

Trabajo Fin de Grado

**ANÁLISIS AMBIENTAL Y DETECCIÓN DE CAMBIOS EN EL
RECUBRIMIENTO VEGETAL DE LA COMARCA DEL
MATARRAÑA MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y SIG:
DINÁMICA MULTITEMPORAL EN LOS CAMPOS
ABANDONADOS (1986/2018)**

*ENVIRONMENTAL ASSESSMENT AND CHANGE
DETECTION IN VEGETATION COVER IN MATARRAÑA
REGION USING REMOTE SENSING AND GIS:
MULTITEMPORAL DYNAMIC OF ABANDONED FIELDS
(1986/2018)*

Sergio Romero Cabezudo

Director: Juan de la Riva Fernández

Facultad de Filosofía y Letras
2019



**Departamento de
Geografía y
Ordenación del Territorio**
Universidad Zaragoza
1542

Agradecimientos

Quiero dar las gracias a todas las personas que han hecho posible la realización del presente trabajo, pues su colaboración ha sido vital para llegar al final del camino. En primer lugar, a mis compañeros de clase Víctor, Esperanza, Sandra, Luis y Nastia, por ser un gran apoyo y ser las personas con las que he trabajado codo con codo en nuestros respectivos trabajos fin de grado en estos largos meses junto con las largas sesiones de biblioteca.

En segundo lugar, a Darío Domingo Ruíz por la ayuda prestada en el manejo de ArcMap, los consejos en cuanto a organización de los datos y las numerosas dudas resueltas. También a Paloma Ibarra por su ayuda con los campos de cultivo abandonados y la abundante información brindada.

Finalmente, a mi director Juan de la Riva por las incontables dudas resueltas, la gran disponibilidad para tutorías y la posibilidad de ofrecerme su despacho como lugar de trabajo y poder agilizar así el proceso de realización del proyecto. También por su predisposición, su meticulosidad para que las cosas estuvieran bien hechas y por los materiales aportados para que esto haya sido posible.

Muchas gracias.

Resumen

La detección de cambios y el análisis ambiental, junto con los estudios sobre la biodiversidad, son algunos de los temas de actualidad en medio ambiente y una de las principales ramas de investigación para un geógrafo. La comarca del Matarraña, que ha sufrido importantes cambios en la ocupación del suelo en las últimas décadas, encierra un rico patrimonio paisajístico ligado al cultivo tradicional en bancales, existiendo un interés patente por su posible recuperación y puesta en valor. En este contexto, el presente trabajo tiene por objetivo el estudio de los cambios en la distribución y la evolución, a lo largo de un periodo de tiempo que abarca los años 1984 – 2018, del recubrimiento vegetal en la comarca del Matarraña, prestando especial atención a la dinámica ocurrida en los campos de cultivo abandonados. El análisis, realizado con un fuerte apoyo en técnicas de teledetección, se basa en el tratamiento multitemporal de imágenes del satélite Landsat, mediante el cálculo de índices espectrales y su integración en entorno SIG junto a otras variables ambientales y territoriales. Se obtienen así indicadores y, sobre todo, resultados cartográficos que permiten, junto a elementos naturales o antrópicos, atisbar cuál es la magnitud del proceso de recubrimiento vegetal y cuáles son las razones por la que la cubierta vegetal evoluciona en una determinada dirección. Por todo ello, el estudio tiene un fuerte componente territorial, pudiendo resultar relevante en la ordenación del territorio.

Palabras clave: *Recubrimiento vegetal, dinámica multitemporal, SIG y teledetección, NDVI - TTC, Landsat, Comarca del Matarraña.*

Abstract

Change detection and environmental analysis, along with studies on biodiversity are some of the current matters in environmental studies, as well as one of the main fields of study in geography. The Matarraña region has undergone several important changes regarding the land cover in recent decades, as it holds a rich landscape heritage linked to traditional terrace cultivation. Therefore, there is a clear interest in its potential recovery and enhancement. Thus, this dissertation aims to study the changes in the distribution and evolution of the vegetative cover between 1984 and 2018 in the Matarraña region by paying close attention to the changes that have occurred in abandoned fields. The analysis is developed with support from remote sensing techniques, as it is based on the multi-temporal processing of Landsat satellite images and calculated with spectral indices, to further integrate them into the SIG environment along with other environmental and territorial variables. After this process, indicators and cartographic results are obtained which, together with natural or anthropogenic elements, make it possible to see the magnitude of the vegetative covering process and the reasons why it evolves in a particular way. For these reasons, this study has a strong territorial component as it may relevant to land-use planning.

Keywords: *Vegetation cover, multi-temporal dynamics, GIS and Remote Sensing, NDVI - TCT, Landsat, Matarraña region.*

Índice de contenidos

1. Introducción y justificación	1
2. La teledetección en el contexto de la ecología de paisaje	3
3. Objetivos.....	4
4. Material y métodos	5
4.1. Área de estudio	5
4.2. Fuentes de información.....	7
4.3. Metodología	7
4.3.1. Periodo de estudio	8
4.3.2. Selección y tratamiento de imágenes	8
4.3.3. Generación de información adicional	11
4.3.4. Cálculo de los índices	12
4.3.5. Recortes y cálculo de estadísticos	15
5. Resultados.....	17
5.1. Dinámica del área de estudio	17
5.2. Evolución de la vegetación en los campos de cultivo	34
6. Conclusiones.....	49
7. Bibliografía.....	51
8. Anexo	53

Índice de figuras

Figura 1: Mapa de pendientes y localización de la comarca del Matarraña.....	6
Figura 2: Cuadro-resumen de la metodología adoptada para la realización del proyecto.....	8
Figura 3: Recuento de imágenes de satélite de utilidad para el estudio (fragmento de la tabla).....	9
Figura 4: Modelo generado para cortar y referenciar las imágenes	11
Figura 5: Ejemplo de estadísticos e histogramas generados.....	12
Figura 6: Ejemplo de composición de color.....	12
Figura 7: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 5.....	14
Figura 8: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 7.....	14
Figura 9: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 8.....	14
Figura 10: Recorte ejemplo para una de las imágenes con nubosidad.	15
Figura 11: Coberturas finales con atributos de los índices.....	16
Figura 12: Ejemplo de evolución de los valores de NDVI en la comarca mediante composición de color.	17
Figura 13: Clasificación de las imágenes para eliminar diferencias en la fenología.....	18

Figura 14: Composiciones de color 4/5/3 para los años 1986 – 2002 – 2018 en la comarca del Matarraña.....	19
Figura 15: Cartografía de dominios de paisaje en la Comarca de Matarraña	20
Figura 16: Cartografía de uso del suelo y vegetación en la Comarca de Matarraña	21
Figura 17: Histogramas con aplicación de realce lineal (valores entre 0 y 800) para las bandas de rojo, verde y azul	23
Figura 18: Dispersión del promedio de los valores de NDVI en junio de 1986 y junio de 2018.....	24
Figura 19: Cartografía de variación en el promedio de vigor vegetal entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarraña.....	25
Figura 20: Variación en los valores del NDVI para un punto determinado en el periodo 1986 – 2018	26
Figura 21: Variación en los valores del NDVI para comprobar las mezclas de color	27
Figura 22: Cartografía de variación en el promedio de vigor vegetal entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarraña.	28
Figura 23: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en junio entre los años 1986 y 2018.....	29
Figura 24: Variación en los valores del TTC para un punto determinado en el periodo 1986 – 2018.....	30
Figura 25: Comparativa de histogramas de humedad en TTC para junio de 1986 y 2018.....	31
Figura 26: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en agosto entre los años 1986 y 2014.....	32
Figura 27: Comparativa de histogramas de humedad en TTC para agosto de 1984 y 2014.....	33
Figura 28: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap con promedios de junio y agosto entre los años 1986 y 2018.....	34
Figura 29: Evolución de valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del bajo Matarraña.....	36
Figura 30: Evolución de valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del Alto Matarraña.....	37
Figura 31: Magnitud del cambio en los valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del Alto y Bajo Matarraña.....	38
Figura 32: Variación de NDVI 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas.....	40
Figura 33: Variación NDVI anual frente a 1984 en los cultivos abandonados.....	41
Figura 34: Evolución de NDVI por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto.....	42
Figura 35: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente	43
Figura 36: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente.	44
Figura 37: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente	44

Figura 38: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la accesibilidad.....	45
Figura 39: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje localizados en Alto Matarraña (zona Sur)	46
Figura 40: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto y Bajo Matarraña (zona Sur).....	47
Figura 41: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con dos municipios contrastados.....	48
Figura 42: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los usos de suelo.....	49
Figura 43: Comparación de histogramas Tasseled Cap de verdor y humedad en junio de 1986 y 2018.....	53
Figura 44: Comparación de histogramas Tasseled Cap de verdor y humedad en agosto de 1986 y 2014.	53
Figura 45: Histogramas de media de junio y agosto para la composición de color 1986 – 1999 – 2014.....	54
Figura 46: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto y Bajo Matarraña (zona Sur) en junio.....	54
Figura 47: Evolución de VERDOR por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto.....	55
Figura 48: Evolución de HUMEDAD por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto.	55
Figura 49: Variación VERDOR anual frente a 1984 en los cultivos abandonados.....	56
Figura 50: Variación HUMEDAD anual frente a 1984 en los cultivos abandonado	56
Figura 51: Variación de VERDOR 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas.....	57
Figura 52: Variación de HUMEDAD 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas.....	57
Figura 53: Evolución de NDVI por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para junio	58
Figura 54: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto Matarraña en junio.	58
Figura 55: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la accesibilidad para junio.....	59
Figura 56: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con dos municipios contrastados para junio.	59
Figura 57: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los usos de suelo para junio.....	60
Figura 58: Histogramas para la variación en el promedio de NDVI en agosto entre los años 1984 - 2018 en la comarca del Matarraña.....	60
Figura 59: Variación en el promedio de vigor vegetal en agosto entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarraña....	61

Figura 60: Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Alto Matarraña	62
Figura 61: Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Bajo Matarraña.....	63
Figura 62: Magnitud del cambio en los valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Alto y Bajo Matarraña...	64

1. Introducción y justificación

El presente trabajo fin de grado se enmarca dentro de la detección de cambios, el análisis de las variaciones y el análisis ambiental, concretamente en la comarca del Matarraña. En líneas generales, para llevar a cabo la detección de cambios y el análisis ambiental, se ha realizado un análisis multitemporal del área de estudio mediante imágenes de satélite Landsat y el uso de los sistemas de información geográfica para el tratamiento digital de las mismas.

Con esta primera aproximación se consigue finalmente analizar procesos dinámicos, más concretamente, el de la evolución multitemporal de la vegetación. Esto es posible gracias a las imágenes de satélite, que son una de las principales fuentes de información para detectar cambios, como por ejemplo, en el ciclo estacional de dicha vegetación (Chuvieco, 2010). Todo el análisis se realiza desde una doble perspectiva, tanto la dinámica general de comarca como la perspectiva de los campos de cultivo abandonados en la comarca del Matarraña con el objetivo de partir de la observación de dinámicas generales a más concisas.

Para ello, se generan estadísticos y una serie de cartografías de evolución de la vegetación o de ocupación del suelo, una de las principales aplicaciones de la teledetección (Chuvieco, 2010). Además, “*estas cartografías son vitales para identificar diferentes patrones espaciales que presentan las cubiertas vegetales de un territorio*”, tal y como señalan García-Martín et al. (2004). Dichas cartografías se basan en los cultivos abandonados en el área de estudio que es lo que se va a analizar en profundidad en última instancia.

En cuanto a la selección del área de estudio, la decisión ha venido motivada fundamentalmente por el trabajo previo realizado tanto en campo como en clases presenciales en la asignatura del paisaje en la ordenación del territorio cursada durante el grado, lo cual ha facilitado enormemente el tener una primera aproximación y conocimiento sobre la zona a tratar. Además, tampoco se ha realizado ningún estudio de este tipo en la comarca seleccionada ya que fundamentalmente han sido de carácter paisajístico sin entrar en temáticas como la teledetección y el cálculo de índices espectrales. Donde sí se han realizado estudios de este tipo han sido en zonas como la laguna de Gallocanta, donde también se hizo uso de la teledetección, aunque aplicada a las manchas de agua que a su vez van muy relacionadas con la vegetación en función de los diferentes cambios que se producen anualmente (Castañeda, Herrero. 2009). También se encuentran antecedentes de estos estudios en el pirineo aragonés, utilizando la teledetección como una herramienta fundamental y más concretamente mediante el uso de NDVI para la realización de dicho estudio, destacando su importancia como un buen elemento de análisis multitemporal de cambios en la vegetación (Lasanta y Vicente-Serrano. 2007).

Además, se ha optado por la utilización de la teledetección como principal herramienta del estudio debido a que es realmente versátil puesto que tiene un fuerte componente cuantitativo a través numerosos índices y estadísticos fruto del desarrollo de

estas técnicas en los años 80. Pero esta herramienta no solo sirve para la vegetación, pues hay numerosas aproximaciones diferentes a la hora de abordar un estudio multitemporal, un claro ejemplo son algunos de los índices empleados para la caracterización del paisaje y el estudio de su evolución que se han empleado en otras investigaciones geográficas relacionadas fundamentalmente con los incendios como las realizadas por Juan de la Riva y Fernando Pérez Cabello.

Por otra parte, con el fuerte desarrollo actual de los sistemas de información geográfica y la teledetección, estas tareas resultan mucho menos complicadas de llevar a cabo ya que ambas permiten visualizar de manera sencilla estos cambios y su distribución espacial siendo una herramienta fundamental para el geógrafo.

Teniendo esto en cuenta, la detección de cambios y el análisis de variaciones es una disciplina muy relacionada con la geografía debido a que es la encargada del estudio de los paisajes, de los elementos que los componen, y más concretamente, de la evolución que sufren dichos paisajes a lo largo de períodos de tiempo elevados. En este sentido son importantes los conceptos de pervivencia y duración de un fenómeno (Chuvieco, 2010). Por ello, teniendo en cuenta estas dos variables es como se ha enfocado en última instancia el estudio debido a que no es lo mismo el estudio de una inundación puntual que el de la variación de la vegetación por lo que el periodo de estudio ha tenido que ajustarse en base a la cadencia de actualización del fenómeno para estudios multitemporales (Chuvieco, 2010).

Continuando con esta idea, la dimensión temporal cada vez adquiere más importancia en los estudios geográficos debido a que es necesario que sean enormemente precisos. Normalmente los estudios de carácter multitemporal pueden ser de dos tipos dependiendo de lo que se quiera representar en última instancia. Por un lado pueden ser multianuales y por otro multiestacionales (Chuvieco, 2010). Con el primero se pretende realizar comparaciones de diversos fenómenos entre años y con el segundo entre diferentes épocas del año, ya que en el caso de la vegetación esto es un punto muy a tener en cuenta por la fenología, que determina enormemente los resultados que se puedan obtener. Pese a ello, en este estudio se han querido tener en cuenta los dos tipos de estudio multitemporal pues por un lado se realizan comparaciones entre períodos de 3 a 5 años, teniendo en cuenta la cadencia del fenómeno estudiado (la variación de la vegetación), y por otro lado, en dos fechas contrastadas, para conocer el comportamiento de la misma en dos épocas donde presumiblemente debería haber comportamientos distintos.

Por ello, con el presente documento se pretende abordar una nueva perspectiva en la que mostrar las variaciones y los cambios en la vegetación, pero teniendo también en cuenta factores antrópicos (presencia de carreteras o núcleos de población) ya que esta información es realmente relevante de cara a la preservación y protección de la naturaleza de un área determinada y permite ver cuáles pueden ser las posibles líneas de actuación en este sentido. Por lo tanto, tiene una fuerte componente territorial resultando ser fundamental para la ordenación del territorio, uno de los pilares fundamentales del grado.

2. La teledetección en el contexto de la detección de cambios y el análisis ambiental

Teniendo en cuenta que el conocimiento de la biodiversidad y del funcionamiento de los ecosistemas en ocasiones resulta complejo y que su conservación es uno de los retos que el ser humano tiene por delante, es necesario afrontar nuevas formas de aproximarse a esta temática. Por esta razón la teledetección surge como un elemento novedoso y fundamental ya que es una herramienta versátil y moderna que permite obtener imágenes con una frecuencia elevada y trabajar sobre determinados procesos y situaciones.

Es una herramienta que permite trabajar a diferentes escalas como la global ya que son numerosos los satélites que operan en la actualidad y que dan información en tiempo real de numerosas partes del mundo. Esto permite conocer variaciones en la vegetación, la humedad, la atmósfera o incluso trabajar sobre el cambio climático de una manera más sencilla que realizando pequeños estudios en parcelas como se venía haciendo tradicionalmente (Cabello y Paruelo, 2008).

Autores como Chuvieco (2010) también sostienen que en sus inicios la teledetección en relación con el análisis ambiental y de cambios tenían una relación que se traducía en la fragmentación del espacio y la realización de cartografías de carácter temático. Pero con el tiempo, tal y como señala el autor, también se han ido sucediendo una serie de innovaciones como las diferentes transformaciones de bandas, los estudios temporales, la medición de la temperatura superficial del mar hasta el punto de poder estudiar una ingente cantidad de nuevos fenómenos entre otras muchas variables (Chuvieco, 2010).

Pese a ello, tal y como señalan algunos autores como Sánchez-Díaz (2018), “*surge la necesidad de implementar nuevos enfoques y herramientas para su estudio y conservación, utilizando la teledetección como una herramienta para apoyar los procesos de toma de decisiones*”. Esto es debido a que pese al uso de la teledetección para este tipo de estudios aún queda camino por delante para innovar y definir nuevas aproximaciones en el estudio de los cambios y variaciones.

Teniendo esto en cuenta, para la realización del proyecto se han utilizado numerosas técnicas gracias a la teledetección como las composiciones de color multitemporales que se fundamentan en el mero análisis visual a través de fechas distintas o iguales gracias a la representación en diferentes colores de los niveles digitales de una imagen tanto con índices como con las bandas originales de las imágenes (Chuvieco, 2010). Otra de las técnicas más utilizadas para la representación de los cambios y el análisis ambiental y que ha sido utilizada en el proyecto es la de la diferencia entre imágenes en la que “*una resta entre imágenes de dos fechas homogeneizadas radiométrica y geométricamente, permite discriminar aquellas zonas que han experimentado cambios entre esas fechas*” (Chuvieco, 2010.). Esta sencilla técnica ha sido realmente útil para el estudio de las parcelas abandonadas y ha resultado fundamental para el desarrollo del proyecto. También se han utilizado técnicas como la transformación Tasseled Cap para obtener nuevas bandas gracias a la combinación lineal de las originales (Chuvieco, 2010), logrando así el realce de elementos de especial interés en la escena completando así el análisis visual.

Por ello, en el presente trabajo fin de grado se busca, mediante la teledetección una aproximación a una doble perspectiva. Por un lado una más visual e interpretativa de la evolución y cambio de las coberturas vegetales y por otro lado, un análisis estadístico con una concreción mayor en el que ver con propiedad estos cambios y variaciones con el fin de crear un documento más integrador que aproveche lo mejor de ambas aproximaciones.

3. Objetivos

El principal objetivo que se persigue en el presente trabajo es el análisis dinámico de los cambios experimentados en el recubrimiento vegetal en la comarca del Matarraña en el periodo 1984 – 2018. Tal análisis se realiza primeramente para el conjunto de la comarca, centrándose la atención después en los campos de cultivo abandonados, sujetos a un proceso de revegetación que aún no ha sido suficientemente evaluado.

El área de estudio, que, como gran parte del medio rural, ha sufrido importantes cambios en la ocupación del suelo en las últimas décadas, encierra un rico patrimonio paisajístico ligado al cultivo tradicional en bancales. La Cátedra Matarraña-Matarranya¹ abordó un análisis cartográfico de estas parcelas de cultivo abandonadas, sobre las que existe un interés patente por su posible recuperación y puesta en valor, que se tradujo en una cartografía de las mismas (Ibarra et al., 2011, Ric e Ibarra, 2015), que es utilizada como marco de referencia para el presente trabajo.

Se parte de la hipótesis de que, en el contexto metodológico de las técnicas de detección de cambios mediante tratamiento multitemporal de imágenes de teledetección, la aplicación de índices espectrales –especialmente los relativos al vigor vegetal y a la humedad– es capaz de reflejar de forma muy ajustada la cobertura vegetal, entendida como recubrimiento superficial, al margen de sus características estructurales o de especie. Junto a la información de teledetección espacial, el trabajo se sirve del análisis de diversa información en entorno SIG, generándose resultados tanto estadísticos como cartográficos que permiten una aproximación a la comprensión de los cambios observados.

El objetivo perseguido se materializa en una serie de etapas metodológicas – tareas: a) definición y aplicación de un criterio riguroso de selección de las imágenes Landsat en relación con los requerimientos del análisis multitemporal; b) identificación y elaboración de los procesos de análisis y visualización más adecuados para la cartografía dinámica de la cobertura vegetal y la representación de los cambios producidos; c) extracción de la información generada mediante técnicas de tratamiento digital de las imágenes de teledetección en función de la cartografía de los campos abandonados y de sus atributos (municipio, unidad paisajística, cubierta vegetal, accesibilidad...); d) realizar una aproximación a la interpretación de los cambios ocurridos que pueda contribuir a las iniciativas de ordenación territorial y paisajística.

¹ La Cátedra Matarraña-Matarranya es una iniciativa de cooperación de la Comarca con la Universidad de Zaragoza que persigue la “Promoción y protección del paisaje de la comarca, realizando estudios de diagnóstico de su situación [...] así como la propuesta de actuaciones encaminadas a su mejora, puesta en valor y difusión” (V. <<https://otri.unizar.es/es/catedra/catedra-comarca-del-matarranamatarranya>>).

4. Material y métodos

4.1. Área de estudio, localización y breve descripción

La comarca seleccionada es la comarca del Matarraña. Las razones son, tal y como se indica en la introducción, que ya ha habido una aproximación previa en la asignatura de paisaje, así como abundante información disponible en materia de paisaje debido al estudio comarcal que se ha llevado a cabo en dicha comarca. Además, ofrece numerosos contrastes entre la parte norte y Sur de la comarca por lo que estudiar los patrones en la distribución de la vegetación a lo largo de un periodo largo de años resulta interesante y no existen trabajos previos de estas características en la comarca.

Dicha comarca se localiza en el sector Sur – Sureste de la provincia de Teruel, limitando con Castellón y Tarragona. Lo más destacado de la comarca es que existen ciertos sectores muy diferentes entre sí con un claro gradiente Norte – Sur denominados bajo y Alto Matarraña respectivamente (Lozano Tena, 2003). Tiene una superficie total de 933 km² (**figura 1**) y se encuentra incluida dentro del dominio morfoestructural del sistema ibérico caracterizado por ser un relieve más monótono y menos enérgico que los pirineos, aunque con una elevada complejidad y compartimentación.

La fisiografía de la comarca del Matarraña está caracterizada por la existencia de una serie de sierras en la zona Sur con una dirección de relieve dominante SE – S. En esta zona elevada los puntos más elevados corresponden a los Puertos de Beceite que tienen una altura aproximada de 1.400 m sobre el nivel del mar pero sin sobrepasarlos, en concreto algunos de ellos son el Tossal d'en Canader (1.393 m) o Tossal dels Tres Reis (1.361 m) (Lozano, 2003).

Pese a ello, de forma generalizada en su conjunto esta comarca puede ser entendida como un conjunto de escalones que se levantan dirección Norte - Sur desde Mazaleón hasta los puertos de Beceite citados en el párrafo anterior alcanzando en la comarca en su conjunto una altitud media de 580 m sobre el nivel del mar.

Teniendo esto en cuenta, predomina el clima mediterráneo lluvioso con veranos secos y calurosos que predominan en la parte Norte y que según la clasificación de Köppen pertenecen al grupo Csa. Por otra parte, y tal y como se aprecia en la **figura 1** existen fuertes diferencias entre esta parte Norte de la comarca y la Sur donde se aprecia un gradiente altitudinal que se traduce en la existencia de otro tipo de clima en algunos municipios como el de Peñarroya de Tastavins donde se pueden encontrar climas templados – húmedos con veranos con veranos cálidos y calurosos que entran en el grupo de los Cfb.

Teniendo en cuenta una clasificación adaptada al territorio Aragonés como la realizada por José María Cuadrat la comarca del Matarraña podría incluirse en su sector Norte como un clima de transición mediterránea continental mientras que la parte Sur se correspondería con un clima de alta montaña de las sierras ibéricas con unas precipitaciones que no rebasan los 1000 Lm² y cuyos máximos se encuentran en otoño y en

verano. Por lo tanto, el factor determinante para la distinción de estos pisos climáticos es la altura.

Teniendo esto en cuenta las precipitaciones en general oscilan en torno a los 700mm y la temperatura media oscila entre los 12° (Peñarroya de Tastavins y las zonas montañosas del Sur) y los 17 – 19° de los municipios pertenecientes a la parte más llana del sector Norte como por ejemplo Calaceite.

En cuanto a la red hidrográfica destacan con disposición Sur – Norte los ríos Matarraña y Algars siendo este último un factor determinante para la distinción de la frontera entre Aragón y Cataluña.

