado un total de 15 píxeles (tres por estación, correspondiendo uno a cada tipo de cultivo). Esta muestra (teniendo en cuenta el tiempo del que se dispone para el trabajo) pretende ser lo más representativa de la zona, para poder estudiar la variabilidad de la vegetación durante el periodo de años elegido.

6.3. Análisis estadístico de series de tiempo.

Mediante el análisis estadístico de las series temporales, se pueden identificar patrones de comportamiento (estacionalidad, tendencia, ciclos, ruido blanco) tanto a corto, como a largo plazo de una variable que pueda ser medida con una cierta frecuencia. Esta metodología de análisis de series, de tiempo tanto en el

dominio de la frecuencia (Priestley, 1996), como en el dominio temporal (Box et al., 2008)

Estas técnicas de análisis son una herramienta útil para poder modelizar variables que puedan ser medidas con una determinada frecuencia, como pueda ser la temperatura o las precipitaciones.

Para analizar una serie de tiempo y elaborar un modelo estadístico que nos sirva para su predicción, se utiliza una metodología iterativa, en la que intervienen las siguientes etapas: Identificación, Estimación, Validación y Predicción. Los procedimientos usados para la identificación y análisis de las series estudiadas se describirán a continuación.

Las series de tiempo (Box et al., 2008) utilizadas para evaluar la dinámica vegetal de diferentes cultivos en la región del estudio en el período 2002 – 2020 fueron construidas a partir de imágenes MODIS correspondientes a 874 fechas.

6.3.1. Estacionariedad de las series

Para confirmar si las series estudiadas son estacionarias o no, se usó el test de Dickey-Fuller (Dickey et al., 1979) para valores críticos del 5% (-3.389)

6.3.2. Función de autocorrelación

La función de autocorrelación sirve para evaluar si existen patrones que se repitan en las series de tiempo a partir de los valores de la autocorrelación temporal. De esta manera se evalúa la estacionariedad y la estacionalidad de la serie.

$$\hat{\Gamma}_k = \frac{\sum_{t=1}^{N-k} (y_t - \bar{y})(y_{t+k} - \bar{y})}{\sum_{t=1}^N (y_t - \bar{y})^2}$$

Donde:

- $\hat{\Gamma}$: es el coeficiente de autocorrelación para el retardo k.
- y: es la variable estudiada.
- \bar{y} : es el valor medio de y.
- N: número de observaciones.

6.3.3. Análisis espectral (periodograma)

El análisis de la componente estacional de las series de tiempo se hace mediante el análisis espectral, usando periodogramas. El periodograma medirá las aportaciones que la serie de componentes periódicos de una determinada frecuencia hace a la varianza total de dicha serie (w). Cuando aparece un pico en una frecuencia, significa que esa frecuencia tendrá una mayor importancia en la serie (Hamilton, 1994). La existencia de una posible componente estacional podrá contrastarse mediante el análisis de la función de autocorrelación respectiva (Box et al., 2008).

La fórmula del periodograma es la siguiente:

$$Y_t = \mu + \sin(\omega_j t) + \cos(\omega_j t) + e_t$$

7. Resultados.

7.1. Obtención de mapas de NDVI.

Las imágenes obtenidas de MODIS y tratadas permiten, además de extraer las series temporales de NDVI para analizarlas estadísticamente, crear mapas como el de la Figura 6, para visualizar las zonas de máximo y mínimo verdor vegetativo. El mapa de máximo verdor vegetativo fue hecho con la imagen NDVI obtenida el 22 de abril del año 2008, mientras que el mapa con el mínimo verdor vegetativo, fue obtenida con la imagen del 26 de diciembre del año 2008.

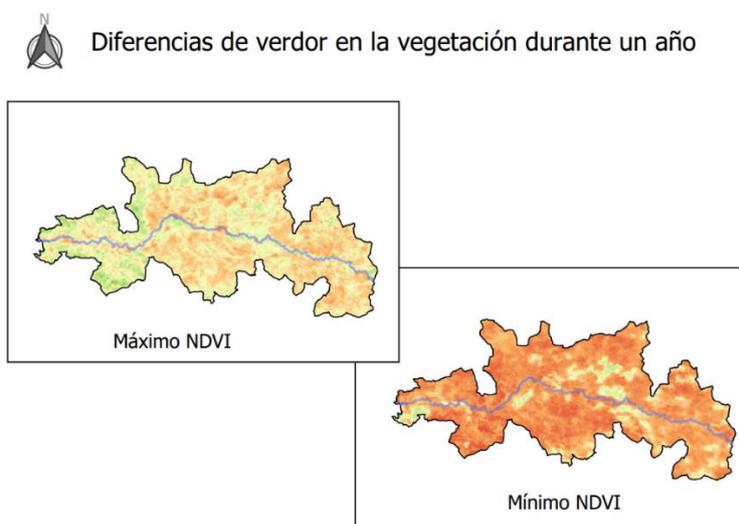


Figura 6: Diferencias entre el máximo y el mínimo NDVI en un año.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

7.2. Análisis de la Estacionariedad.

Se procede a realizar el test de Dickey-Fuller (Dickey et al., 1979) para analizar la estacionariedad de la serie.

Tabla 1: Test aumentado de Dickey-Fuller (ADF) para estudiar la estacionariedad de las series estudiadas mediante la detección de una raíz unitaria (tendencia). PPT: precipitación; T: Temperatura; Vid: viñedo; Cer: Cereal; Se: Secano; Reg: Regadío

	serie	Valor observado	Valor crítico	valor-p	alfa
Gumiel del mercado	Precipitaciones (PPT)	-8.992	-3.389	< 0,0001	0.05
	Temperaturas (T)	-11.956	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_6342_Vid	-6.262	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_2355_Cer_Se	-6.725	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_5601_Cer_Reg	-6.619	-3.389	< 0,0001	0.05
Valbuena de Duero	Precipitaciones (PPT)	-9.099	-3.389	< 0,0001	0.05
	Temperaturas (T)	-12.124	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_1461_Vid	-7.072	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_1049_Cer_Se	-6.909	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_520_Cer_Reg	-7.330	-3.389	< 0,0001	0.05
Vadocondes	Precipitaciones (PPT)	-9.235	-3.389	< 0,0001	0.05
	Temperaturas (T)	-11.779	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_3869_Vid	-7.245	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_5537_Cer_Se	-6.310	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_6776_Cer_Reg	-6.928	-3.389	< 0,0001	0.05
Hontoria de Valdearados	Precipitaciones (PPT)	-9.142	-3.389	< 0,0001	0.05
	Temperaturas (T)	-11.956	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_10811_Vid	-6.490	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_5804_Cer_Se	-6.363	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_8848_Cer_Reg	-6.742	-3.389	< 0,0001	0.05
San Esteban de Gormaz	Precipitaciones (PPT)	-9.012	-3.389	< 0,0001	0.05
	Temperaturas (T)	-11.635	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_2461_Vid	-6.004	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_10146_Cer_Se	-6.109	-3.389	< 0,0001	0.05
	P_10701_Cer_Reg	-7.388	-3.389	< 0,0001	0.05

En la Tabla 1 se puede ver un análisis más detallado de la estacionariedad de las series estudiadas. Se puede comprobar que el valor observado en todas las series es superior al valor crítico para un alfa del 5%, por lo que se puede considerar que todas las series estudiadas (climáticas y NDVI) son estacionarias, es decir no tienen tendencia.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

7.3. Resumen estadístico de las series.

En la Tabla 2, se muestra un resumen estadístico de todas las series analizadas.

Tabla 2: Análisis estadístico de las series. PPT: precipitación; T: Temperatura; Vid: viñedo; Cer: Cereal; Se: Secano; Reg: Regadío; GM: Gumiel del Mercado; VD: Valbuena de Duero; V: Vadocondes; SEG: San Esteban de Gormaz; HON: Hontoria de Valdearados.

Variable	Observaciones	Mínimo	Máximo	Media	Desv. típica
Precipitación Gumiel del Mercado (PPT_GM)	874	0.000	122.300	9.679	13.432
Temperatura Gumiel del Mercado T_GM	874	-3.046	25.900	11.869	6.671
Precipitación Valbuena de Duero (PPT_VD)	874	0.000	85.800	9.364	12.710
Temperatura Valbuena de Duero (T_VD)	874	-2.410	26.883	11.780	6.886
Precipitación Vadocondes (PPT_V)	874	0.000	102.000	9.559	12.214
Temperatura Vadocondes (T_V)	874	-4.178	25.988	11.306	6.802
Precipitación San Esteban de Gormaz (PPT_SEG)	874	0.000	102.000	9.465	12.560
Temperatura San Esteban de Gormaz (T_SEG)	874	-3.906	25.483	11.015	6.770
Precipitación Hontoria de Valdearados PPT_HON	874	0.000	84.600	10.471	13.780
Temperatura Hontoria de Valdearados T_HON	874	-3.046	25.900	11.869	6.671
P_6342_Vid_GM	874	0.155	0.603	0.284	0.066
P_10472_Vid_GM	874	0.191	0.545	0.293	0.064
P_7825_Vid_GM	874	0.184	0.536	0.351	0.064
P_8896_Vid_GM	874	0.171	0.412	0.274	0.051
P_8909_Vid_GM	874	0.157	0.545	0.318	0.059
P_9419_Vid_GM	874	0.167	0.377	0.254	0.047
P_10278_Vid_GM	874	0.168	0.430	0.275	0.044
P_9038_Vid_GM	874	0.155	0.407	0.267	0.051
P_1461_Vid_VD	874	0.171	0.619	0.308	0.097
P_5629_Vid_VD	874	0.198	0.555	0.326	0.054
P_5633_Vid_VD	874	0.130	0.404	0.287	0.049
P_6035_Vid_VD	874	0.156	0.572	0.268	0.065
P_6890_Vid_VD	874	0.142	0.551	0.269	0.067
P_3869_Vid_V	874	0.164	0.406	0.278	0.053
P_5325_Vid_V	874	0.165	0.413	0.302	0.034
P_6555_Vid_V	874	0.162	0.478	0.294	0.052
P_1431_Vid_SEG	874	0.154	0.491	0.305	0.052
P_2461_Vid_SEG	874	0.148	0.510	0.287	0.073
P_5990_Vid_HON	874	0.189	0.498	0.349	0.051
P_10239_Vid_HON	874	0.184	0.486	0.303	0.043
P_10811_Vid_HON	874	0.192	0.560	0.304	0.074
P_3838_Cer_Se_GM	874	0.160	0.601	0.276	0.083
P_4227_Cer_Se_GM	874	0.146	0.676	0.285	0.111
P_3838_Cer_Se_GM	874	0.160	0.601	0.276	0.083
P_4227_Cer_Se_GM	874	0.146	0.676	0.285	0.111
P_2355_Cer_Se_GM	874	0.106	0.755	0.291	0.141
P_3707_Cer_Se_GM	874	0.161	0.523	0.269	0.079
P_1049_Cer_Se_VD	874	0.144	0.759	0.291	0.132
P_631_Cer_Se_VD	874	0.153	0.756	0.307	0.124
P_5537_Cer_Se_V	874	0.136	0.640	0.262	0.092
P_7103_Cer_Se_V	874	0.145	0.556	0.249	0.076
P_10146_Cer_Se_SEG	874	0.145	0.538	0.266	0.075
P_5804_Cer_Se_HON	874	0.119	0.617	0.284	0.089
P_4643_Gir_Reg_GM	874	0.169	0.789	0.345	0.125
P_4959_Cer_Reg_GM	874	0.145	0.693	0.372	0.117
P_2931_Cer_Reg_GM	874	0.178	0.565	0.339	0.067
P_5601_Cer_Reg_GM	874	0.167	0.672	0.358	0.092
P_520_Cer_Reg_VD	874	0.145	0.554	0.361	0.087
P_1125_Cer_Reg_VD	874	0.097	0.709	0.297	0.118
P_6776_Cer_Reg_V	874	0.158	0.669	0.352	0.105
P_10701_Cer_Reg_SEG	874	0.134	0.606	0.381	0.117
P_11877_Manz_Reg_SEG	874	0.141	0.752	0.392	0.131
P_8848_Cer_Reg_HON	874	0.177	0.595	0.309	0.083

7.4. Análisis de las series.

Confirmada la estacionariedad de las series, en este apartado se va a proceder a estudiar cada píxel de cultivo asociado a las series climáticas de la estación climática de referencia a esos píxeles.

7.4.1. Valbuena de Duero.

7.4.1.1. Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 2002-2020.

La Figura 7 y la Figura 8, son las gráficas de la variación interanual de las precipitaciones y las temperaturas. En la Figura 7, se observa un patrón irregular, donde no se puede apreciar una tendencia en la serie a simple vista. Las precipitaciones oscilan entre mínimo que sucedió en el año 2017, con un total de 272,64 mm y un máximo de 663,96 mm en 2018. El promedio de precipitaciones de toda la serie es de 430,76 mm, siendo la más baja de todas las estaciones estudiadas. La desviación media de la serie es de 12,38.

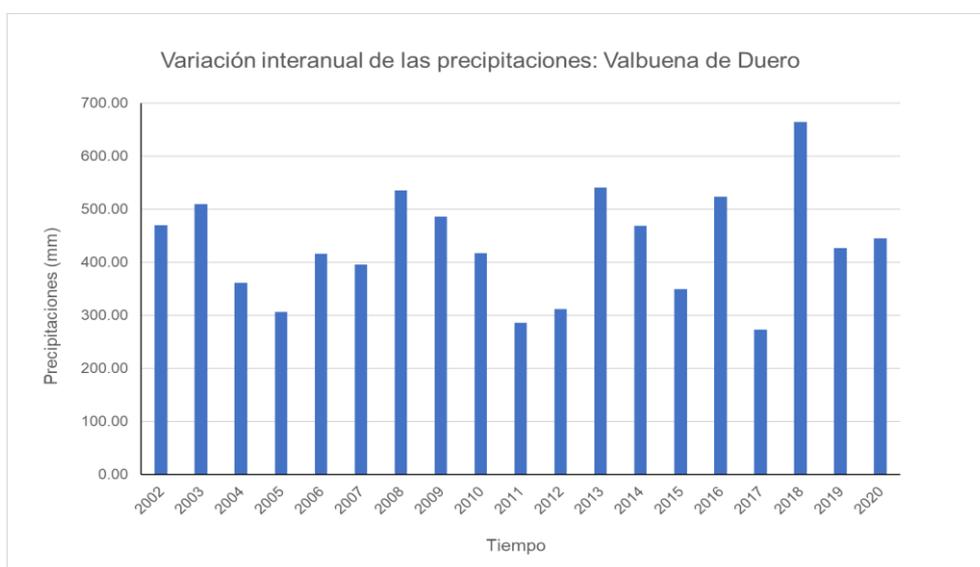


Figura 7: variación interanual de las precipitaciones en la estación climática de Valbuena de Duero durante el periodo 2002-2020.

Analizando la Figura 8 se observa una serie con una desviación media de 6,71. El mínimo de la serie fueron 10,85°C en el año 2008, mientras que el máximo fue de 12,72°C en el año 2008. La temperatura media fue de 12,38°C, la más

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

alta de todas las estaciones estudiadas. Se puede apreciar una ligera tendencia al alza en la serie.

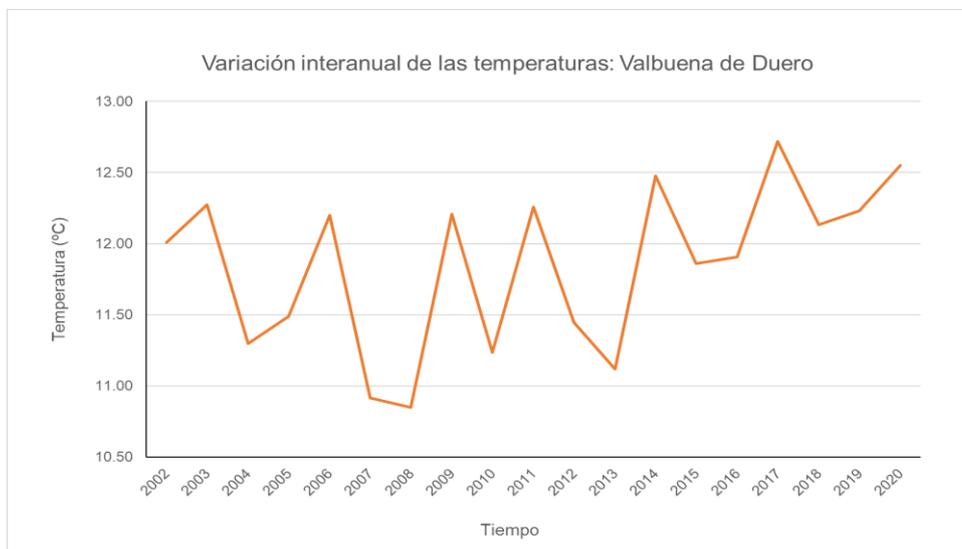


Figura 8: variación interanual de la temperatura en Valbuena de Duero durante el periodo 2002-2020.

En la Figura 9, se puede ver el climograma de Valbuena de Duero. En él se puede apreciar una estación húmeda, que comprende en el periodo de menores temperaturas medias y que es en primavera, otoño e invierno.

También se observa una estación seca en los meses de verano, que coincide con los meses con las temperaturas medias más altas.

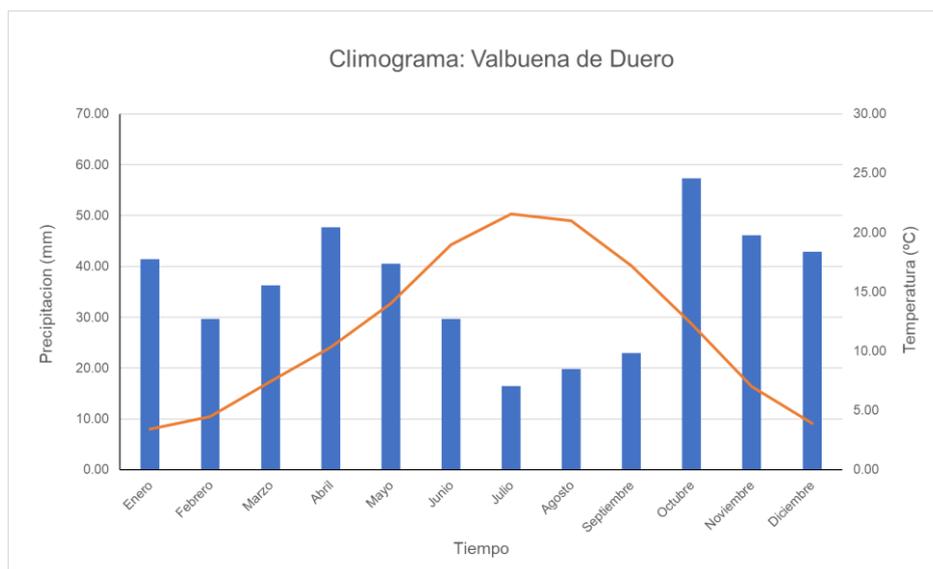


Figura 9: Climograma de Valbuena de Duero en el periodo 2002-2020.

7.4.1.2. Análisis del NDVI.

En la Figura 10, se pueden observar las series de tiempo de NDVI de los tres píxeles que se han escogido para el estudio en la zona de Valbuena de Duero.

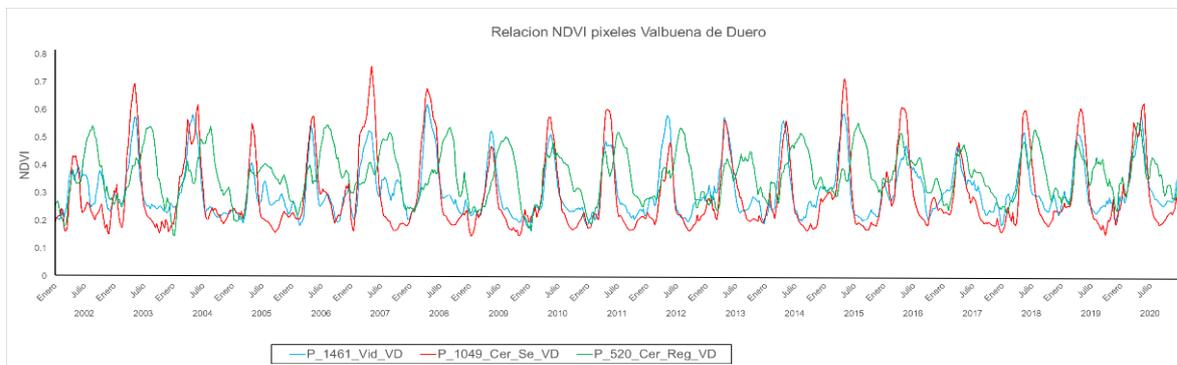


Figura 10: Series de tiempo de los NDVI analizados en Valbuena de Duero.

7.4.1.2.1. Viñedo.

El píxel escogido para el análisis del cultivo de viña en esta zona es el P_1461, que se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. Se puede observar que la serie de tiempo de NDVI (Figura 11) tiene un ciclo estacional muy marcado, donde el pico de NDVI se produce al final de la primavera y alcanza unos valores de entre 0,5 y 0,6 entre finales de la primavera y principio del verano, después decrece hasta alcanzar el mínimo a finales de otoño.

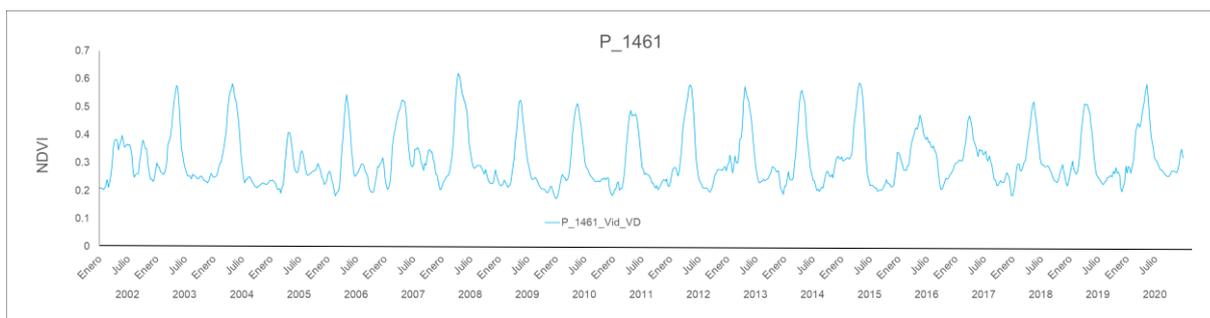


Figura 11: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Valbuena de Duero.

En la Figura 12, se puede ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI. Se observa un marcado patrón estacional a 46 retardos.

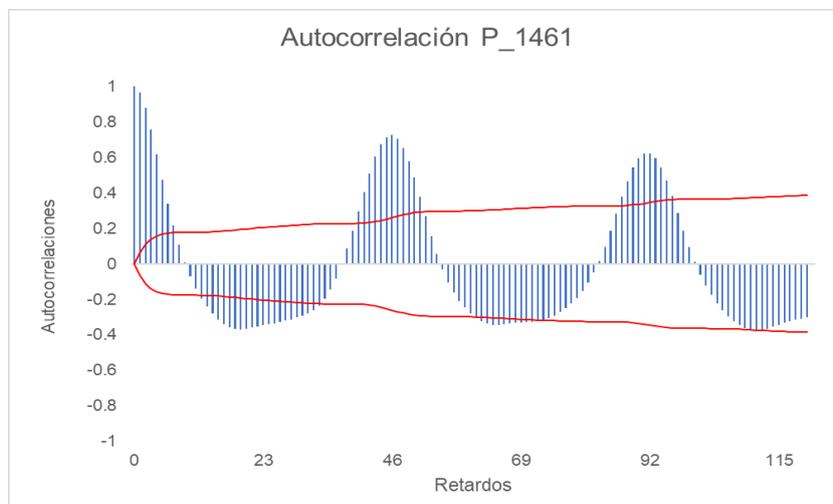


Figura 12: Autocorrelaciones para el píxel de viñedo.