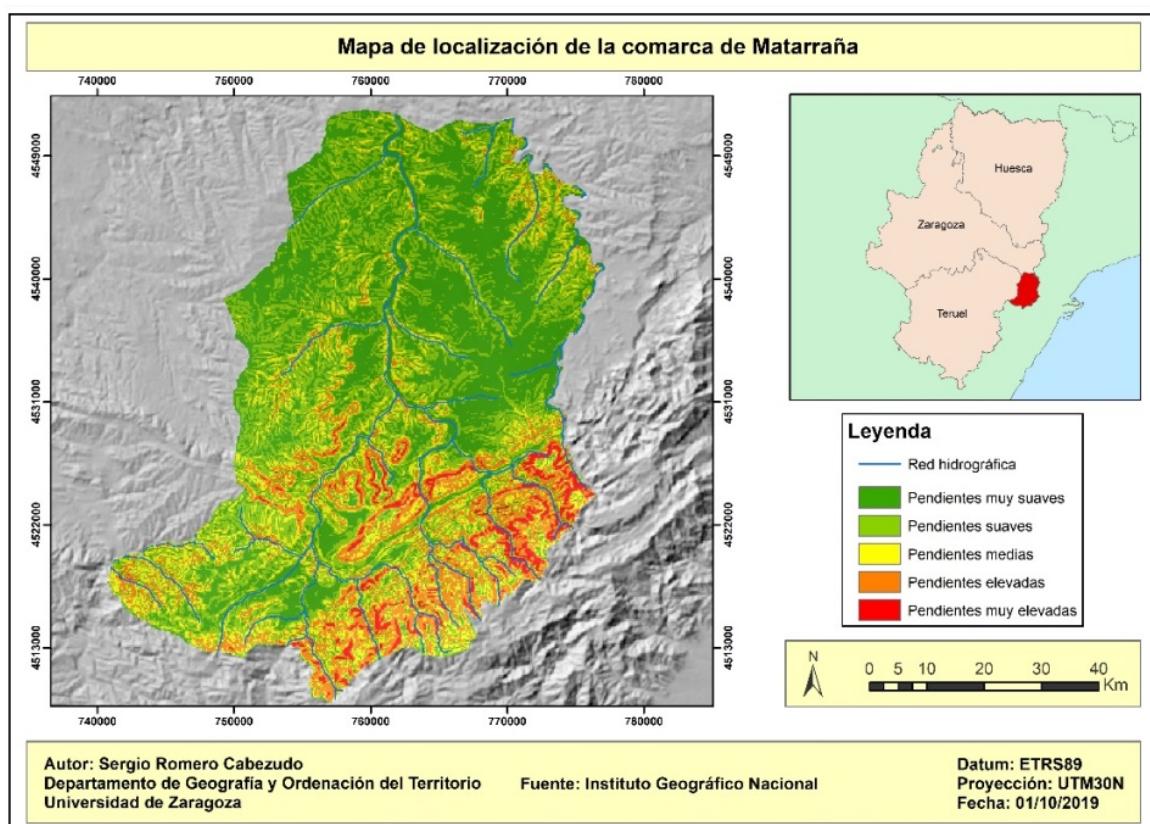


Figura 1: Mapa de pendientes y localización de la comarca del Matarraña.

En cuanto a la vegetación hay que destacar que viene influenciada por algunos factores explicativos de la vegetación en esta unidad morfoestructural como la disposición diagonal de la ibérica aragonesa y la fuerte actividad agrícola que hace que esté por norma general degradada.

Teniendo esto en cuenta los pisos bioclimáticos presentes se corresponden en primer lugar con el piso mesomediterráneo representado por encinares, matorrales aromáticos, pastizales leñosos y zonas degradadas por la actividad agrícola junto con la vegetación de ribera. En segundo lugar, en el piso supramediterráneo se encuentra dominado por los encinares, robledales y zonas con pino carrascos. Además, entre estos dos pisos se podrían dar zonas con quejigares.

4.2. Fuentes de información

Para la realización del presente estudio se han utilizado numerosas fuentes de información que han permitido que los objetivos planteados puedan ser llevados a cabo. En primer lugar, para una mejor comprensión y aproximación de la materia se ha consultado “*Fundamentos de la teledetección ambiental*” de Emilio Chuvieco (2010). También bibliografía y diferentes artículos sobre la vegetación, el clima o el relieve Aragonés junto a un documento específico que trataba la comarca del Matarraña con profundidad.

En cuanto a las imágenes de satélite utilizadas estas han sido proporcionadas por el Servicio Geológico de Estados Unidos (USGS) mediante el visor Earth Explorer en el que se hizo un exhaustivo análisis de las diferentes imágenes en las fechas seleccionadas para poder encontrar las más adecuadas en el periodo temporal del estudio. Las imágenes resultantes son de los satélites Landsat 4 - 5,7 y 8 con los respectivos sensores *Thematic Maper* (TM), *Enhanced Thematic Maper* (ETM+) y *Operational Land Imager* (OLI).

La gran mayoría de las imágenes se corresponden con Landsat 5 debido a que es el que más ha perdurado en órbita sin errores aparentes, además de que actualmente es un recurso fundamental para los estudios de teledetección. Landsat 7 también ha sido utilizado ya que permitía paliar una imagen con nubosidad que de otra forma no se habría podido obtener en Landsat 5 debido a que la fecha sobre la que orbitaba era próxima pero distinta y, además, el área de estudio coincidía con la franja que dicho sensor es capaz de captar con normalidad. Por otro, lado las de Landsat 8 son menos numerosas debido a su puesta en funcionamiento en 2013.

Finalmente, el resto de información espacial como el área de estudio, los diferentes modelos de elevaciones y ortofotos han sido obtenidos desde el portal de descargas del Instituto Geográfico Nacional. Adicionalmente las capas referidas a los campos de cultivos abandonados han sido proporcionadas por el equipo de Mastergeo, S.L. del proyecto titulado “*Cartografía de cultivos abandonados y selección de áreas prioritarias de recuperación en la Comarca del Matarraña/Matarranya*” (Ibarra et al., 2011).

4.3. Metodología

La metodología de trabajo consiste en la definición de un periodo de trabajo para previamente visualizar a través del USGS las diferentes imágenes que resulten interesantes para el trabajo en función de la nubosidad o la calidad de las mismas. Después mediante Excel y ArcMap 10.3 se ha realizado un cribado y tratamiento de las mismas como se describirá a continuación. Esto ha posibilitado la realización de una serie de cartografías que van desde aspectos más generales en cuanto a la distribución y evolución de la vegetación a nivel comarcal hasta cartografías más específicas que permiten conocer cuál es la dinámica de la vegetación única y exclusivamente para los cultivos abandonados. Finalmente, se generan unas figuras que permiten ahondar más en las posibles causas de este crecimiento.

Adicionalmente se presenta un cuadro resumen de la metodología que ha sido seguida para la realización del proyecto y que se detalla en los apartados que vienen a

continuación previos a los resultados (**figura 2**). A grandes rasgos consiste en un tratamiento de las imágenes en bruto mediante diferentes procedimientos que se traducen en última instancia en la obtención de unos valores cartografiados que combinadas con capas vectoriales permiten crear un buen dibujo de la comarca y sus peculiaridades.

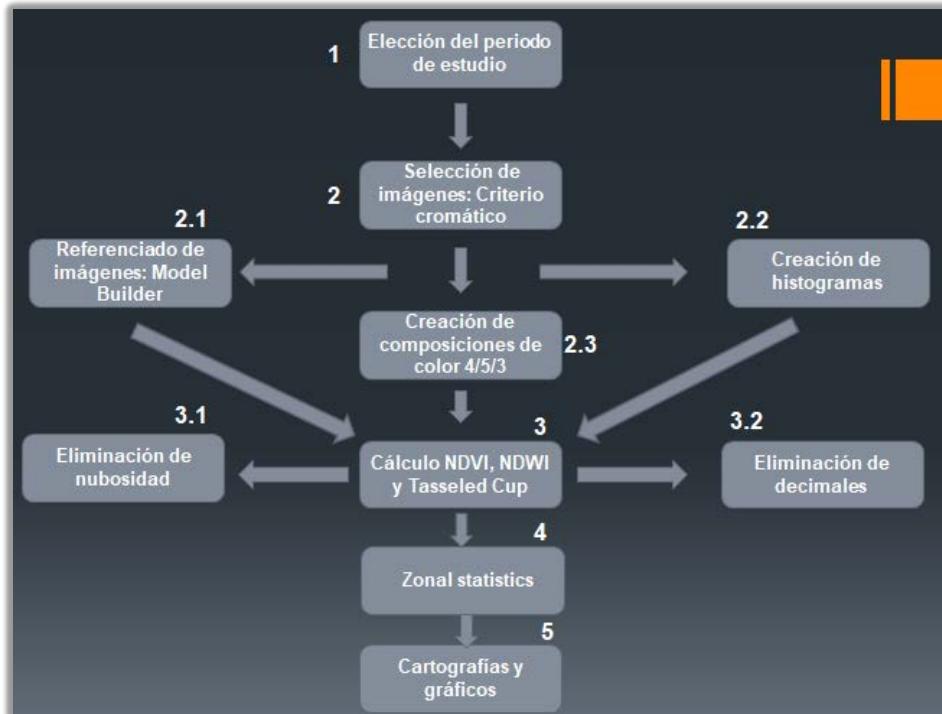


Figura 2: Cuadro-resumen de la metodología adoptada para la realización del proyecto. Fuente: Elaboración propia.

4.3.1. Periodo de estudio

El periodo de estudio abarcó inicialmente los años 1980 – 2018 con la premisa inicial de utilizar imágenes de Landsat 4 – 5, 7 y 8 para cubrir este periodo. La realidad final es que las imágenes del periodo 1980 – 1983 han quedado sin incluirse en el presente estudio debido a que el proveedor no las dejó públicas y eran de pago mediante otras fuentes.

Teniendo esta consideración en cuenta el periodo final comprende los años 1984 – 2018 haciendo uso de los tres satélites citados. Mediante el visor Earth Explorer se ha delimitado con coordenadas una serie de puntos que actuaban como marco de referencia de la comarca del Matarraña y se ha procedido a la búsqueda y el análisis de las diferentes imágenes.

4.3.2. Selección y tratamiento de imágenes

La selección de las imágenes ha comprendido la última semana de mayo, junio, julio, agosto y la primera de septiembre. Por lo que agrupando estos meses en columnas cada 7 días se ha ido haciendo una selección de imágenes en el periodo citado teniendo en cuenta que no tuvieran nubosidad como criterio fundamental a la hora de darla por válida y

dejando indicado cuáles eran las que resultaban inservibles debido a la presencia de nubes. En definitiva, se ha utilizado un criterio cromático y visual para su clasificación tal y como se indica en la **figura 3**.

	26 - 31 de mayo	1 - 7 de junio	8 - 15 junio	16 - 23 Junio	24 - 30 de Junio	30 de junio - 6 de Julio	7 - 14 de julio
2018 T1	ID:LC08_LTTP_199032_2 0180530_20180614_01_		ID:LC08_LTTP_199032_2 32_20180615_2018 0703_01_T1			0180701_20180716_01_LT 1	
2017	ID:LC08_LTTP_199032_2 0170521_20170615_01_T1 Acquisition Date:21-MAY-		0170612_20170626_01_LT 1	0170621_20170630_01_LT 1			ID:LC08_LTTP_ 0170714_201707 1
2016 T1	ID:LC08_LTTP_199032_2 0160524_20170324_01_		0160602_20170324_01_LT 1		ID:LC08_LTTP_199032_2 0160625_20170323_01_LT 1		ID:LC08_LTTP_ 0160711_201703 1
2015		ID:LC08_LTTP_199032_2 0150607_20170408_01_LT 1		ID:LC08_LTTP_199032_2 0150623_20170407_01_LT 1			ID:LC08_LTTP_ 0150703_20180 1
2014	ID:LC08_LTTP_199032_2 0130525_20170504_01_LT 1		ID:LC08_LTTP_199032_2 0130610_20170504_01_LT 1	ID:LC08_LTTP_1990 32_20140620_2017 0421_01_T1	ID:LC08_LTTP_199032_2 0140629_20170421_01_LT 1		
2013 T1						ID:LC08_LTTP_199032_2 0130703_20170503_01_LT 1	ID:LC08_LTTP_ 0130712_20170 1
2012	ID:LT05_LTTP_199032_2 0110527_20161009_01_LT 1			ID:LT05_LTTP_199032_2 0110621_20161008_01_LT 1			
2011 T1				ID:LT05_LTTP_1990 32_20100618_2018 0128_01_T1			
2010	0090530_20180309_01_	0090606_20161025_01_		0090622_20161024_01_		0090701_20161025_01_LT 1	
2009	Acquisition Date:30-MAY-	T1	Acquisition Date:06-JUN-	Acquisition Date:22-JUN-		Acquisition Date:01-JUL-	
2008				0080619_20180120_01_LT 1			
2007			ID:LT05_LTTP_199032_2 0070601_20161114_01_T1 Acquisition Date:01-JUN-07	ID:LT05_LTTP_199032_2 0070617_20161113_01_T1 Acquisition Date:17-JUN-07		ID:LT05_LTTP_199032_2 0070703_20161113_01_LT 1	Acquisition Date:03-JUL-
2006				ID:LT05_LTTP_1990 32_20060623_2018 0310_01_T1 Acquisition Date:23-			
	0050526_20180126_01_LT 1		0050611_20180126_01_LT 1		0050627_20180126_01_LT 1		0050713_20180 1

Figura 3: Recuento de imágenes de satélite de utilidad para el estudio (fragmento de la tabla).

Una vez obtenidas toda la lista de imágenes se ha puesto todo el foco de atención en dos períodos muy concretos:

- El periodo que abarca desde el 8 de junio hasta el 15 de junio
- El periodo que abarca desde el 24 de agosto hasta el 31 de agosto

Las razones para centrarse en estos períodos vienen dadas por el carácter del estudio a realizar, es decir, al centrarse en las manchas de vegetación y la aplicación de una serie de índices que buscan ver la propia vegetación y la variación existente en este periodo de años, interesaba escoger una semana en la que el vigor vegetal fuera máximo.

Es por ello que el criterio de agrupación se ha seguido teniendo en cuenta la semana del 8 al 15 de junio buscando obtener los mejores datos posibles de cara a la realización del índice. Por otra parte, la columna seleccionada de agosto sirve como contrapunto ya que permite analizar diferencias en un corto periodo de tiempo donde se espera que el vigor vegetal que haya cambiado notablemente.

Pero acudiendo a la **figura 3**, se puede apreciar cómo no siempre existen imágenes para las columnas seleccionadas por lo que se ha puesto el foco en el valor medio entre la semana del 8 al 15, es decir, 11 y el valor medio de la semana del 24 al 31, es decir, 27.

Teniendo estos dos valores en cuenta, y en caso de no haber imagen en estas dos columnas, se han mirado las más próximas por delante y detrás y la fecha que más se acercase a este valor es la que ha resultado elegida.

Adicionalmente, se consultaron los informes de los años agro-meteorológicos que ofrece la agencia estatal de meteorología (AEMET) por si se diera el caso de que la vegetación de las imágenes por su ciclo fenológico se asemejase a otra semana o mes, pero debido a la falta de años disponibles y a la escasa información relevante para el contexto comarcal se terminó por desechar esta idea. Este concepto de fenología era algo realmente a tener en cuenta a la hora de realizar un análisis o hacer diversas afirmaciones, pero pese a que no existían estos informes se ha conseguido sortear este obstáculo mediante algunos cálculos en los datos, como se detallará más adelante.

Finalmente, teniendo en cuenta que el periodo de estudio abarca 34 años en total y algunos de ellos no tienen una buena disponibilidad de imágenes se ha optado por la creación de grupos, siempre teniendo en cuenta la semana de junio que es la que prima sobre la de agosto, que van sucediéndose cada cuatro años.

Teniendo esto en cuenta las imágenes estudiadas son las de los siguientes años:

- 1984 – 06 – 01 / 1984 – 08 – 20
- 1986 – 06 – 07 / 1986 – 08 – 26
- 1990 – 06 – 02 / 1990 – 08 – 21
- 1994 – 06 – 13 / 1994 – 09 – 01
- 1999 – 06 – 11 / 1999 – 08 – 23
- 2002 – 06 – 12 / 2002 – 08 – 30
- 2006 – 06 – 18 / 2002 – 08 – 30
- 2010 – 06 – 18 / 2010 – 08 – 21
- 2014 – 06 – 20 / 2014 – 08 – 23
- 2018 – 06 – 15 / 2018 – 08 – 27

En el caso del periodo de 1986 y 1984 se ha realizado la excepción de mantener un lapso de dos años para que el resto sí que mantuviesen la variación establecida. Teniendo esto en cuenta el total de imágenes utilizadas asciende a 20 ya que cada una de junio tiene su imagen correspondiente de agosto. En el caso de 1998 se ha optado por el año 1999 debido a la falta de información consistente. Con el periodo de búsqueda acotado y las imágenes seleccionadas finalmente se procedió a la obtención de las mismas con una espera de 2 días debido a que había que solicitarlas bajo demanda.

Las 20 imágenes multibanda debían mostrar la reflectividad de la superficie terrestre y para ello se acudió a Landsat Collection 1 Level – 2 (On – Demand), que además vienen con la corrección atmosférica realizada, por lo que lo mostrado directamente corresponde con la reflectividad, ahorrando así una cantidad ingente de trabajo. Se tuvieron en cuenta algunas características de las propias imágenes desde el visor como el *Path* y *Row* que sirven como sistema de referencia para identificar por donde

pasan los satélites ya que posteriormente esto es de especial relevancia de cara a que resulten iguales pixel a pixel.

Finalmente, con las imágenes seleccionadas se procedió a realizar un recorte de las mismas utilizando como capa base la comarca del Matarraña para posteriormente corregirlas geométricamente y que coincidiesen todas pixel a pixel evitando así cualquier tipo de error en los tratamientos posteriores. Para ello se creó un modelo (**figura 4**) que permitió sistematizar el trabajo al poder realizar los recortes para todas las imágenes y poder pasar todas a la proyección ETRS89 UTM 30N.

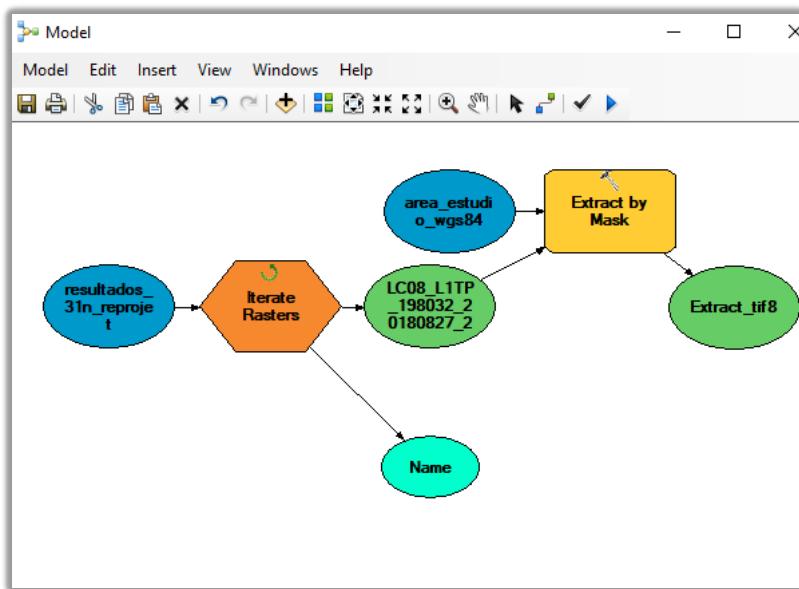


Figura 4: Modelo generado para cortar y referenciar las imágenes. Fuente: Realización propia.

4.3.3. Generación de información adicional

Una vez las imágenes estaban listas para su uso se procedió a valorar las mismas mediante una serie de estadísticos y la generación de histogramas para cada una de ellas ya que mediante el visor Earth Explorer la vista de la imagen que se puede realizar resulta muy poco esclarecedora ya que solamente permite hacer una aproximación de la cantidad de nubosidad existente a simple vista. Para ello mediante ArcMap 10.3 se realizó para cada imagen el cálculo del mínimo, máximo, la media y la desviación típica junto a un histograma tal y como se puede apreciar en la **figura 5**.

En líneas generales la inmensa mayoría de las imágenes presentaban un buen estado obviando algunas que tenían ciertas partes con nubosidad o alguna deficiencia en la radiometría debido a que por ejemplo Landsat 5 en sus últimos años no captaba igual de bien debido al enorme periodo de tiempo que estuvo en órbita. Pese a ello, eran igual de válidas y debido a la magnitud del área estudiada se han tenido utilizar igualmente aunque con pequeños retoques para paliar los datos erróneos que pudieran surgir fruto de esta problemática. Las consideraciones obtenidas tras el exploratorio de las imágenes se presentan en el apartado de resultados, pues este punto resultó fundamental a la hora de organizar las diferentes cartografías.

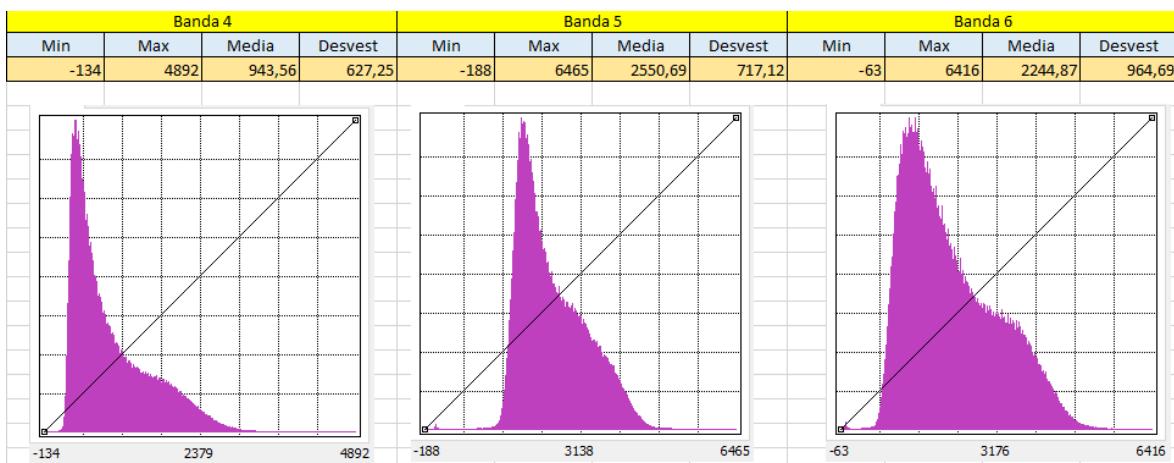


Figura 5: Ejemplo de estadísticos e histogramas generados.

En definitiva, mediante esta información se puede valorar de primera mano la calidad de las imágenes gracias a la forma de los histogramas y a la desviación típica. Adicionalmente se realizó una composición de color 4/5/3 (**figura 6**) para cada una de las imágenes quedando así una apariencia de fotografía de infrarrojo por lo que es especialmente útil para ver la vegetación, fin último del estudio y, además, resulta realmente útil de cara a la eliminación de la nubosidad existente en algunas de las imágenes del área de estudio ya que permite delimitarla con claridad.

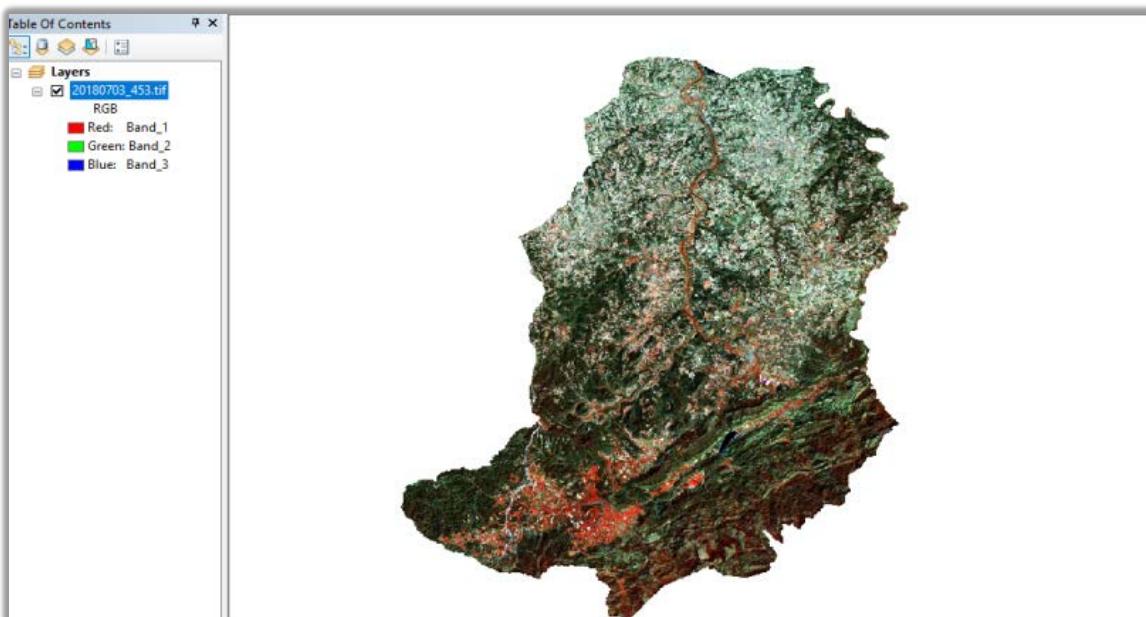


Figura 6: Ejemplo de composición de color. Fuente: Elaboración propia.

4.3.4. Cálculo de los índices

Finalmente, con las imágenes recortadas, referenciadas y evaluadas se ha procedido al cálculo de cinco índices distintos que permiten visualizar la vegetación en última instancia. El primero de ellos fue el NDVI (índice de vegetación de diferencia

normalizada). Estos índices de vegetación son combinaciones lineales de canales, es decir, operaciones aplicadas pixel a pixel en función de los niveles digitales de dos o más bandas. Se basan en la diversa respuesta de las cubiertas en diferentes sectores del espectro (signatura espectral).

Este índice permite realizar un estudio de la cantidad y calidad de vegetación existente en el área de estudio mediante el uso de diferentes bandas del espectro electromagnético en concreto la banda roja (0,6 a 0,7 μm) y la infrarroja (0,7 a 1,1 μm). Para su cálculo se ha utilizado la siguiente fórmula:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR}-\text{VIS}) / (\text{NIR}+\text{VIS})$$

La razón de utilizar estas bandas es debido a que la vegetación clorofílica sana tiene un funcionamiento de reflectividad de un sentido inverso ya que en el visible sus pigmentos absorben la mayor cantidad de energía posible mientras que en el infrarrojo ocurre una situación inversa ya que esta vegetación queda en realce. Por ello, al utilizar este cociente se consigue obtener la información del vigor vegetal. Además, el NDVI es consistente en el espacio (solana y umbría) y en el tiempo (10 de la mañana o 12 de la mañana). Es por lo tanto un dato universal, que tiene un valor significativo. Esto quiere decir que el NDVI opera de tal manera que el resultado del índice da el mismo valor para un objeto en lugares distintos, aunque la cantidad de energía recibida en un lugar frente a otro sea distinta, de ahí que resulte tan importante para la realización de dicho trabajo (Chuvieco, 1995).

El segundo de los índices es el NDWI (índice diferencial de agua normalizado). Dicho índice permite identificar masas de agua, zonas con elevadas cantidad de humedad o por el contrario, zonas sometidas al estrés hídrico. Es un buen complemento de cara a la utilización del NDVI ya que permite relacionar el vigor vegetal con la disponibilidad de agua. Además en una zona como Matarraña en la que hay zonas claramente diferenciadas resulta de mucha utilidad. La fórmula empleada es la siguiente:

$$\text{NDWI} = (\text{NIR}-\text{SWIR}) / (\text{NIR}+\text{SWIR})$$

En concreto, se ha utilizado el método de Gao (1996) y las bandas empleadas son las del infrarrojo próximo y el SWIR o infrarrojo corto que es una de las bandas más útiles de cara a mostrar la humedad siendo la interpretación del resultado como la del NDWI.

El tercer cálculo ha sido el análisis Tasseled Cap. Este análisis no es imagen dependiente, sino que depende de los coeficientes que ya están predefinidos y se aplican a una imagen para obtener un resultado, en definitiva, depende de estadísticos. Las formulas realizadas han sido las siguientes (*siendo x el valor del coeficiente y TM la banda a utilizar*):

$$\begin{aligned} \text{Brillo, humedad o verdor: } & \text{Float } (((X)*\text{TM1}) + ((X)*\text{TM2}) + ((X)*\text{TM3}) + \\ & ((X)*\text{TM4}) + ((X)*\text{TM5}) + ((X)*\text{TM7})). \end{aligned}$$

La ventaja es que al no ser un análisis imagen dependiente no será necesario hacer tanta interpretación y gracias a esto se podrá comparar imágenes en el espacio y en el

tiempo porque un determinado valor significa siempre lo mismo al estar en este rango predefinido. En definitiva, aporta una valoración física de la estructura espaciotemporal de los datos (Chuvieco, 2000).

Es como un NDVI que permite comparaciones, además, el NDVI era un índice de vigor vegetal que tenía en cuenta únicamente dos bandas (rojo e infrarrojo próximo), pero Tasseled Cap tiene en cuenta las seis bandas siendo una fuente fiable y obteniendo más información.

Además, dependen del sensor porque es el medio a través del cual observar la realidad y cada sensor tiene unos parámetros distintos, por ello hay leves variaciones en los coeficientes Tasseled Cap entre diferentes Landsat (5, 7 y 8). Teniendo esto en cuenta para su cálculo se han utilizado coeficientes que se incluyen en las **figuras 7, 8 y 9**.

Componente	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
Brillo	0.3037	0.2793	0.4743	0.5585	0.5082	0.1863
Verdor	-0.2848	-0.2435	-0.5436	0.7243	0.0840	-0.1800
Humedad	0.1509	0.1973	0.3279	0.3406	-0.712	-0.4572

Figura 7: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 5 (Huang et al., 2002).

Index	Band 1	Band 2	Band 3	Band 4	Band 5	Band 7
Brightness	0.3561	0.3972	0.3904	0.6966	0.2286	0.1596
Greenness	-0.3344	-0.3544	-0.4556	0.6966	-0.0242	-0.2630
Wetness	0.2626	0.2141	0.0926	0.0656	-0.7629	-0.5388
Fourth	0.0805	-0.0498	0.1950	-0.1327	0.5752	-0.7775
Fifth	-0.7252	-0.0202	0.6683	0.0631	-0.1494	-0.0274
Sixth	0.4000	-0.8172	0.3832	0.0602	-0.1095	0.0985

Figura 8: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 7 (Huang et al., 2002).

Landsat 8	(Blue) Band 2	(Green) Band 3	(Red) Band 4	(NIR) Band 5	(SWIR1) Band 6	(SWIR2) Band 7
TCT						
Brightness	0.3029	0.2786	0.4733	0.5599	0.508	0.1872
Greenness	-0.2941	-0.243	-0.5424	0.7276	0.0713	-0.1608
Wetness	0.1511	0.1973	0.3283	0.3407	-0.7117	-0.4559
TCT4	-0.8239	0.0849	0.4396	-0.058	0.2013	-0.2773
TCT5	-0.3294	0.0557	0.1056	0.1855	-0.4349	0.8085
TCT6	0.1079	-0.9023	0.4119	0.0575	-0.0259	0.0252

Figura 9: Coeficientes para Tasseled Cap en Landsat 8 (Baig et al., 2014).

En cuanto al significado de estos tres elementos, Chuvieco (2010) los define brevemente como:

- **Brillo:** Suma ponderada de todos los canales, excluido el térmico. Refleja los cambios en la reflectividad total de la escena.
- **Verdor:** Relacionado con la actividad vegetativa. Realiza un contraste entre las bandas visibles y el infrarrojo medio.
- **Humedad:** Tiene que ver con el contenido de humedad en la vegetación y los suelos.

4.3.5. Recortes y cálculo de estadísticos

Una vez realizado el cálculo de todos los índices se han multiplicado los cinco (20 imágenes por índice) por 1000 con el objetivo de quitar decimales mediante la herramienta “*raster calculator*” y con los 100 resultados obtenidos se ha utilizado la herramienta “*integer*” para transformar estos valores a números enteros. Estas transformaciones de los índices realizadas para cada año y semana se hicieron pensando en el tratamiento estadístico, pues la herramienta “*zonal statistics*” no podía realizar cálculos si los datos no estaban en este formato.

Finalmente, el último de los pasos antes de hacer los diferentes estadísticos consistió en eliminar algunas de las pequeñas nubes que se encontraban en ciertas escenas para obtener un valor de “*no data*” ya que esto es fundamental de cara a que no exista ningún tipo de error aparente en la realización del fin último del trabajo. Para ello se tomó como referencia la capa vectorial del límite comarcal de Matarraña y editando los polígonos correspondientes sobre la nube se crearon capas de recorte para cada una de las imágenes que lo requiriesen y con las funciones “*erase*” y “*extract by mask*” se obtuvieron los resultados definitivos (**figura 10**).

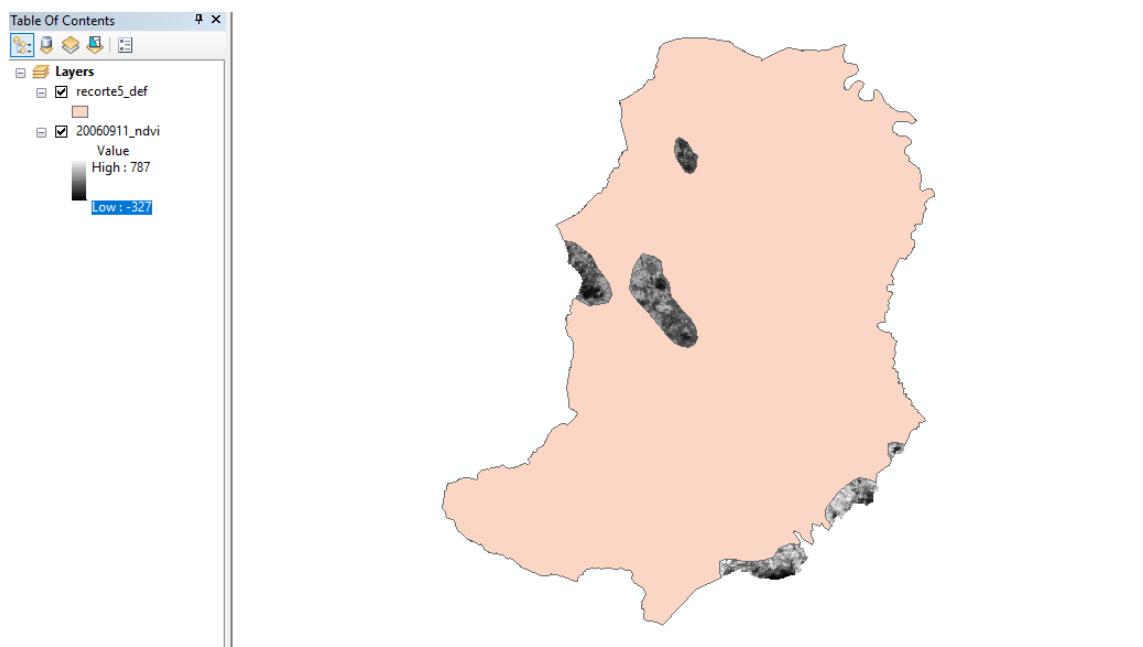


Figura 10: Recorte ejemplo para una de las imágenes con nubosidad. Fuente: Elaboración propia.

El último paso de la metodología consistió en cruzar la capa vectorial de cultivos abandonados con las 20 imágenes en cada uno de los 5 índices ya calculados y tratados mediante la herramienta “Zonal statistics (as a table)” con el fin de generar 100 tablas distintas para cada una de las fechas en los diferentes índices. Los estadísticos escogidos para el estudio han sido los siguientes:

- **Media:** Calcula el valor promedio de todas las celdas en el ráster que pertenecen a la misma zona que la celda de salida.
- **Mediana:** Determina el valor medio de todas las celdas en el ráster de valores que pertenecen a la misma zona que la celda de salida.
- **Rango:** Calcula la diferencia entre el valor más grande y el más pequeño de todas las celdas en el ráster de valores que pertenecen a la misma zona que la celda de salida.
- **Desviación estándar:** Calcula cómo de dispersos están los datos respecto a la media de todas las celdas en el ráster.

Una vez generadas las 100 tablas correspondientes a cada índice para cada fecha y creado un modelo digital de elevaciones (MDT05) para calcular las pendientes, se ha procedido a realizar un “Join” de cada una de las tablas correspondientes a un índice entre ellas mismas partiendo desde agosto de 2018 hacia junio de 1984 para que fueran fácilmente identificables los campos en ese orden decreciente. Finalmente, se han añadido, mediante el mismo procedimiento, cinco veces (debido a que hay cinco índices) una a una cinco copias de la capa de cultivos abandonados teniendo así los diferentes valores de los índices en cada una de las parcelas abandonadas (**Figura 11**). Una vez realizado este paso las tablas de atributos de las cinco capas han sido exportadas a diferentes hojas de cálculo en Excel con el objetivo de poder realizar diferentes gráficas y poder explorar en profundidad los datos en bruto resultando en cinco hojas Excel con los 4562 datos por hoja para cada parcela abandonada e índice.

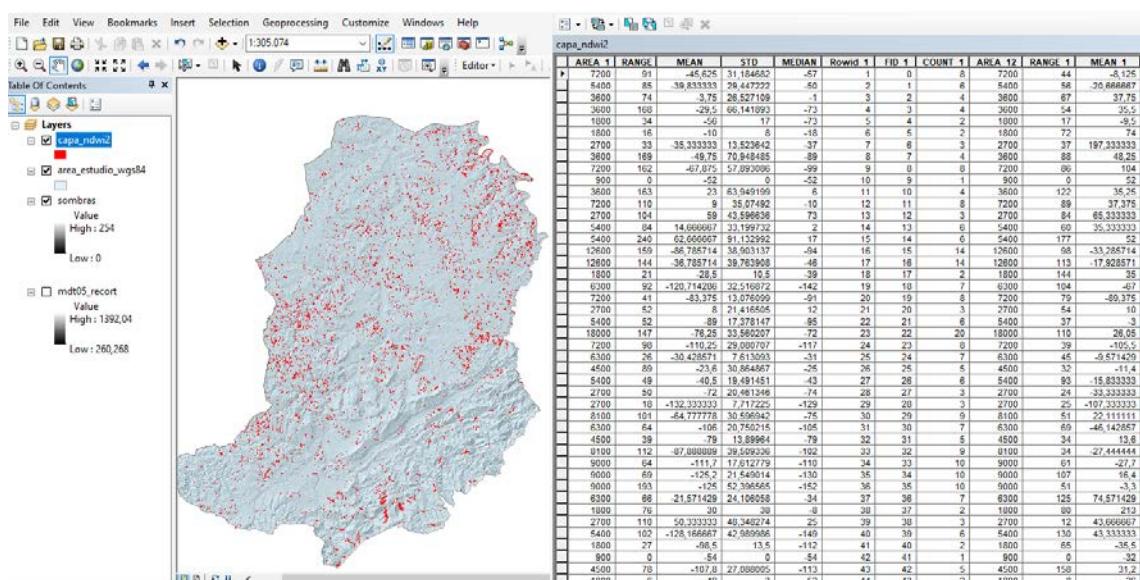


Figura 11: Coberturas finales con atributos de los índices. Fuente: Elaboración propia.

Se han obviado las que tuvieran menos de 1800 m² por no resultar especialmente relevantes debido a su escaso tamaño mediante el cálculo del área en ArcMap y finalmente se ha procedido, mediante diferentes composiciones de color en base a los índices, a ver los cambios registrados a priori en fechas de 10 años en 10 años, entre la primera imagen de julio, la que queda entre medio y la más reciente y, finalmente, diferenciando entre julio y agosto con el objetivo de conocer con propiedad cuales han sido los diferentes cambios experimentados y poder inferir cual es la razón de dicho cambio.

Para ello se agrupan las diferentes imágenes de un índice y se hacen composiciones de color mediante “*Image Analysis*” ya que esta forma permite generar de manera sencilla pequeñas aproximaciones a los cambios que se pueden observar con la mera exploración de los datos (**Figura 12**). Además con el uso de un realce Gaussiano se acentúan aún más los diferentes valores cromáticos siendo una herramienta de estudio de lo más útil.

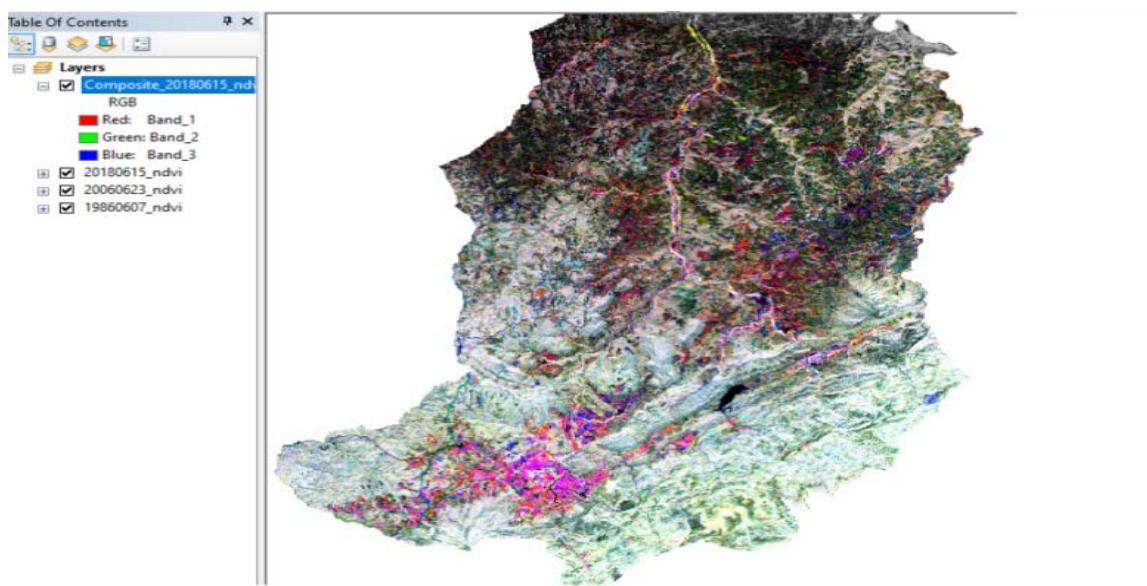


Figura 12: Ejemplo de evolución de los valores de NDVI en la comarca mediante composición de color. Fuente: Realización propia.

Atendiendo a la **figura 12** en la que se han utilizado imágenes de julio de 1986, 2006, y 2018 se puede observar de manera sencilla gracias al color como las zonas Norte y Sur son las que han experimentado un mayor cambio en el tiempo como se expondrá en el apartado correspondiente de resultados y discusión.

5. Resultados

5.1. Dinámica del área de estudio

Para la realización del primer apartado de resultados se ha optado por dar una visión general de la comarca en su totalidad con el fin de comprobar si las consideraciones que se tenían previamente sobre la evolución de la vegetación se cumplen y así poder abordar con mayor propiedad la evolución en los cultivos abandonados. Para lograr este

objetivo se han tenido en cuenta las composiciones de color y los diferentes índices calculados y utilizando algunas de las herramientas como las de la **figura 5** y procedimientos como el de la **figura 11**, se ha procedido a crear una tabla clasificatoria (**figura 13**).

Sensor					Nubes	Completa	Calidad	
TM	TM	1984 06 01	X	1984 08 20	S			Mrad
TM	TM	1986 06 07	X	1986 08 26	S		Mrad	Mrad
TM	TM	1990 06 02	X	1990 08 21			Mrad	Mrad
TM	TM	1994 06 13		1994 09 01	S		Mrad	MALMrad
TM	TM	1999 06 11	X	1999 08 23	S	S	S	Mrad
TM	ETM+	2002 06 12	X	2002 08 30	S		Mrad	Reg
TM	TM	2006 06 23	X	2006 09 11	S	S		Mrad
TM	TM	2010 06 18		2010 08 21	S+		S	MAL Mrad
OLI	OLI	2014 06 20	X	2014 08 23			S	
OLI	OLI	2018 06 15	X	2018 08 27		S	S	

Figura 13: Clasificación de las imágenes para eliminar diferencias en la fenología. Fuente: Elaboración propia a partir de los datos obtenidos en las imágenes del USGS.

Mediante esta tabla clasificatoria lo que se ha buscado en última instancia es tener una valoración final de las imágenes mediante el análisis de los histogramas generados en la **figura 5** para poder crear diversos grupos de imágenes combinadas, ya que de esta manera, se podrían eliminar las diferencias en la fenología al sintetizar en una sola imagen la información agregada de una determinada serie de años.

Esto es importante debido a que como se comentaba en la metodología no había sido posible acceder a los informes fenológicos que anteriormente publicaba AEMET y mediante este sencillo procedimiento no se pierde calidad en el análisis y no se deja de lado un concepto tan importante como el de la fenología. Mediante un criterio clasificatorio cromático se pueden apreciar que imágenes presentan un uso más que aceptable (verde) cuales pueden tener algún problema en la radiometría o presencia de nubosidad pero pese a ello resultan óptimas para el estudio (amarillo) y cuáles de ellas no tienen ningún tipo de utilidad y han sido desecharadas.

Teniendo esto en cuenta se establecen tres grupos de análisis fundamentales:

- El comprendido entre los años 2018 – 2014 y 2010 que representan la etapa más actual y donde debería verse el máximo crecimiento de la vegetación del área de estudio. Con una diferencia de 8 años.
- El comprendido entre los años 2006 – 2002 y 1999 que representan la etapa de crecimiento intermedio con una diferencia de 7 años.
- El comprendido entre los años 1994 – 1990 – 1986 y, finalmente, 1984 que representa el punto de partida del análisis evolutivo de la vegetación en el área de estudio con una diferencia de 10 años.

Composiciones de color 4/5/3 para los años 1986 - 2002 - 2018 en junio

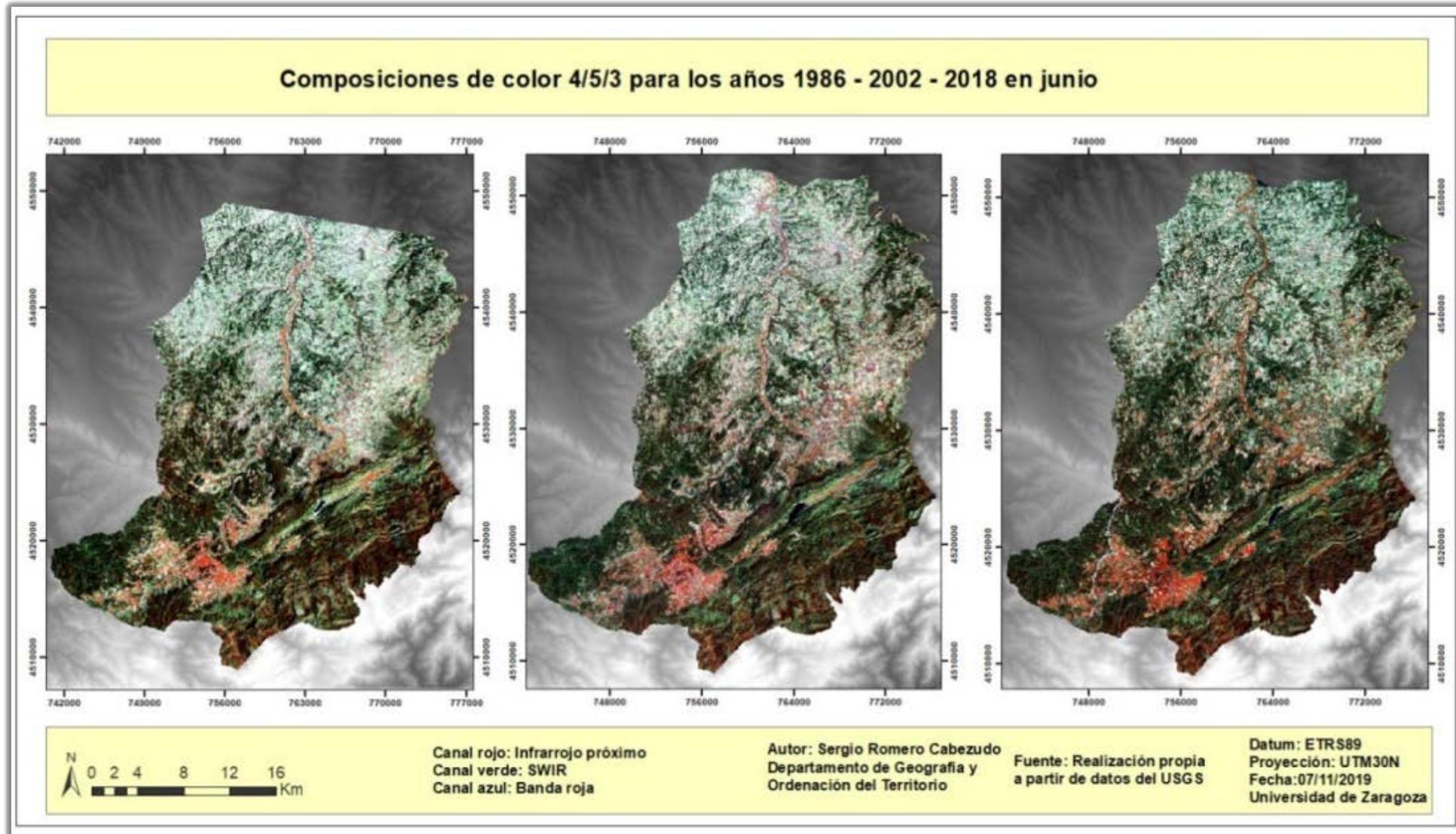


Figura 14: Composiciones de color 4/5/3 para los años 1986 – 2002 – 2018 en la comarca del Matarraña.

Cartografía de dominios de paisaje en la comarca de Matarraña

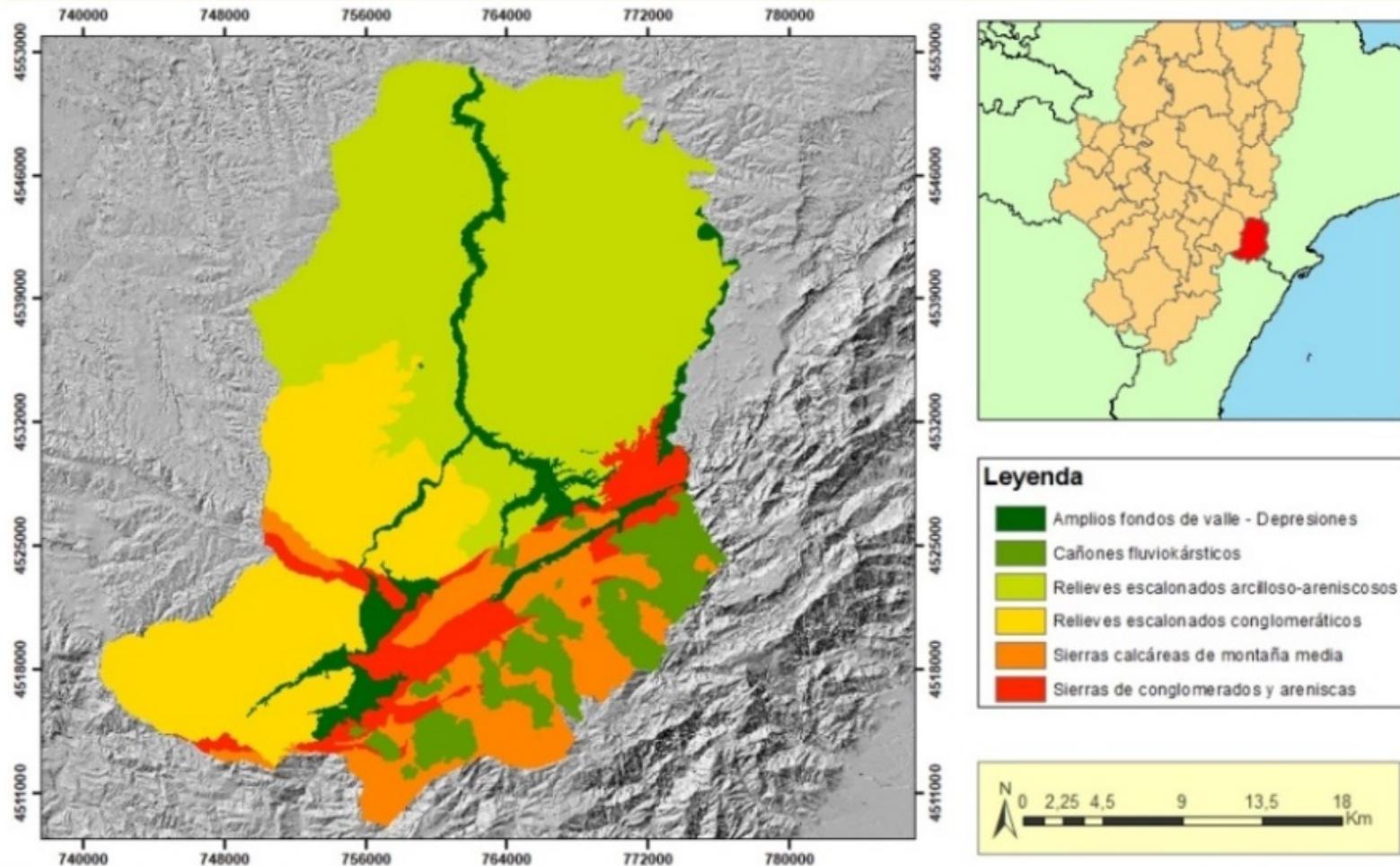


Figura 15: Cartografía de dominios de paisaje en la Comarca de Matarraña.