En el periodograma de la Figura 13, al igual que en el gráfico de autocorrelaciones, se puede ver cómo la serie tiene un ciclo muy marcado en el periodo 46, donde se encuentra la ordenada máxima. También se puede observar un segundo pico a 23, pero es un armónico, ya que, si fuera relevante lo veríamos en el gráfico de autocorrelación. Con esto se confirma que estamos ante una serie estacional, que se repite cada 46 periodos, es decir cada año, teniendo en cuenta que el periodo de MODIS es de 46 imágenes/año

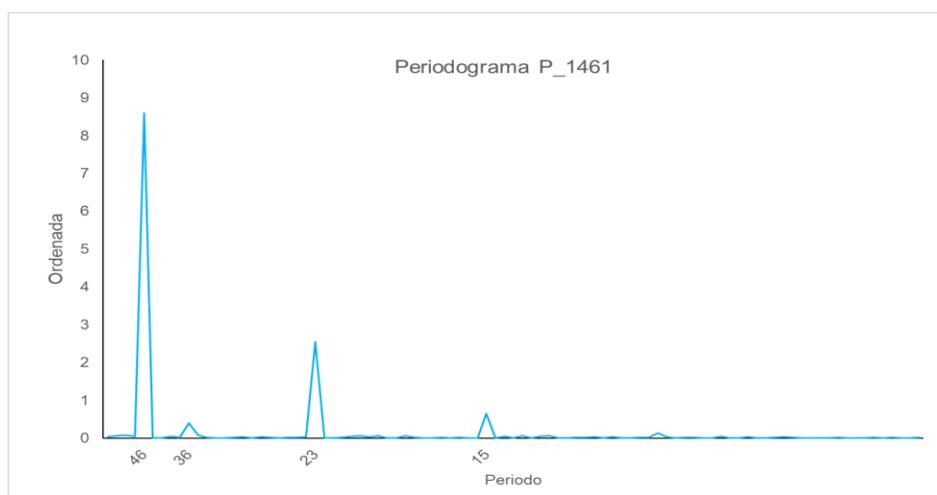


Figura 13: Periodograma de la serie P_1461.

7.4.1.2.2. Secano.

El píxel escogido para el análisis del cultivo de secano (cereal) en esta zona, es el P_1049. Este píxel se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. Se observa cómo la Serie NDVI de la Figura 14, tiene un ciclo estacional muy marcado. El NDVI empieza a crecer a finales de febrero y principios de marzo y llega al pico máximo a mediados del mes de junio con unos valores de entre 0,6 y 0,7. Después comienza a decrecer hasta llegar a un mínimo en torno al 0,1 a finales del otoño. En la Figura 10 se puede observar como el NDVI de los cultivos de viñedo y secano va muy sincronizado, la gran diferencia es que el cultivo de secano alcanza mayores NDVI por lo general.

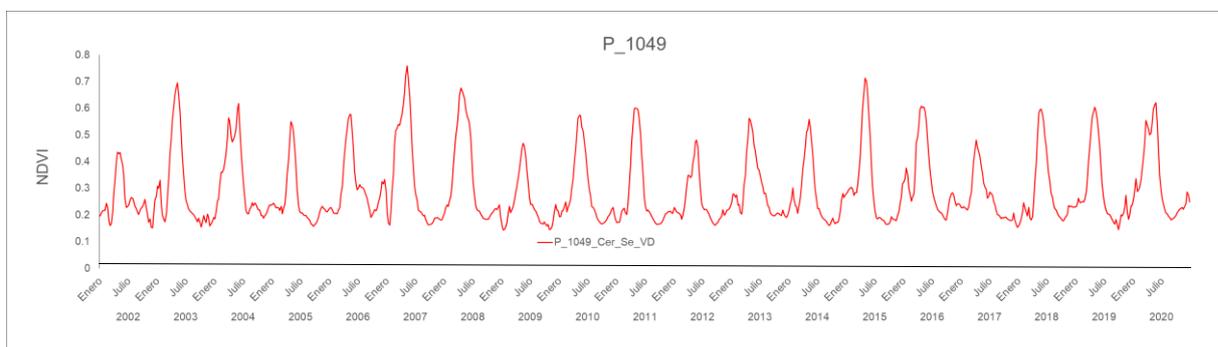


Figura 14: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Valbuena de Duero.

En la Figura 15, se puede ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en el que se puede apreciar el marcado patrón estacional a 46 retardos.

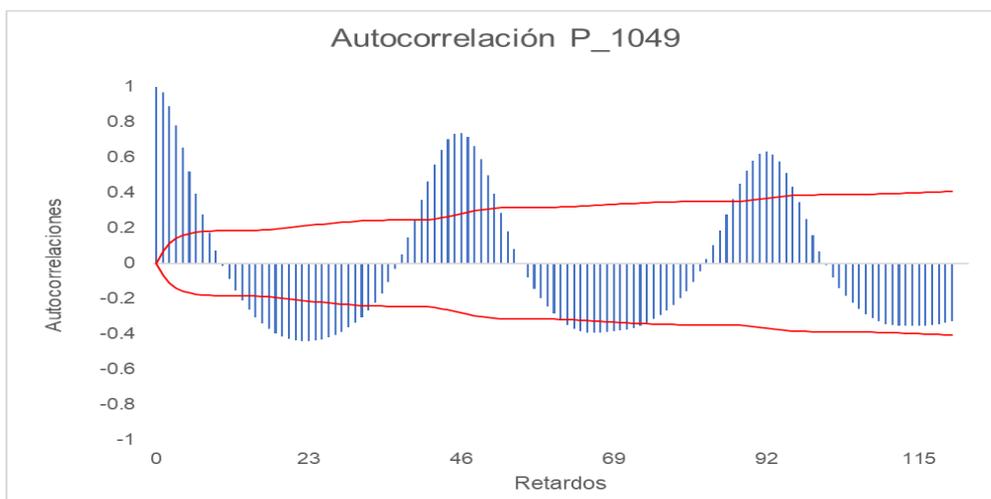


Figura 15: Autocorrelaciones para el píxel de secano.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

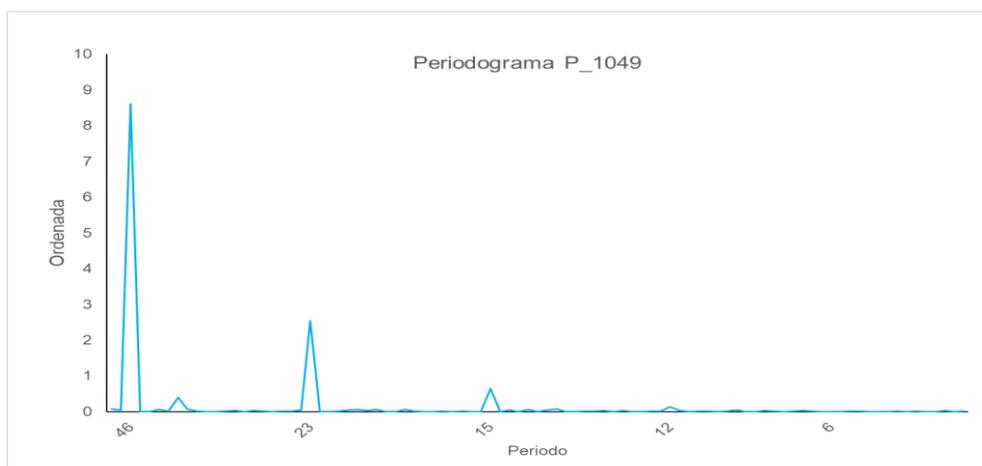


Figura 16: Periodograma de la serie P_1049.

Igual que antes, se observa en la Figura 16, cómo la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual es posible confirmar que estamos ante una serie estacional, que se repite cada 46 periodos MODIS o cada año.

7.4.1.2.3. Regadío.

El píxel escogido para el análisis del cultivo de regadío (cereal) en esta zona, es el P_520. Este píxel se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. Se observa que la Serie NDVI (Figura 17) tiene un ciclo estacional muy marcado, donde el NDVI empieza a crecer a finales de febrero y alcanza un pico máximo de NDVI de 0,5-0,55 a finales del mes de junio, después comienza a decrecer poco a poco hasta llegar al mínimo en torno a 0,15 a principios del invierno. A diferencia de las series de viñedo y regadío, el NDVI decrece más lentamente una vez llega a su ciclo y los ciclos son más estables durante todo el periodo estudiado.

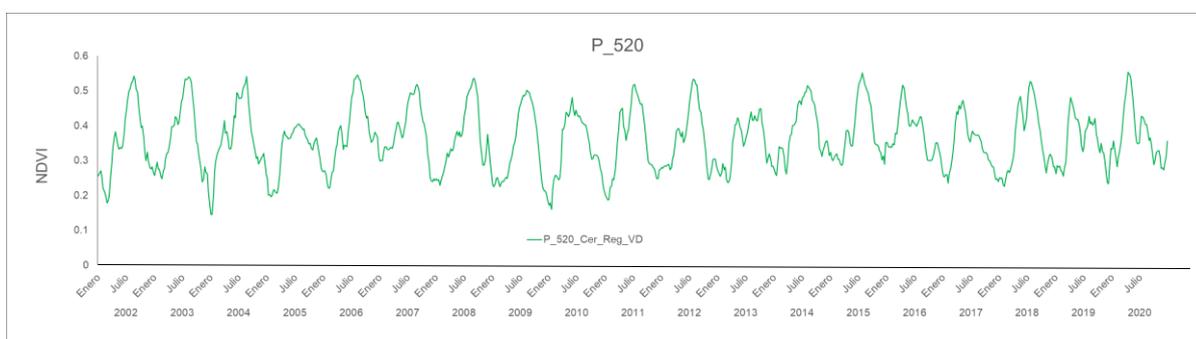


Figura 17: Serie NDVI para un píxel de regadío en el municipio de Valbuena de Duero.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

En la Figura 18, se pueden ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

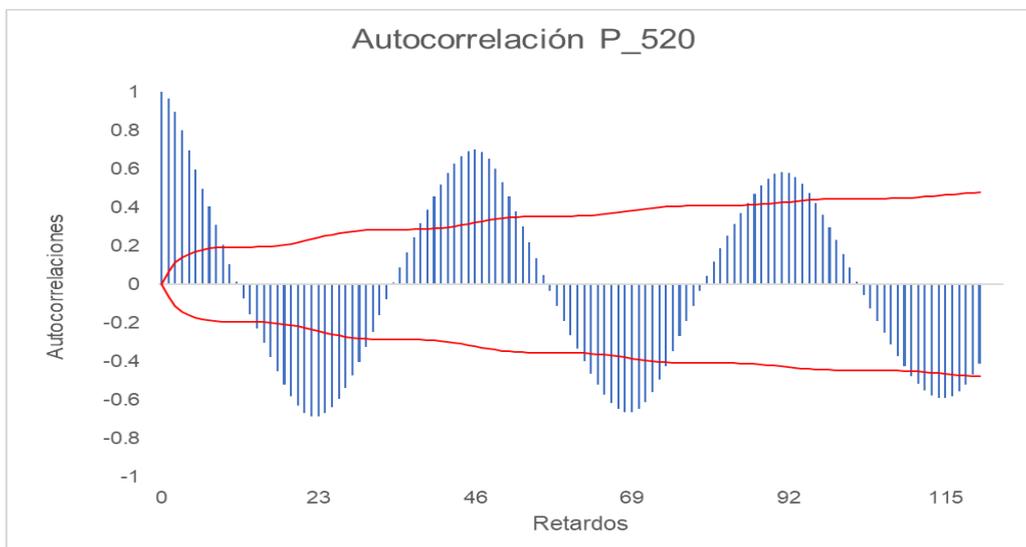


Figura 18: Autocorrelaciones para el píxel de regadío.

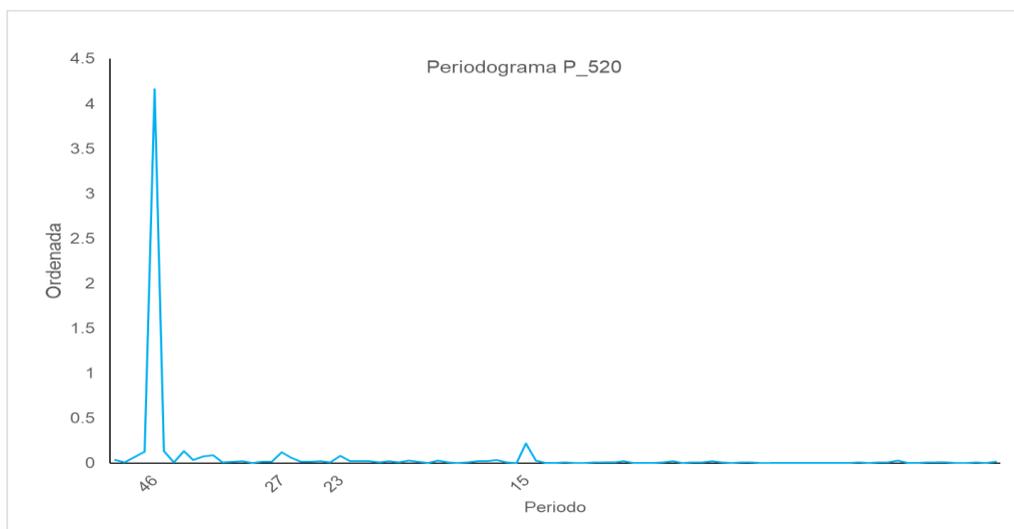


Figura 19: Periodograma de la serie P_520.

Igual que en los casos anteriores, en el periodograma de la Figura 19 se observa ver cómo la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual es posible confirmar que estamos ante una serie estacional, que se repite cada año.

7.4.2. Gumiel del Mercado.

7.4.2.1. Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021.

La siguiente estación que se va a analizar es la de Gumiel del Mercado. Su ubicación puede verse en la Figura 5.

Como se ve en la Figura 20, la variación interanual de las precipitaciones sigue un patrón irregular, donde no se puede apreciar una tendencia simple vista. Sí que se puede ver cómo la diferencia entre los años más húmedos y más secos se incrementa en los últimos ciclos del periodo estudiado, produciéndose las alternancias más destacadas de años secos y húmedos en el periodo 2005-2021. La precipitación mínima se produce en el año 2017, cuando la precipitación anual fue de 270,9 mm y la máxima de 774,7 mm en 1997. El promedio de precipitaciones de toda la serie es de 444,7 mm, unos 15 mm más de media que en la estación de Valbuena de Duero.

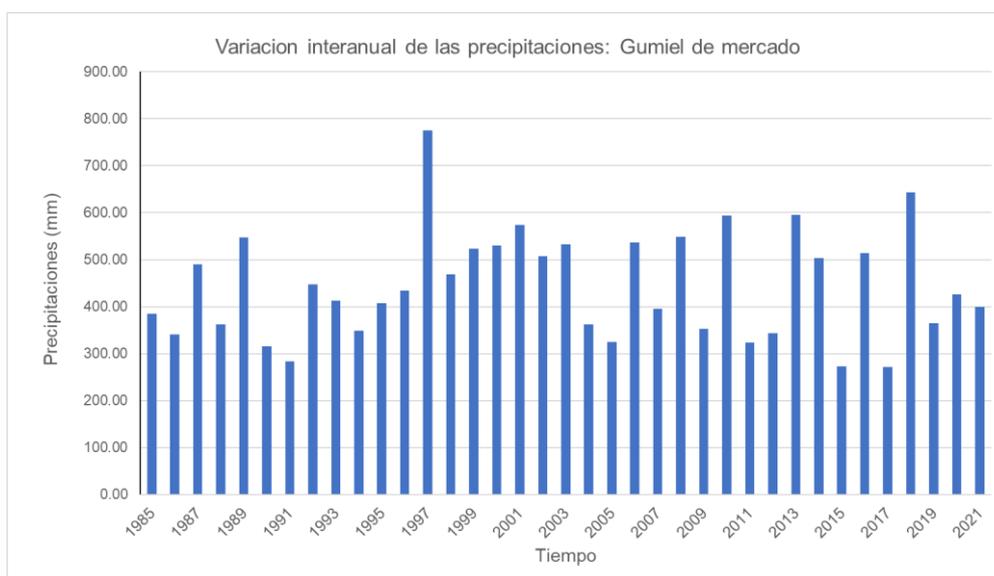


Figura 20: Variación interanual de las precipitaciones en Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.

En la Figura 21, está representada la serie de la temperatura. Como puede observarse, durante el periodo 1985-2001 hubo una tendencia alcista hasta alcanzar el máximo de la serie con 13,75°C, después en el periodo 2001-2009 las temperaturas se redujeron hasta alcanzar un mínimo en el año 2009 de 9,59°C y posteriormente volvió a haber una tendencia alcista que se estabilizó

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

en los últimos ciclos de la serie. La media de temperatura de la serie es de 11,81°C.

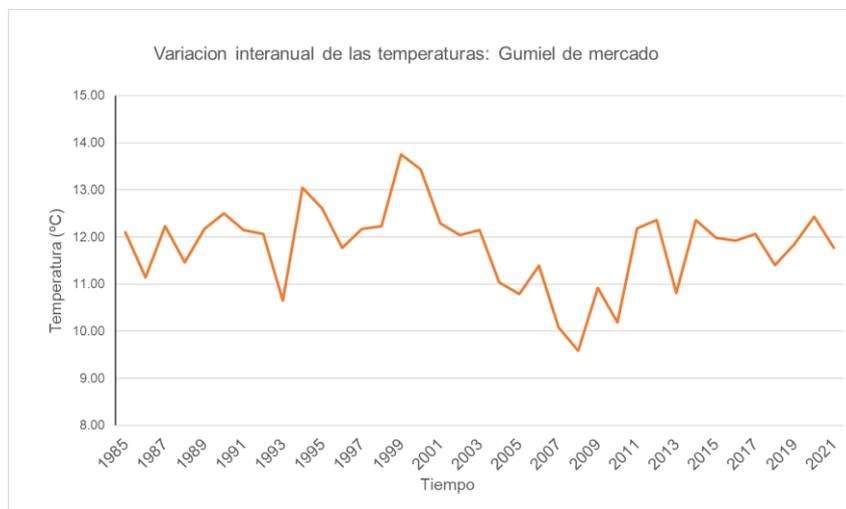


Figura 21: Variación interanual de las temperaturas en Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.

En la Figura 22, se ve el climograma de Gumiel de Mercado. En él se puede apreciar una estación húmeda, que comprende el periodo de menores temperaturas medias y que abarca la primavera, el otoño y el invierno, donde los meses más lluviosos son abril, mayo y octubre.

También se puede apreciar una estación seca en los meses de julio y agosto que coinciden con los meses con las temperaturas medias más altas.

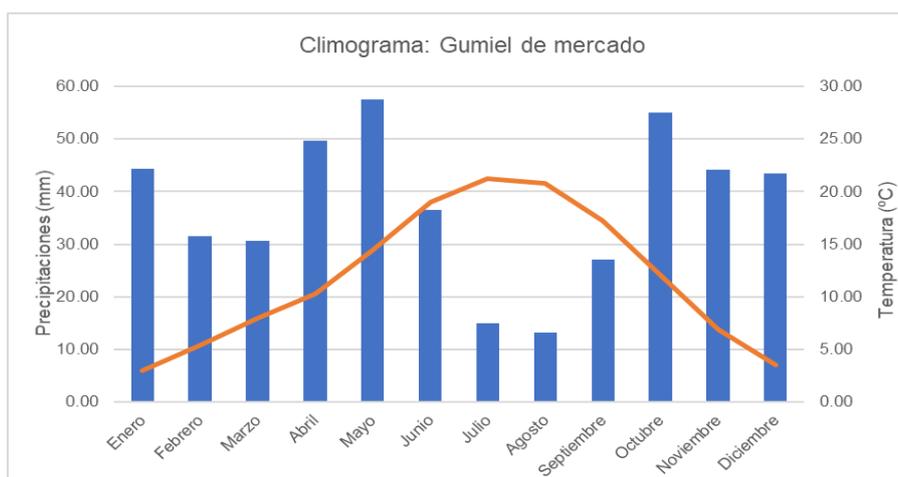


Figura 22: Climograma de Gumiel del Mercado en el periodo 1985-2021.

7.4.2.2. Análisis del NDVI.

En la Figura 23, se pueden observar conjuntamente los tres píxeles que se han escogido para el estudio en esta zona de la ribera del Duero.

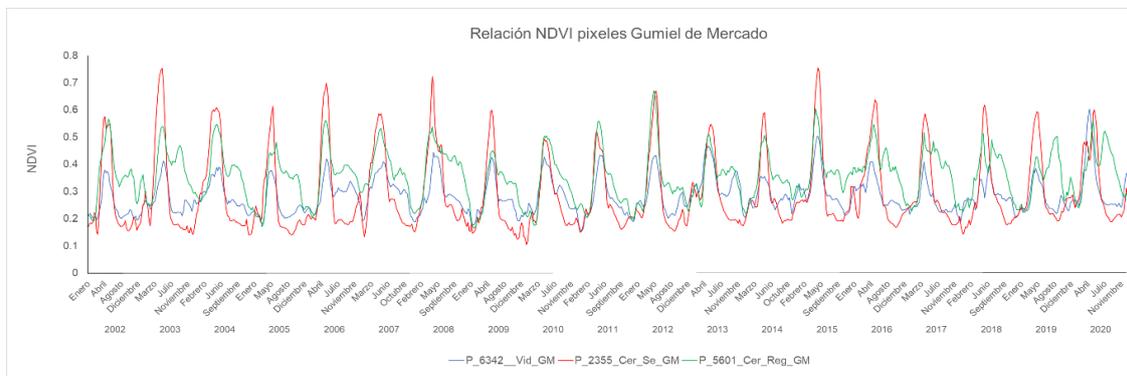


Figura 23: Series de tiempo de los NDVI analizados en Gumiel del Mercado.

7.4.2.2.1. Viñedo.

La serie que analizada a continuación en la Figura 24, es la del píxel P_9419. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de vid y se encuentra representado en el mapa de la Figura 5.

Se puede observar como la Serie NDVI tiene un ciclo estacional muy marcado, donde el NDVI empieza a crecer a finales de febrero, alcanzando el pico máximo a mediados del verano. Durante el incremento del NDVI se pueden ver varios picos, que podrían deberse a vegetación espontánea. Después de este pico máximo, el NDVI empieza a descender hasta alcanzar un mínimo a mediados del otoño. Durante la fase de descenso, vemos también unos picos que podrían explicarse por vegetación espontánea que emerge con las lluvias del otoño.

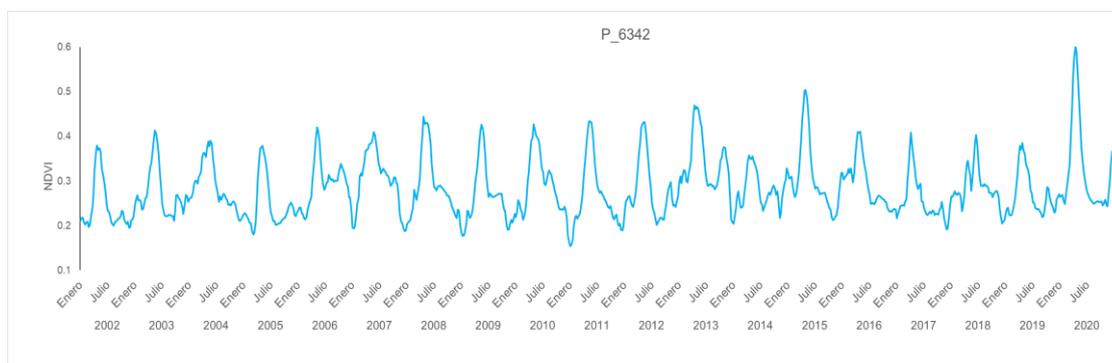


Figura 24: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Gumiel del Mercado.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

En la Figura 25, se pueden ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

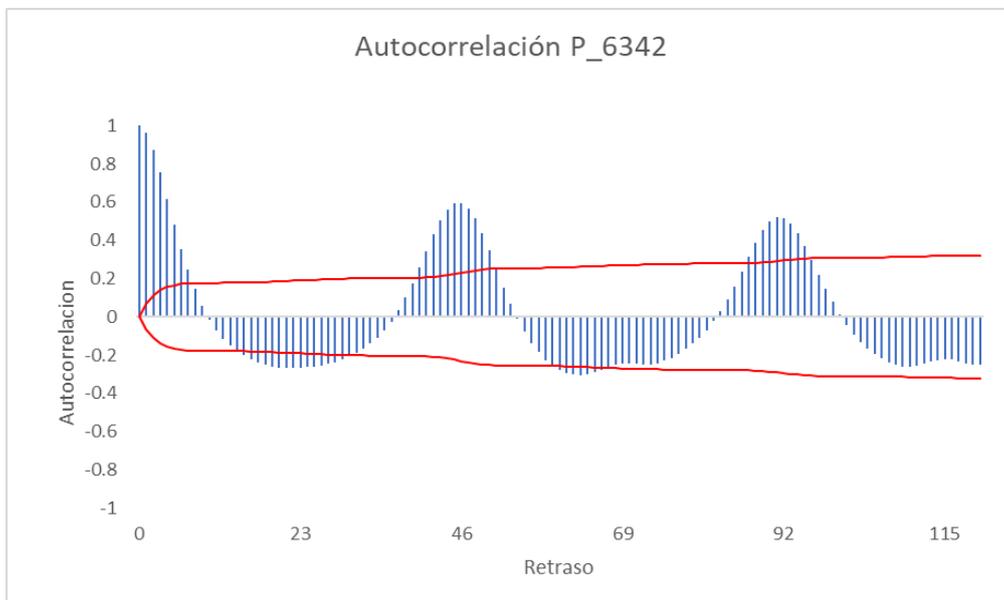


Figura 25: Autocorrelaciones de la serie P_6342.