Cartografía de vegetación y usos del suelo en la comarca de Matarraña

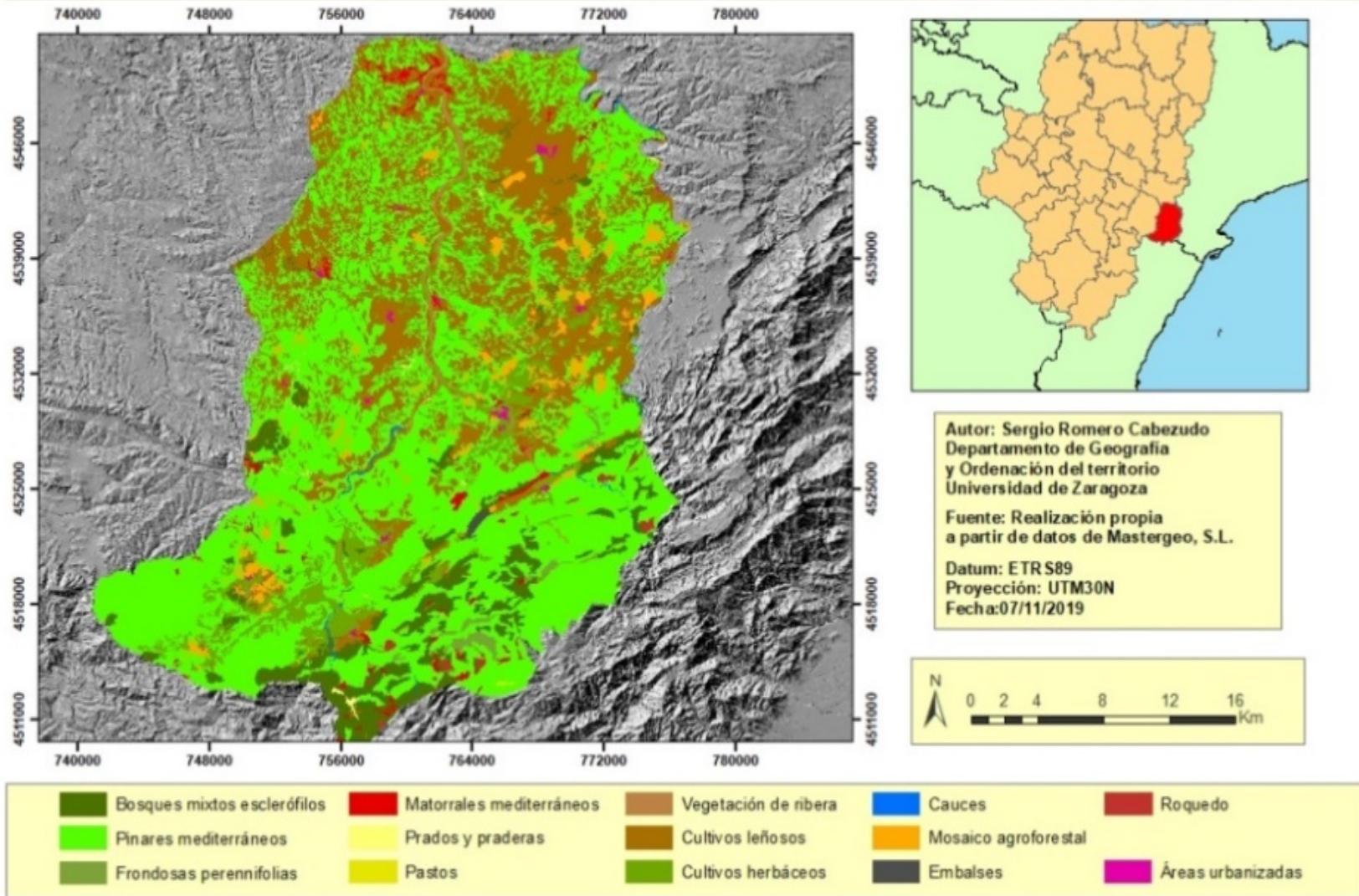


Figura 16: Cartografía de uso del suelo y vegetación en la Comarca de Matarraña.

Con los tres grupos delimitados y definidos se han generado mediante “*raster calculator*” una serie de promedios de imágenes ya que al ser rásteres es fácil trabajar con ellos y así eliminar las diferencias fenológicas. Los diferentes promedios, por una parte, son diferenciados para Julio y agosto, para cada uno de los diferentes grupos, con el objetivo de diferenciar la evolución tanto en un periodo primaveral como en uno veraniego, donde el vigor debería ser algo más bajo. Adicionalmente se ha hecho una combinatoria con el promedio de cada uno de los bloques sin distinción entre estos dos periodos.

Además, y como base previa a cualquier tipo de análisis realizado, se ha generado una serie de cartografías que van a resultar básicas para el desarrollo de la descripción de la dinámica general del área de estudio.

En primer lugar, se presenta una cartografía que compara distintas composiciones de color 4/5/3 como información previa al estudio (**figura 14**). Se ha optado por su realización debido a que todas las cartografías, a excepción de las dos siguientes, son de variables continuas derivadas de la imagen de partida que se ve en esta cartografía, es decir, fundamentalmente se trabaja con NDVI y TTC. Se puede apreciar cómo existe un cambio generalizado en el área de estudio creciendo la vegetación (tonos anaranjados) en la zona Sureste y cómo las tonalidades blanquecinas de suelo desnudo que existen en la parte Norte van perdiendo luminosidad en detrimento de las tonalidades verdes y rojizas indicando un desarrollo de la vegetación generalizado a lo largo del periodo seleccionado.

Continuando con las cartografías básicas, la segunda de ellas es la de dominios de paisaje, que se encargan de delimitar áreas homogéneas en aspectos geológicos o geomorfológicos, creando patrones de distribución muy útiles para el estudio a realizar (**figura 15**). Por lo tanto, mediante esta sencilla cartografía se pretende tener una primera base a la hora de realizar una aproximación en el estudio de la evolución del vigor vegetal con carácter general en la zona de estudio ya que permite identificar rápidamente cuales son los dominios que han experimentado un crecimiento más generalizado y cuáles no. Pero la utilidad de esta cartografía reside en su combinación con de uso del suelo y vegetación (**figura 16**).

Esta cartografía básica es una de las más destacadas ya que con los resultados que se exponen a continuación se pueden realizar comparaciones sencillas con la vegetación existente en el área de estudio conociendo así que formaciones vegetales son más propensas a elevar los valores de vigor vegetal pudiéndose observar de esta forma distintos patrones de distribución determinados. Por eso no será igual la evolución del vigor en las zonas de pinares en relación a las zonas con cultivos leñosos permitiendo pasar con esta cartografía del mero análisis descriptivo y espacial a la concreción que puede aportar el uso del suelo. Teniendo todo esto en cuenta se exponen a continuación las diferentes composiciones de color realizadas en base a los promedios citados en la **figura 13** que permiten crear una visión veraz de la evolución del vigor vegetal.

Entrando ya en cartografías de más detalle en primer lugar se han utilizado los promedios existentes en dos de los tres grandes bloques anuales referidos al mes de junio,

en concreto en momento inicial y el actual. Al realizar composiciones de color con promedios que abarcan tantos años es necesario obtener una visualización óptima de los datos. Para lograr este objetivo el primer paso es el análisis de los histogramas. En este caso, para la interpretación primera de los histogramas es necesario centrarse en la parte gris de los mismos (**figura 17**) ya que estos se presentan sin realce y sirven como una primera aproximación a los datos.

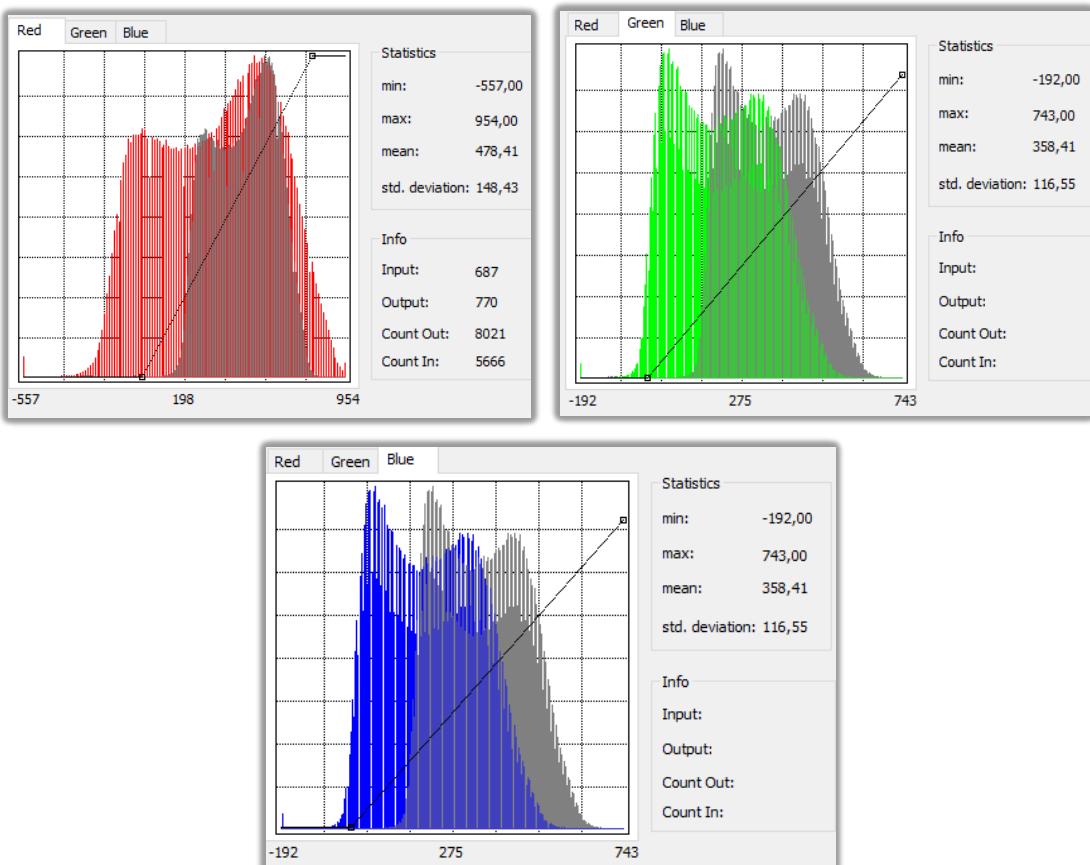


Figura 17: Histogramas con aplicación de realce lineal (valores entre 0 y 800) para las bandas de rojo, verde y azul. Fuente: Elaboración propia.

En primer lugar, se puede comprobar cómo a priori el canal rojo de la **figura 17** que es el que se corresponde con la media de junio del bloque actual (años 2010 – 2018) tiene una desviación típica y un rango que es claramente superior al resto de los histogramas siendo de 148,3 y apreciándose un claro decrecimiento en conforme se pasa al histograma del canal verde (años 1986 - 1994) y azul (años 1986 – 1994) y verde (años 1986 – 1994) cuyo valor de desviación es de 116,15.

Pero no solo los histogramas permiten atisbar cual es la dinámica de los valores del NDVI, ya que todos los estadísticos generados mediante la función “zonal statistics”, que a su vez fueron exportados como tablas Excel, pueden ser fácilmente explorados y en concreto en la **figura 18** se muestra esta dinámica hacia el aumento. En el gráfico se aprecia la dispersión del conjunto de valores de NDVI y se puede apreciar como en 1986 los valores oscilan entre los valores de 0,2 y 0,6 siendo este último valor rara vez alcanzado en alguna de las parcelas mientras que en el año 2018 la situación es totalmente

inversa concentrándose los valores en torno a 0,5 y 0,6 y llegando a tener máximos que superan incluso el 0,8 tal y como se puede comprobar siguiendo las diferentes líneas de tendencia.

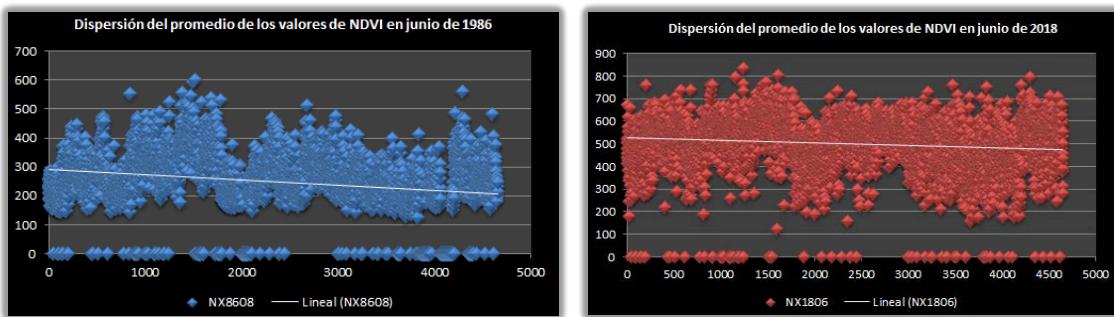


Figura 18: Dispersión del promedio de los valores de NDVI en junio de 1986 y junio de 2018.

Fuente: Elaboración propia.

Estos dos indicadores permiten a priori demostrar que existe una evolución clara en cuanto a los valores de NDVI y que por lo tanto existe un crecimiento en el vigor vegetal entre la fecha de inicio y la actualidad.

Pero, como la visualización de estos promedios puede resultar compleja de interpretar y no se llegan a apreciar ciertos matices se ha aplicado en última instancia un realce lineal a cada una de las imágenes escogidas para que al ser representadas en los canales de rojo, verde y azul tuviera un valor visual más acorde con el objetivo a cumplir. Estos realces son los que se aprecian en la **figura 17** y son los que están coloreados, siendo la línea con sus dos puntos la que marca los datos que fundamentalmente van a ser representados en la cartografía resultante. El rango de datos va desde 0 hasta 800 debido a que se está trabajando con un NDVI multiplicado por 1000.

En cuanto a la explicación de porqué se ha escogido ese umbral hay que tener en cuenta que en un NDVI el rango va de entre -1 y 1. Aproximadamente cualquier pixel debajo de 0,15 no será vegetación mientras que con 0,20 surgen píxeles en negro que tienen algo de vegetación, poca, pero existente. A su vez el valor 0,4 indica que por debajo del mismo puede haber píxeles que parcialmente tengan vegetación y todo lo que hay por encima es vegetación al 100%.

Por otra parte, los valores de 0,6 hacen referencia a cubierta vegetal que indica, por encima de la misma, una cubierta vegetal ya densa que incluye los pinos. Es vegetación sana pero no de vigor vegetal máximo. Será vegetación natural de carácter mediterráneo. Finalmente, con el valor 0,8 se representa la vegetación que tiene vigor vegetal máximo. Esta es la razón por la cual se ha establecido este umbral ya que permite que en la imagen final se muestre únicamente las zonas de suelo desnudo junto a los diferentes gradientes de vigor vegetal y su distribución. Estos realces se plasman en la **figura 19**.

Atendiendo a esta figura lo que llama la atención a primera vista es que la imagen tiene una mancha rojiza de forma generalizada lo cual puede indicar a primera vista que el vigor vegetal ha crecido en toda el área de estudio en el periodo actual respecto al inicial.

La realidad es que dicha tonalidad es fruto del realce y es la que realmente permite realizar una comparación y un estudio más eficaz. Donde es necesario focalizar la atención es en las dos partes tan diferenciadas que existen entre la zona del Bajo Matarraña (zona Norte) y Alto Matarraña (zona Sur).

Lo que fundamentalmente se puede observar en la zona de Alto Matarraña a través de sus valores es que no se ha producido una revegetación, en apariencia, que sea lo suficientemente destacable aunque como se comprobará a través de los estadísticos esta zona sigue una dinámica especial. A su vez, estas zonas del Alto Matarraña se corresponden según la **Figura 15** a los relieves escalonados conglomeráticos, las sierras calcáreas de montaña media, los cañones fluviolíticos y las sierras de conglomerados y areniscas. Por otra parte es en la **Figura 16** donde se aprecia que la cubierta de los pinares es la más habitual en esta zona y es donde se obtienen estos valores tan bajos de variación.

Pese a ello, hay un núcleo bien diferenciado en la zona Sureste que se corresponde con diversas zonas de mosaico agroforestal. En estas áreas es donde realmente se puede apreciar que existen zonas que no han variado y que tienen unas fuertes tonalidades azules, como por ejemplo, los regadíos que tienen unos valores más elevados en los primeros períodos frente a otras zonas de secano que por el contrario sí que han aumentado como las zonas de secano que obtienen unos tonos rojos muy vivos (**figura 20**).

Field	Value	Field	Value
Red	241	Red	444
Green	306	Green	146
Blue	390	Blue	146

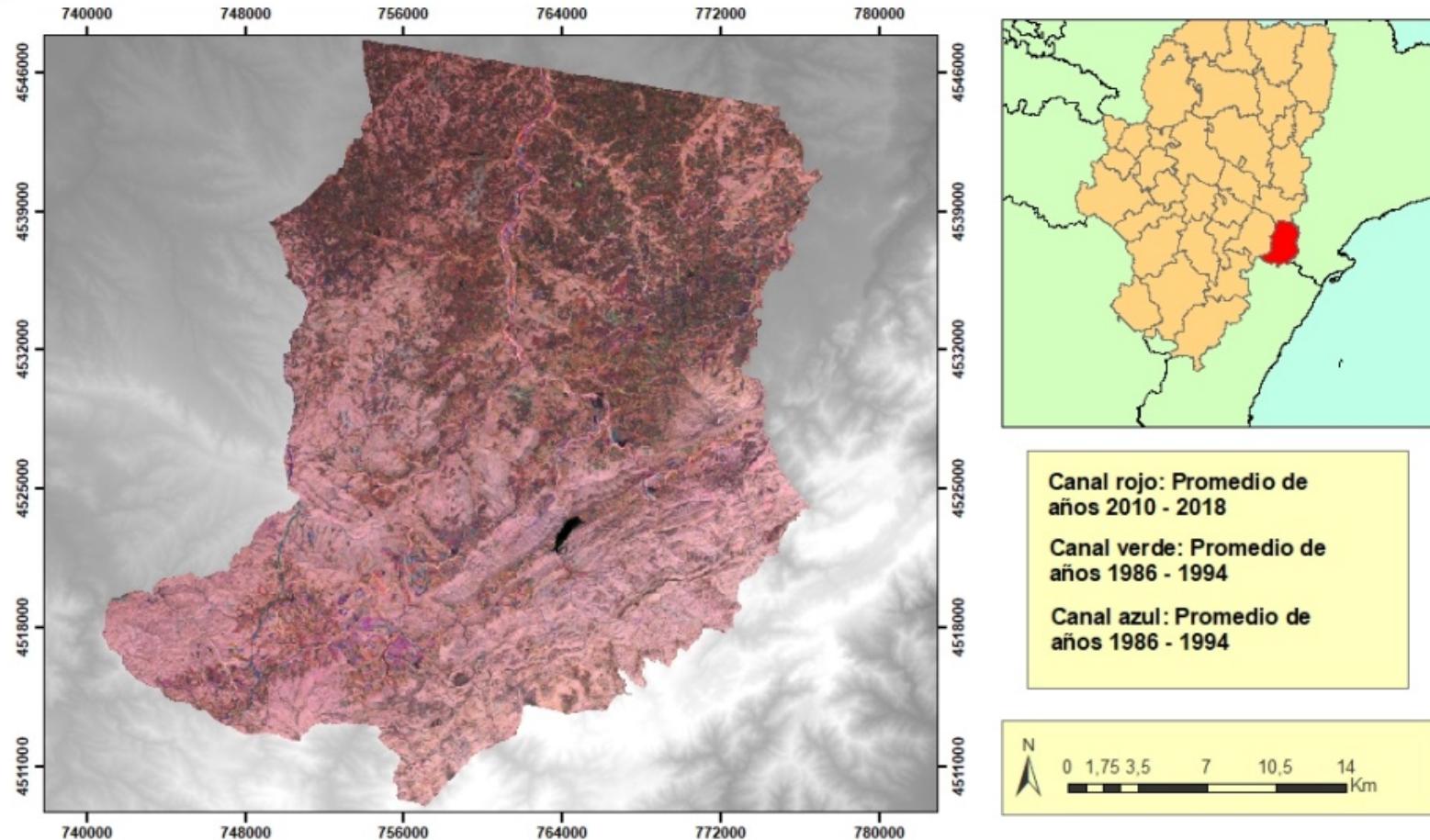
Figura 20: Variación en los valores del NDVI para un punto determinado en el periodo 1986 – 2018. A la izquierda un regadío con baja variación. A la derecha un secano con fuerte aumento.

Fuente: Realización propia.

En la zona Norte o Bajo Matarraña la situación es completamente distinta pues es donde se encuentran los mayores valores de NDVI. Muestra de ello es la gran mancha roja y verde que cubre todo el área y que se corresponde fundamentalmente con el dominio de los relieves escalonados arcillo – areniscosos y con vegetación como los matorrales, los pinares submediterráneos y los cultivos leñosos.

Es necesario destacar que la presencia de tantas tonalidades verdes no significa necesariamente que no haya habido un crecimiento en la actualidad ya que es necesario recalcar que el promedio actual se encuentra situado en el canal rojo. Lo que ocurre es que en muchos casos existe un peso similar en los valores de verde y azul, es decir, en los bloques del inicio y de la fase intermedia y a su vez una variación que no es muy elevada respecto al rojo (**figura 21**).

Variación en el promedio de NDVI en junio entre los años 1984 - 2018 en la comarca de Matarraña



Autor: Sergio Romero Cabezudo
Departamento de Geografía y Ordenación del territorio
Universidad de Zaragoza

Fuente: Realización propia
a partir de datos de Mastergeo, S.L.

Datum: ETRS89
Proyección: UTM30N
Fecha: 07/11/2019

Figura 19: Cartografía de variación en el promedio de vigor vegetal entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarraña.

Field	Value	Field	Value
Red	278	Red	417
Green	251	Green	230
Blue	233	Blue	214

Figura 21: Variación en los valores del NDVI para comprobar las mezclas de color. A la izquierda una tonalidad verdosa pero que sí ha evolucionado positivamente. A la derecha una tonalidad rojiza con su consiguiente aumento. Fuente: Realización propia.

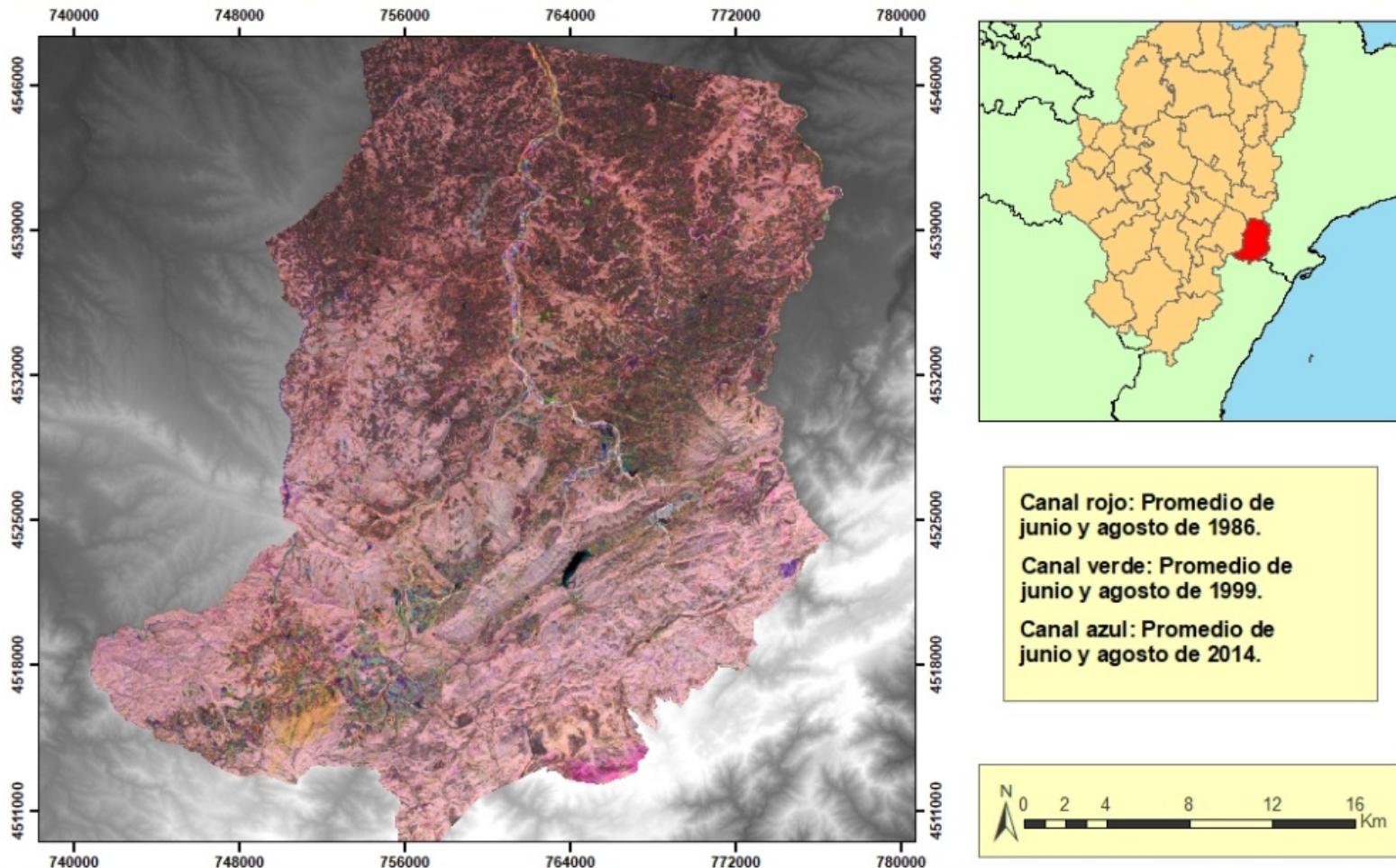
Todo lo comentado en relación con la **figura 19** y las **figuras 20 y 21** vienen a explicar las variaciones de junio que es el periodo más ilustrativo para el estudio que se está realizando. Pero en las **figuras 43 y 58** (Anexo) se presenta también una cartografía que permite comprobar la variación existente en los valores de NDVI entre 1984 – 1999 – 2018 para el mes de agosto, ya que la vegetación tiene comportamientos distintos en ambos periodos, así como sus histogramas realizados. Fundamentalmente lo que se puede apreciar en dicho Anexo es cómo la mancha rojiza que cubría la totalidad de la **figura 19** en este caso queda relegada a la zona Norte y, además, la zona Sur mantiene colores blanquecinos lo que indica que en el periodo de estudio durante los meses de agosto el vigor vegetal en estas zonas más elevadas como los relieves escalonados conglomeráticos, las sierras calcáreas de montaña media y los cañones fluviokársticos mantienen valores similares sin experimentar una gran variación.