Igual que en los casos anteriores, se observa ver en el periodograma de la Figura 26 cómo la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que estamos ante una serie estacional, que se repite cada año (46 periodos MODIS).

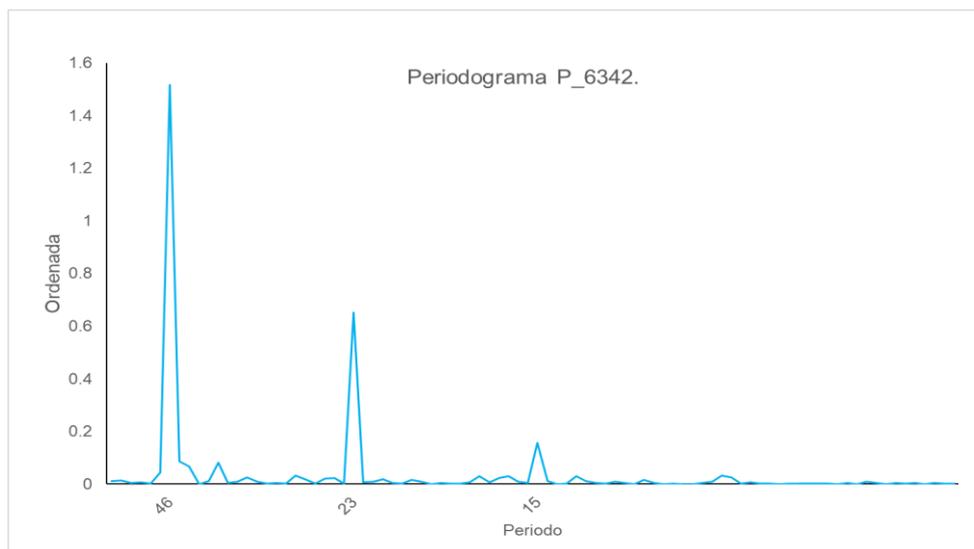


Figura 26: Periodograma de la serie P_6342.

7.4.2.2. Secano.

La serie que analizaremos a continuación en la Figura 27, es la del píxel P_2355. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de secano y se encuentra representado en el mapa de la Figura 5.

Se observa como el NDVI comienza a crecer en el mes de febrero, alcanzando su pico máximo a finales del mes de junio. Después el NDVI cae drásticamente alcanzando un mínimo a finales mes de julio o principios de agosto. Este ciclo encaja muy bien con el ciclo de un cereal invierno de secano.

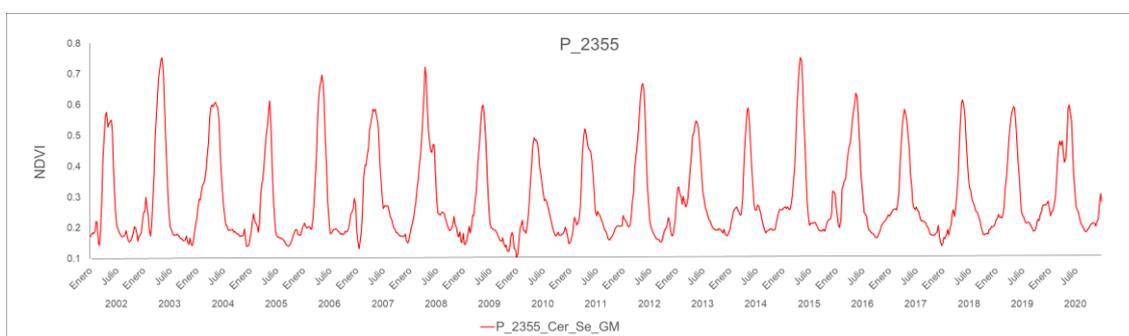


Figura 27: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Gumiel del Mercado.

En la Figura 28, se puede ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

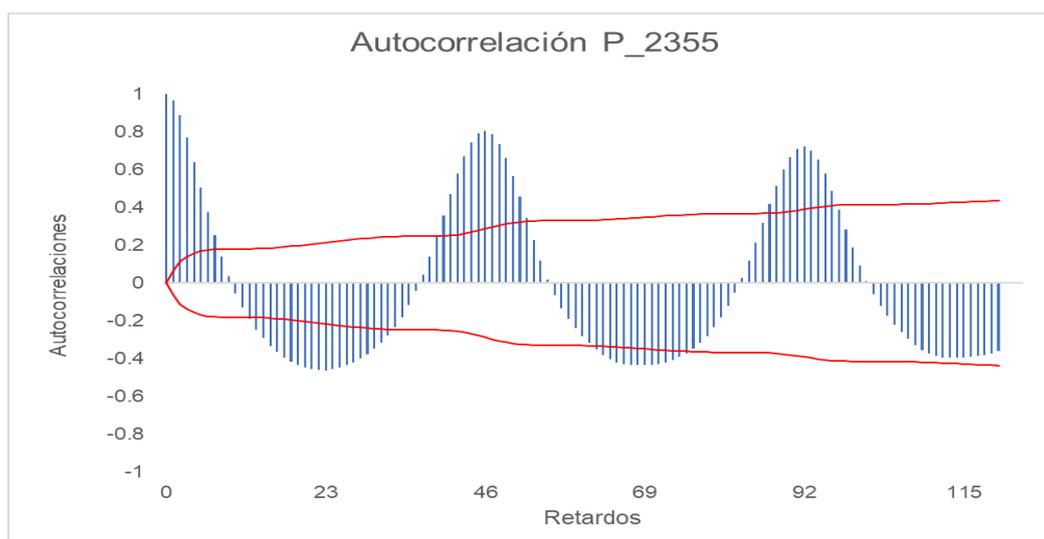


Figura 28: Autocorrelaciones de la serie P_2355.

Igual que en los casos anteriores, se puede ver en el periodograma de la Figura 29 que la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que estamos ante una serie estacional, que se repite cada año.

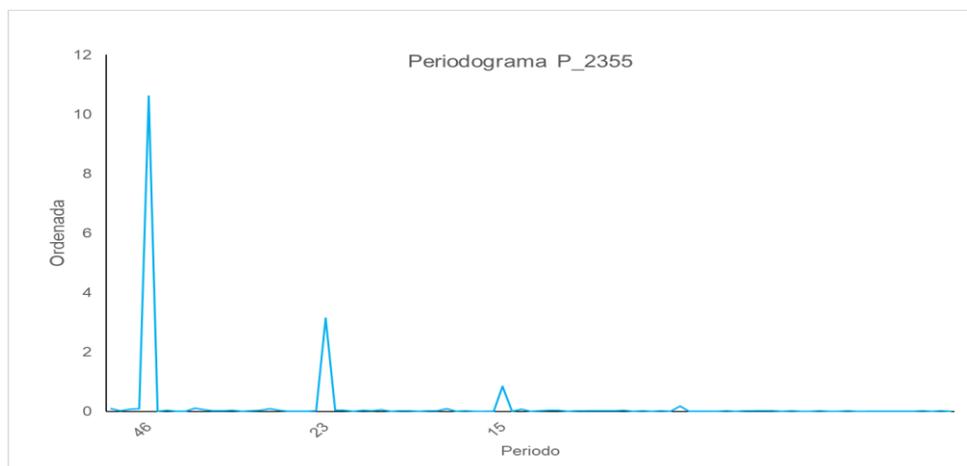


Figura 29: Periodograma de la serie P_2355.

7.4.2.2.3. Regadío.

En regadío la serie que se analizará a continuación es la del píxel P_5601, que se puede ver en la Figura 30. Este píxel se ubica en el mapa de la Figura 5. Se observa un crecimiento del NDVI sobre el mes de febrero, alcanzando un máximo de 0,6-0,7 en torno al verano. Después comienza a descender paulatinamente hasta estabilizarse a finales del verano en torno al 0,3-0,4. Finalmente volverá a descender hasta alcanzar un mínimo en invierno. Este último comportamiento puede deberse a la aparición de malas hierbas o a la existencia de alguna cubierta vegetal.

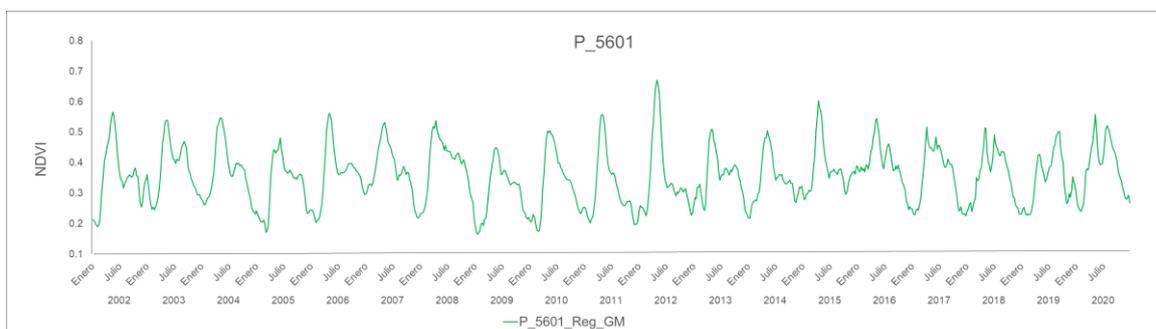


Figura 30: Serie NDVI para un píxel de regadío en el municipio de Gumiel del Mercado.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

En la Figura 31, se pueden ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

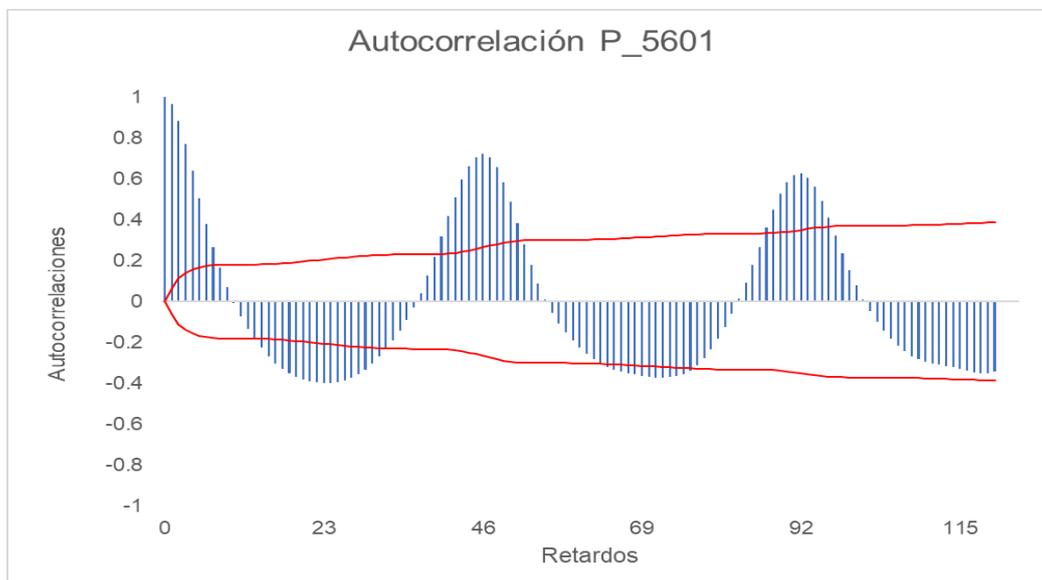


Figura 31: Autocorrelaciones de la serie P_5601.

El periodograma de la Figura 32, nos muestra, al igual que en los casos anteriores, cómo la mayor ordenada está en el periodo 46, confirmando así la estacionalidad de la serie, la cual se repite cada 46 periodos.

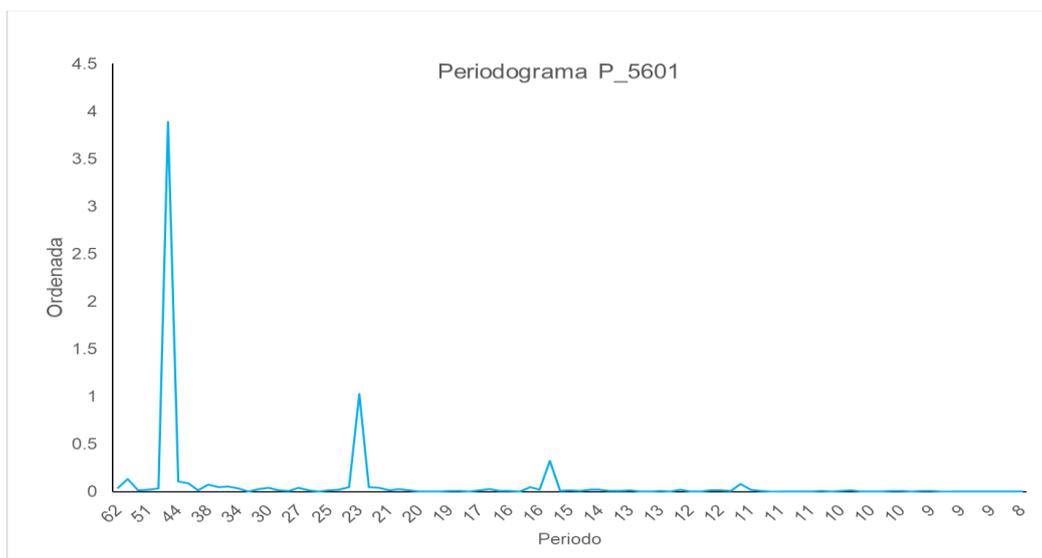


Figura 32: Periodograma de la serie P_5601.

7.4.3. Vadocondes.

7.4.3.1. Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 2002-2020.

La siguiente estación climática a analizar es la de Vadocondes. Su ubicación se puede observar en la Figura 5.

En la Figura 33, se observa la variación interanual de las precipitaciones. Como se puede observar, la serie no tiene una tendencia, sino más bien es irregular en toda la serie, con máximos y mínimos alternados, que en los últimos ciclos de la serie parecen tener más desviación.

Las precipitaciones oscilan entre el mínimo que sucedió en el año 2015, cuando cayeron 294,93 mm y el máximo, que aconteció en 2018, cuando la precipitación fue de 619,97 mm. El promedio de precipitaciones de toda la serie es de 439,72 mm.

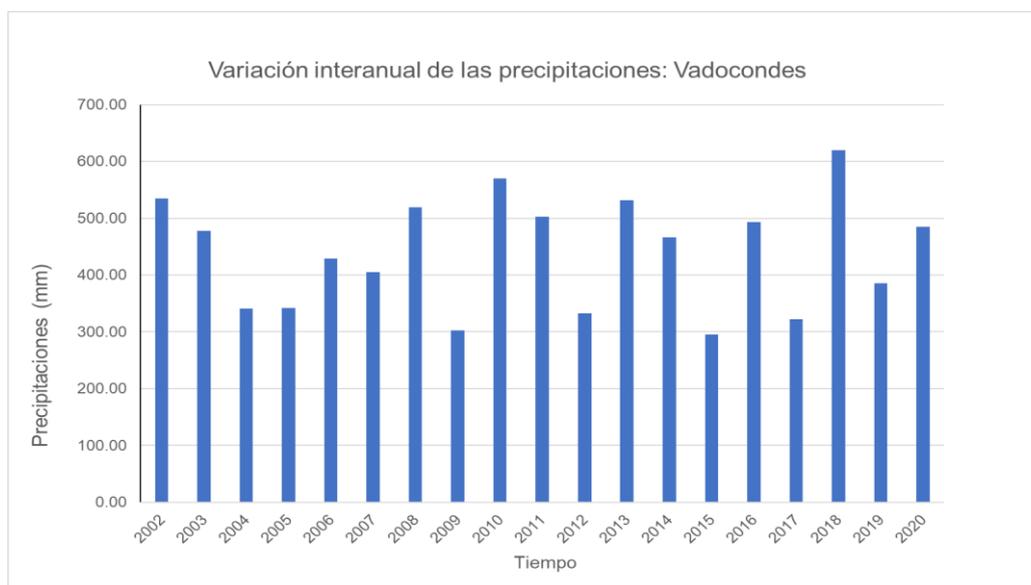


Figura 33: Variación interanual de las precipitaciones en Vadocondes durante el periodo 2002-2020.

La serie de la temperatura, que se puede ver en la Figura 34, parece tener una ligera tendencia alcista en el periodo estudiado. La temperatura máxima de la serie fue de 12,14 °C en el año 2014, mientras que la temperatura mínima se produjo en el año 2007. La temperatura media es de 11,37°C, la más baja de todas las estaciones analizadas.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

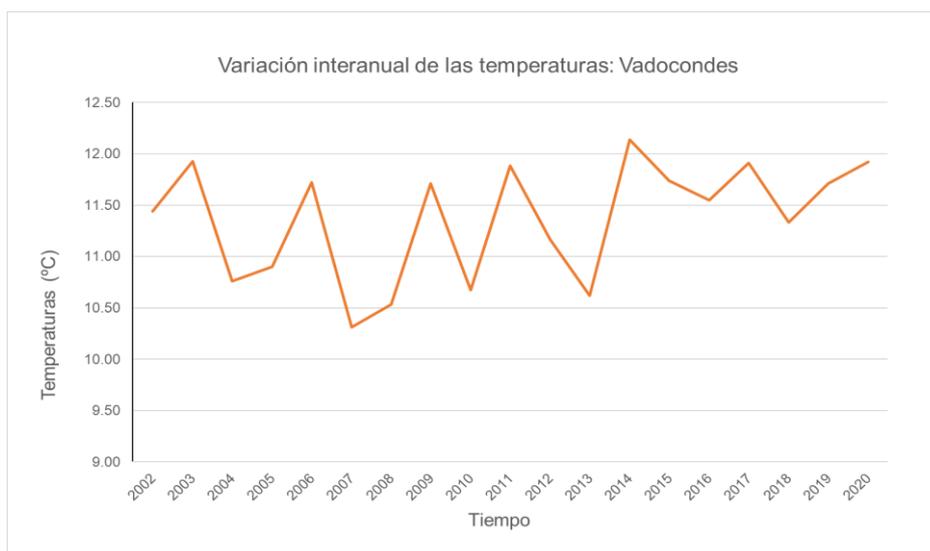


Figura 34: Variación interanual de la temperatura en Vadocondes durante el periodo 2002-2020.

En la Figura 35, se puede ver el climograma de Vadocondes. En él se puede apreciar una estación húmeda, que comprende el periodo de menores temperaturas medias y que abarca la primavera el otoño y el invierno.

También se observa una estación seca en los meses de verano, que coincide con los meses con las temperaturas medias más altas.

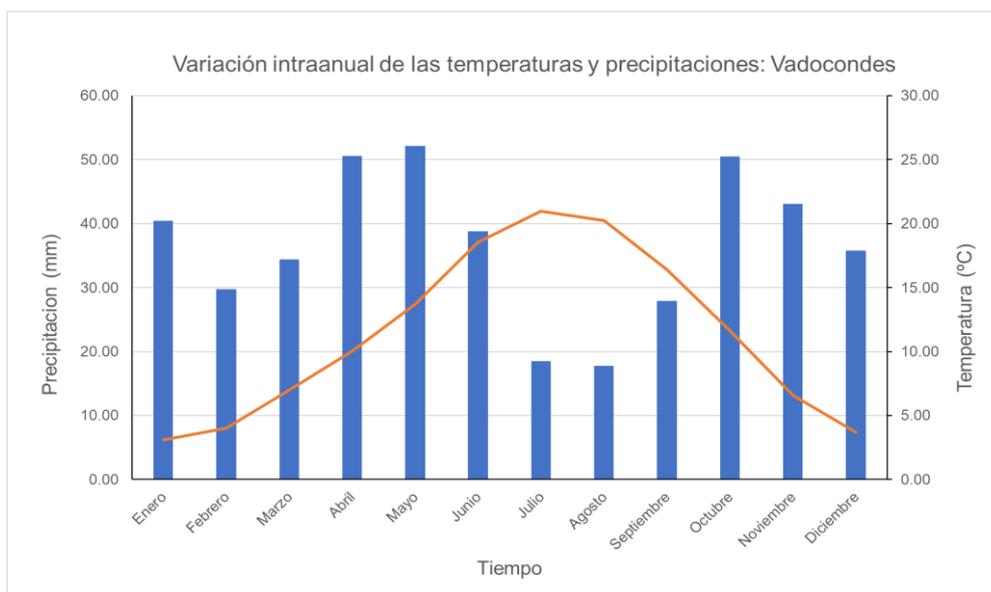


Figura 35: Climograma de Vadocondes en el periodo 2002-2020.

7.4.3.2. Análisis del NDVI.

En la Figura 36, se pueden observar conjuntamente los tres píxeles que se han escogido para el estudio en esta zona de la ribera del Duero.

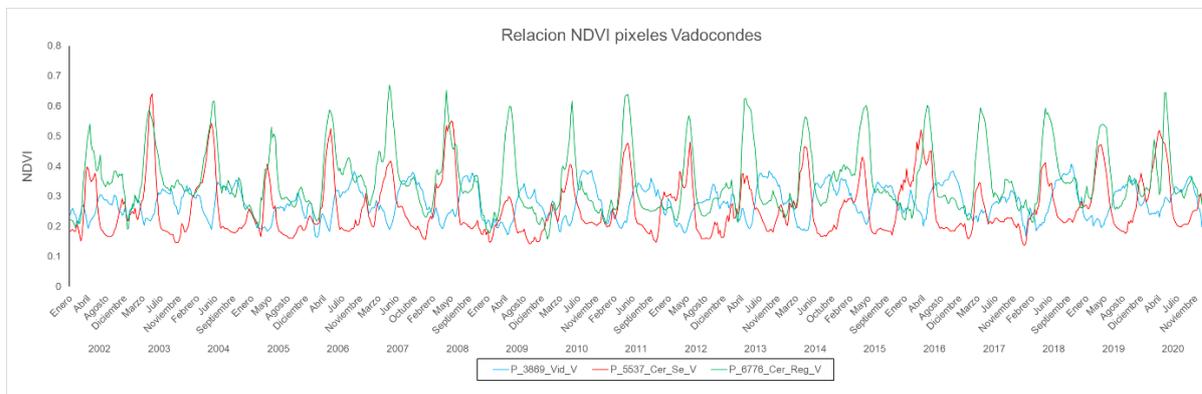


Figura 36: Series de tiempo de los NDVI analizados en Vadocondes.

7.4.3.2.1. Viñedo.

La serie que se analizará a continuación en la Figura 37, es la del píxel P_3860. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de vid y se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. Se observa que la Serie NDVI tiene un ciclo estacional muy marcado, aunque bastante irregular. En los primeros años de la serie el ciclo es distinto y, a partir de 2005, el ciclo se vuelve más regular. Esto puede deberse a que no hubiera cultivos comerciales en esa época o que el viñedo se implantase en esta época. A partir de 2005-2006. Se puede apreciar como el NDVI empieza a crecer en torno a finales de febrero, alcanzando el pico máximo a mediados del verano. Después de este pico máximo, el NDVI empieza a descender hasta alcanzar un mínimo a mediados de otoño.

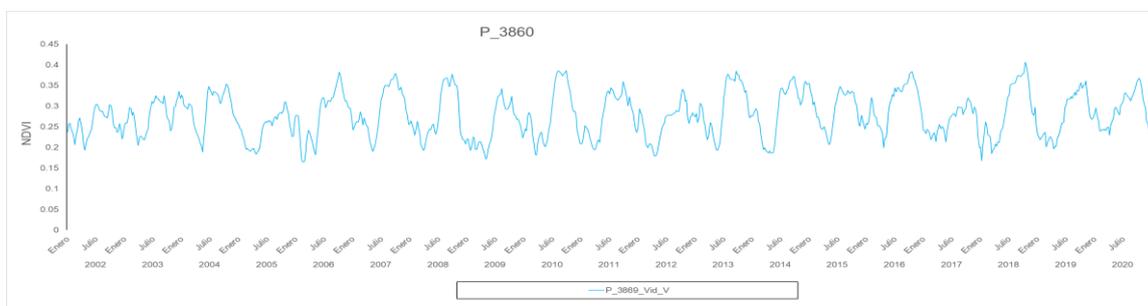


Figura 37: Serie NDVI para un píxel de viñedo en el municipio de Vadocondes.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

En la Figura 38, se pueden ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

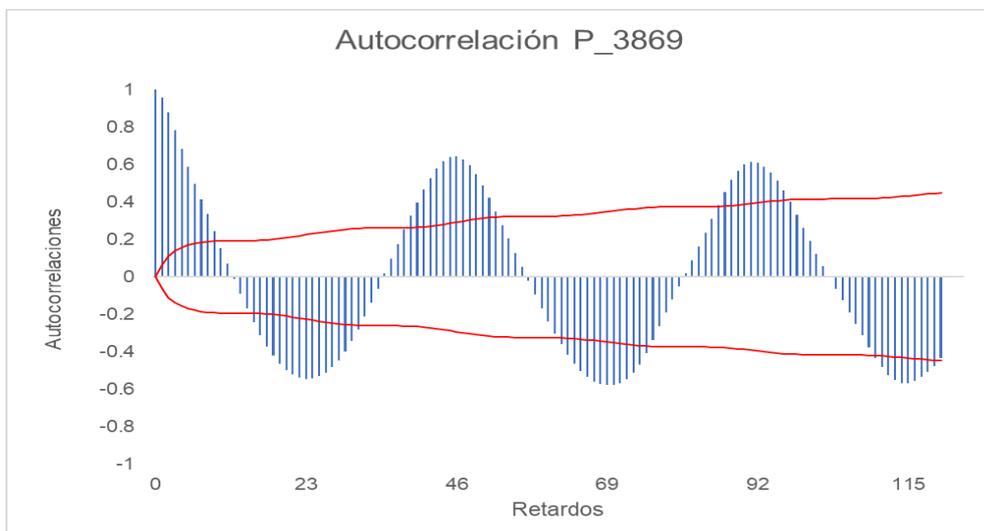


Figura 38: Autocorrelaciones para el píxel P3869.

Igual que en los casos anteriores, se observa en el periodograma de la Figura 39, que la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que se trata de una serie estacional, que se repite cada año.

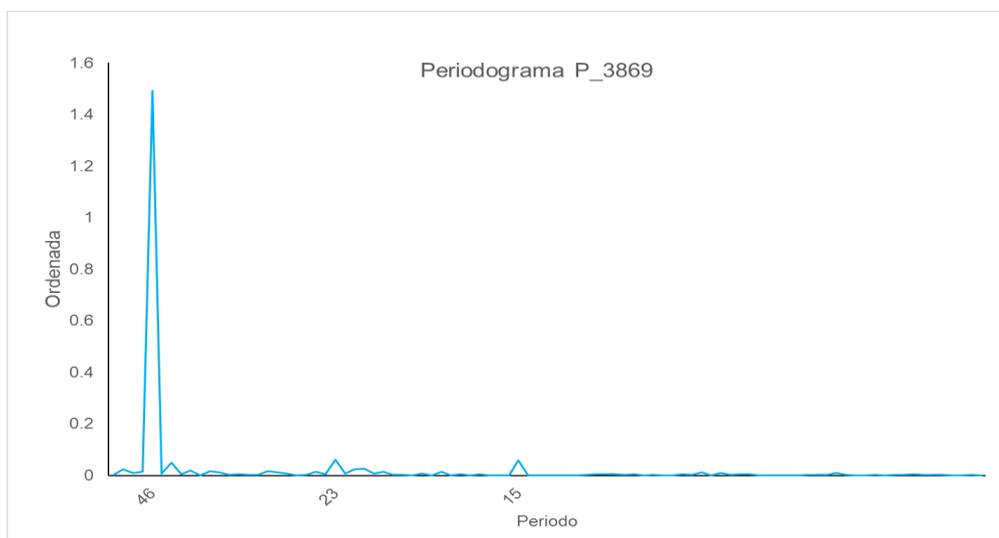


Figura 39: Periodograma de la serie P_3869.

7.4.3.2.2. Secano.

La serie que se analiza a continuación en la Figura 40, es la del píxel P_5537. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de secano y se encuentra representado en el mapa de la Figura 5.

Se observa como el NDVI comienza a crecer a finales de enero, principios de febrero, alcanzando su pico máximo a finales del mes de junio, con valores de NDVI en torno a 0,6 en los mejores años. Después el NDVI cae drásticamente alcanzando un mínimo en el mes de julio. Este ciclo cumple con el esperado para un cereal de secano

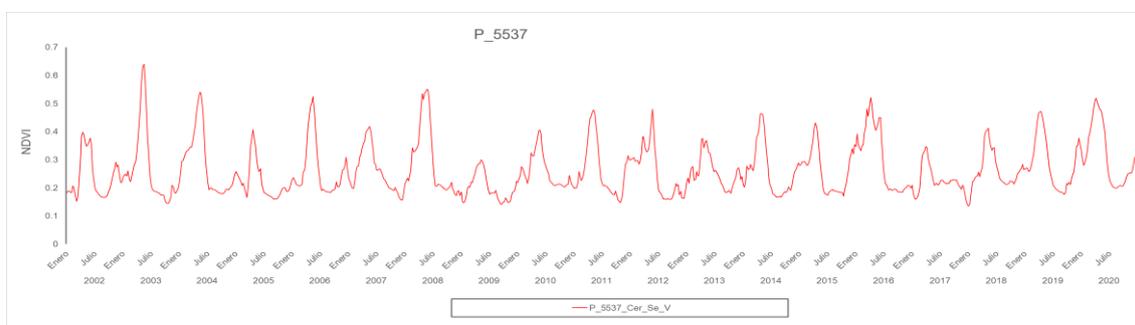


Figura 40: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Vadocondes.

En la Figura 41, se pueden ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

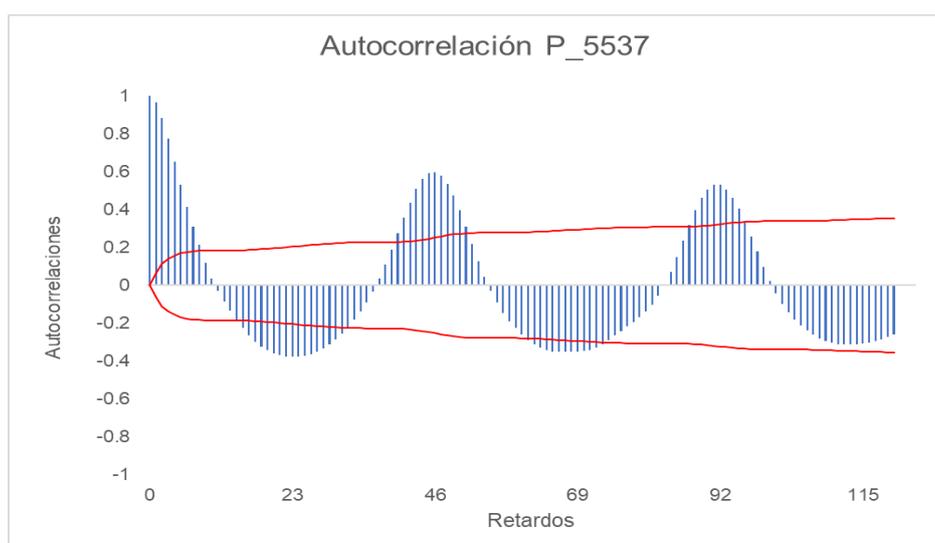


Figura 41: Autocorrelaciones para el píxel P_5537.

Igual que en los casos anteriores, se observa en el periodograma de la Figura 42 cómo la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se puede confirmar que estamos ante una serie estacional, que se repite cada año.

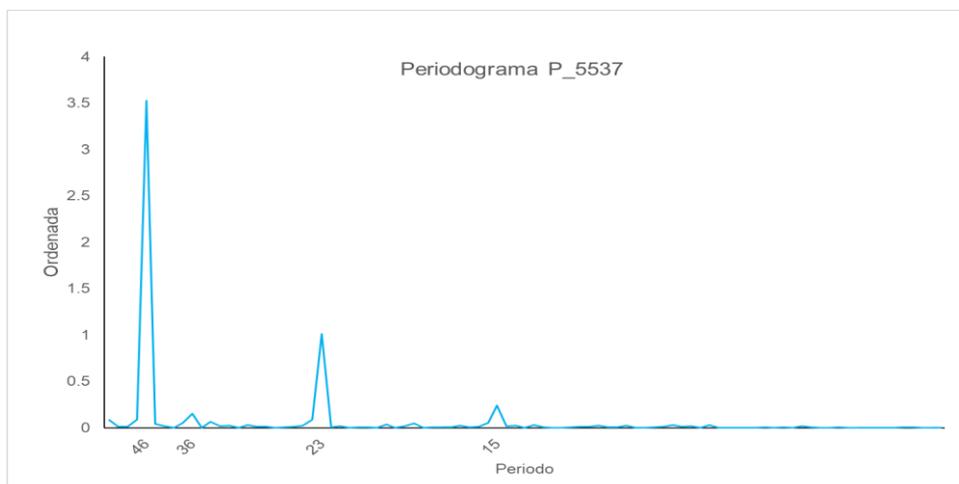


Figura 42: Periodograma de la serie P_5537.

7.4.3.2.3. Regadío.

En esta serie de la Figura 43 el NDVI comienza creciendo a finales del mes de enero, alcanzado un máximo entre finales del mes de mayo y principios de junio y descendiendo rápidamente hasta llegar a un mínimo a mediados del mes de julio. Se observa también que en otoño se produce un pico, más bajo que el anterior, el cual puede deberse a vegetación espontánea de la zona. Los valores de NDVI máximos está en torno a 0,5-0,6 y los mínimos en torno a 0,2.

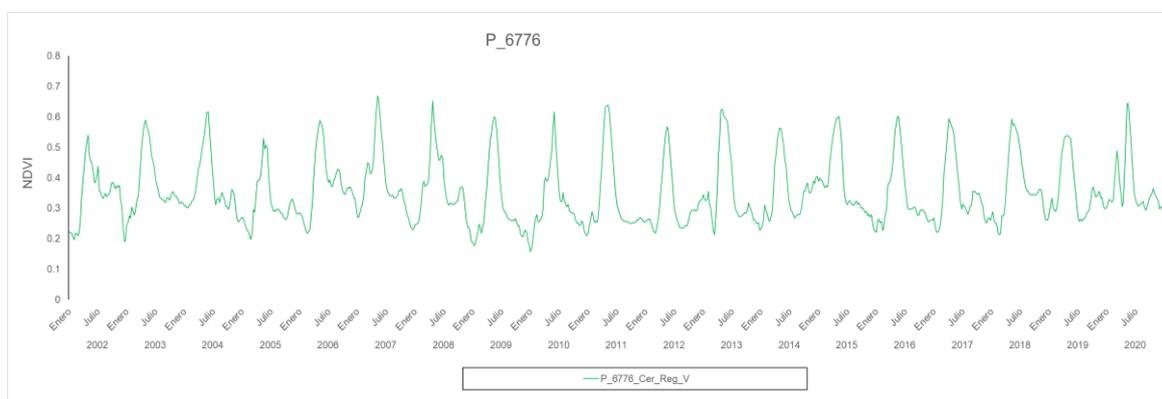


Figura 43: Serie NDVI para un píxel de secano en el municipio de Vadocondes.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

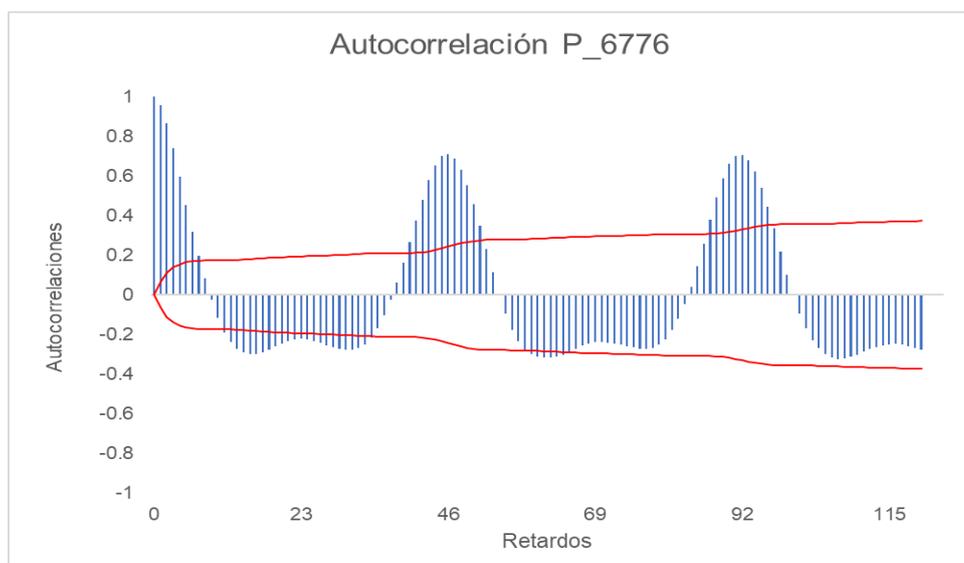


Figura 44: Autocorrelaciones para la serie P_6776.

En la Figura 44, se observa la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

En el Periodograma, que se ve en la Figura 45 se puede ver como la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que estamos ante una serie estacional, que se repite cada año, existiendo unos armónicos en el periodo 23 (medio año) y periodo 15.

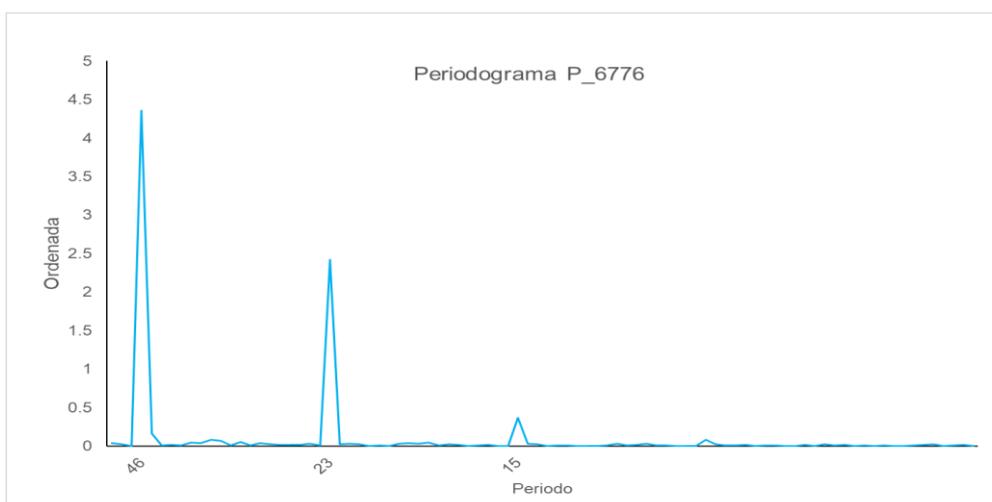


Figura 45: Periodograma para la serie P_6776.

7.4.4. Hontoria de Valdearados.

7.4.4.1. Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021.

La siguiente estación estudiada, fue la de Hontoria de Valdearados. En la Figura 46 se observa el patrón interanual de precipitaciones en el periodo 1985-2021. No se puede ver una tendencia en la serie, aunque las diferencias entre años con más precipitaciones y años con menos precipitaciones parecen incrementarse al final de la serie. se observa que el mínimo de precipitaciones se sitúa en el año 1990, con 322,4 mm y el máximo de precipitaciones se sitúa en el año 1997, cuando se alcanzaron las 705,1 mm.

La precipitación media fue la más alta de todas las estaciones analizadas en el periodo de estudio con 477,88mm.

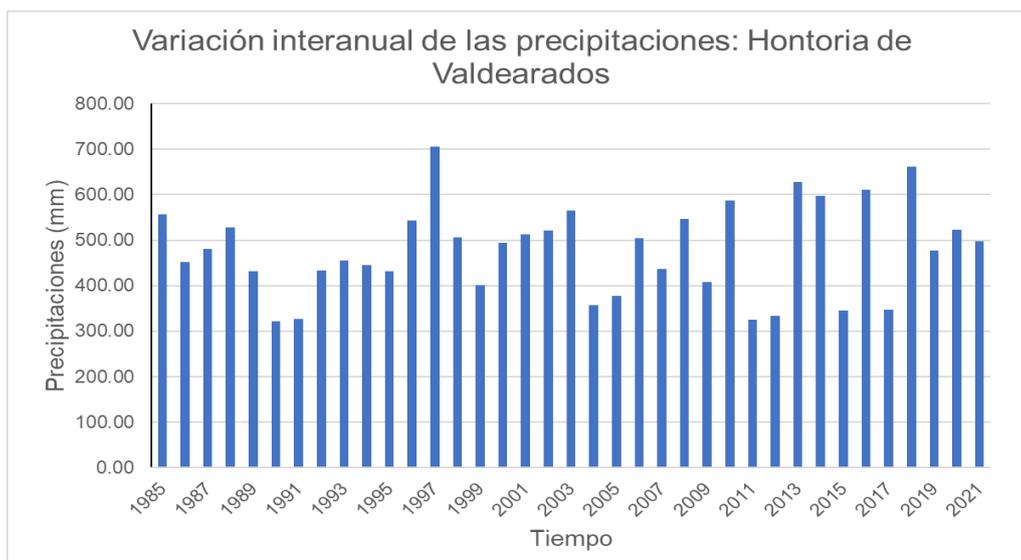


Figura 46: Variación interanual de la precipitación en Hontoria de Valdearados en el periodo 1985-2021.

Respecto a la temperatura, en la Figura 47 se observa la serie en el mismo periodo temporal. Se puede ver comparando el primer y último año una ligera tendencia. Nos encontramos ante una serie con una media de 11,82°C y un mínimo de 10,41°C (año 1993) y un máximo de 13,32°C (año 2012).

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

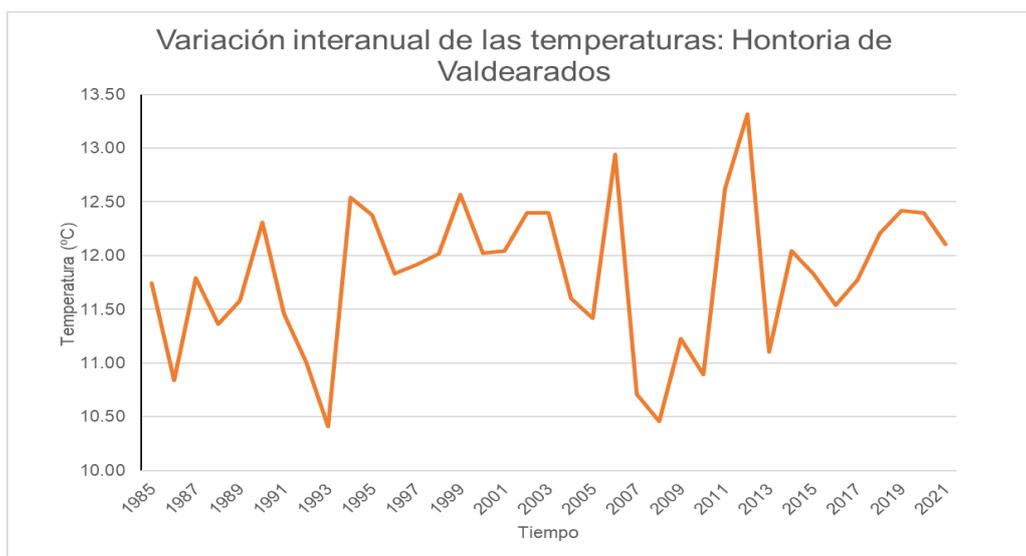


Figura 47: Variación interanual de las temperaturas en la estación climática de Hontoria de Valdearados en el periodo 1985-2021

En la Figura 48, se observa el climograma, en el cual se puede apreciar una estación húmeda, que comprende con el periodo de menores temperaturas medias y que comprende la primavera, el otoño y el invierno.

También se observa una estación seca en los meses de verano, que coincide con los meses con las temperaturas medias más altas.

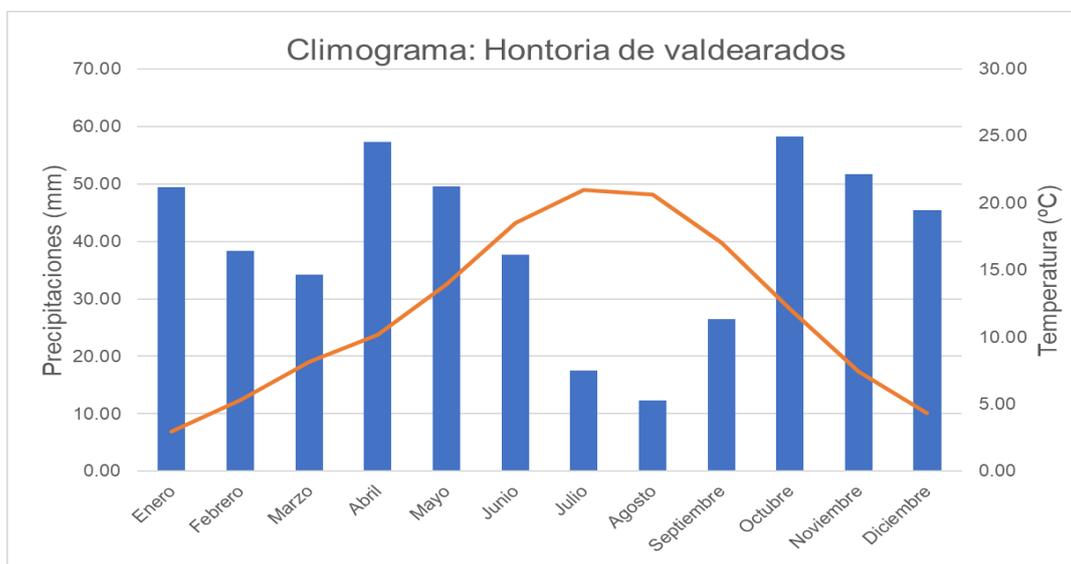


Figura 48: Climograma de Hontoria de Valdearados.

7.4.4.2. Análisis del NDVI.

En la Figura 49, se pueden observar conjuntamente los tres píxeles que se han escogido para el estudio en esta zona de la ribera del Duero.

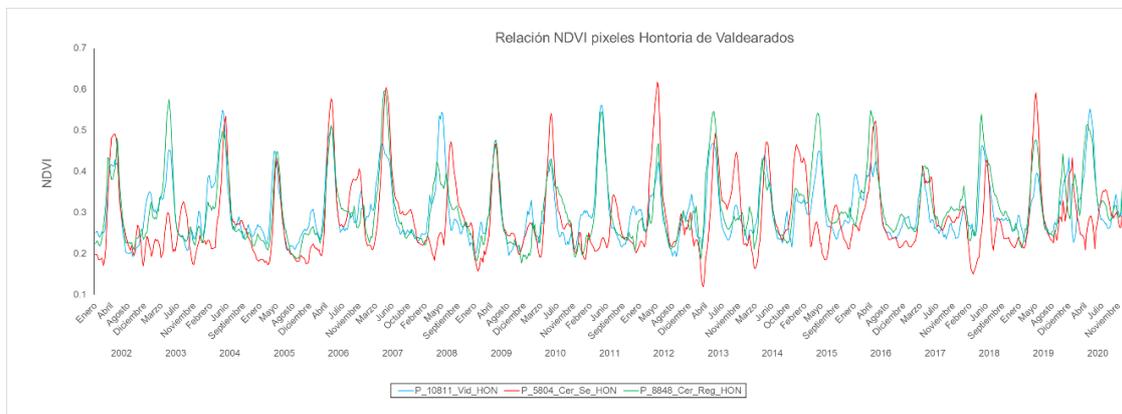


Figura 49: Series de tiempo de los NDVI analizados en Hontoria de Valdearados.

7.4.4.2.1. Viñedo.

La Figura 50 muestra la serie de NDVI del píxel P_10811. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de vid y se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. En la serie, a finales del mes de febrero, el NDVI empieza a crecer hasta alcanzar un pico a principios del verano.

Se observa también en la serie que los NDVI máximos se alcanzan en torno a 0,4-0,55. También se observan una serie de picos más bajos al principio y al final de cada ciclo, que podrían deberse a vegetación espontanea o a alguna cubierta vegetal.