Hasta este punto se ha comprobado la evolución en dos estaciones contrastadas a lo largo de una serie de años. Esto es ilustrativo pero dependiendo del año se pueden dar casos en los que se retiren los cultivos antes o después creando situaciones que pudieran ser equivocas o no del todo precisas. Por este motivo se ha realizado una última cartografía de NDVI en la que se hace una media dentro de un mismo año en los momentos de junio y agosto creando así una composición de color que neutralice este posible efecto (**figura 22**). Las combinaciones para su creación han sido las siguientes:

- Canal rojo: Promedio de junio y agosto de 1986.
- Canal verde: Promedio de junio y agosto de 1999.
- Canal azul: Promedio de junio y agosto de 2014.

La cartografía muestra las medias citadas con un realce lineal (cuyos histogramas se encuentran en la figura 45 en Anexo) como en el caso de los NDVI anteriores con un rango que abarca los valores 0 a 800 mostrando nuevamente un patrón de distribución similar aunque añadiendo ciertos matices en el color como la amarillenta de la zona Suroeste caracterizada por unos altos valores de rojo y verde. Pese a ello la distribución de los valores sigue el patrón lógico observado en las anteriores cartografías y permite servir como referencia visual a la hora de la interpretación de la dinámica general del área de estudio.

Variación de NDVI (promedio de junio y agosto) entre los años 1986 -B - 1999 -G y 2014 -R



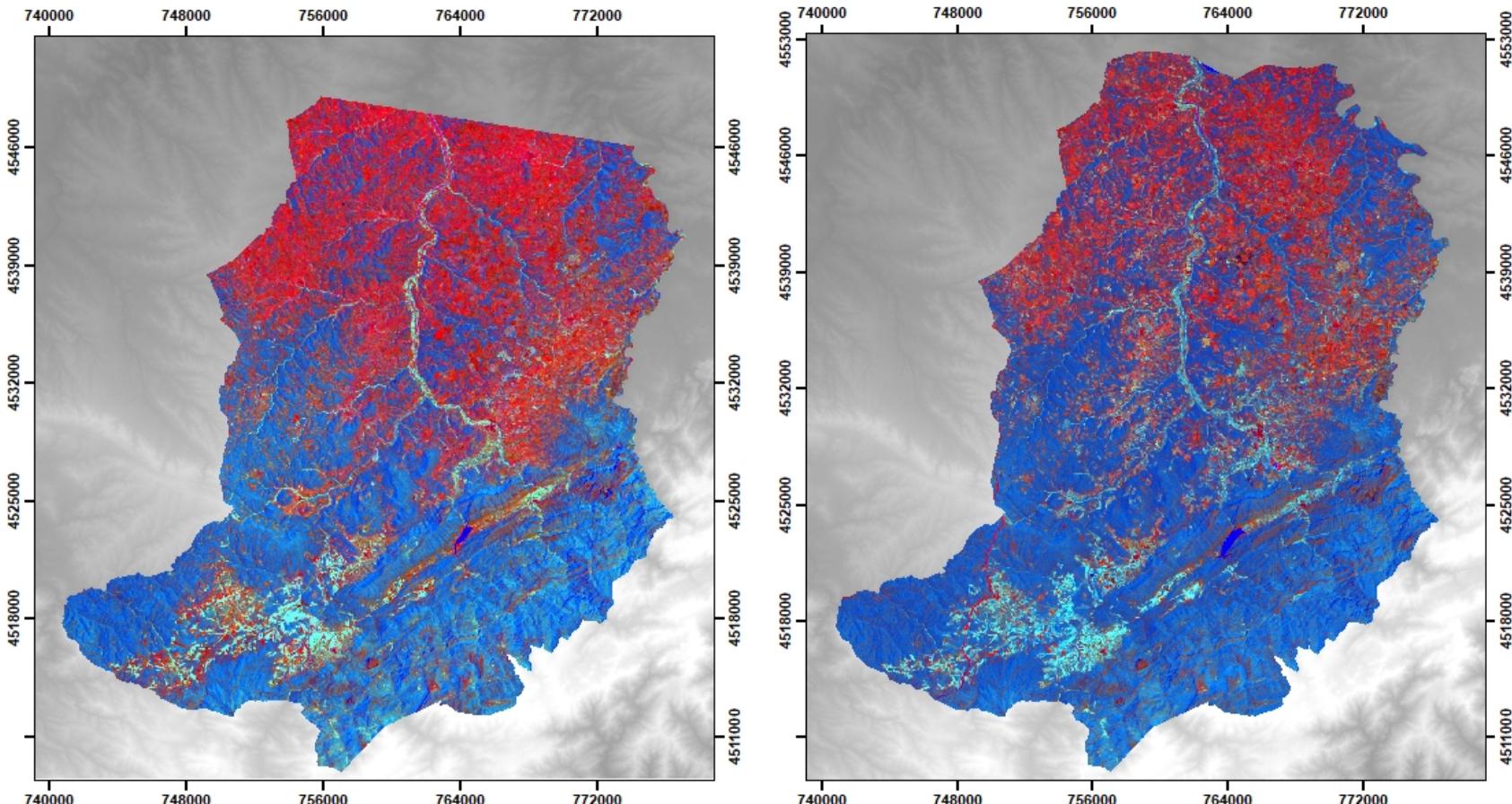
Autor: Sergio Romero Cabezudo
Departamento de Geografía y Ordenación del territorio
Universidad de Zaragoza

Fuente: Realización propia
a partir de datos del USGS

Datum: ETRS89
Proyección: UTM30N
Fecha: 07/11/2019

Figura 22: Cartografía de variación en el promedio de vigor vegetal entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarranya.

Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en junio entre los años 1984 - 2014



Autor: Sergio Romero Cabezudo
Departamento de Geografía
y Ordenación del territorio
Universidad de Zaragoza

Fuente: Realización propia
a partir de datos de Mastergeo, S.L.

Datum: ETRS89
Proyección: UTM30N
Fecha: 07/11/2019

Figura 23: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en junio entre los años 1986 y 2018.

Comprendida la dinámica del área de estudio a lo largo de la serie temporal para el NDVI es necesario destacar que si bien tiene una utilidad elevada se utilizan solamente dos bandas para su elaboración por lo que se ha optado por crear una comparativa con los índices calculados de Tasseled Cap ya que estos aprovechan la información de las seis bandas y la sintetizan permitiendo la observación de más matices. Por ello, se adjunta a continuación una cartografía comparativa de dos composiciones de color Tasseled Cap que siguen los siguientes parámetros (**figura 23**):

- Canal rojo: Brillo de junio de 2018 y 1986.
- Canal verde: Verdor de junio de 2018 y 1986.
- Canal Azul: Humedad de junio de 2018 y 1986.

Esta cartografía es de lo más ilustrativa y sirve como punto y final para el estudio de la dinámica de la comarca del Matarraña en términos generales. En las anteriores cartografías se ha podido observar la evolución de los valores del NDVI en períodos distintos y en meses con comportamientos de la vegetación completamente diferentes pero en este caso lo que se muestra en pantalla permite crear una visión completamente integradora. En estas dos imágenes ya no solo se representa el vigor vegetal sino que también entran los valores del suelo y de la humedad y se puede apreciar cambios mayores.

En primer lugar en la imagen correspondiente a 1986 se pueden obtener a simple vista similitudes con las de NDVI si simplemente se atiende al color ya que se puede apreciar una gran mancha roja en la zona Norte pero los valores son algo distintos puesto que en este caso en el canal rojo se proyecta el brillo por lo que se indica que es una zona en la que hay cierta sequedad, no demasiada humedad y un vigor vegetal que no es realmente elevado.

Uno de los pocos lugares donde el verdor es elevado es en la zona Sur de la comarca en el núcleo donde existen regadíos en los que el verdor situado en el canal verde se combina con la humedad situada en el canal azul dando esa paleta de colores azulados tan característica.

Field	Value
Red	7694358
Green	68508
Blue	-1781119

Field	Value
Red	6776583
Green	638378
Blue	-1500076

Figura 24: Variación en los valores del TTC para un punto determinado en el periodo 1986 – 2018. A la izquierda una mancha de vegetación rojo intenso a la derecha una mancha de vegetación anaranjada con valores de verdor y humedad creciente y rojos en descenso.

La verdadera utilidad para comprender el cambio reside en la segunda imagen donde las manchas rojas comienzan a desaparecer en la parte Norte en algunos casos y donde comienzan a tener una transición hacia colores naranjas en otros. Esto es debido a que el brillo está descendiendo, o lo que es lo mismo, están aumentando el verdor (similar al NDVI) y la humedad (similar al NDWI). Por lo tanto atendiendo a la luminosidad y a los valores

presentados en la **figura 24** se traducen en incrementos en el vigor vegetal ya que cuanta más vegetación exista (verdor) mayor será la capacidad de almacenamiento de humedad.

Esto se puede constatar rápidamente comprobando los histogramas de ambas imágenes. Pese a ello tampoco hay que esperar grandes variaciones, sobre todo en la humedad puesto que comprobando ambos histogramas (**figura 25**) se puede comprobar cómo pese a que parecen distintos en apariencia tienen una desviación típica muy similar aunque lógicamente algo superior en los años más actuales ocurriendo la misma situación con los máximos y los mínimos. Adicionalmente en la **figura 43** (Anexo) se presentan las comparaciones entre brillo y verdor que siguen la dinámica del descenso del brillo con una desviación típica más baja en la actualidad respecto a 1986 y el verdor que aumenta respecto a este último año.

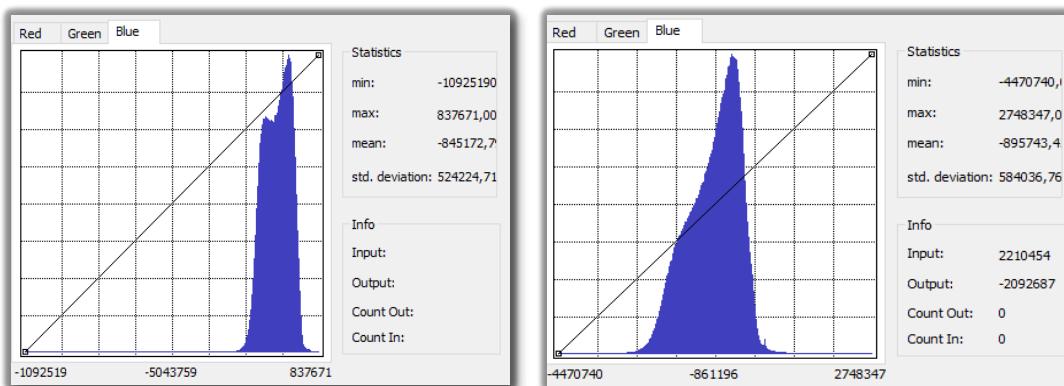


Figura 25: Comparativa de histogramas de humedad en TTC para junio de 1986 y 2018. Fuente: Realización propia.

En definitiva, se está expresando la información de dos índices independientes como los NDVI y NDWI con información adicional lo cual resulta una herramienta especialmente útil en términos interpretativos. Pero también es importante conocer este mismo comportamiento en una época donde el comportamiento de la vegetación es distinto y por ello se ha elaborado la siguiente cartografía comparativa en la que se realiza el mismo procedimiento que en la **Figura 23** pero referida a los meses de agosto.

Las imágenes utilizadas en los diferentes canales son las siguientes (**figura 26**):

- Canal rojo: Brillo de agosto de 2018 y 1984.
- Canal verde: Verdor de agosto de 2018 y 1984.
- Canal Azul: Humedad de agosto de 2018 y 1984.

Si se compara esta cartografía con la anterior (**figura 23**) se pueden apreciar diferentes matices en cuanto a los colores presentes y su distribución. Por un lado las manchas de brillo nuevamente se encuentran concentradas en la parte Norte de la comarca pero, en este caso, aparecen tonalidades amarillas que no se apreciaban en la anterior cartografía referida a junio. Esto es debido al diferente comportamiento que tiene la vegetación en verano que está más seca y de esa combinación de brillo y verdor surge en la imagen de agosto en 1984 una gran mancha amarilla en la zona Norte y en el foco de la zona Suroeste.

Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en agosto entre los años 1984 - 2014

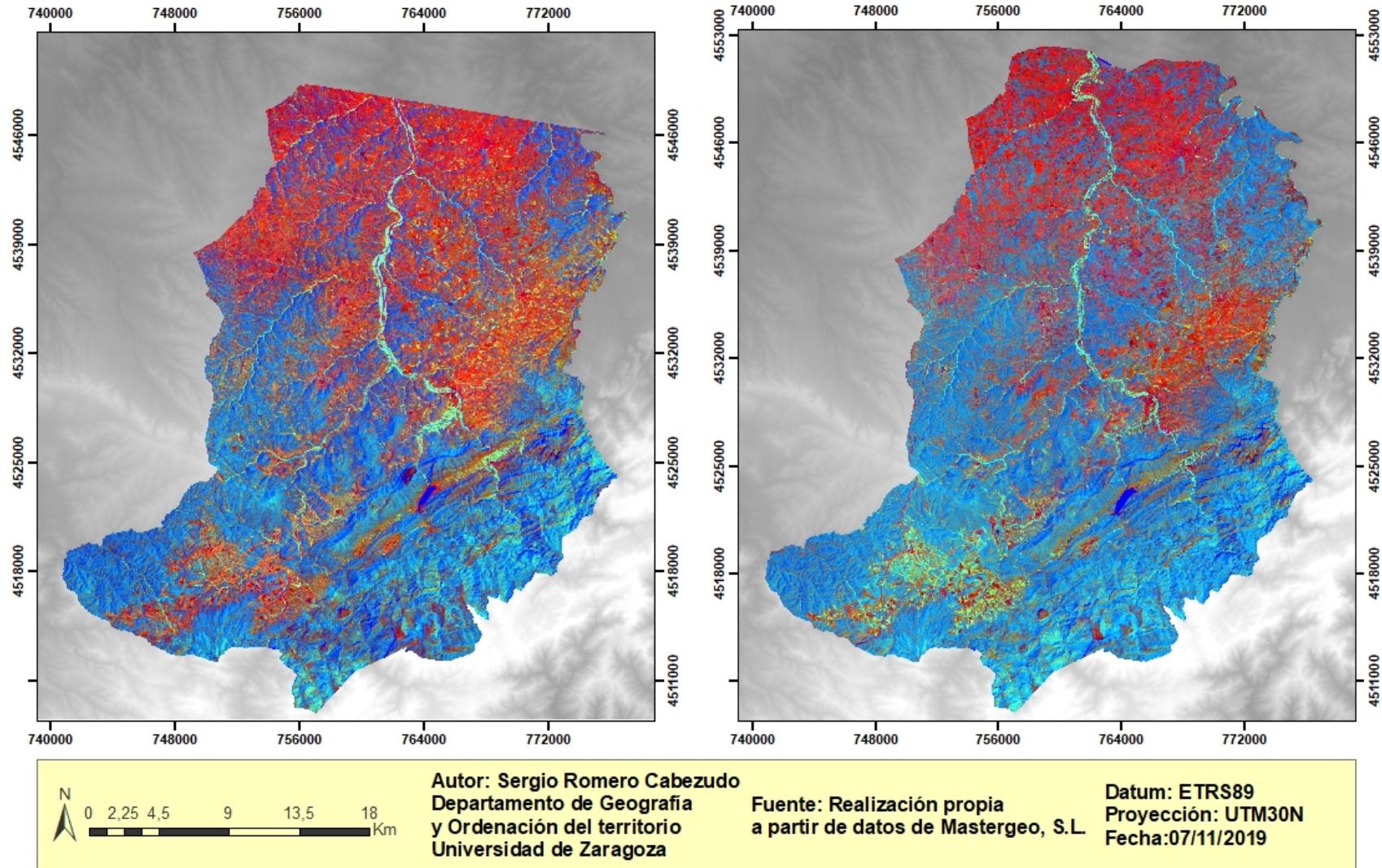


Figura 26: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap en agosto entre los años 1984 y 2014.

Pero atendiendo a la imagen de agosto de 2014 se puede apreciar cómo en términos generales esta sequedad ha ido disminuyendo puesto que ya no se aprecian tantas tonalidades amarillentas a excepción de la presente en la mitad este de la comarca donde se encuentran, según la **figura 16** de usos de suelo y vegetación, los pastos y las frondosas perennifolias aunque en menor medida estas últimas. Esto puede explicar el cómo es posible que se encuentren estas tonalidades al estar secos los pastos. Pero en el resto del área de estudio la situación es similar a la de la **figura 23** aunque no con manchas de crecimiento de vigor vegetal tan marcadas debido a la estación del año que se representa. Teniendo esto en cuenta, se puede apreciar cómo en la parte Norte se gana vigor vegetal y humedad junto con la zona del Sur donde dominan el verdor y la humedad propios de los regadíos.

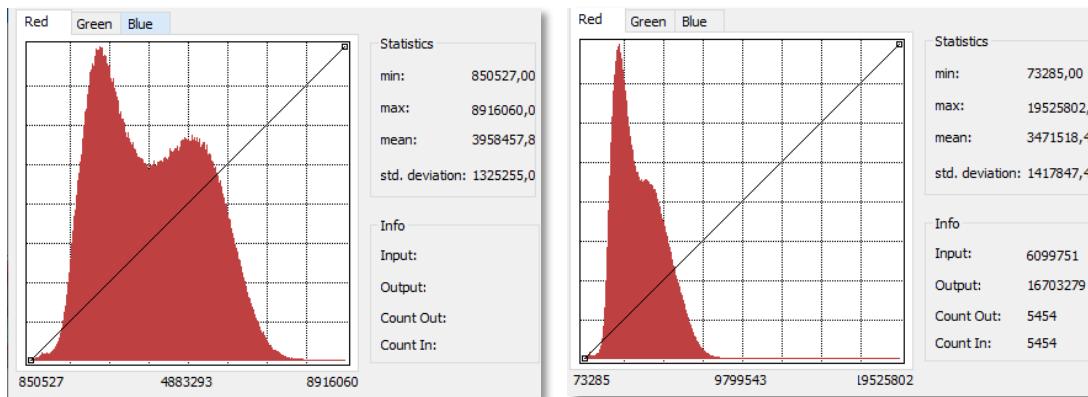


Figura 27: Comparativa de histogramas de humedad en TTC para agosto de 1984 y 2014. Fuente: Realización propia.

Todas estas afirmaciones a su vez pueden ser constatadas rápidamente acudiendo a los histogramas de ambas imágenes donde se deberían dar los casos de que el brillo baje su desviación típica y los máximos respecto a 1984 y donde humedad y verdor harán el caso contrario aumentando progresivamente (**figura 27**).

Se puede apreciar cómo se cumplen las consideraciones vistas en la interpretación visual de la cartografía ya que se ve cómo el rango y la desviación de 1984 son claramente superiores a la de 2014 habiendo descendido estas últimas. Esto quiere decir que la cantidad de suelo desnudo como tal ha disminuido habiendo aumentado la humedad y la vegetación tal y como se puede comprobar acudiendo a la **figura 44** (Anexo) donde están los respectivos histogramas de verdor y humedad.

Finalmente, del mismo modo que se hizo para el NDVI, se ha realizado el cálculo de Tasseled Cap con promedios dentro de un mismo año con el objetivo de tener una figura que pudiera paliar, en caso de que los hubiese, desfases en cuanto a las fechas en relación con las cosechas u otros factores que afectaran a la vegetación. Teniendo esto en cuenta los parámetros para dicha cartografía comparativa son los siguientes (**figura 28**):

- Canal rojo: Promedio de junio y agosto de brillo para 1986 / Promedio de junio y agosto de brillo para 2018.

- Canal verde: Promedio de junio y agosto de verdor para 1986 / Promedio de junio y agosto de verdor para 2018.
- Canal azul: Promedio de junio y agosto de humedad para 1986 / Promedio de junio y agosto de verdor para 2018.

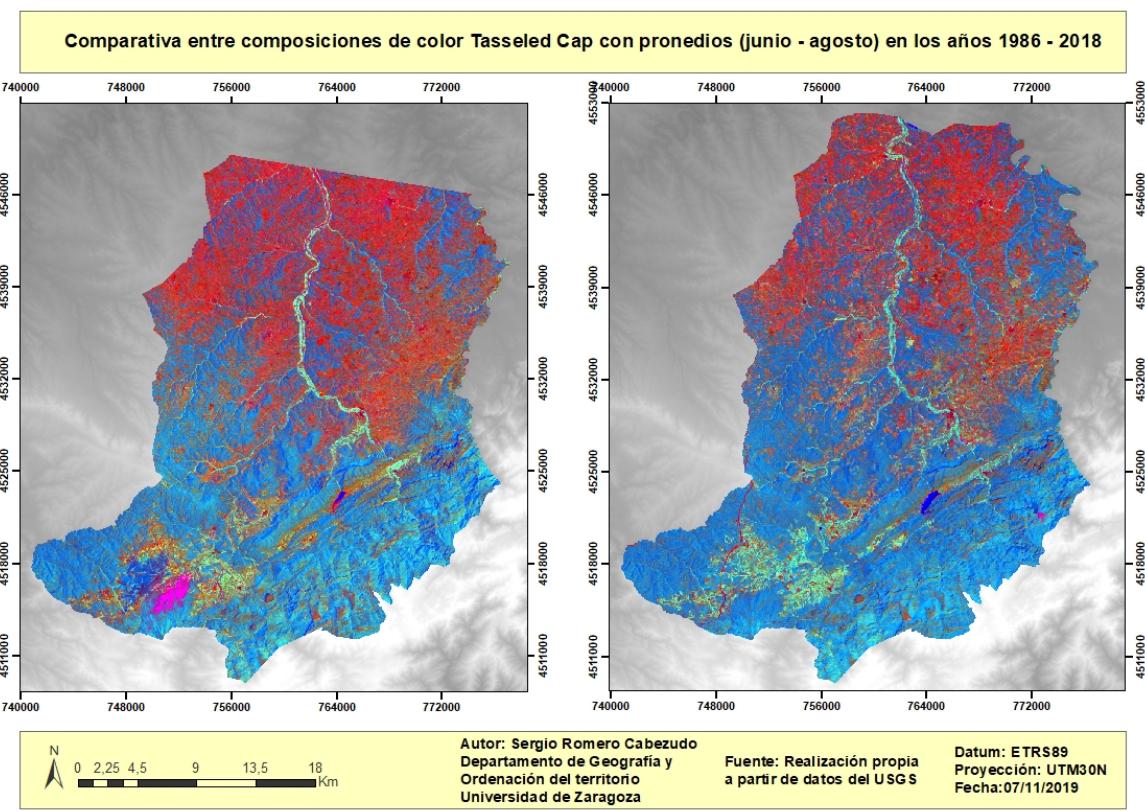


Figura 28: Comparativa entre composiciones de color Tasseled Cap con promedios de junio y agosto entre los años 1986 y 2018.

La distribución de la **figura 28** nuevamente resulta similar a las dos cartografías anteriores tanto para junio como para agosto mostrando un patrón de información similar. Pese a ello resulta interesante obtenerla como un elemento de apoyo sobre el que basarse en caso de que pudiera haber algún problema con las cosechas en determinadas imágenes.

5.2 Dinámica en los cultivos abandonados

Comprendida la dinámica de la evolución de los valores de los diferentes índices en el área de estudio en términos generales, a continuación se muestran los resultados obtenidos para el objetivo principal del proyecto. Dicho objetivo es el de conocer cómo se comportan estos índices en parcelas acotadas correspondientes a zonas donde con anterioridad había cultivos y en la actualidad se encuentran abandonados. Para ello se ha utilizado la capa de cultivos abandonados identificados en el proyecto de Mastergeo mediante fotointerpretación estereoscópica, fotointerpretación digital y digitalización. Con esta capa vectorial se han generado diversas cartografías que muestran la evolución de los valores de NDVI pero solamente aplicados al área contenida por cada una de las parcelas gracias a la función “zonal statistics” como se detallaba en la metodología.

La **figura 29** muestra los cambios existentes entre el año 1986 y 2018 en el Bajo Matarraña, es decir, desde el inicio del estudio hasta la situación actual para los valores de junio. Lo que fundamentalmente se puede observar en 1986 es que los cultivos abandonados presentan por normal general valores de 0,4 lo que significa que en dichos cultivos existen zonas con vegetación parcial que a su vez es muy probable que estén intercaladas con áreas de suelo desnudo. Esto resulta interesante puesto que en las cartografías anteriores se mostraba la evolución pero haciendo composiciones de color por lo que lo que en última instancia se proyectaba en el canal rojo era el crecimiento sin entrar en más matices. Por el contrario, en esta cartografía se puede comprobar que en 1986 la situación era ciertamente precaria en términos de vigor vegetal. Esto es normal siendo cultivos que no llevaban un largo periodo de tiempo abandonados aunque tal y como se puede comprobar siempre hay excepciones, los hay de suelo desnudo única y exclusivamente y en un pequeño reducto en el Sureste los hay de un vigor vegetal con valores entre 0,4 – 0,6. Dichos valores se encuentran situados en el dominio de los relieves escalonados conglomeráticos y en el uso de suelo de cultivos leñosos. El problema de estos valores es que es realmente anómalo si se tiene en cuenta la dinámica general presente en lo parcelas abandonadas lo que es un indicador de que de los 4562 campos de cultivo abandonados pueda haber alguna reducida porción de la muestra que no esté abandonada.

En 2018 la situación es totalmente distinta y prácticamente la totalidad de los valores de NDVI de los campos de cultivo abandonados ha crecido con una tendencia muy marcada hacia valores de 0,4 – 0,6 y llegando a los de 0,8 con facilidad en algunos puntos. Por lo tanto se ha producido ya una intensa revegetación en los campos abandonados y esta se caracteriza por tener densidad y un buen vigor vegetal, siendo máximo en los campos cuyos valores llegan al umbral de 0,8 o lo superan (colores rojos).

Es en este año 2018 donde se pueden hacer buenas comparaciones con las anteriores cartografías puesto que se puede apreciar cómo toda la mancha que anteriormente tenía esas tonalidades verdosas y rojizas se traduce en un incremento en los valores para las parcelas situadas en esta zona caracterizada por pertenecer al dominio de los relieves escalonados arcillo – areniscosos.

En la zona del Alto Matarraña la cantidad de cultivos abandonados es más limitada y viene fundamentalmente determinada por el relieve y la pendiente que son mucho más elevados y rompen la monotonía presente en la anterior cartografía (**figura 30**). En esta cartografía tambien se puede apreciar la evolución presente en la anterior como es logico, pero existen ciertas diferencias pues sus valores son más elevados de partida que en la zona baja. Es complicado explicar esta praxis pues pueden darse numerosas situaciones como que no estén abandonados realmente como se comentaba en el caso anterior o que tengan el cultivo con vigor debido a que hayan sido abandonados hace más tiempo y se hayan recubierto de más vegetación al ser áreas más elevadas y remotas. Pese a ello y términos generales el patrón es consistente presentando valores más elevados de manera generalizada en el año 2018.

Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en Junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del bajo matarraña

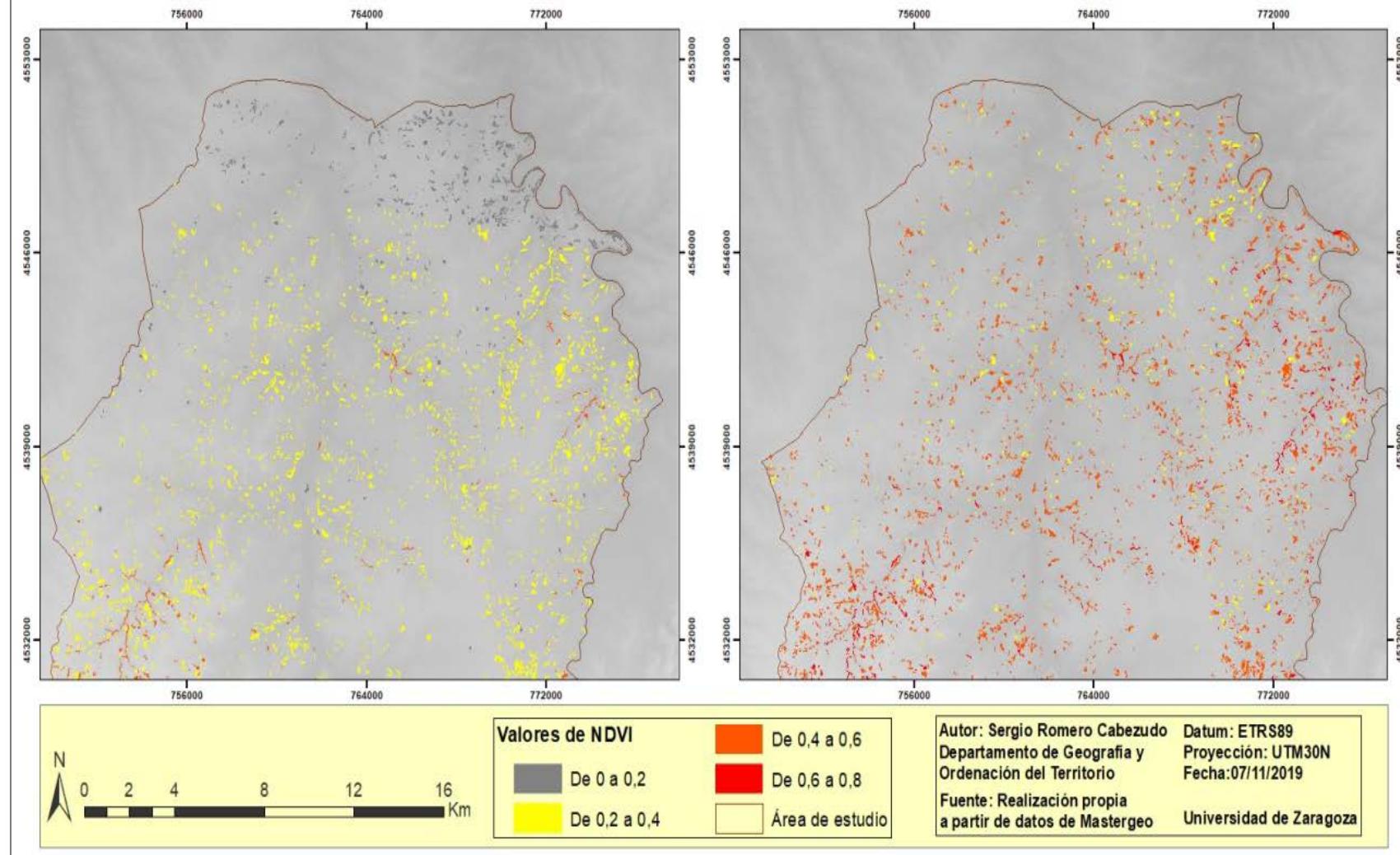


Figura 29: Evolución de valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del bajo Matarraña.

Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en Junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del alto Matarraña

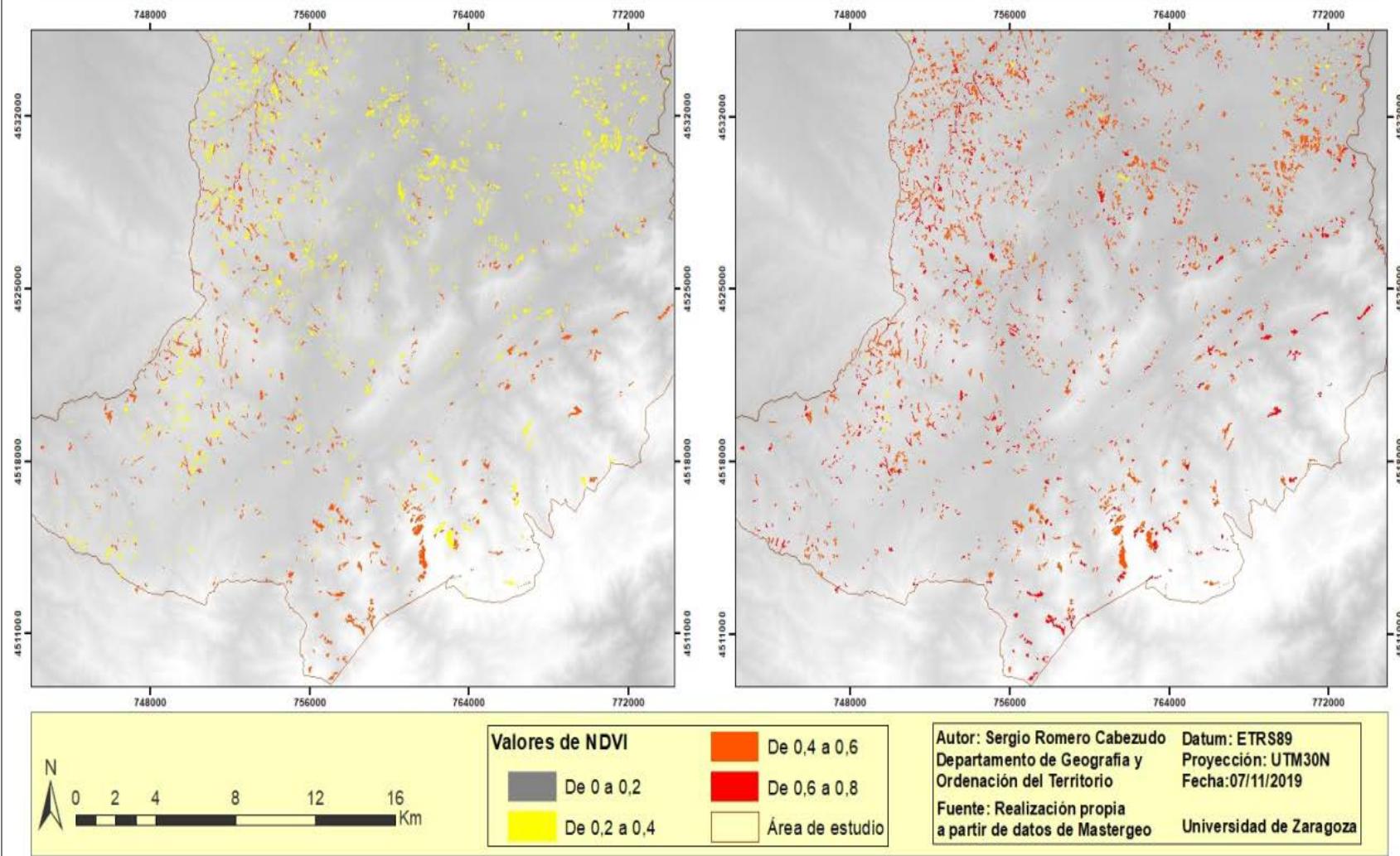


Figura 30: Evolución de valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del Alto Matarraña.

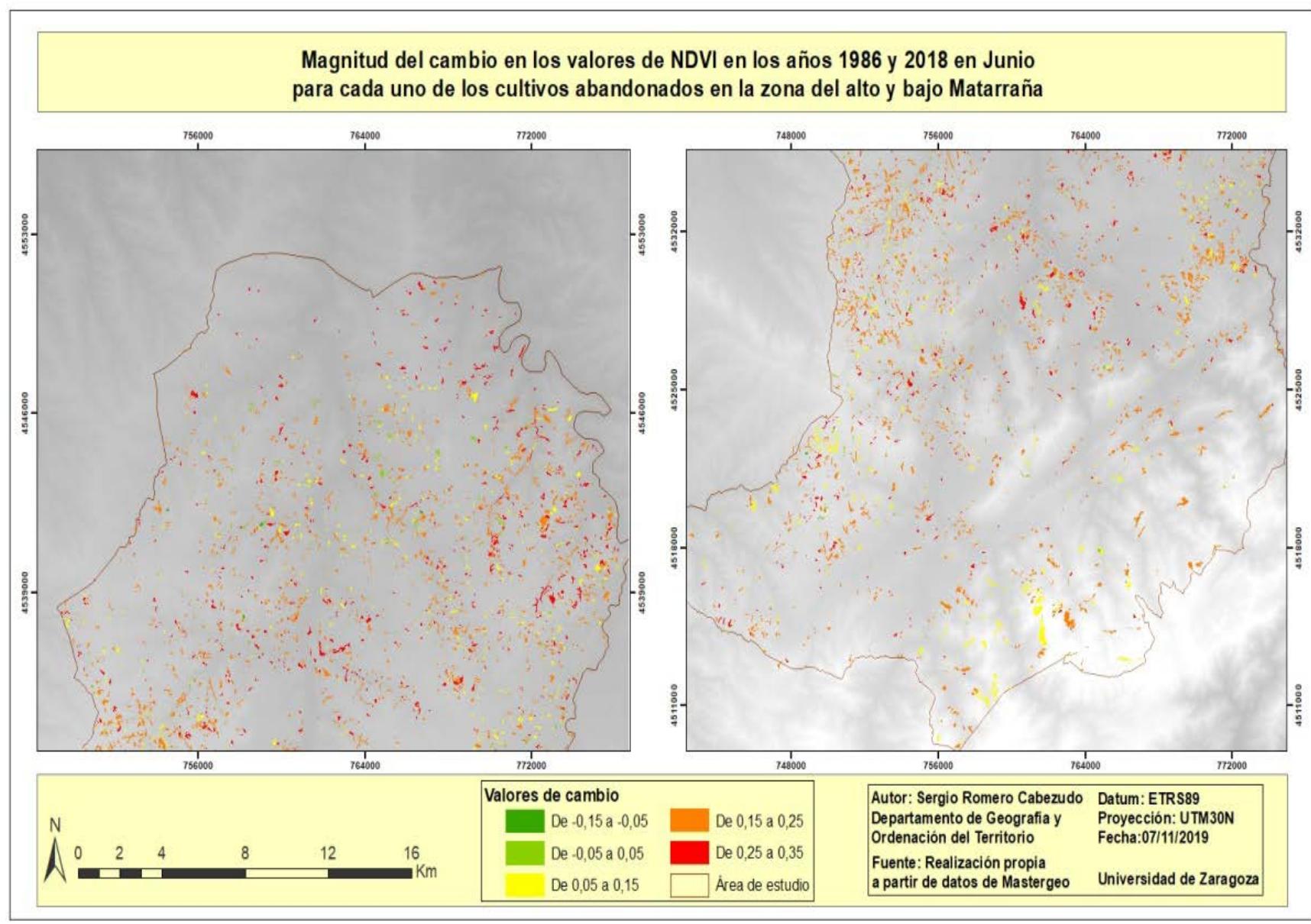


Figura 31: Magnitud del cambio en los valores de NDVI en 1986 y 2018 en junio para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del Alto y Bajo Matarraña.

Finalmente, para cuantificar la evolución mostrada en las dos cartografías anteriores se ha optado por hacer una diferencia de los promedios del valor del NDVI con el objetivo de mostrar los diferentes cambios que se han ido sucediendo en el área de estudio en el periodo 1986 – 2018 (**figura 31**). Los valores expresan la magnitud del cambio siendo los negativos los que indican zonas donde no se ha producido cambio al ser el valor del promedio de NDVI mayor en el año 1986. Estos representan una porción mínima del total de los campos encontrandose fundamentalmente en algún punto de la zona Sur de la comarca o Alto Matarraña donde están los pinares. Es necesario destacar que el pinar cambia lentamente pues responde de mucha menor manera a los cambios del vigor vegetal sin embargo en la zona del Sureste donde puede haber regadíos se aprecia un comportamiento de cambio más elevado debido a que este tipo de cultivos tienen un comportamiento mucho más variable en función de si están cultivados o no, por ello, es necesario matizar que hay zonas donde no se puede saber con seguridad si están abandonados del todo puesto que la muestra es muy elevada.

Por el contrario, las tonalidades amarillentas, anaranjadas y rojizas indican un cambio en los valores que pueden llegar a tener variaciones de 0,35 lo cual es un dato realmente elevado e indica una clara tendencia al crecimiento destacando la parte del Bajo Matarraña donde el relieve, las morfologías como los vales de fondo y la ausencia en numerosas ocasiones de pinares, juegan un papel fundamental.

Finalmente, en forma de **figuras 60, 61 y 62** (en Anexo), se encuentran las cartografías correspondientes a la comparación de la evolución de los valores de NDVI para la parte alta y baja de la comarca del Matarraña pero en los meses de agosto, así como la cartografía de magnitud de cambio correspondiente. En estos mapas la dinámica es muy similar siendo los valores de comparación de la evolución algo más abruptos que en el caso de junio debido a que la situación de sequedad era mucho mayor en agosto de 1984 y la totalidad de las parcelas de la parte Norte presenta unos valores realmente bajos de NDVI que contrastan mucho mejor con los de 2018. Esta es una de las razones por las que el exploratorio de datos que vendrán a continuación serán fundamentalmente utilizado los meses agosto, pero también debido a que por la existencia de nubosidad en numerosas de las imágenes referidas a este mes (**figura 13**) no se ha podido hacer un buen uso cartográfico de las mismas ya que numerosas cartografías iban relacionadas con junio y es necesario aprovechar el trabajo realizado para los meses de agosto.

Adicionalmente, como el estudio de los cultivos abandonados es el segundo de los principales objetivos y mediante la mera visualización cartográfica no se llega a conocer la realidad de la revegetación, se ha optado por tratar los diferentes estadísticos a partir de una serie de gráficos que ilustren este proceso en función de municipios, litologías o diferentes morfologías. Para el tratamiento de los estadísticos generados en la **figura 11** se ha optado en primer lugar por realizar un cribado de datos ya que es necesario recordar que existían imágenes con nubosidad y ha sido necesario realizar recortes, quedando datos en “null” que en Excel aparecen como un 0. Además también se ha tenido en cuenta el tamaño de las parcelas que es donde mayor cribado de datos se ha realizado. Se ha optado por la eliminación de todas aquellas cuyo tamaño no fuera lo suficientemente

representativo, es decir, aquellas cuyos pixeles fueran en torno a 1 o 2 o en términos de área todos aquellos menores a 1800 m². De esta manera en la representación de las diferentes gráficas solamente se verán datos que sí que sean representativos y tengan calidad estadística.

Las figuras generadas son las siguientes:

- Variación de los diferentes índices (NDVI, Verdor y Humedad) entre 1984 y 2018 como base del gráfico y con superposiciones siguiendo diferentes criterios.
- Variaciones de los diferentes años sobre un mismo plano.
- Evolución de índice 100 siendo este el valor de 1984 (inicio de la serie de datos). Para todos los datos de manera generalizada y siguiendo diferentes criterios.

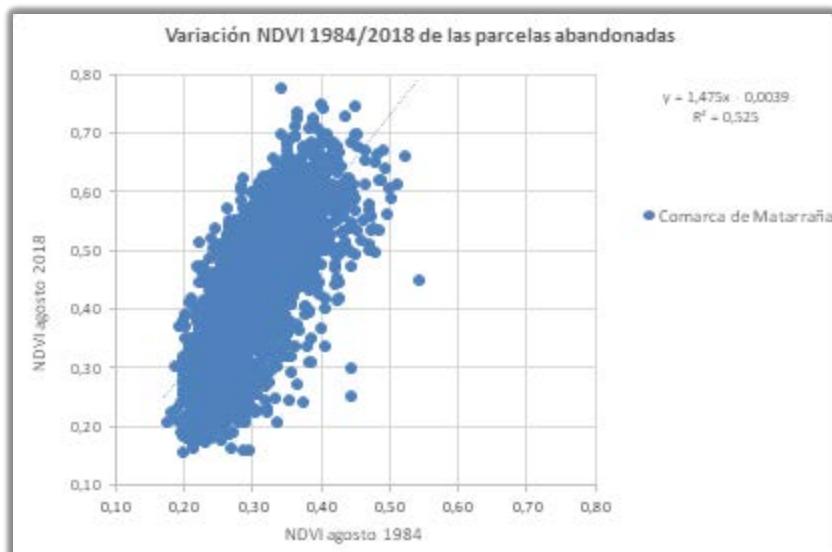


Figura 32: Variación de NDVI 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas. Fuente: Realización propia.

En primer lugar se va a proceder a mostrar los datos de una forma general para que mediante algunos gráficos específicos se pueda conocer cuales son los factores que han propiciado esta revegetación. Atendiendo a esto, en el primero de los gráficos realizados se presenta un gráfico de dispersión en el que en el eje de abcisas se presentan los valores del NDVI para agosto de 1984 y en el de ordenadas por el contrario el de agosto de 2018 (**figura 32**). En las **figuras 51 y 52** (en Anexo) se incluyen las representaciones para verdor y humedad siendo el verdor similar al NDVI mientras que la humedad no presenta muchas variaciones.

Esta es la disposición de los datos que enmascaran muchas de las cartografías anteriormente mostradas y se puede comprobar con facilidad cómo, por ejemplo un valor de 0,7 – 0,8 en 2018, corresponde a valores realmente bajos en el año 1984 así como el rango en el que se mueven. Por lo tanto se ve una clara tendencia al aumento de la revegetación que además es significativa atendiendo a la linea de tendencia y su valor de r^2 . Pero esto es solo teniendo en cuenta el primero y último de los años por lo que resulta

interesante compararlo con una serie más larga y consistente para ver si el comportamiento sigue esa dinámica al alza (**figura 33**).

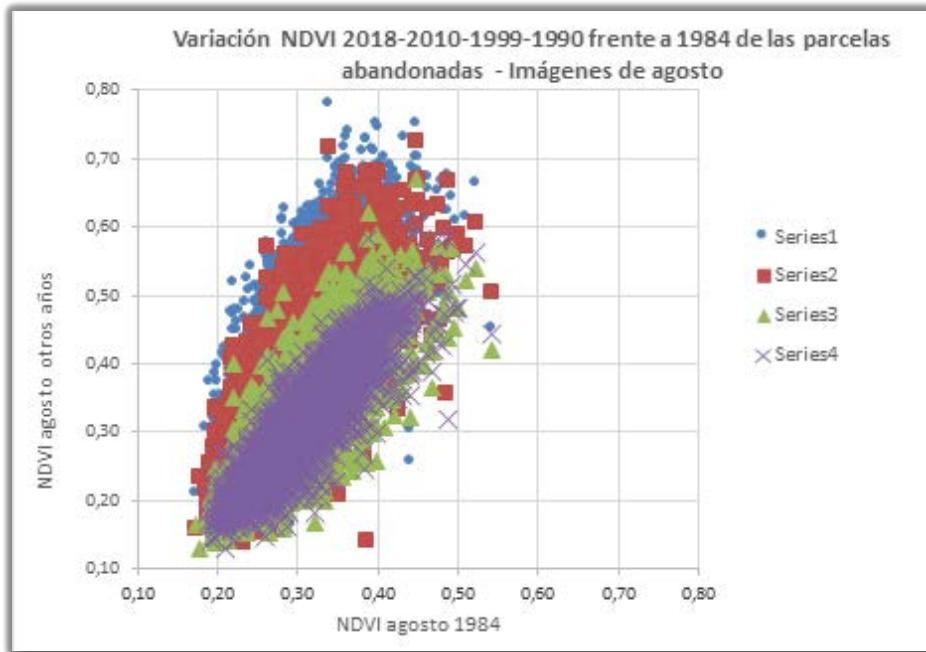


Figura 33: Variación NDVI anual frente a 1984 en los cultivos abandonados. Fuente: Realización propia.

En la **figura 33** y tomando nuevamente el NDVI de agosto como base de comparación se han superpuesto los diferentes promedios de NDVI para una serie de años que resultase lógica y representativa de los crecimientos que se han ido observando a lo largo de las diferentes cartografías. Teniendo esto en cuenta se puede ver cómo en el eje de abcisas se encuentran los valores del NDVI de agosto de 1984 que actúa como referencia en muchos de los gráficos que se irán exponiendo. Por el contrario el de ordenadas indica el NDVI de agosto para una serie logica de años que en este caso va desde 2018 – 2010 – 1990 y en último lugar 1990.

Por lo tanto se puede apreciar con claridad cómo el salto observado en la **figura 32** tiene una consistencia temporal y sigue una clara tendencia al alza siendo los valores de 1990 los que tienen unos valores que van en torno a 0,20 – 0,50, los de 1999 de 0,20 a 0,60, los de 2010 con 0,20 – 0,70 y en último lugar, 2018 con valores que llegan a alcanzar los 0,80 en algunos casos reducidos el 0,80. En contraposición los valores de 1984 van desde el 0,1 a 0,4.

La **figura 33** a su vez ha sido replicado para para el verdor y la humedad en las **figuras 49 y 50** (en Anexo) con unos valores de NDVI para diferentes años que siguen la misma variación en la diagonal mientras que la humedad al no variar tanto se mantiene establece.

En el tercero de los gráficos de carácter general lo que se muestra es la evolución de los valores de NDVI con un índice 100 establecido en el año 1984 y a partir de ahí un valor

para cada uno de los años estudiados (**figura 34**). Con esto se pueden matizar más los dos gráficos anteriores pues pese a que la tendencia es a la alta tal y como se puede apreciar existen dos años donde los valores decrecen enormemente siendo estos 1994 y 2006. En estos años pueden suceder varias cosas, en primer lugar, y teniendo en cuenta que tal y como se observa en la **figura 13** el dato corresponde a septiembre, se han podido producir variaciones típicas del cambio de mes frente a agosto. Pero si estos gráficos se replican para junio (**figura 53** en Anexo) se puede observar cómo la tendencia al descenso es la misma por lo que pueden existir otras razones de peso que permitieran explicar este comportamiento anómalo. Lo que sí se puede extraer en líneas generales es que la tendencia es claramente positiva. Este mismo gráfico también ha sido replicado para el verdor y la humedad en **figuras 47 y 48** (en Anexo) obteniendo para el verdor la misma tendencia que los gráficos de verdor de otras figuras recogidas en el Anexo, es decir, similar al NDVI. Sin embargo, los valores de humedad por el contrario presentan un dato anómalo en el año 2002 por lo que se ha desestimado su uso.

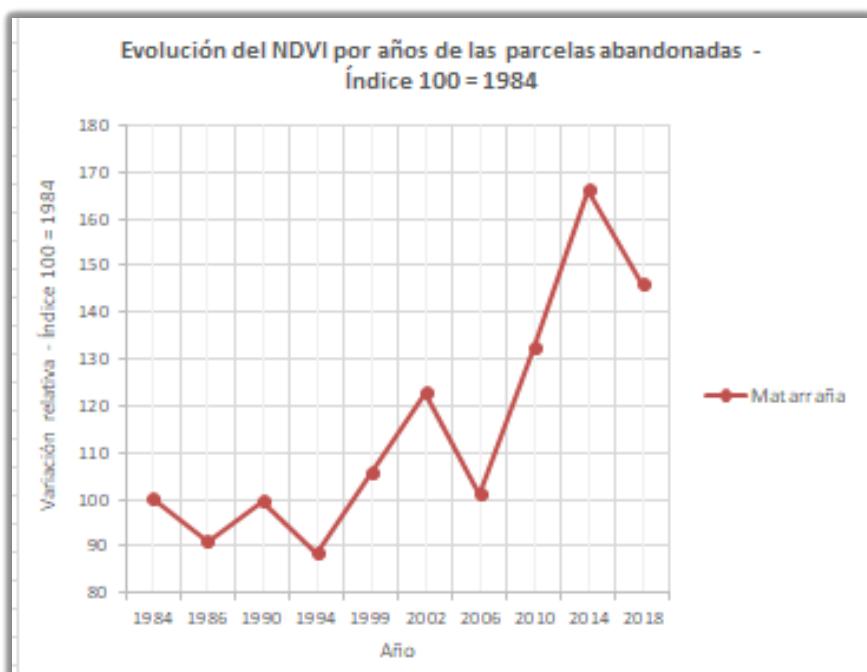


Figura 34: Evolución de NDVI por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto. Fuente: Realización propia.

A continuación se mostrarán gráficos de carácter más específico frente a estos que buscan ilustrar la dinámica general del cambio en las parcelas abandonadas. Con esto se pretende observar algún factor que destaque frente al resto en cuanto a la revegetación.

En el tercero de los gráficos de carácter general lo que se muestra es la evolución de los valores de NDVI con un índice 100 establecido en el año 1984 y a partir de ahí un valor para cada uno de los años estudiados (**figura 34**). Con esto se pueden matizar más los dos gráficos anteriores pues pese a que la tendencia es a la alta tal y como se puede apreciar existen dos años donde los valores decrecen enormemente siendo estos 1994 y 2006. En estos años pueden suceder varias cosas, en primer lugar, y teniendo en cuenta que tal y

como se observa en la **figura 13** el dato corresponde a septiembre, se han podido producir variaciones típicas del cambio de mes frente a agosto. Pero si estos gráficos se replican para junio (**figura 53** en Anexo) se puede observar cómo la tendencia al descenso es la misma por lo que pueden existir otras razones de peso que permitieran explicar este comportamiento anómalo. Lo que sí se puede extraer en líneas generales es que la tendencia es claramente positiva. Este mismo gráfico también ha sido replicado para el verdor y la humedad en **figuras 47 y 48** (en Anexo) obteniendo para el verdor la misma tendencia que los gráficos de verdor de otras figuras recogidas en el Anexo, es decir, similar al NDVI. Sin embargo, los valores de humedad por el contrario presentan un dato anómalo en el año 2002 por lo que se ha desestimado su uso.