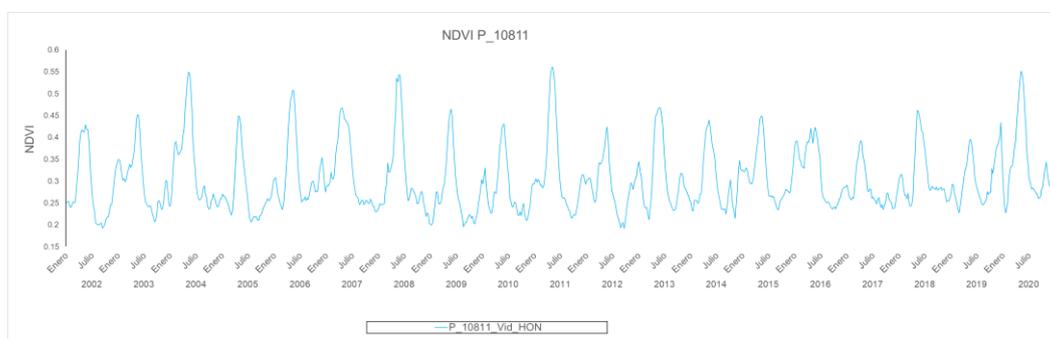


Figura 50: Serie de NDVI del píxel P_10811.

En la Figura 51, se observa la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

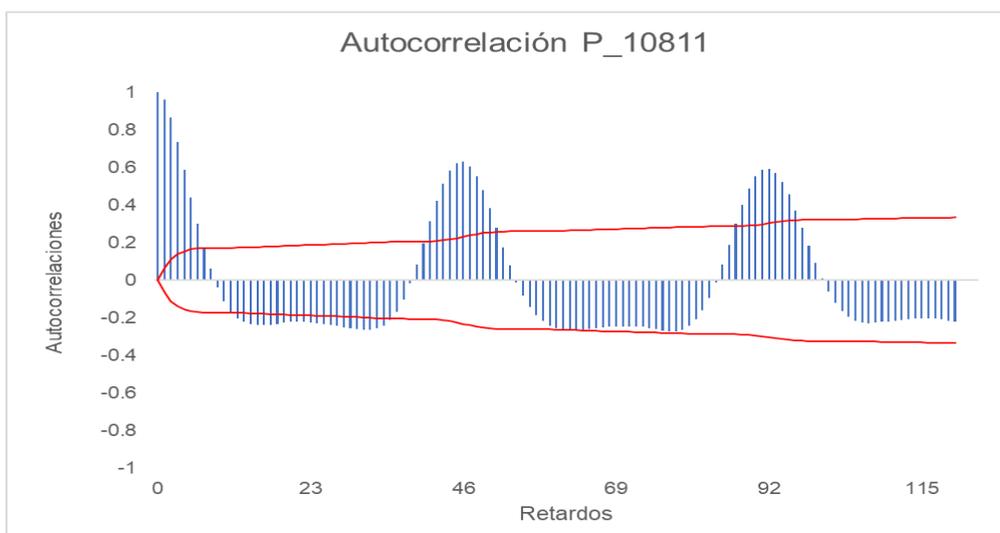


Figura 51: Autocorrelaciones para la serie P_10811.

Igual que en los casos anteriores, se observa que la mayor ordenada está en el Figura 52, con lo cual se puede confirmar que se está ante una serie estacional, que se repite cada año (46 periodos MODIS).

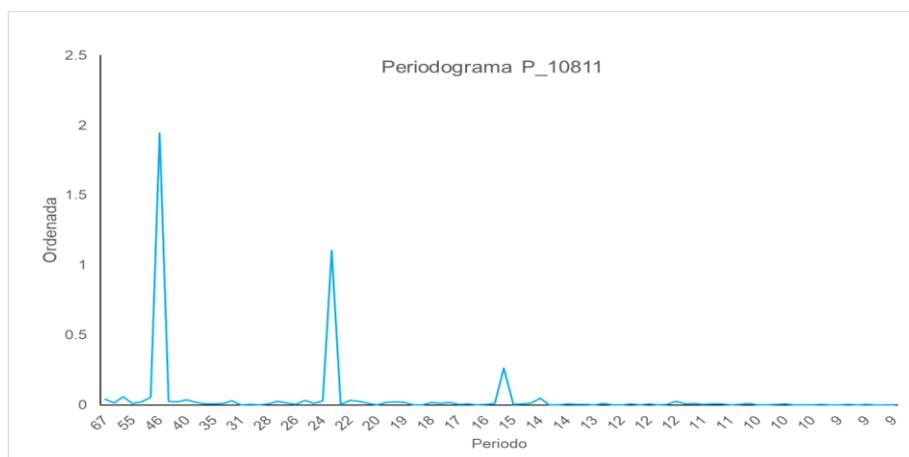


Figura 52: Periodograma de la serie P_10811.

7.4.4.2.2. Secano.

La serie que se analiza a continuación en la Figura 53, es la del píxel P_5804. Este píxel pertenece a una zona de cultivo de secano y se puede ubicar en el mapa de la Figura 5. Vemos una serie bastante irregular, donde no se ve todos los años un patrón claro de cultivo de cereal, como cabría esperar. Sin embargo, existen varios años como 2008 o 2011, donde sí se puede apreciar más claramente el patrón de un cereal de secano.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

El NDVI de la serie tiene máximos en torno a 0,5 y 0,6, los cuales se pueden observar a principios del verano. Estos valores son bajos para un cultivo de cereal, que suele estar en torno a 0,7.

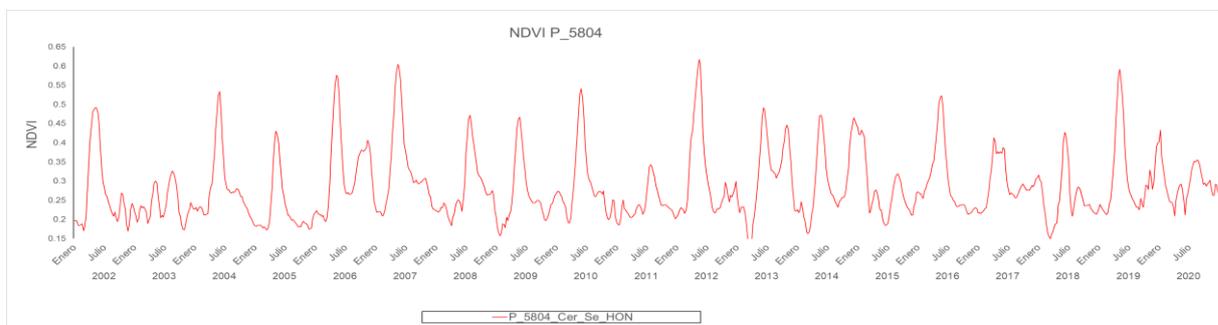


Figura 53: Serie de NDVI del píxel P_5804.

En la función de autocorrelación de la Figura 54, vemos como los coeficientes para el retardo 46 (un año) son poco significativos, mientras que para el retardo 92 (2 años) aumentan.

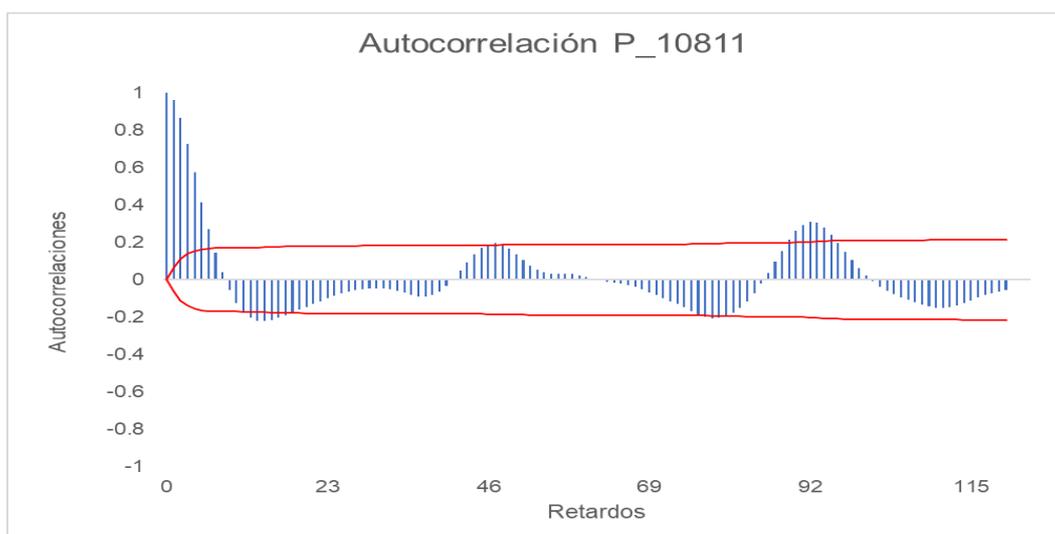


Figura 54: Autocorrelaciones de la serie P_5804.

En la Figura 55 tenemos representado el periodograma de la serie. En él se puede ver cómo el periodo más importante es el 46 (un año) seguido del periodo 23 (medio año). Sin embargo, también aparecen otros periodos bastante significativos. Esto puede deberse a que en ese píxel no se cultiva todos los años, o que se haya cambiado varias veces de cultivo en esa zona.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

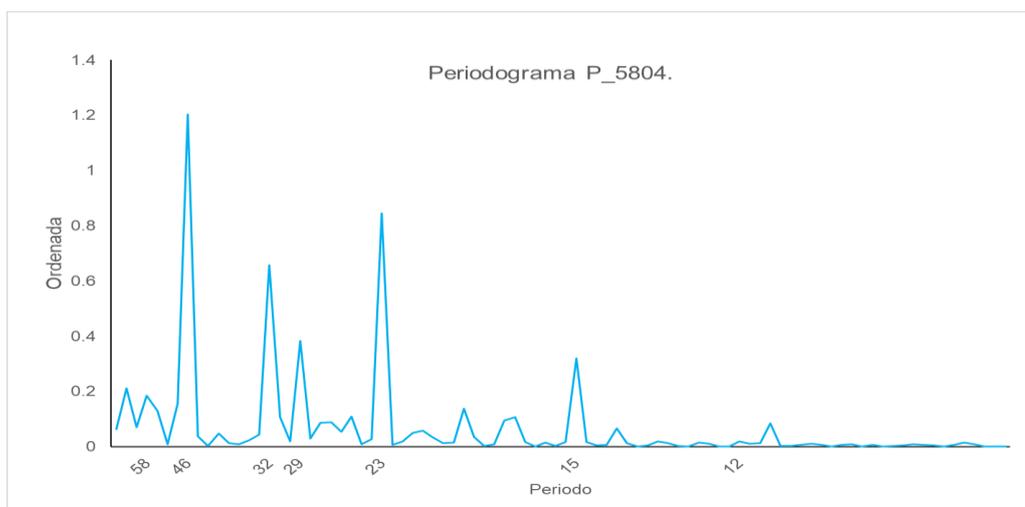


Figura 55: Periodograma de la serie P5804.

7.4.4.2.3. Regadío.

La siguiente serie que se analizará a continuación en la Figura 56, es la del píxel P_8848, que pertenece a una zona de cultivo de regadío, la cual se puede ver representada en el mapa de la Figura 5.

En la serie observada, el NDVI empieza a crecer en torno al mes de enero y alcanza su máximo a principios del verano. Este máximo está en torno al 0,4-0,6. Se observa ciertos repuntes en el NDVI a finales del otoño, los cuales pueden estar producidos por la presencia de vegetación espontanea que crezca con las lluvias otoñales.

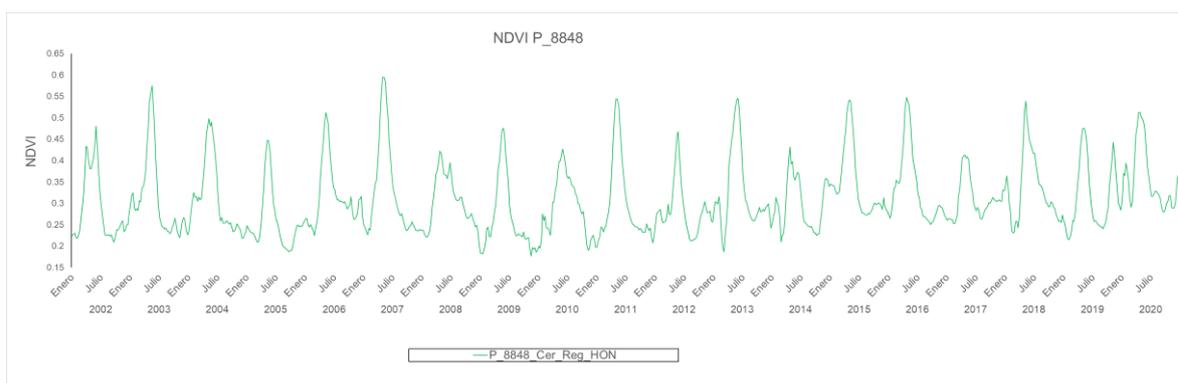


Figura 56: Serie de NDVI del píxel P_8848.

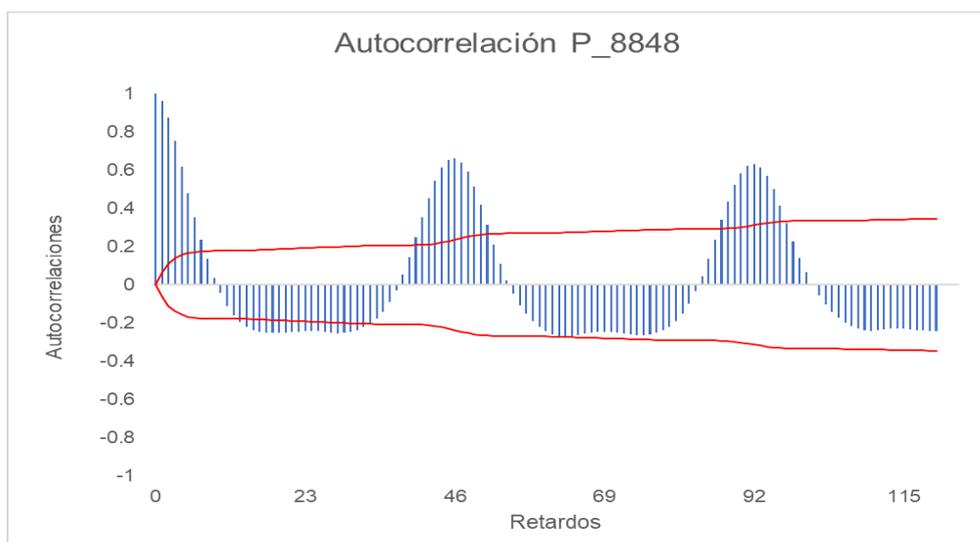


Figura 57: Autocorrelaciones de la serie P_8848.

En la Figura 57, se observa la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

El periodograma de la Figura 58 muestra que la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que se está ante una serie estacional, que se repite cada año.

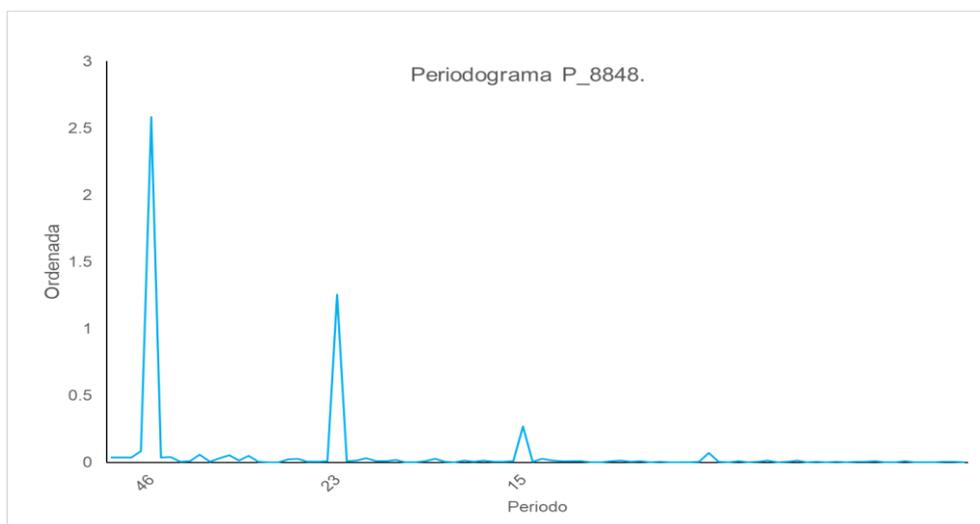


Figura 58: periodograma de la serie P_8848.

7.4.5. San Esteban de Gormaz.

7.4.5.1. Análisis de la temperatura y la precipitación en el periodo 1985-2021.

En la Figura 59, se observa el patrón interanual de precipitaciones en el periodo 1985-2021 de la estación climática de San Esteban de Gormaz. En la serie de las precipitaciones en el periodo de tiempo estudiado no se puede ver una tendencia en la serie a simple vista, aunque como pasó en la estación de Hontoria de Valdearados, las diferencias entre años con más precipitaciones y años con menos precipitaciones parece incrementarse al final de la serie.

Se observa que el mínimo de precipitaciones fue en el año 2009, con 287,5 mm. El máximo de precipitaciones fue año 1997, cuando se alcanzaron las 731,7,1 mm. El promedio de la serie es de 466,98 mm.

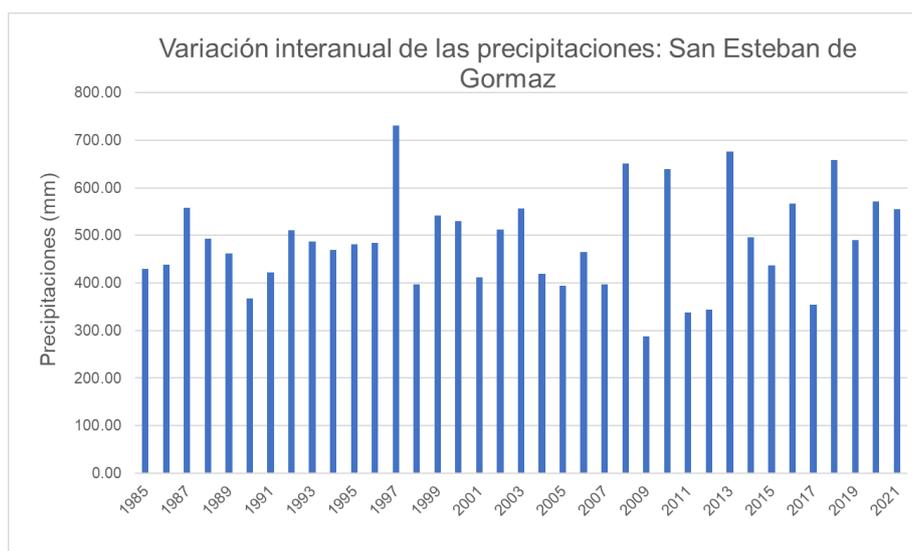


Figura 59: Variación interanual de las precipitaciones en San Esteban de Gormaz en el periodo 1985-2021.

Respecto a la temperatura, en la Figura 60 se puede observar la serie en el mismo periodo temporal.

En esta serie se puede ver una ligera tendencia al alza si se observa la serie de forma global, pero si se analiza la serie más detalladamente, se detectan varios tramos de tendencia ascendente y descendente similares a los de la estación de Gumiel del Mercado. Se trata de una serie con una media de 12,18°C donde el mínimo de 9,41°C se alcanza en el año 2007 y el máximo de 13,75°C se alcanza en el 2009.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

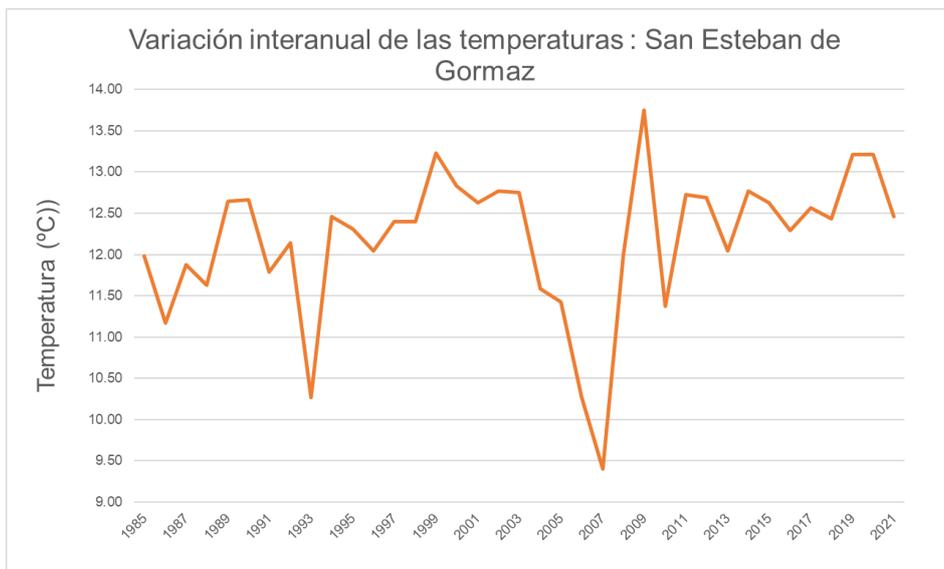


Figura 60: Variación interanual de las temperaturas en San Esteban de Gormaz en el periodo 1985-2021.

En la Figura 61, se observa el climograma de San Esteban de Gormaz. En él se puede apreciar una estación húmeda, que comprende el periodo de menores temperaturas medias y que abarca la primavera, el otoño y el invierno. También aprecia una estación seca en los meses de verano, que coincide con los meses con las temperaturas medias más altas.

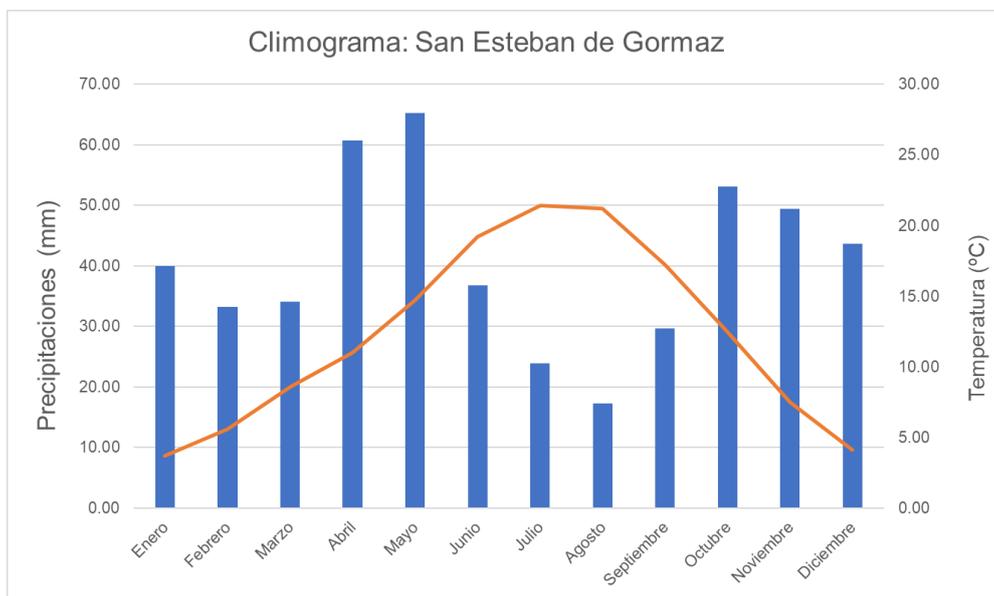


Figura 61: Climograma de San Esteban de Gormaz.

7.4.5.2. Análisis del NDVI.

En la Figura 62, se pueden observar conjuntamente los tres píxeles que se han escogido para el estudio en esta zona de la ribera del Duero.

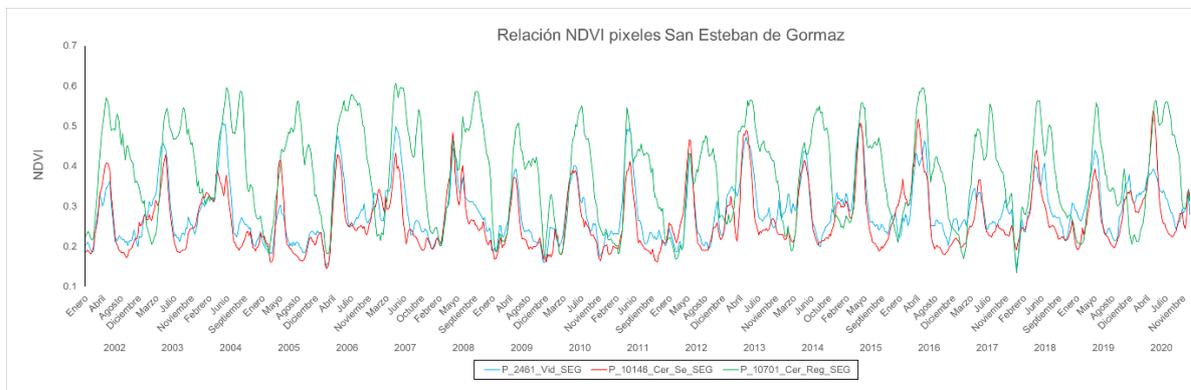


Figura 62: Series de tiempo de los NDVI analizados en San Esteban de Gormaz.

7.4.5.2.1. Viñedo.

Esta serie (Figura 63), que se puede ubicar en la Figura 5, se puede ver cómo el NDVI tiene un ciclo anual bastante marcado, aunque menos que en otras series ya estudiadas anteriormente en este trabajo. Se trata de una serie que se mueve desde valores de NDVI de 0,15 en los meses de invierno, a 0,5 en los meses de verano. A finales de febrero, el NDVI empieza a subir alcanzando un pico en los meses de verano, en el mes de junio aproximadamente, y después empieza a descender hasta alcanzar el mínimo. En algunos ciclos, se observa un segundo pico a mediados de otoño, que puede ser debido a la aparición de vegetación espontánea que crece con las lluvias otoñales.

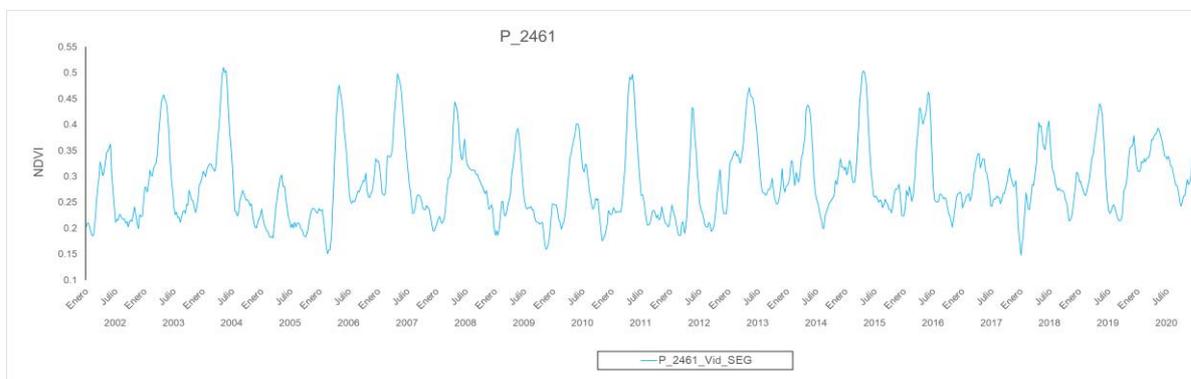


Figura 63: Serie de NDVI del píxel P_2461.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

En la Figura 64, se puede ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

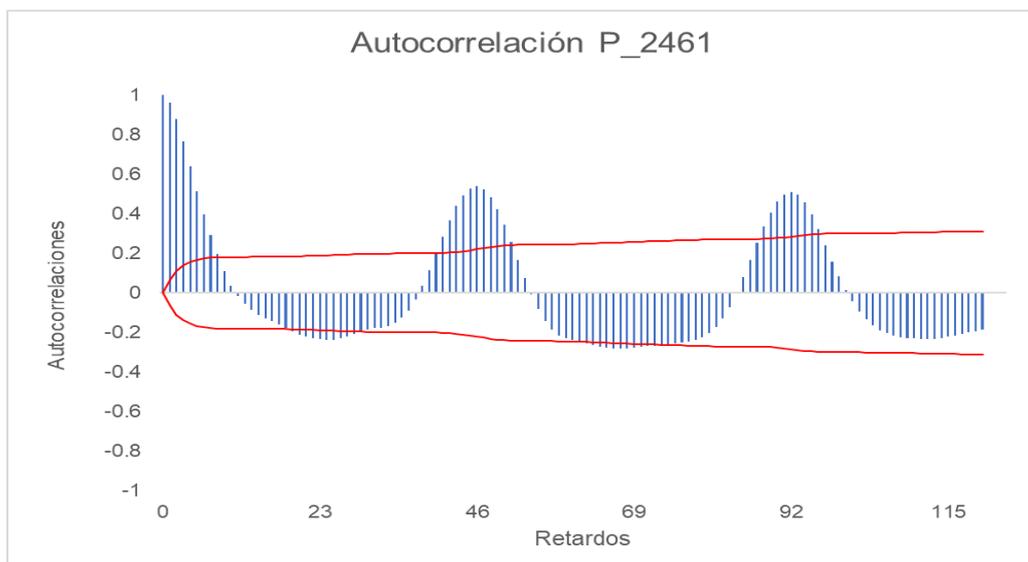


Figura 64: Autocorrelaciones de la serie P_2461.

Igual que en los casos anteriores, se puede ver en la Figura 65, el periodograma. En él se puede observar que la mayor ordenada está en el periodo 46, con lo cual se confirma que se está ante una serie estacional, que se repite cada año.

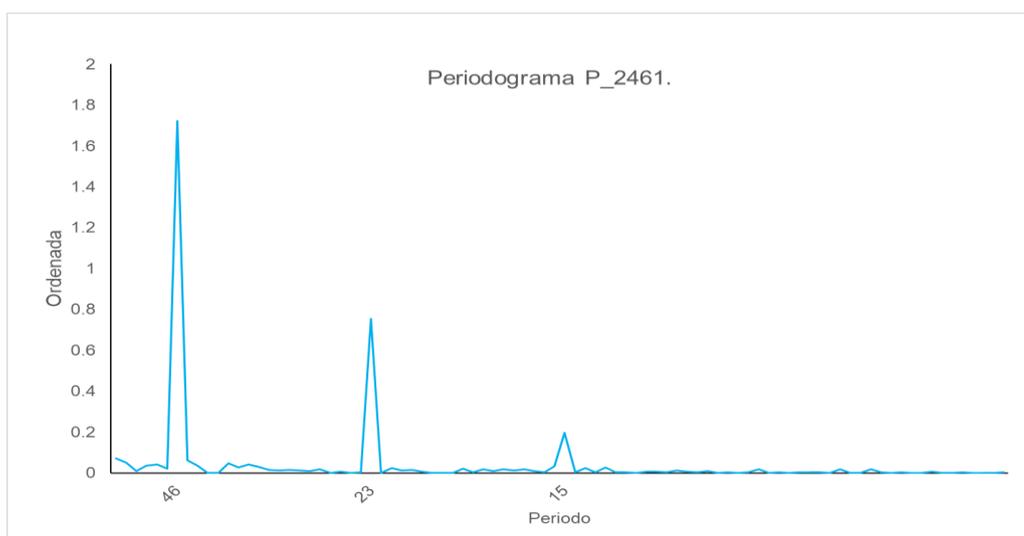


Figura 65: Periodograma de la serie P_2461.

7.4.5.2.2. Secano.

La siguiente serie es la del píxel P_10146, que puede ubicarse en la Figura 5. Se observa en la Figura 66, que el NDVI empieza a crecer en enero. A partir de junio el NDVI comienza a descender hasta llegar al mínimo a final del verano. Los valores máximos de NDVI en este píxel están en torno a 0,5.

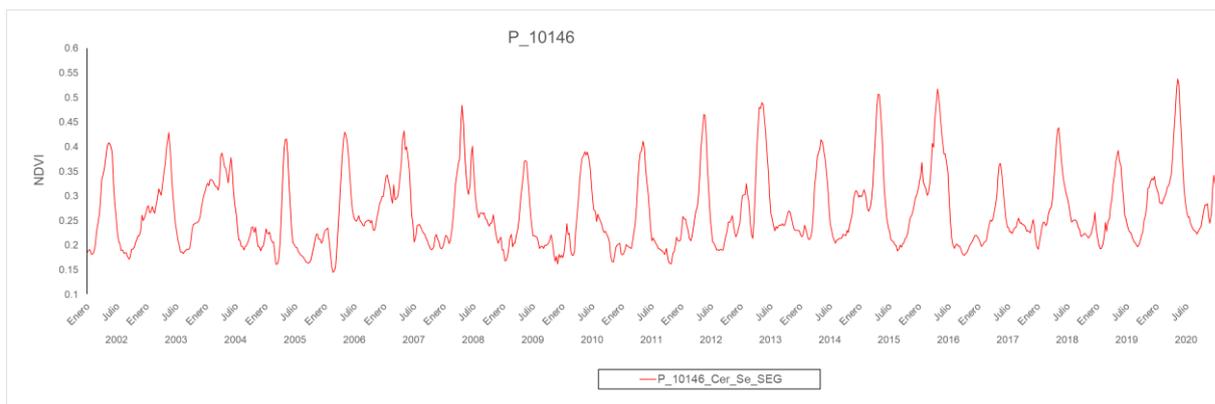


Figura 66: Serie de NDVI del píxel P_10146.

En la Figura 67, se puede ver la función de autocorrelación de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

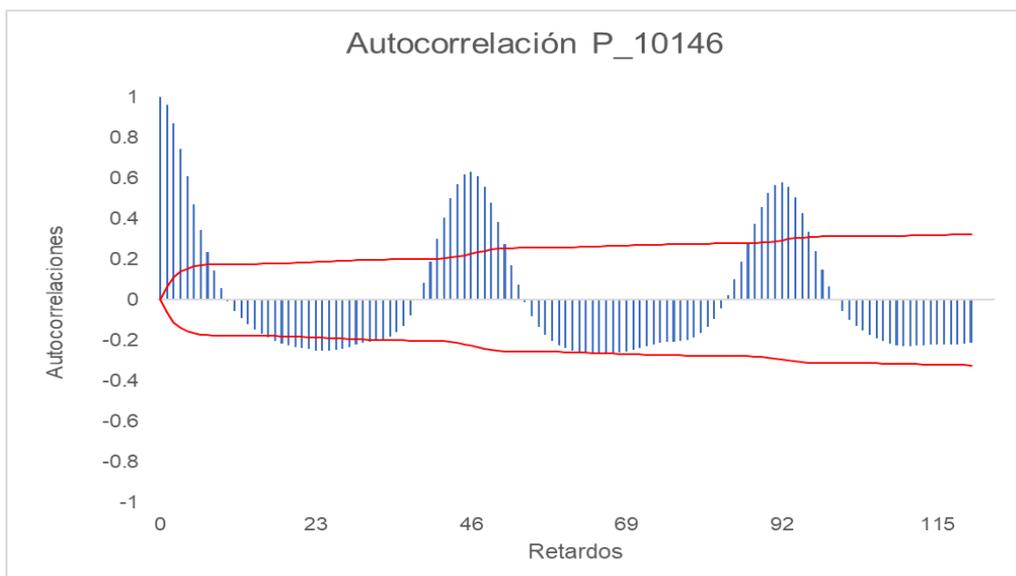


Figura 67: autocorrelaciones de la serie P_10146.

El periodograma de la Figura 68, confirma que se está ante una serie estacional, ya que la mayor ordenada está en el periodo 46.

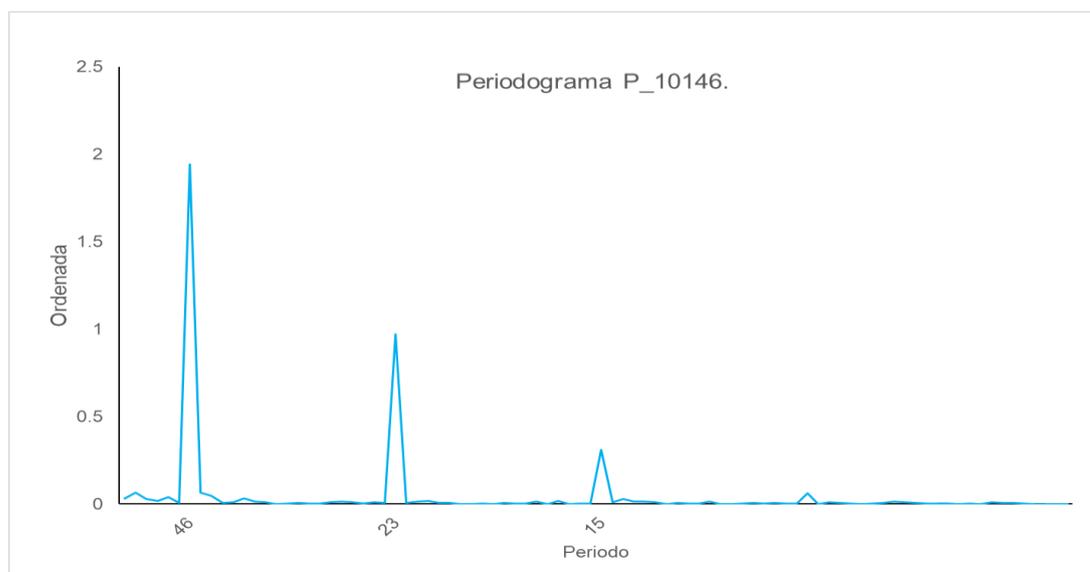


Figura 68: Periodograma de la serie P_10146.

7.4.5.2.3. Regadío.

En este caso, se va a analizar el píxel P_10701. En la serie de NDVI que se puede ver en la Figura 69, se observa un ciclo de cereal en regadío. El ciclo empieza a finales de enero, donde sube muy rápidamente el NDVI hasta valores de 0,6 en torno a los meses estivales y después decrece hasta alcanzar un mínimo en los meses del final del otoño.

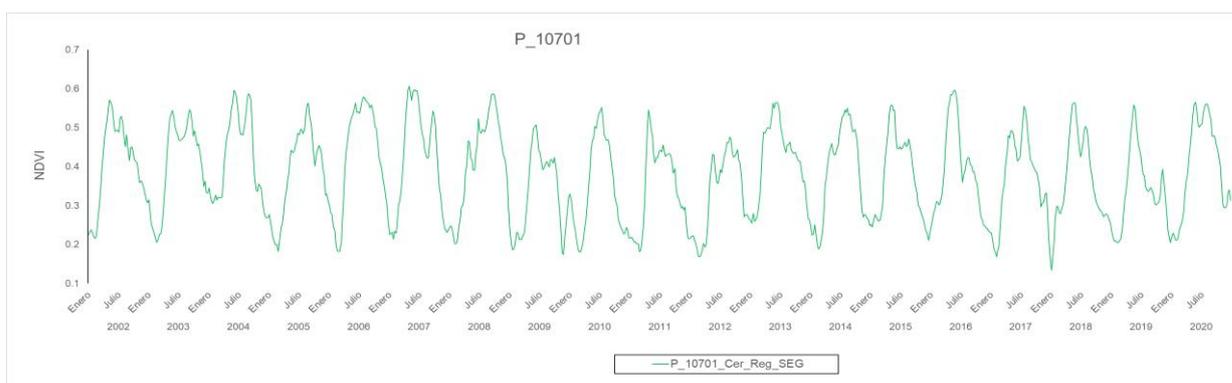


Figura 69: Serie de NDVI del píxel P_10701.

En la Figura 70, se puede ver la gráfica de autocorrelaciones de la serie para el NDVI, en la que se puede apreciar el marcado patrón estacional cada 46 retardos.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

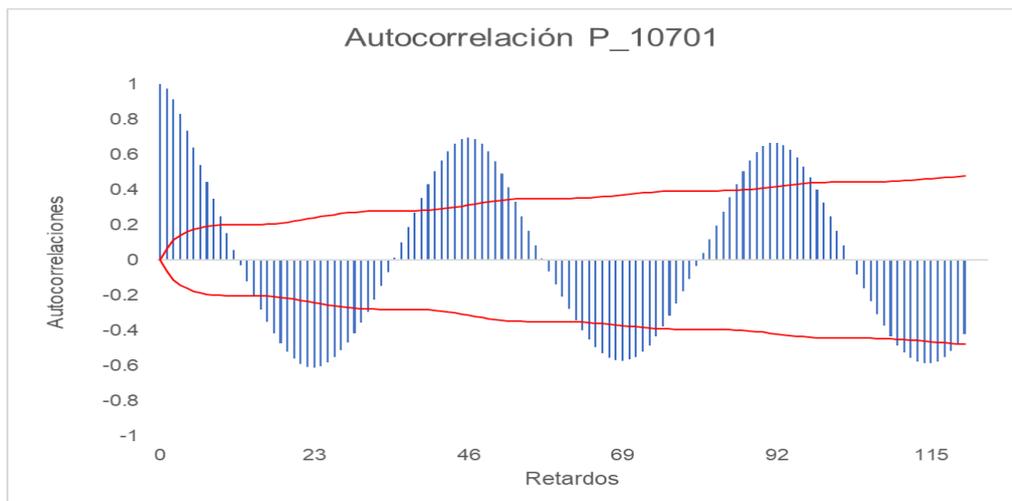


Figura 70: autocorrelaciones de la serie P_10701.

El periodograma de la Figura 71, confirma que estamos ante una serie estacional, ya que la mayor ordenada está en el periodo 46.

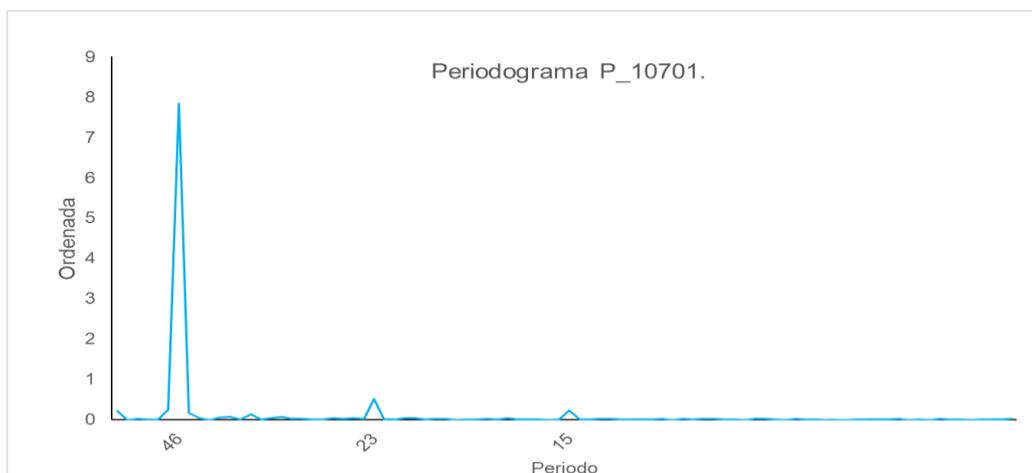


Figura 71: Periodograma de la serie P_10701.

7.5. Análisis de las relaciones entre las variables climáticas y los NDVI de cada cultivo.

Las Figuras del ANEXO I que representan la evolución del NDVI respecto a la precipitación y temperatura de cada cultivo asociado a una estación climática muestran cómo evoluciona cada serie en el tiempo y la influencia que puedan tener las precipitaciones y la temperatura en la evolución de cada NDVI. Los mayores NDVI se producen en los cultivos de secano. Lo que es debido a que las parcelas de secano están más cubiertas que las parcelas de viñedo, donde las calles entre las líneas de viñedo suelen estar desnudas. [insertar referencia]

Se ha visto en las gráficas de las figuras del Anexo I que relacionan el NDVI con las precipitaciones, que el cereal de secano parece ser más dependiente de las lluvias a corto plazo que el viñedo. También se observa una mayor estabilidad del NDVI del viñedo a lo largo de la serie.

Las Figuras del Anexo I que relacionan el NDVI de los distintos cultivos con las temperaturas, nos muestran que ambos factores parecen estar muy relacionados. Parece que los incrementos de NDVI, van ligados a los incrementos de la temperatura.

Si se observa la Figura 83, donde se agrupan todos los píxeles analizados por cultivo, se intuye que el mayor NDVI lo tienen los cultivos de secano, mientras que los cultivos de viñedo son los que tienen el NDVI más bajo. El píxel de viñedo con mayor NDVI, es el que está asociado a la estación de Valbuena de Duero, su NDVI se mantiene en torno a 0,55 durante toda la serie. Los siguientes píxeles con mayor NDVI son los de Hontoria de Valdearados y San Esteban de Gormaz, que están en torno a 0,45 durante la mayor parte de la serie, y habiendo varios años con un NDVI más bajo. Se puede ver también cómo el NDVI medio del píxel asociado a la estación de Vadocondes, va desincronizado con el resto de los píxeles, lo cual nos puede indicar que la parcela haya cambiado de cultivo durante el periodo en el que se han tomado las imágenes MODIS. En secano, el píxel con mayor NDVI en la mayor parte de la serie es el que está asociado a la estación climática de Valbuena de Duero, seguido del píxel de Gumiel del Mercado y del píxel de Hontoria de Valdearados. En regadío, todos los píxeles

elegidos se comportan de forma bastante sincronizada y tienen unos niveles de NDVI bastante similares. En la Figura 72 se observan las variaciones intraanuales de los NDVI de cada cultivo en las diferentes estaciones climáticas analizadas. Las gráficas de la Figura 72 se han construido usando el NDVI medio de cada mes del año, en el periodo estudiado.

Si se observa la variación intraanual de NDVI de los píxeles de los distintos píxeles, vemos que igual que pasaba en otros artículos la curva del NDVI en secano es más pronunciada, mientras que en viñedo es más plana (Adesuyi et al., 2015). Todos los píxeles en viñedo tienen un marcado ciclo a excepción del píxel de Vadocondes, donde el ciclo es completamente diferente y está desfasado. Esto puede deberse a que la parcela haya cambiado de cultivo en el periodo de estudio. También se puede ver como el píxel que más NDVI tiene es el de Valbuena de Duero con un máximo de NDVI en torno a 0,55 en la imagen 18 de MODIS (principios de mayo). Si nos fijamos en la variación intraanual del NDVI de los píxeles de secano, también observamos ese marcado ciclo anual, con máximos en torno a la imagen 19 de MODIS, observándose como el píxel de Gumiel del Mercado junto con el de Valbuena de Duero son los dos píxeles que más NDVI medio tienen, llegando al 0,6.

Respecto a la variación intraanual de NDVI en regadío, se ve como los ciclos de los píxeles de San Esteban de Gormaz, y Vadocondes son muy similares. El ciclo del resto de píxeles se sale de lo esperado para cultivos de cereales en

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

regadío, probablemente se hayan efectuado rotaciones en la finca durante el periodo de años escogido para el estudio.