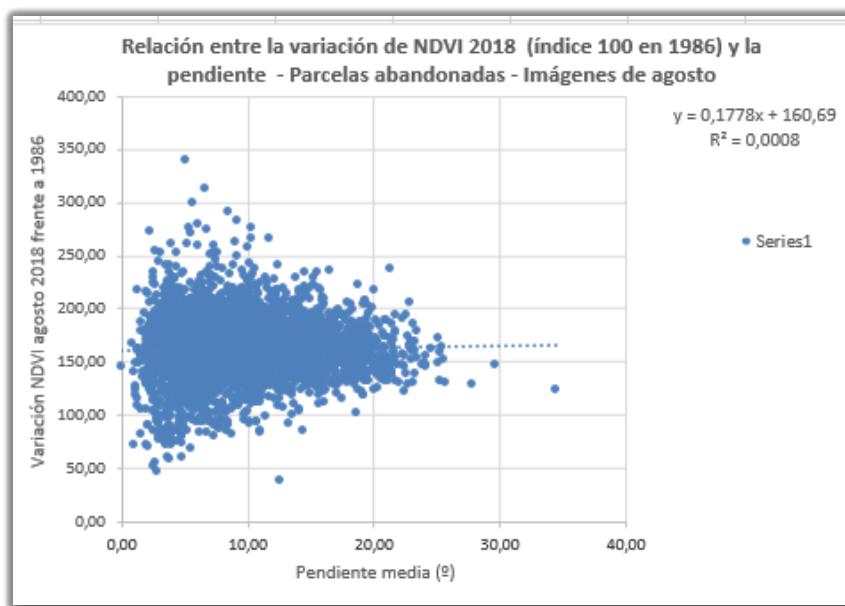


Figura 35: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente. Fuente: Realización propia.

Comenzando con el primer factor como la pendiente y teniendo en cuenta los valores de NDVI se puede apreciar cómo en el eje de ordenadas se muestra la variación del NDVI de 2018 frente a 1986 y en el de abcisas la pendiente media (**figura 35**). Si se atiende a las zonas de baja pendiente es donde realmente se suceden las variaciones más destacadas habiendo tanto valores negativos (menores de 100) y una enorme cantidad de positivos. A su vez los valores positivos varían desde el 100 hasta 350 en los casos más favorables.

Pero es necesario destacar que estos últimos valores comienzan a decrecer conforme la pendiente es más elevada tal y como se aprecia en el gráfico. Por ello, acudiendo a pendientes de 20º si bien no hay zonas con variaciones negativas, el crecimiento se ve claramente reducido llegando a variar el rango de 100 a 150 – 200 únicamente.

Finalmente, en las pendientes de 40º o 50º se pueden encontrar parcelas anecdóticas en las que la evolución ha sido mínima pero positiva igualmente. Por lo tanto las

conclusiones principales que se pueden obtener es que la pendiente sí juega un papel determinante en la revegetación, no tanto en incidir en si el proceso se lleva a cabo o no, pero sí en la magnitud del mismo.

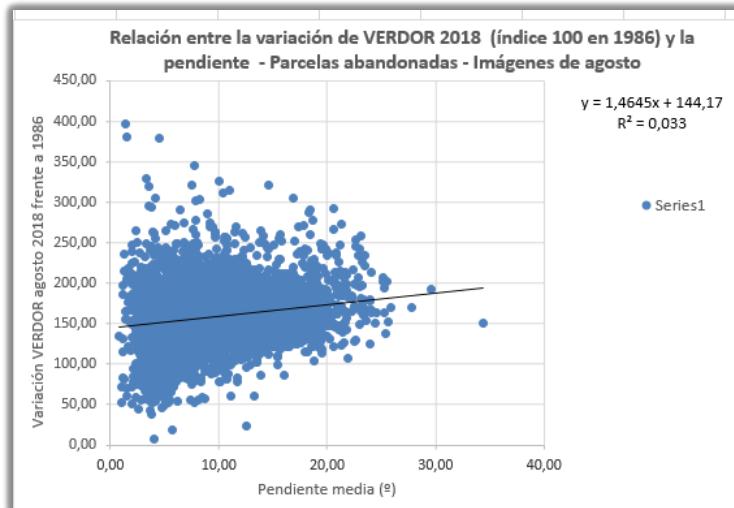


Figura 36: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente. Fuente: Realización propia.

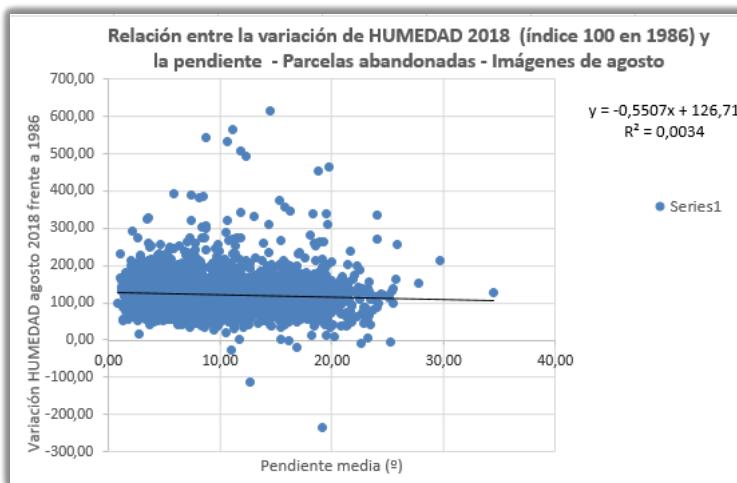


Figura 37: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la pendiente. Fuente: Realización propia.

Las **figuras 36 y 37** hacen referencia a lo mismo que el comentado anteriormente, la pendiente, pero en este caso utilizando los valores de verdor y humedad respectivamente ya que no solo importa el factor limitante, sino también el comportamiento del índice en relación con dicho factor. En primer lugar el verdor tiene una tendencia algo más positiva que el NDVI, pero en líneas generales es muy similar a los valores de NDVI, lo cual es lo esperado. Las diferencias en los valores vienen matizadas por la propia naturaleza del índice que en un caso utiliza dos bandas (NDVI) y en otro seis (TTC – verdor) lo cual ya venía viéndose en el apartado de resultados de la dinámica general de Matarraña que tenía

ese carácter más visual y espacial. Sin embargo, en la **figura 37** la humedad ni experimenta una variación positiva notable, ni una variación negativa tampoco. Además, la pendiente no actúa como un factor determinante a la hora de observar dichas variaciones pues los valores se mueven dentro de un mismo rango prácticamente a lo largo de toda la pendiente de ahí que la línea y la figura tengan esa forma. Lo cuál resulta lógico, pues en la comarca del Matarraña encontrar pendientes que puedan hacer variar los valores de humedad es realmente complicado.

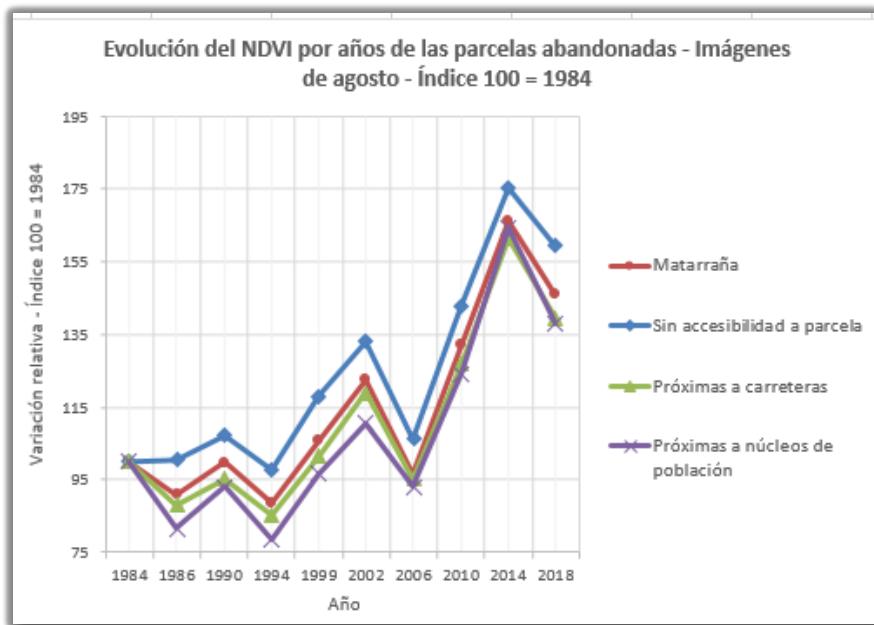


Figura 38: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la accesibilidad. Fuente: Realización propia.

El siguiente factor que se va a analizar para ver la evolución de los valores de NDVI es la accesibilidad ya que dentro de este concepto viene implícito el factor antrópico (**figura 38**). La línea roja es la que hacía referencia en la **figura 34** a la variación anual con índice 100 = a 1984 como punto de partida. En este caso, dicha línea se mantiene como punto de referencia para ver si se varía por encima o por debajo de la media en base a los siguientes criterios:

- Sin accesibilidad a las parcelas abandonadas.
- Parcelas a menos de 60 m de las carreteras.
- Parcelas a menos de 100 m de un núcleo de población.

Los resultados atendiendo al gráfico son esclarecedores pese a no presentar una variación que sea muy por encima o muy por debajo de la media. En primer lugar las parcelas abandonadas que no tienen una buena accesibilidad se encuentran creciendo por encima de la media lo cual es lógico pues en ningún momento hay algo, antrópico, que pueda intervenir en su crecimiento lo que hace que desarrolle de una manera más positiva. La situación comienza a cambiar cuando se pasa a observar la línea que hace referencia a las carreteras pues está ligeramente por debajo de la media. Tampoco son unos valores

muy por debajo de la media pero la presencia de una carretera ya facilita la accesibilidad a las parcelas en cuestión por lo que se pueden dar interacciones que reflejen ese cambio en el crecimiento. Finalmente, la que sí presenta unos valores por debajo de la media más destacados es la de núcleos de población a menos de 100 m que sí que crece claramente por debajo. Esto es totalmente normal pues en un núcleo de población las interacciones son elevadas y la accesibilidad a estas parcelas también lo es. Además será en estas zonas donde se puedan encontrar cultivos como los comentados en anteriores cartografías en los que no se sepa con seguridad si están abandonados o no. Por lo tanto la accesibilidad a las parcelas abandonadas es otro gran factor limitante nuevamente de la variación en un proceso de revegetación que pese a ello sigue teniendo claras tendencias positivas. En la **figura 45** (en Anexo) se presenta este mismo gráfico para junio.

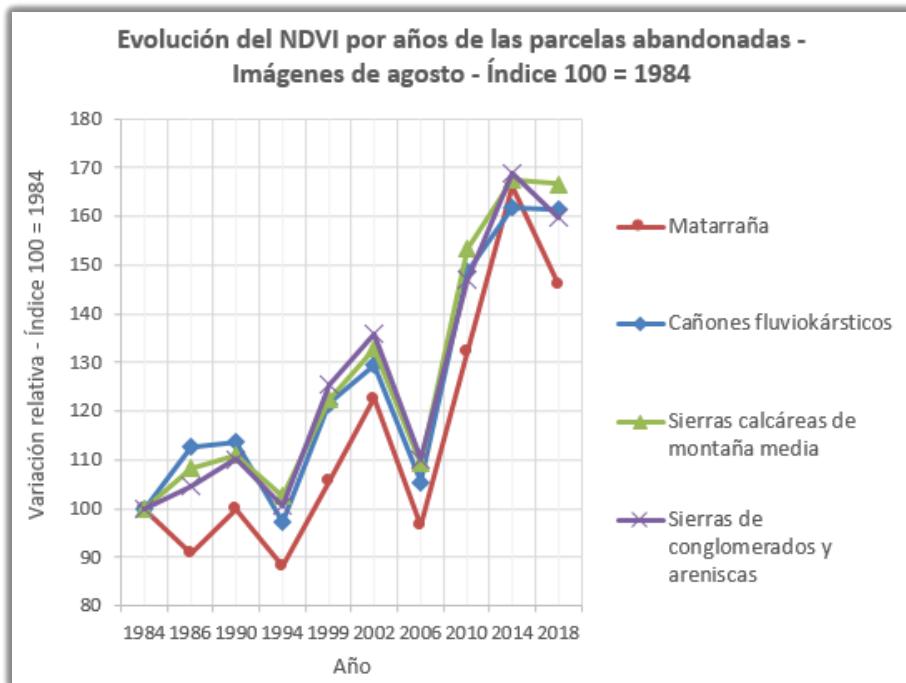


Figura 39: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje localizados en Alto Matarraña (zona Sur). Fuente: Realización propia.

En la **figura 39** nuevamente se va comentar la evolución y variación de los valores de NDVI pero en este caso relacionado con los dominios de paisaje que afectan a la zona de Alto Matarraña, estos han sido seleccionados utilizando el MDT05 el modelado de sombras y pendientes y la **figura 14** que actuaba como base previa al estudio de los resultados. Teniendo esto en cuenta los dominios son los siguientes:

- Cañones fluviokársticos.
- Sierras calcáreas de montaña media.
- Sierras de conglomerados y areniscas.

Los resultados en este caso sí que presentan variaciones superiores a las anteriores figuras y los tres dominios comparten un crecimiento generalizado coincidente con los años citados (1994 y 2006) donde la tendencia es a la baja. Pese a ello es destacable el

crecimiento que existe en los años iniciales frente al resto aunque siguen continuando por encima de la media. Si bien al comienzo la media de Matarraña sufre un ligero descenso hacia 90, las parcelas de estos tres dominios obtienen una variación por encima de la media aproximadamente hasta 115.

Por lo tanto en la zona del Alto Matarraña se ve una variación importante. Las razones que pueden explicar la dinámica observada en esta figura son que, al estar rodeadas de cubierta vegetal, se produce una colonización más rápida en estas áreas.

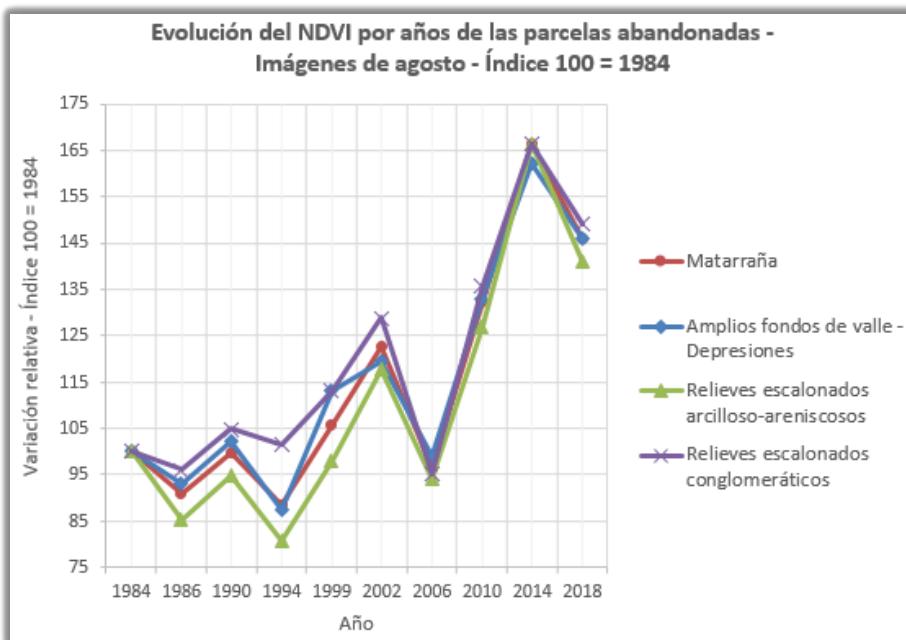


Figura 40: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto y Bajo Matarraña (zona Sur).

Fuente: Realización propia.

Continuando con los dominios, en la **figura 40** se presentan los dominios del paisaje que más representativos son en todo el área de estudio en su conjunto excluyendo los de las zonas más elevadas de la comarca que se encontraban en el gráfico anterior. El que mayor superficie tiene es el de los relieves escalonados arcillo – areniscosos y por lo tanto es el que mayor número de parcelas concentra.

Atendiendo a esto es normal que en algunos casos la variación sea negativa respecto a 100 pues es mayor la probabilidad de encontrar parcelas abandonadas que tengan valores bajos, aunque también es necesario destacar que la figura pertenece a agosto y, en este mes, en concreto la variación no era muy acentuada, sin embargo en junio el valor no es tan anómalo y se ajusta a la media como se puede apreciar en las **figuras 46 y 54** (en Anexo). Por otro lado, al no haber unas manchas de vegetación tan destacadas y estar el espacio salpicado por municipios, vías de comunicación y más cultivos en uso la revegetación se puede ver afectada creando esos valores que van por debajo de la media.

En contraposición a este dominio, el de los relieves escalonados conglomeráticos presenta unos valores iniciales superiores a la media para igualarse conforme se acercan en años a 2018. Es necesario destacar que, atendiendo a la **figura 15**, este dominio se extiende de las zonas llanas de Bajo Matarraña hasta las del Alto Matarraña donde los valores de las parcelas abandonadas son algo más elevados tal y como se apreciaba en la **figura 39** al existir grandes áreas de vegetación natural que son las que podrían explicar esta dinámica. En contraposición el dominio de amplios fondos de valle y depresiones sigue una variación y evolución similar a la de Matarraña sin ser tampoco uno de los más destacados en el análisis. En definitiva, los dominios resultan interesantes para poder atisbar en un inicio las diferencias en cuanto a las variaciones que se establecen de manera Norte – Sur pese a que en términos generales se mantenga la tendencia observada a la revegetación en estos cultivos. Pese a ello, para comprobar del todo estos resultados de una manera más acotada, se ha realizado una figura similar en la que se pone el foco de atención en dos municipios contrastados.

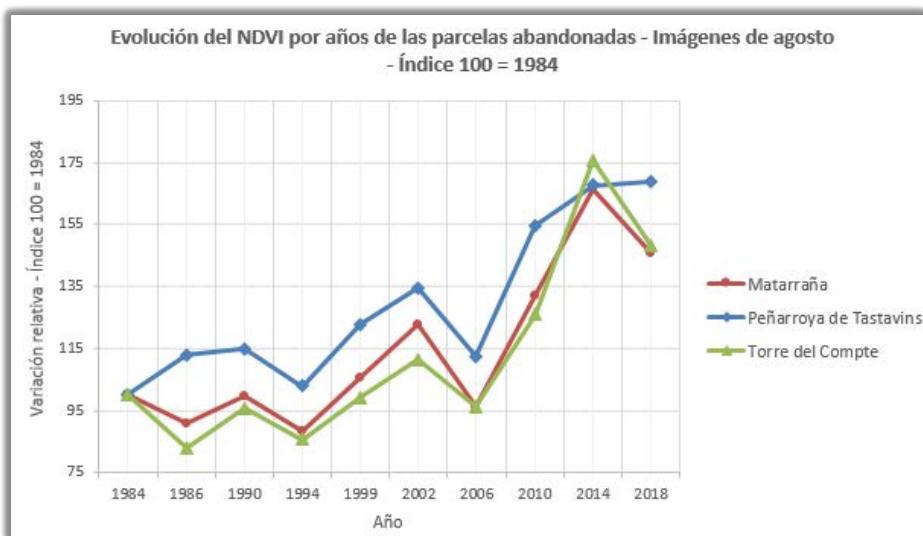


Figura 41: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con dos municipios contrastados. Fuente: Realización propia.

En la **figura 41** se muestra nuevamente la evolución y la variación del índice en base 100 tomando como base los municipios de Torre del Compte perteneciente al Bajo Matarraña y el de Peñarroya de Tastavins, uno de los más elevados del Alto Matarraña. La interpretación nuevamente viene a confirmar el anterior gráfico pues en el municipio de Peñarroya de Tastavins se puede apreciar cómo la línea se dibuja por encima de la media pues en este lugar también se encuentran los dominios de la **figura 39**.

Por el contrario, en Torre del Compte los valores se sitúan por debajo de la media como se apreciaba en la **figura 40** solo que en este caso la variación no es tan marcada hacia valores menores 100 probablemente por tener una muestra menor de parcelas abandonadas. En la **figura 46** (en Anexo) se presentan los valores para junio.

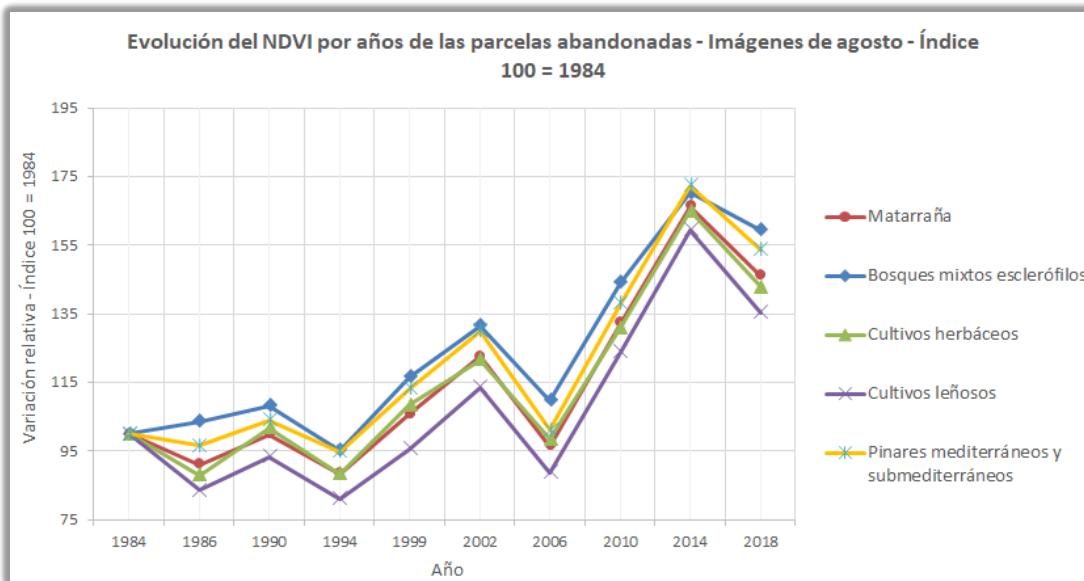


Figura 42: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los usos de suelo. Fuente: Realización propia.

Finalmente, la última de las figuras representa el uso de suelo como factor determinante para la comprensión de la variación experimentada en el periodo de años (**figura 42**). Para ello se han seleccionado los usos de suelo más representativos siendo los cultivos herbáceos y leñosos, los bosques mixtos esclerófilos y los pinares mediterráneos y submediterráneos. Nuevamente la evolución sigue la clara tendencia positiva que se ha ido comprobando a lo largo de las figuras y de las cartografías pero nuevamente hay usos de suelo que limitan en cuanto a la variación de los valores dicha evolución. En primer lugar se encuentran los cultivos leñosos que se encuentran fundamentalmente en la parte Norte o Bajo Matarraña y en estos lugares las parcelas abandonadas varían por debajo de la media en la totalidad del periodo. A su vez corresponde con la zona de los dominios de relieves escalonados arcillo – areniscosos donde los valores oscilaban por debajo de la media. Las razones a priori pueden encontrarse en que a lo mejor al ser parcelas abandonadas pero rodeadas por cultivos que sí que están en uso, el proceso de revegetación se retrasa. Los herbáceos sin embargo se mantienen próximos a la media siendo los bosques mixtos esclerófilos y los pinares mediterráneos y submediterráneos los que obtienen los valores superiores a la media. Nuevamente las razones podrían deberse a la presencia de esa mayor vegetación en los alrededores que propiciase el acentuamiento de los procesos de colonización. Nuevamente para realizar comparaciones se presentan los valores de junio en la **figura 47** (en Anexo).

6. Conclusiones

Una de las principales conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo fin de grado es, en primer lugar, que la temporalidad es un factor muy relevante a la hora de realizar un estudio de estas características y que el adecuado criterio en la selección de las

fechas de las imágenes, tanto del periodo de años de estudio como de los momentos del año considerados, juega un papel fundamental en los resultados que se pueden obtener. En segundo lugar hay que destacar, atendiendo a los resultados obtenidos, que la cubrimiento vegetal del Matarraña ha cambiado con el tiempo de una manera progresiva sin importar qué tipo de uso de suelo sea el implicado y sin que desempeñen un papel relevante ni la pendiente ni el dominio – unidad de paisaje; al menos, no responde a ningún patrón aparente. Sí que es cierto que en algunos casos puede variar de una forma más rápida o más lenta, pero una cosa está clara: en la comarca se ha producido un proceso de revegetación realmente importante.

En referencia específica al análisis realizado para los campos abandonados, se puede ver cómo, en aquellas zonas donde el entorno está ocupado por vegetación natural más densa o de porte arbóreo, el proceso de revegetación se ve acentuado frente a la media, siendo los valores más altos ya desde los primeros años. Pese a ello, esta dinámica no se puede comprobar de una manera muy eficiente en las cartografías debido a que, visualmente, en ellas solo viene en evidencia de forma clara el cambio experimentado sea a escala comarcal o por parcelas. En definitiva, el mero análisis visual, cualitativo, no debe ser el único medio de indagación en un trabajo de estas características, siendo el análisis cuantitativo, de los estadísticos extraídos de las imágenes, el que pone de manifiesto cómo las parcelas del Norte, si bien comienzan por debajo de la media por la existencia de cultivos en uso, factores como la accesibilidad o las pendientes de los taludes, siempre acaban por converger con las de la zona Sur en los últimos años.

Esto se ve reflejado en el hecho de que, en las cartografías, la parte Norte siempre presente los mayores valores de cambio en detrimento de la zona Sur o Alto Matarraña y, por ello, resulte fundamental el exploratorio de los diferentes estadísticos para comprender la realidad que subyace tras los diferentes procesos que se suceden en el territorio. A su vez, es necesario destacar que todas estas afirmaciones, en cuanto a los factores que limitan el cambio vegetal, quedan demostradas mediante estos estadísticos, cumpliendo así con lo previsto al iniciar el trabajo.

En todo caso, se ha constatado que los resultados y las tendencias observadas no pueden tomarse de forma tajante y que sería necesario abordar un buen trabajo de campo y confirmar de forma rigurosa algunas hipótesis planteadas. Pero, a pesar de todo, el análisis estadístico resulta fundamental para conocer el medio que nos rodea si se combina y matiza adecuadamente con una buena representación cartográfica que aporte esa espacialización al dato.