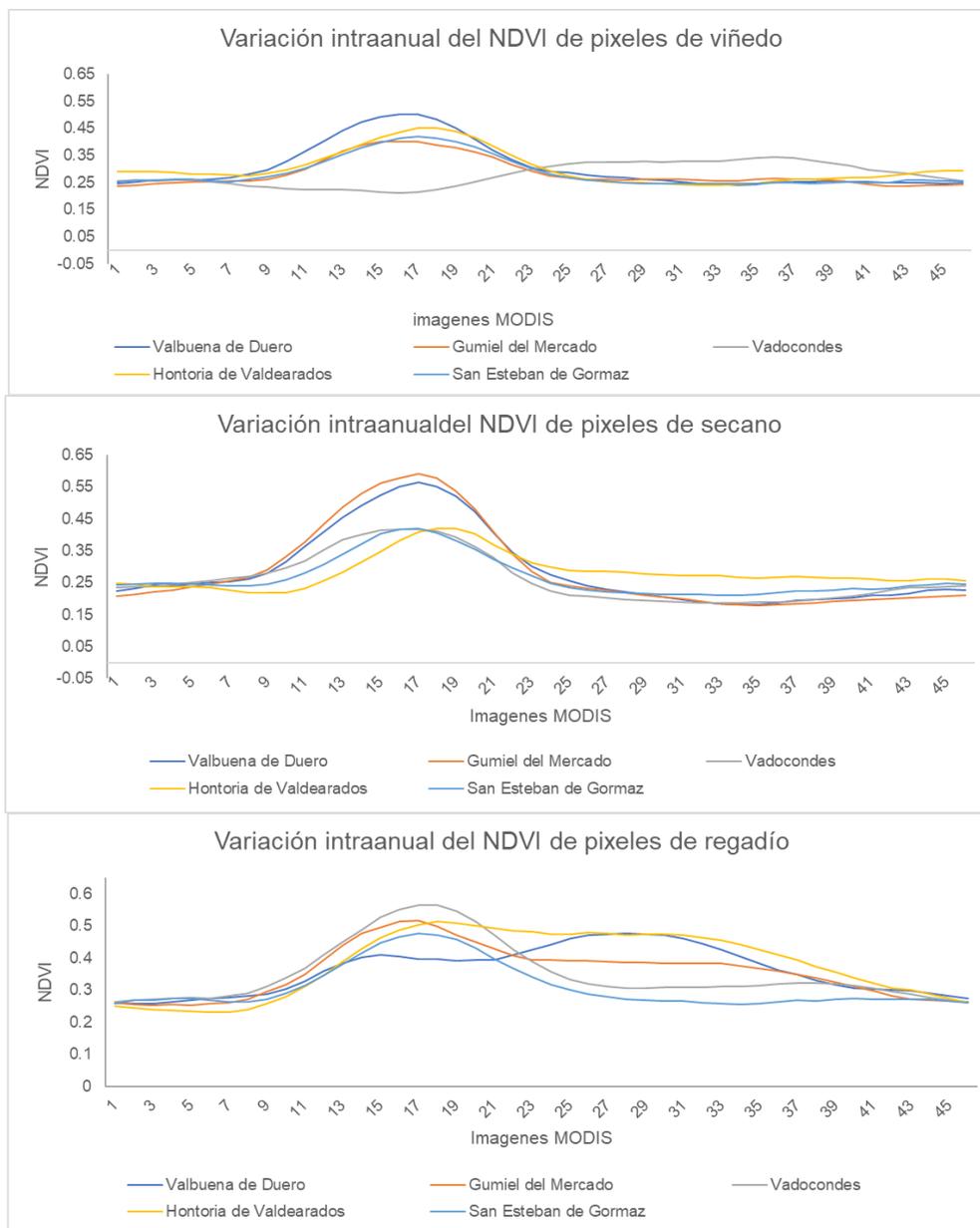


Figura 72: Variación interanual del NDVI de cada tipo de cultivo en las cinco estaciones climáticas analizadas.

8. Discusión.

La zona de estudio contiene 11896 píxeles, de los cuales se han seleccionado 252 píxeles divididos de la siguiente forma: 148 píxeles de viñedo, 64 píxeles de secano y 40 de regadío escogidos de manera que la muestra fuera lo más representativa posible. Se trabajó también con información de 9 estaciones climáticas cuyos datos fueron cedidos por AEMET. De estas estaciones, finalmente se seleccionaron 5 por ser las más completas en cuanto a cantidad y calidad de datos para el periodo de estudio, el cual, para adaptarse a la frecuencia de las imágenes de MODIS fue de 2002 a 2020.

Se realizaron distintos mapas usando Sistemas de Información Geográfica como QGIS o ArcGIS, para la creación de mapas informativos de la región estudiada, que servirán en este trabajo para ubicar la situación geográfica de las distintas áreas estudiadas, con el fin de comprender mejor la dinámica de la vegetación de la zona.

Los 252 píxeles seleccionados previamente, se analizaron eligiéndose finalmente 15 píxeles representativos (5 de viñedo, 5 de secano y 5 de regadío). Estos píxeles se asociaron a las estaciones climáticas más próximas y fueron escogidos en base a la información que se pudo extraer de Corine (Agencia Europea de Medio Ambiente, 2018) y del SIGPAC.

Las series de tiempo de NDVI fueron construidas a partir de las imágenes de MODIS en el periodo 2002-2020 (874 imágenes), para su posterior análisis estadístico. Previamente la serie de NDVI tuvo que ser suavizada con un filtro de Savitzky-Golay con una ventana de 7 observaciones (Savitzky et al., 1964). Las series de tiempo de la precipitación y la temperatura también fueron del periodo 2002-2020, y tuvieron que ser adaptadas, pasándolas de frecuencia diaria y semanal a la frecuencia temporal de MODIS (8 días) para poderlas relacionar estadísticamente con el NDVI.

Se construyeron las gráficas de variación interanual y los climogramas mediante tablas de Buys-Ballot, que ayudaron a ver de forma gráfica la evolución de las distintas series tanto en el periodo de los años analizados, como en el año medio. Los climogramas muestran climas muy similares en todas las estaciones

climáticas estudiadas no observándose diferencias a simple vista entre los dos climas de la clasificación de Koppen-Geiger (Kottek et al., 2006). También se construyeron graficas de variación intraanual del NDVI mediante tablas de Buys-Ballot, para poder diferenciar bien el ciclo vegetativo medio de cada píxel.

Se realizó el test de Dickey-Fuller (Dickey et al., 1979) (Tabla 1) para analizar si las series climáticas y de NDVI son estacionarias. Para un valor critico de -3.389 y un nivel de significación del 5%, se rechazó la hipótesis nula de presencia de una raíz unitaria en todas las series analizadas. Se confirma en este caso que ninguna de las series estudiadas tiene tendencia.

Posteriormente se usó la función de autocorrelación y el periodograma para analizar la estacionalidad de las series de NDVI. La función de autocorrelación de las series de NDVI está en torno a 0,6-0,8 en el retardo 46. En el periodograma, se observan valores muy significativos en el periodo 46. Con estas dos herramientas se aprecia un marcado ciclo anual, confirmando así la estacionalidad anual de las series estudiadas.

Se han relacionado las precipitaciones y las temperaturas de las distintas estaciones, con tres píxeles de viñedo, seco y regadío, para comprobar el comportamiento del NDVI ante estas variables climáticas. El comportamiento del NDVI frente a las precipitaciones es diferente dependiendo del cultivo. Si se observan las gráficas de la Figura 73, Figura 75, Figura 77, Figura 79 y Figura 81 del Anexo I que relacionan las precipitaciones con el NDVI, se puede observar que al cereal de secano parece afectarle más las lluvias a corto plazo, mientras que al viñedo parece que le afectan más las lluvias de otoño del año anterior. También se puede observar que el viñedo es más estable en cuanto a su NDVI, y que necesita varios años con bajas precipitaciones para que este empiece a descender de forma notable, mientras que, en secano, parece que la reacción es más rápida. En regadío, como se esperaba, el NDVI es muy estable durante toda la serie en todas las estaciones climáticas. Al observar las Gráficas de las Figura 74 ,Figura 76, Figura 78, Figura 80 y Figura 82, vemos como el NDVI parece ir muy ligado a la temperatura primaveral, incrementándose con ella.

Si se observa la variación intraanual de NDVI de los distintos píxeles vemos que, igual que pasaba en otros artículos (Adesuyi et al., 2015), la curva del NDVI en secano es más pronunciada, mientras que en viñedo es más plana. En los píxeles que se salen de lo esperado en los cultivos de cereales en regadío, probablemente se hayan efectuado rotaciones en la finca durante el periodo de años escogido para el estudio, que han producido el falseamiento de los datos o el propio sensor de MODIS, al tener resoluciones de 500x500m, haya captado otro tipo de vegetación, lo que ha podido falsear los ciclos de NDVI.

También se ha visto que, en algunas series de viñedo, al comenzar y finalizar el ciclo de la vid, aparecen picos de NDVI, estos picos pueden deberse a vegetación espontánea o a una cubierta vegetal (Devaux et al., 2019).

9. Conclusiones.

Con este trabajo de investigación, pese a las limitaciones de tiempo, se ha pretendido dar una visión preliminar y una base para futuros trabajos sobre la influencia que puedan tener las variables climáticas en la vegetación y cómo esta influencia puede medirse a través de la teledetección y analizarse mediante series de tiempo.

Se han obtenido 874 imágenes MODIS, para los 19 años en la zona de estudio de la ribera del Duero. Se realizó un análisis de 15 series de tiempo, de 3 tipos de cultivo asociados a 5 estaciones climáticas, para después llevar a cabo distintos análisis estadísticos. Esto proporcionó información muy valiosa que permitió conocer patrones en los ciclos vegetativos de cada cultivo y observar cómo interfieren las variables climáticas en ellos. Se han obtenido firmas espectrales muy similares a las obtenidas por otros autores (Adesuyi et al., 2015) observándose que los ciclos de viñedo, cereal de secano y cereal de regadío, van muy sincronizados temporalmente, con la diferencia de que los cultivos de cereal alcanzan un NDVI mayor que los cultivos de viñedo. También se ha observado que los cultivos de cereal de regadío no alcanzan NDVI tan altos como los cultivos de cereal de secano. Sería interesante realizar estudios más adelante y con más píxeles para ver si esta tendencia se cumple.

Algunos de los análisis estadísticos fueron: (1) análisis de estacionariedad, (2) análisis de estacionalidad, (3) cálculo de la función de autocorrelación y (4) cálculo del periodograma. Mediante el test de Dickey-Fuller (Dickey et al., 1979) se comprobó si las series climáticas son estacionarias, rechazándose la hipótesis nula de presencia de una raíz unitaria y confirmando así que tanto las variables climáticas, como las series de NDVI estudiadas carecen de tendencia. Mediante la representación de las series en gráficas y el uso de las funciones de autocorrelación y los periodogramas, se estudió la estacionalidad de las series, observándose un marcado ciclo anual a 46 retardos (teniendo en cuenta que la frecuencia de MODIS es de 8 días/imagen y que cada año se toman 46 imágenes).

Con las series de tiempo, se han elaborado numerosas gráficas, que sirven para poder relacionar el NDVI de cada cultivo con las distintas variables climáticas analizadas. En estas gráficas se puede observar en un periodo de 19 años cómo evoluciona el ciclo vegetativo de tres cultivos distintos en relación con las variables temperatura y precipitación, observándose diferencias en los máximos y mínimos de NDVI en cada cultivo e incluso entre distintas estaciones climáticas. Se ha visto que puede haber influencia de la precipitación de otoño del año anterior a la campaña en los cultivos de viñedo, mientras que en los cultivos de secano parece que hay más influencia de la precipitación de la primavera de la misma campaña. Por ello en futuros trabajos debería realizarse un análisis de correlaciones cruzadas para ver si esta influencia es significativa.

Este es un estudio preliminar, que pretende servir como base a futuras investigaciones en este campo y con el que se pretende mostrar la utilidad de la sinergia de la teledetección junto con el análisis estadístico de series de tiempo, para el estudio de la dinámica vegetal en grandes extensiones de terreno.

10. Bibliografía.

- Adesuyi, A. S., & Munch, Z. (2015). Using Time-Series NDVI to Model Land CoverChange: A Case Study in the Berg River Catchment Area, Western Cape, South Africa. *International Journal of Geological and Environmental Engineering*, 9(5), 553–558.
- Agencia Europea de Medio Ambiente. (2018). *Corine Land Cover 2018 (España)*.
- Agronews Castilla y León. (2021, June 3). *Unión de Uniones destaca que la climatología lastra entre un 8% y un 30% la presente campaña de cereales dependiendo del territorio*. Retrieved from <https://www.agronewscastillayleon.com/union-de-uniones-destaca-que-la-climatologia-lastra-entre-un-8-y-un-30-la-presente-campana-de>
- Benabdelouahab, T., Lebrini, Y., Boudhar, A., Hadria, R., Htitiou, A., & Lionboui, H. (2021). Monitoring spatial variability and trends of wheat grain yield over the main cereal regions in Morocco: a remote-based tool for planning and adjusting policies. *Geocarto International*, 36(20), 2303–2322. doi: 10.1080/10106049.2019.1695960
- Box, G. E. P., Jenkins, G. M., & Reinsel, G. C. (2008). *Time Series Analysis: Forecasting and Control* (4th ed.). New Jersey: John Wiley and Sons.
- Coordinadora de Organizaciones de Agricultores y Ganaderos. (2022). *IMPACTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA AGRICULTURA ESPAÑOLA*. Retrieved from https://coag.com.es/Informe_Impactos_Cambio_Climatico_en_la_Agricultura.pdf
- de Cara García, J. A. (2009). *CARACTERÍSTICAS AGROCLIMÁTICAS DE LA VID (Vitis vinifera L. subsp. vinifera)*.
- de Castro Victoria, D., Rolim da Paz, A., Camargo Coutinho, A., Kastens, J., & Christopher Brown, J. (2012). Cropland area estimates using Modis NDVI time series in the state of Mato Grosso, Brazil. In *Pesq. agropec. bras* (Issue 9).

- Devaux, N., Crestey, T., Leroux, C., & Tisseyre, B. (2019). Potential of Sentinel-2 satellite images to monitor vine fields grown at a territorial scale. *Oeno One*, 53(1), 51–58. doi: 10.20870/oeno-one.2019.53.1.2293
- Dickey, D. A., & Fuller, W. A. (1979). Distribution of the Estimators for Autoregressive Time Series with a Unit Root. *Journal of the American Statistical Association*, 74(366a), 427–431. doi: 10.1080/01621459.1979.10482531
- Eklundh, L., Johansson, T., & Solberg, S. (2009). Mapping insect defoliation in Scots pine with MODIS time-series data. *Remote Sensing of Environment*, 113(7), 1566–1573. doi: 10.1016/j.rse.2009.03.008
- Guindin-Garcia, N., Gitelson, A. A., Arkebauer, T. J., Shanahan, J., & Weiss, A. (2012). An evaluation of MODIS 8- and 16-day composite products for monitoring maize green leaf area index. *Agricultural and Forest Meteorology*, 161, 15–25. doi: 10.1016/j.agrformet.2012.03.012
- Hamilton, J. D. (1994). *Time series analysis* (Vol. 2). Princeton: Princeton University press.
- Huesca, M., Litago, J., Palacios-Orueta, A., Montes, F., Sebastián-López, A., & Escribano, P. (2009). Assessment of forest fire seasonality using MODIS fire potential: A time series approach. *Agricultural and Forest Meteorology*, 149(11), 1946–1955. doi: 10.1016/j.agrformet.2009.06.022
- Jenkins, J. P., Braswell, B. H., Frolking, S. E., & Aber, J. D. (2002). Detecting and predicting spatial and interannual patterns of temperate forest springtime phenology in the eastern U.S. *Geophysical Research Letters*, 29(24). doi: 10.1029/2001GL014008
- Jones, G. v., White, M. A., Cooper, O. R., & Storchmann, K. (2005). Climate change and global wine quality. *Climatic Change*, 73(3), 319–343. doi: 10.1007/s10584-005-4704-2
- Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., & Rubel, F. (2006). World map of the Köppen-Geiger climate classification updated. *Meteorologische Zeitschrift*, 15(3), 259–263. doi: 10.1127/0941-2948/2006/0130

- Lopez-Fornieles, E., Brunel, G., Devaux, N., Roger, J. M., & Tisseyre, B. (2022). Is It Possible to Assess Heatwave Impact on Grapevines at the Regional Level with Time Series of Satellite Images? *Agronomy*, 12(3). doi: 10.3390/agronomy12030563
- Marini, M. F. (2013). Discriminación de cultivos de distinto desarrollo utilizando imágenes satelitales MODIS. *Geofocus. Revista Internacional de Ciencia y Tecnología de La Información Geográfica*, 13(1), 48–60.
- Ministerio de Agricultura, P. y A. (2021). *Anuario de Estadística 2020*. Madrid.
- Morante-Carballo, F., Bravo-Montero, Lady, Carrión-Mero, P., Velastegui-Montoya, A., & Berrezueta, E. (2022). Forest Fire Assessment Using Remote Sensing to Support the Development of an Action Plan Proposal in Ecuador. *Remote Sensing*, 14(8). doi: 10.3390/rs14081783
- Moulin, S., Kergoat, L., Viovy, N., Dedieu, G., Moulin, S., Kergoat, L., Viovy, N., & Dedieu, G. (1997). *Global-scale assessment of vegetation phenology using NOAA/AVHRR satellite measurements*. 10(6), 1154–1170. doi: 10.1175/1520-0442(1997)0102.0.CO;2i
- Palacios-Orueta, A., Huesca, M., Whiting, M. L., Litago, J., Khanna, S., Garcia, M., & Ustin, S. L. (2012). Derivation of phenological metrics by function fitting to time-series of Spectral Shape Indexes AS1 and AS2: Mapping cotton phenological stages using MODIS time series. *Remote Sensing of Environment*, 126, 148–159. doi: 10.1016/j.rse.2012.08.002
- Palacios-Orueta, A., Khanna, S., Litago, J., Whiting, M. L., Ustin, S. L., & Montes, E. T. S. I. (2005). Assessment of NDVI and NDWI spectral indices using MODIS time series analysis and development of a new spectral index based on MODIS shortwave infrared bands *. *1st International Conference of Remote Sensing and Geoinformation Processing*. Retrieved from <http://www.cimis.water.ca.gov/cimis>
- Priestley, M. B. (1996). *Spectral analysis and time series*. Academic Press INC.
- Redo, D. J., & Millington, A. C. (2011). A hybrid approach to mapping land-use modification and land-cover transition from MODIS time-series data: A case

- study from the Bolivian seasonal tropics. *Remote Sensing of Environment*, 115(2), 353–372. doi: 10.1016/j.rse.2010.09.007
- Savitzky, A., & Golay, M. J. E. (1964). Smoothing and Differentiation of Data by Simplified Least Squares Procedures. *Analytical Chemistry*, 36(8), 1627–1639.
- Tucker, C. J. (1979). Red and Photographic Infrared linear Combinations for Monitoring Vegetation. In REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT (Vol. 8).
- Younis, M. T., Gilabert, M. A., & Meliá, J. (1999). *LA DINÁMICA DE LA VEGETACIÓN COMO INDICADOR DE LA DESERTIFICACIÓN EN LA CUENCA DEL GUADALENTÍN, SE ESPAÑA.*
- Zhou, J., Jia, L., & Menenti, M. (2015). Reconstruction of global MODIS NDVI time series: Performance of Harmonic ANalysis of Time Series (HANTS). *Remote Sensing of Environment*, 163, 217–228. doi: 10.1016/j.rse.2015.03.018

ANEXO I

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.



Figura 73: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Valbuena de Duero.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

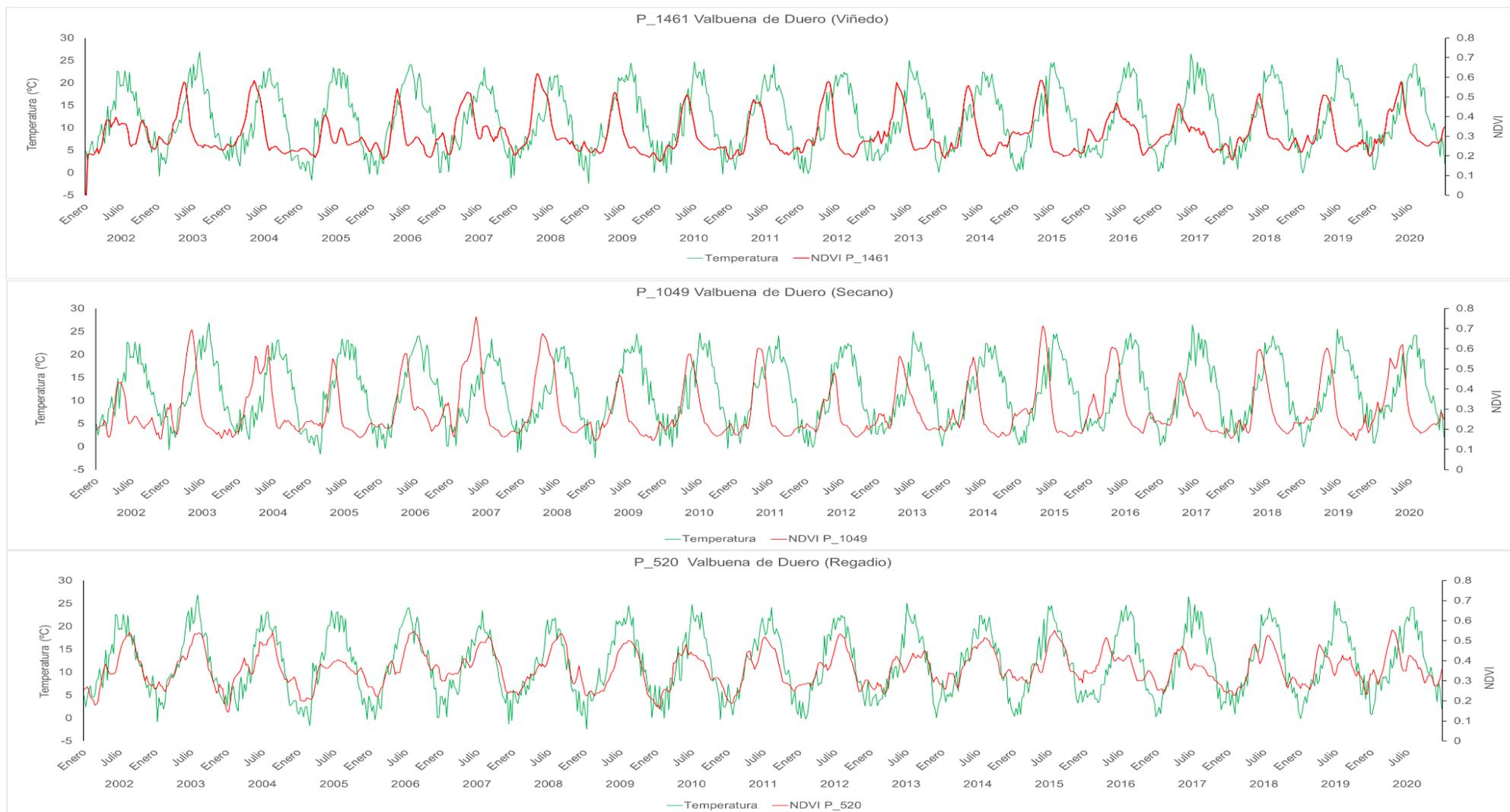


Figura 74: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Valbuena de Duero.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.



Figura 75: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Gumiel del Mercado.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

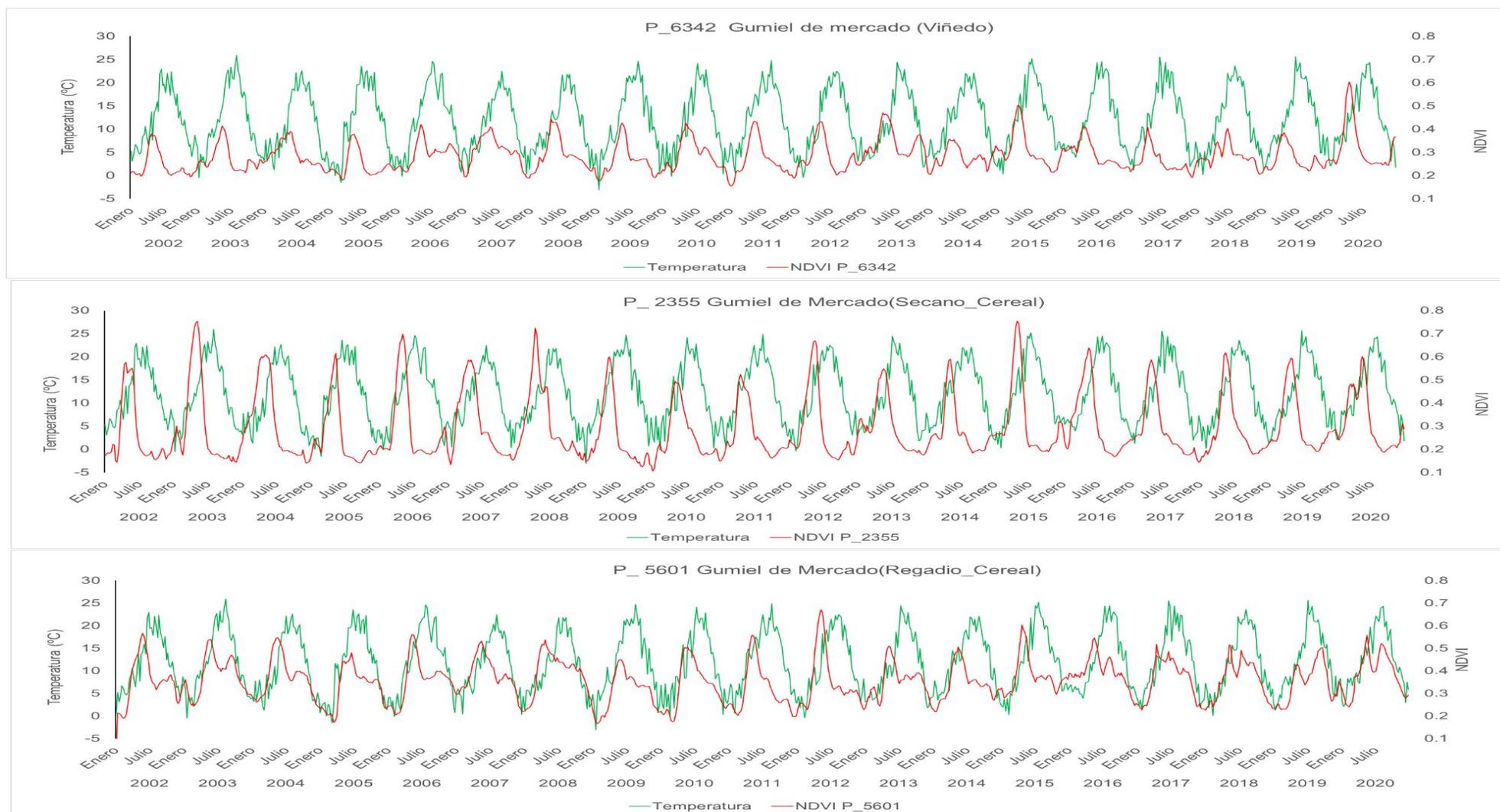


Figura 76: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Gumiel del Mercado.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.



Figura 77: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Vadocondes.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

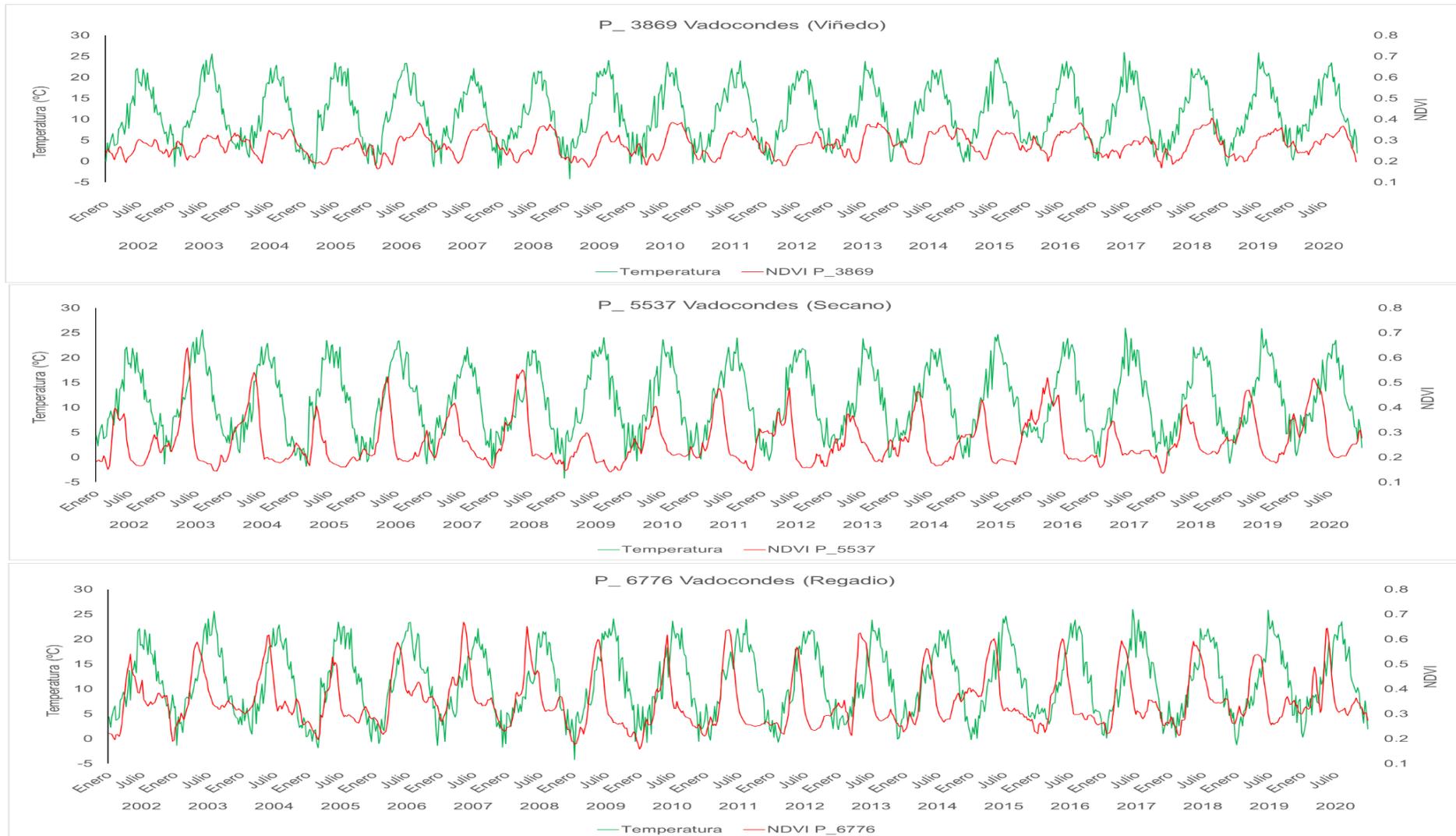


Figura 78: Evolución del NDVI respecto a la Temperatura en Vadocondes.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

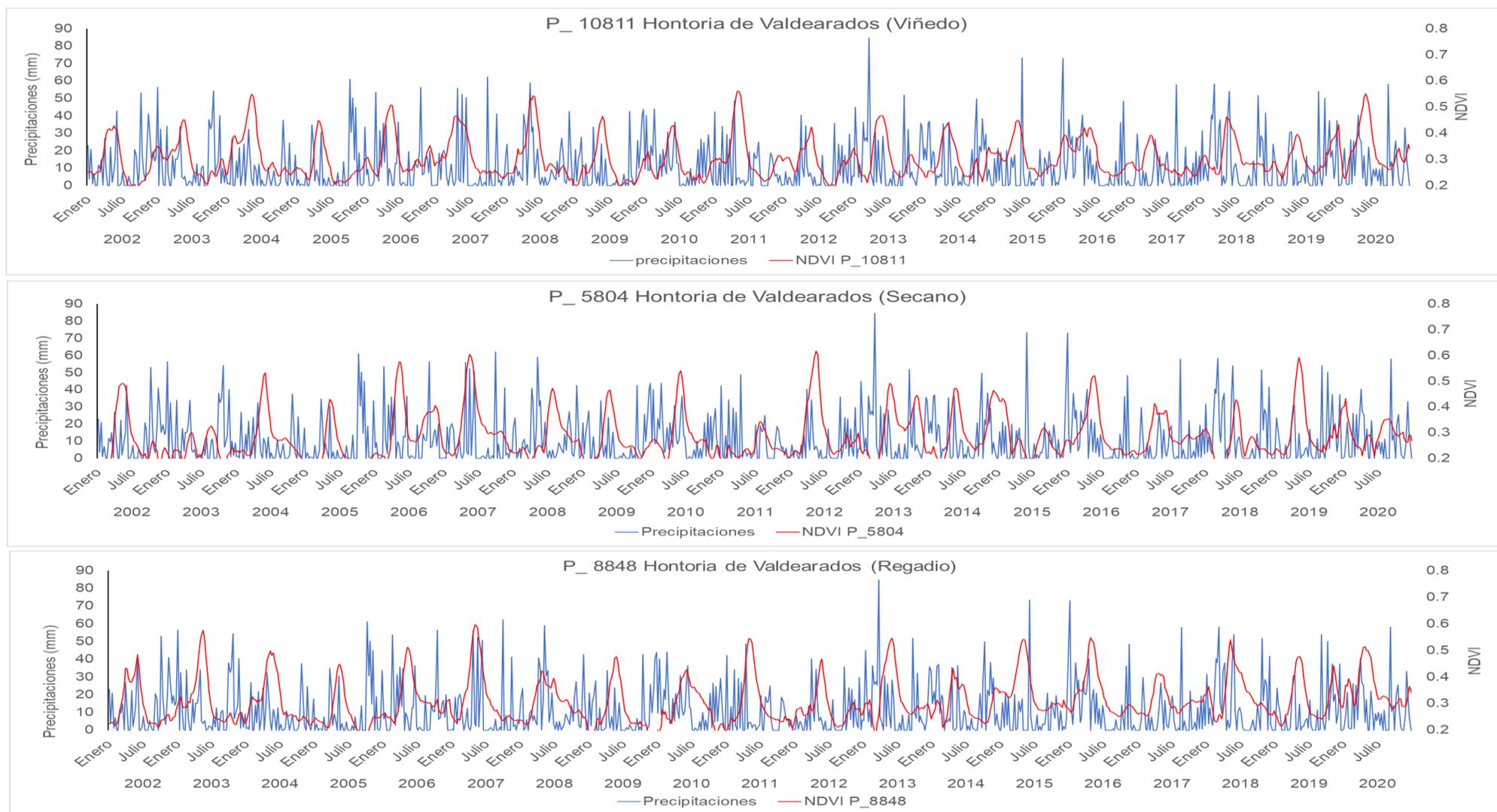


Figura 79: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en Hontoria de Valdearados

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

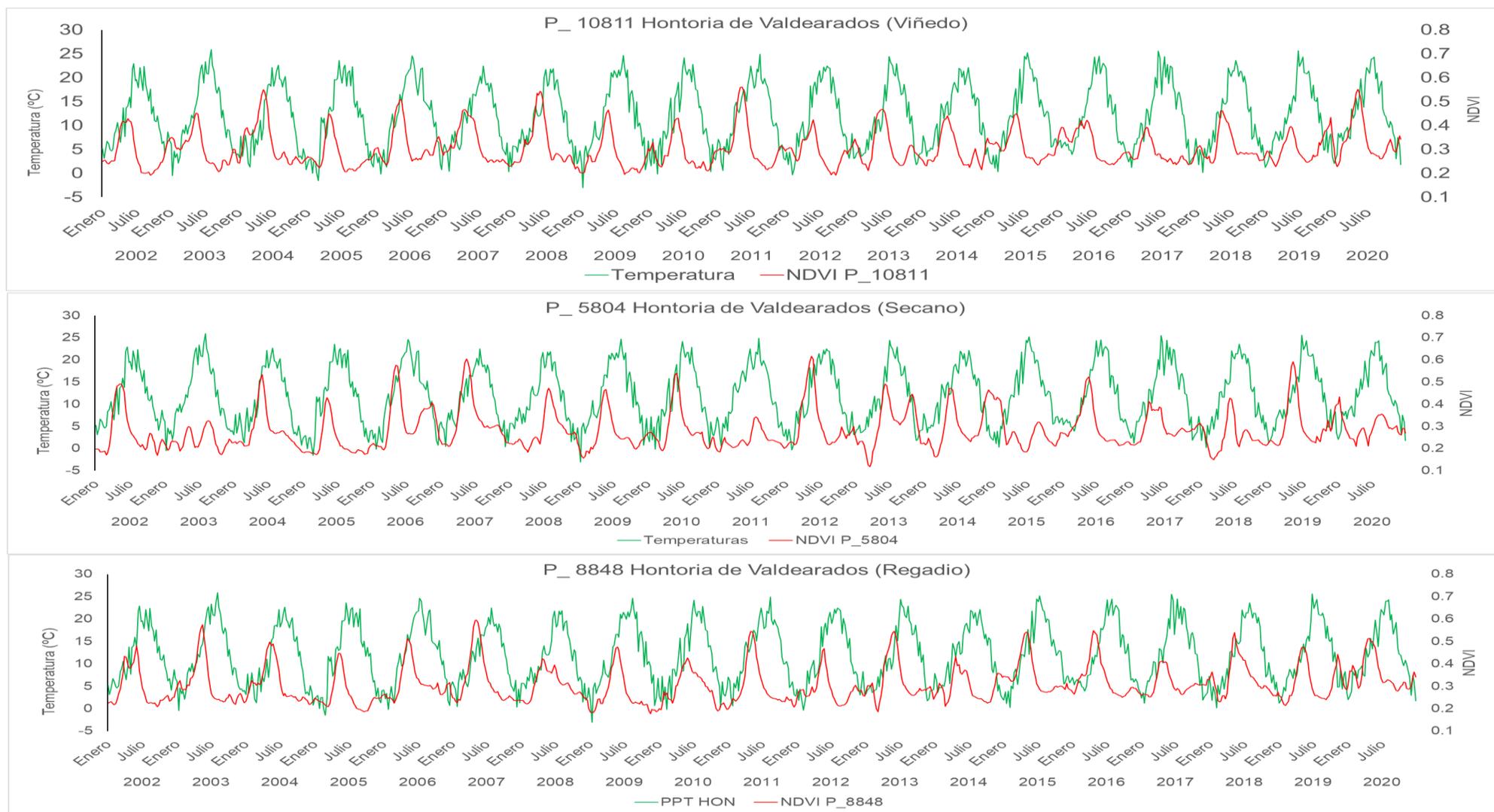


Figura 80: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en Hontoria de Valdearados

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

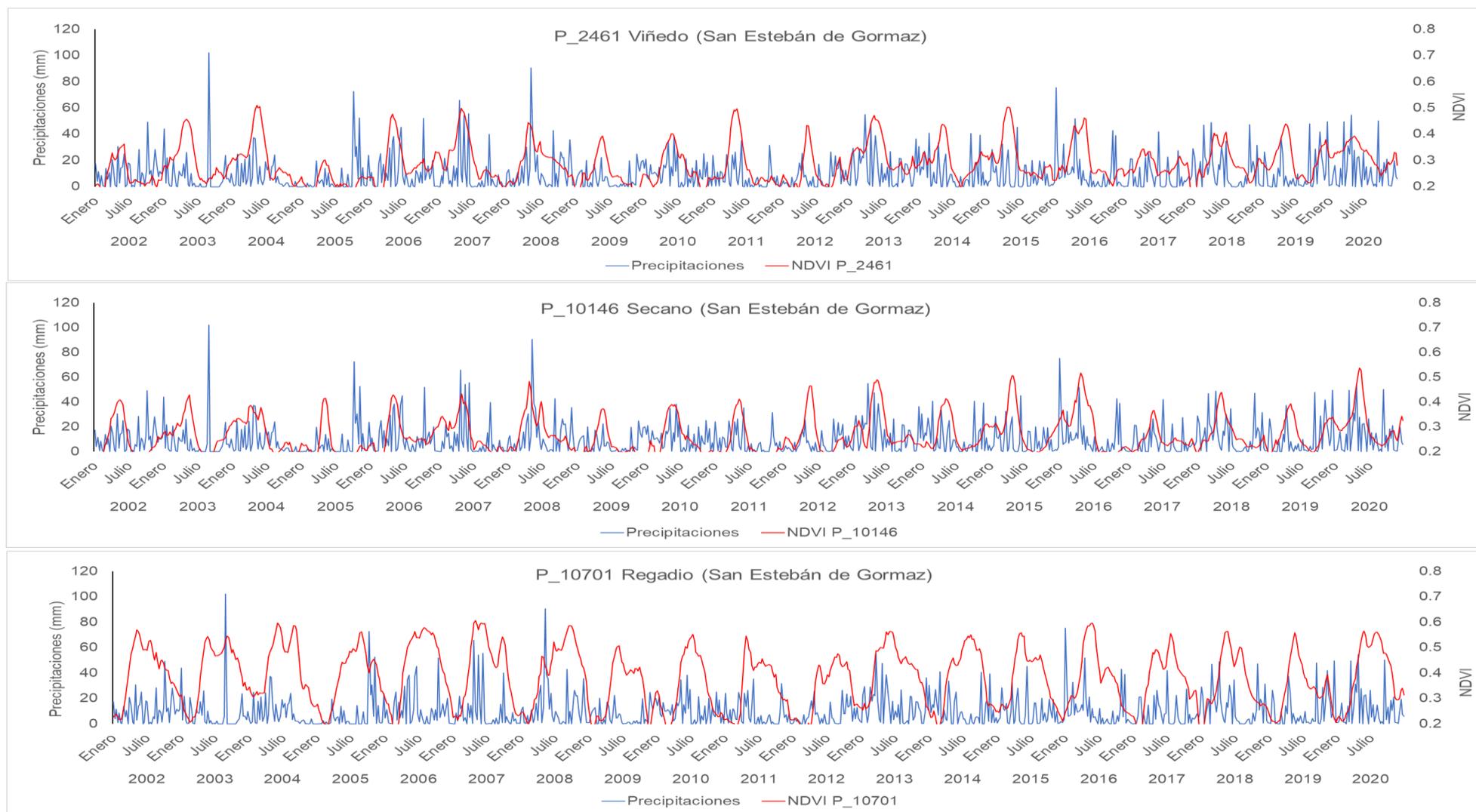


Figura 81: Evolución del NDVI respecto a la precipitación en San Esteban de Gormaz.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

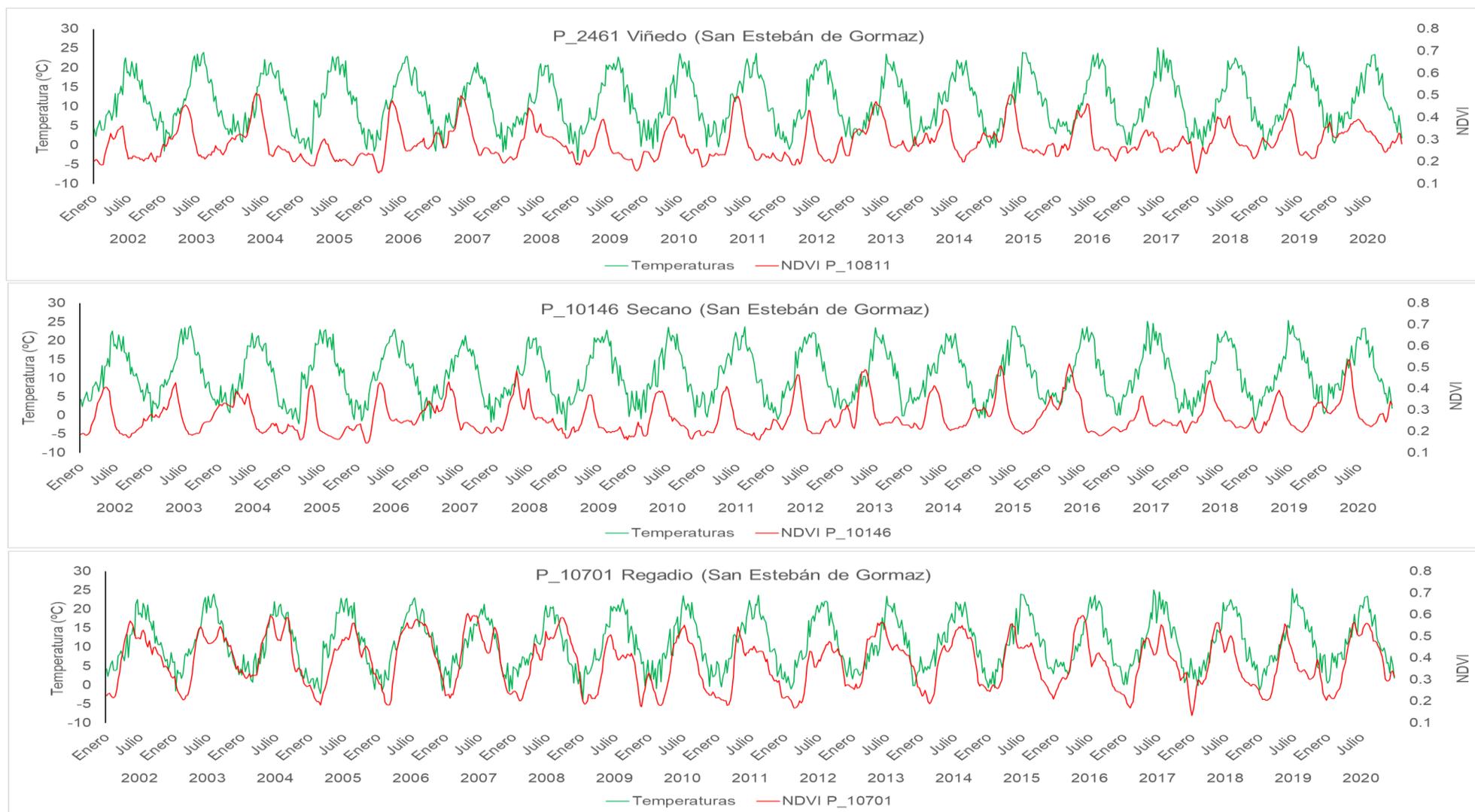


Figura 82: Evolución del NDVI respecto a la temperatura en San Esteban de Gormaz.

Análisis estadístico de la climatología y la dinámica de la vegetación en una región de la ribera del Duero.

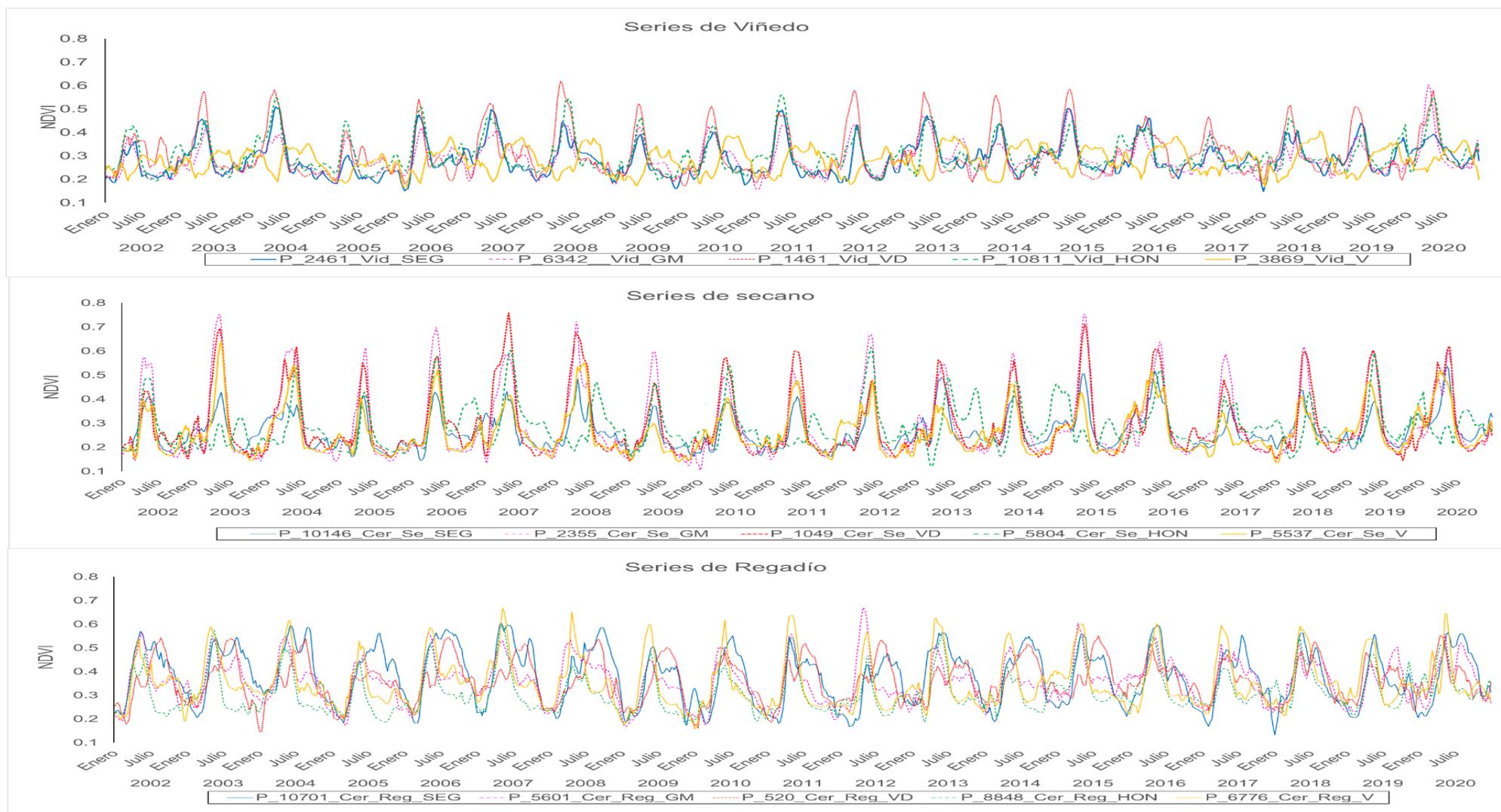


Figura 83: Evolución del NDVI en los distintos cultivos elegidos.

Viernes, 24 de junio de 2022

**El Alumno del Máster Tecnología Agroambiental
para una Agricultura Sostenible**

Fdo: Alfonso Bermejo Saiz