Finalmente, es necesario destacar que, mediante este trabajo se demuestra cómo la teledetección es una herramienta fundamental y versátil para el geógrafo. Gracias a ella se puede abordar una aproximación rigurosa al estudio de las variaciones y los cambios observados en la cobertura de la vegetación. Un análisis como el abordado –que cubre de forma sistemática una zona extensa, partiendo de un año ya lejano, para una serie de años tan larga y en diversos momentos del año– sólo es posible mediante el análisis de teledetección; ya que partiendo de una simple imagen captada por un sensor y mediante su tratamiento posterior se pueden obtener cartografías y estadísticos que permiten generar

información valiosa a la hora de realizar estudios en campo. Esta afirmación viene avalada por los resultados de las diferentes cartografías, ciertamente muy esclarecedoras en cuanto a la visualización de los cambios o a la magnitud de los mismos. Pero no solo la teledetección, también los SIG han jugado un papel fundamental a la hora de la obtención, el tratamiento y la gestión de los estadísticos derivados de los índices espectrales que los sistemas de observación remota permiten calcular.

En cuanto a las líneas futuras de investigación, el empleo de la teledetección espacial, la posibilidad de obtención de ortofotos de máxima resolución y otras técnicas como la fotointerpretación y la digitalización pueden resultar fundamentales para avanzar en la línea de este trabajo. Se ha constatado que la comarca del Matarraña respresenta un caso paradigmático de recubrimiento vegetal, pero también que un trabajo en campo posterior conseguiría extraer conclusiones más precisas, sobre todo mediante la realización de inventarios florísticos que permitiesen conocer cuál es la dinámica en términos de composición y estructura de las comunidades vegetales. A su vez, habría que indagar cuál es la dinámica existe en otras comarcas del territorio aragonés, ya que solo así se podrían extraer conclusiones más esclarecedoras en cuanto a qué factores son los que limitan o incentivan el ritmo de los procesos de recubrimiento vegetal, que en el Matarraña se manifiesta de forma intensa.

7. Bibliografía

- Braig, M. H. A., Zhang, L., Shuai, T., Tong, Q. (2014). Derivation of a Tasseled cap transformation based on Landsat 8 at-satellite reflectance. *Remote Sensing Letters*, 5(5), 423-431.
- Benavente Serrano, J., Thomson Llisterri, T. (2003). Comarca del Matarraña.
- Castañeda del Álamo, C., Herrero Isern, J. (2009). Teledetección de cambios en la Laguna de Gallocanta. Instituto Pirenaico de Ecología CSIC
- Chuvieco Salinero, E. (1996). Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: Análisis cuantitativo y representación cartográfica. Serie geográfica 1996, vol 6, pp. 131 – 147.
- Chuvieco Salinero, E. (2000). Fundamentos de teledetección espacial. Madrid: Rialp.
- Chuvieco Salinero, E. (2010). Teledetección ambiental. Madrid: Ariel.
- García Martín, A., Pérez-Cabello, F., de la Riva Fernández, J. (2004). Análisis mediante teledetección y SIG de la estructura del paisaje en entornos forestales mediterráneos. Departamento de geografía y ordenación del territorio, facultad de Filosofía y letras, Universidad de Zaragoza.
- Huang, C., Wylie, B., Yang, L., Homer, C., Zylstra, G. (2002). Derivation of a tasseled cap transformation based on Landsat 7 at-satellite reflectance. *International Journal of Remote Sensing*, 23(8), 1741-1748.

Ibarra, P., Echeverría, M.T., Pérez-Cabello, F., Santed, S., Albero, M.J., Ballarín, D., Montorio, R., Mora, D., Zúñiga, M. (2011). Cartografía de cultivos abandonados y selección de áreas prioritarias de recuperación en la Comarca del Matarraña/Matarranya. Informe interno de la Cátedra Matarraña de la Universidad de Zaragoza para la Comarca del Matarraña/Matarranya, Valderrobres.

Lasanta, T., Vicente-Serrano, S.M. (2007). Cambios en la cubierta vegetal en el pirineo aragonés en los últimos 50 años. Instituto Pirenaico de Ecología CSIC. Pirineos, 162, pp. 125 – 154.

Pérez-Cabello, F., Ibarra Benlloch, P., de la Riva Fernández, J., Echeverría Arnedo, M.T., Montorio Llovería, R., García-Martín A. (2007). Impacto de los incendios forestales en comunidades vegetales Sub- mediterráneas: Evaluación multitemporal de la diversidad del paisaje utilizando imágenes Landsat TM. Cuadernos de investigación geográfica nº33. Pp. 101 – 114.

Ric Sorinas, O., Ibarra Benlloch, P. (2015). La cartografía de cultivos abandonados y de selección de áreas prioritarias de recuperación como instrumento eficaz del proyecto Banco de tierras de la Comarca del Matarraña. En de la Riva, J., Ibarra, P., Montorio, R., Rodrigues, M. (Eds.), Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación: 1193-1201, Universidad de Zaragoza-AGE.

USGS. Earth Explorer. Disponible en: <https://earthexplorer.usgs.gov/>

Vila Subirós, J., Varga Linde, D., Llausás Pascual, A., Ribas Palom, A. (2006). Conceptos y métodos fundamentales en ecología de paisaje (*landscape ecology*). Una interpretación desde la geografía. Universidad de Gerona.

Anexo

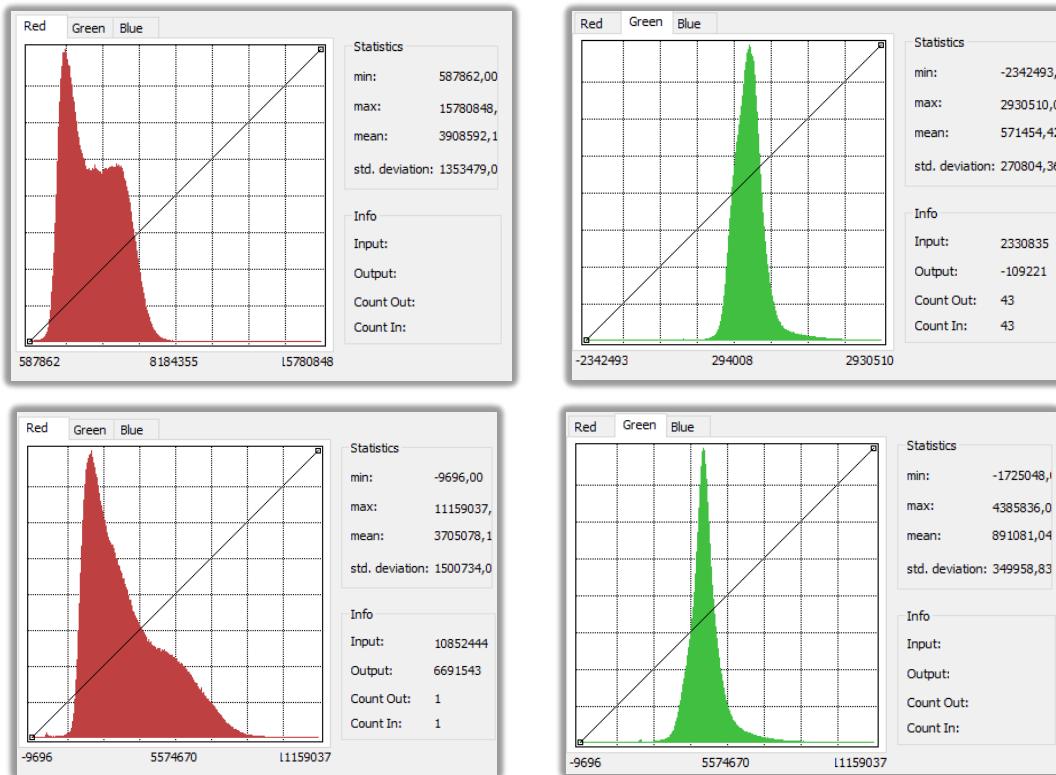


Figura 43: Comparación de histogramas Tasseled Cap de verdor y humedad en junio de 1986 y 2018. Fuente: Realización propia.

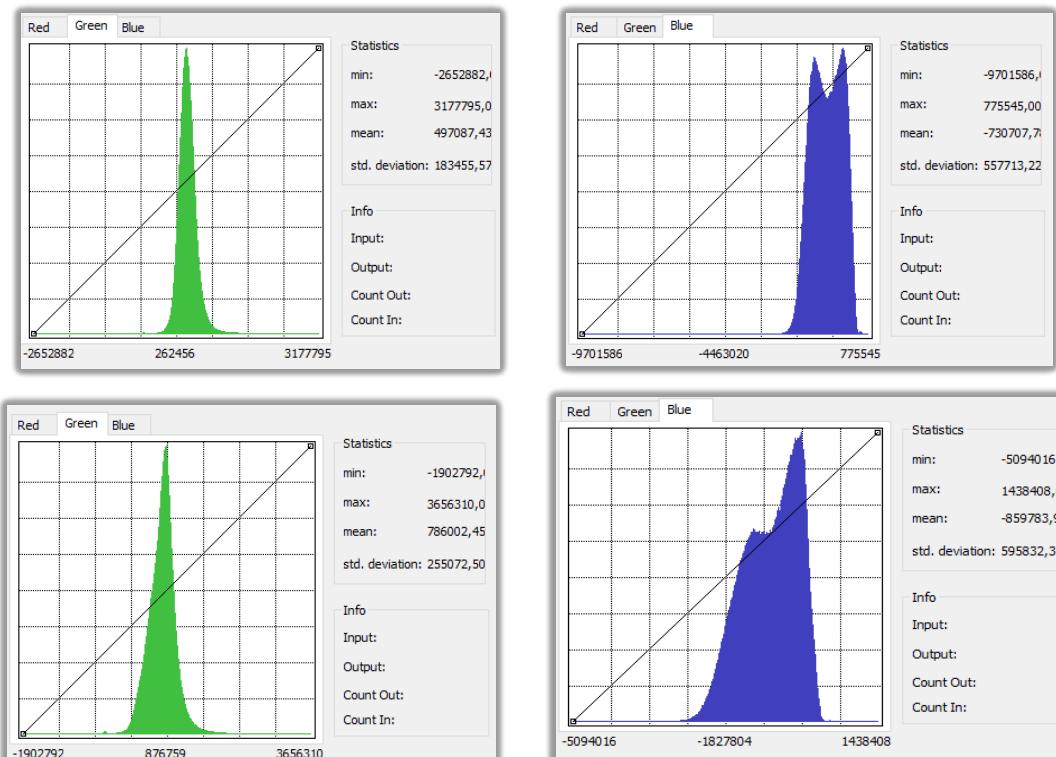


Figura 44: Comparación de histogramas Tasseled Cap de verdor y humedad en agosto de 1986 y 2014. Fuente: Realización propia.

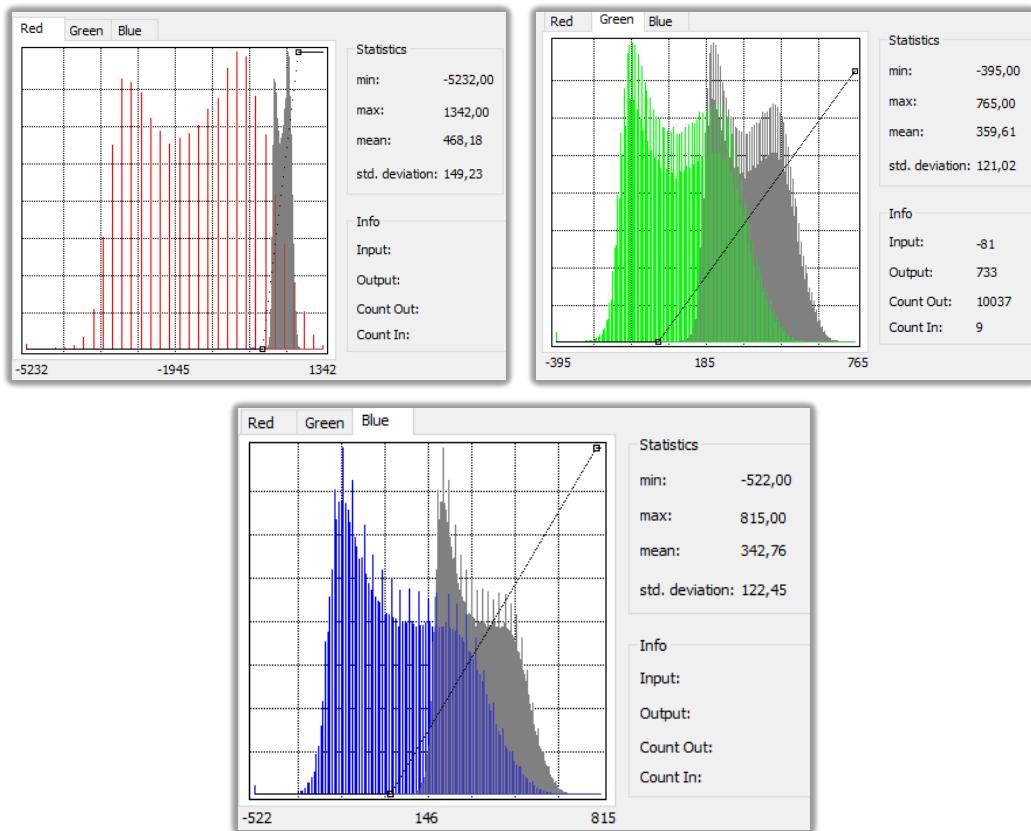


Figura 45: Histogramas de media de junio y agosto para la composición de color 1986 – 1999 – 2014. Fuente: Realización propia.

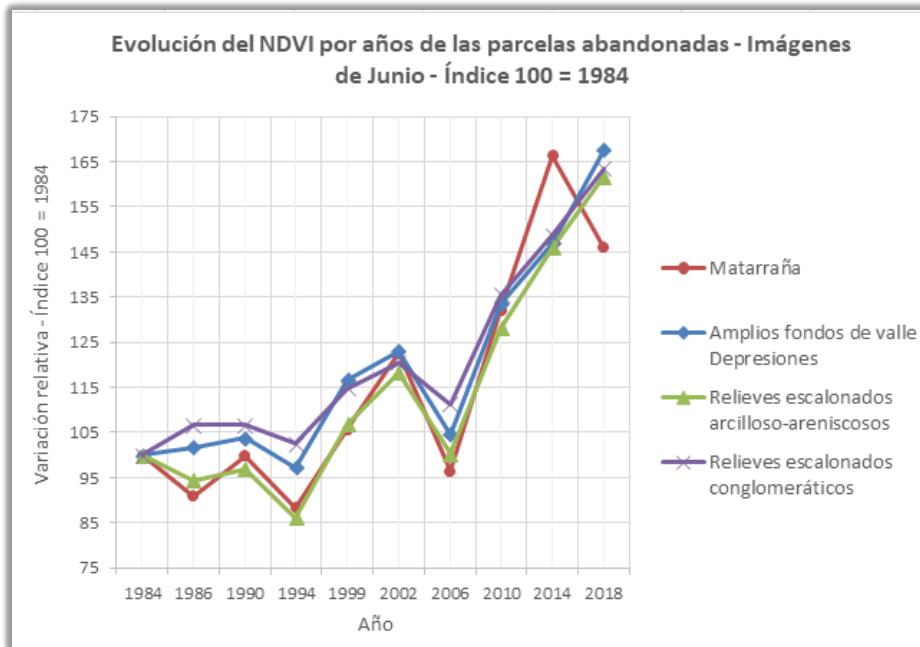


Figura 46: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto y Bajo Matarraña (zona Sur) en junio. Fuente: Realización propia.

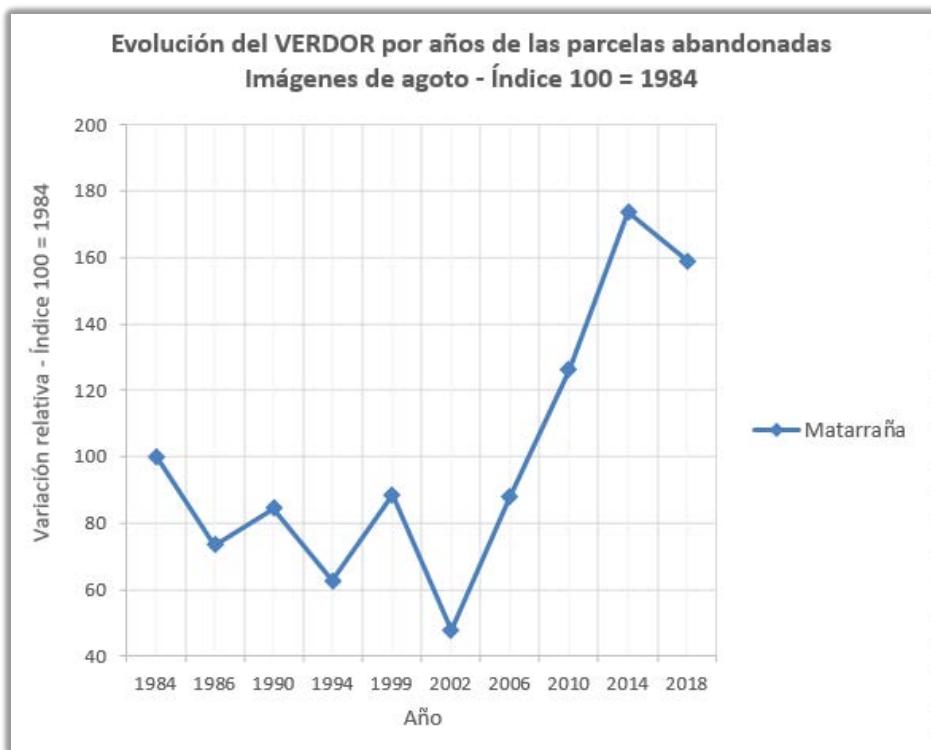


Figura 47: Evolución de VERDOR por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto. Fuente: Realización propia.

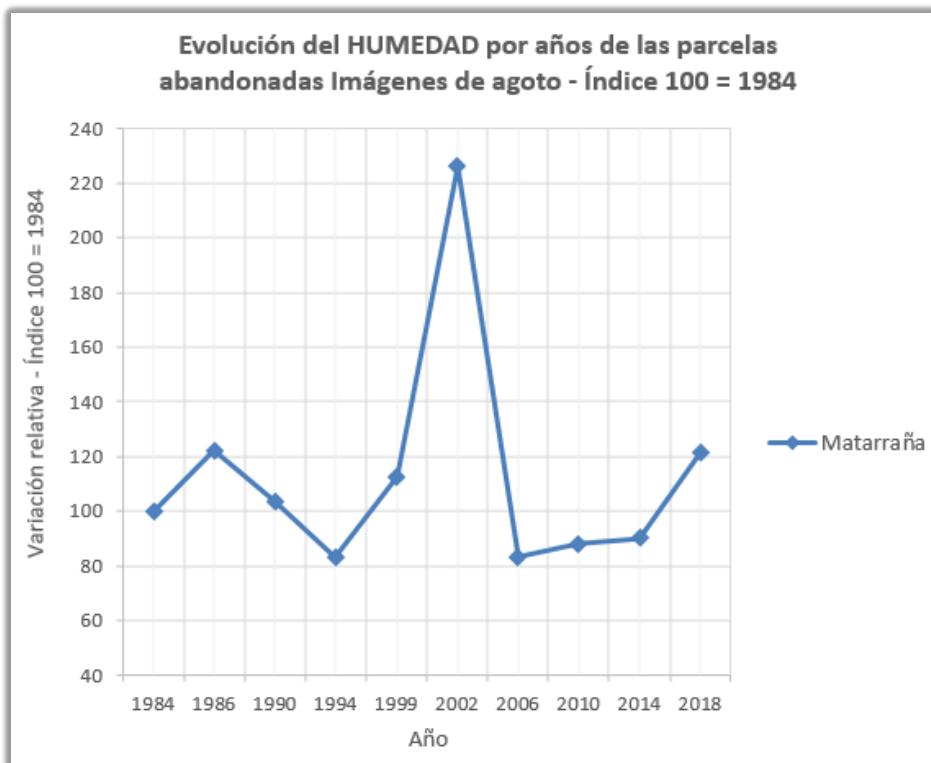


Figura 48: Evolución de HUMEDAD por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para agosto. Fuente: Realización propia.

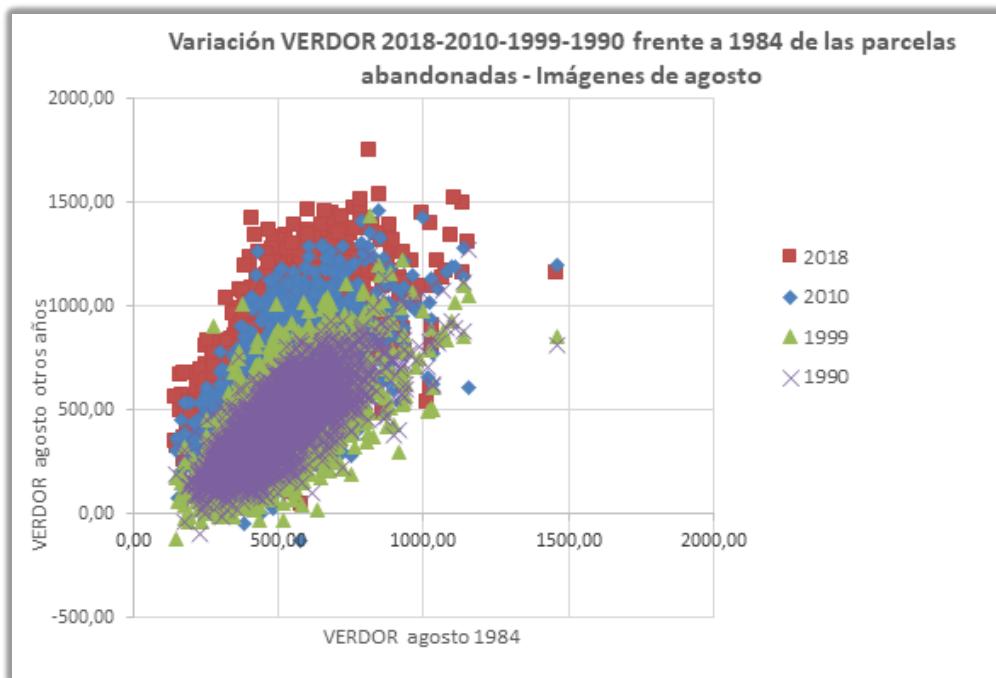


Figura 49: Variación VERDOR anual frente a 1984 en los cultivos abandonados. Fuente: Realización propia.

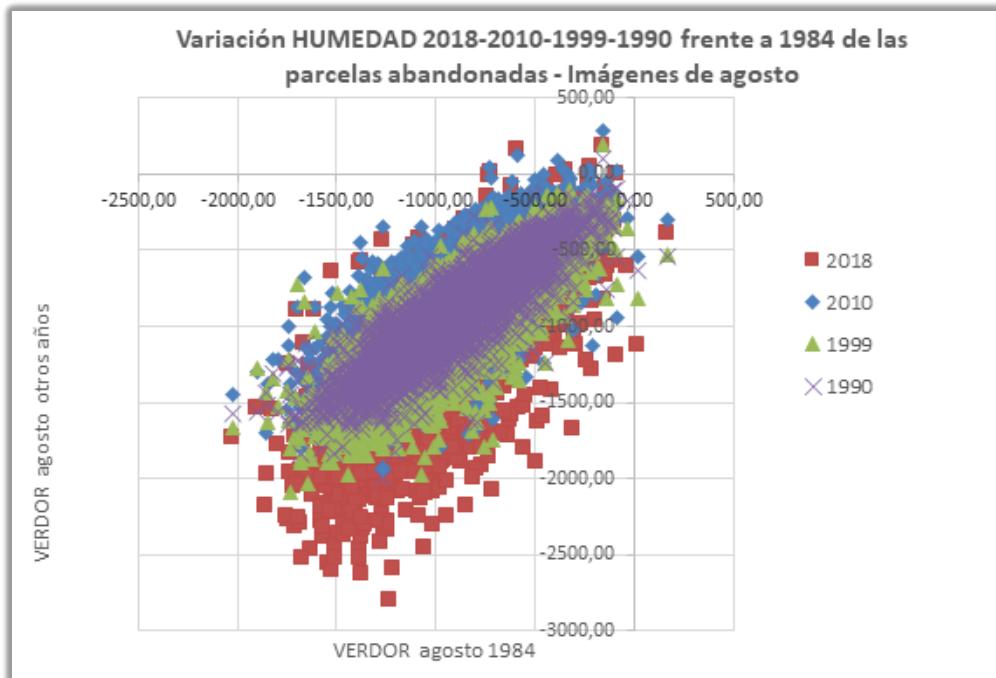


Figura 50: Variación HUMEDAD anual frente a 1984 en los cultivos abandonados. Fuente: Realización propia.

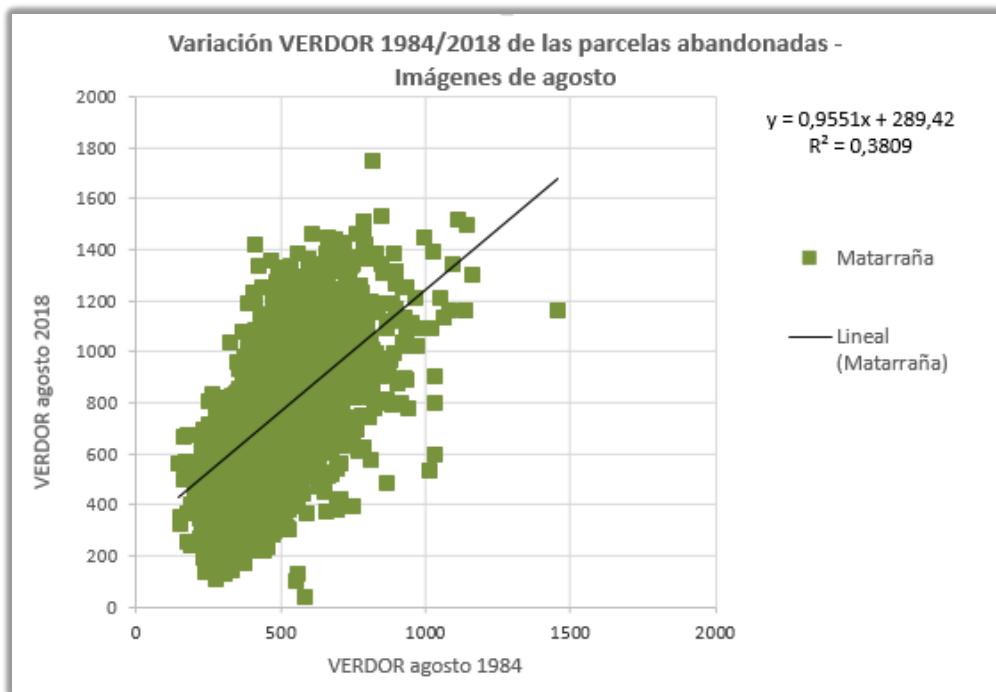


Figura 51: Variación de VERDOR 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas. Fuente: Realización propia.

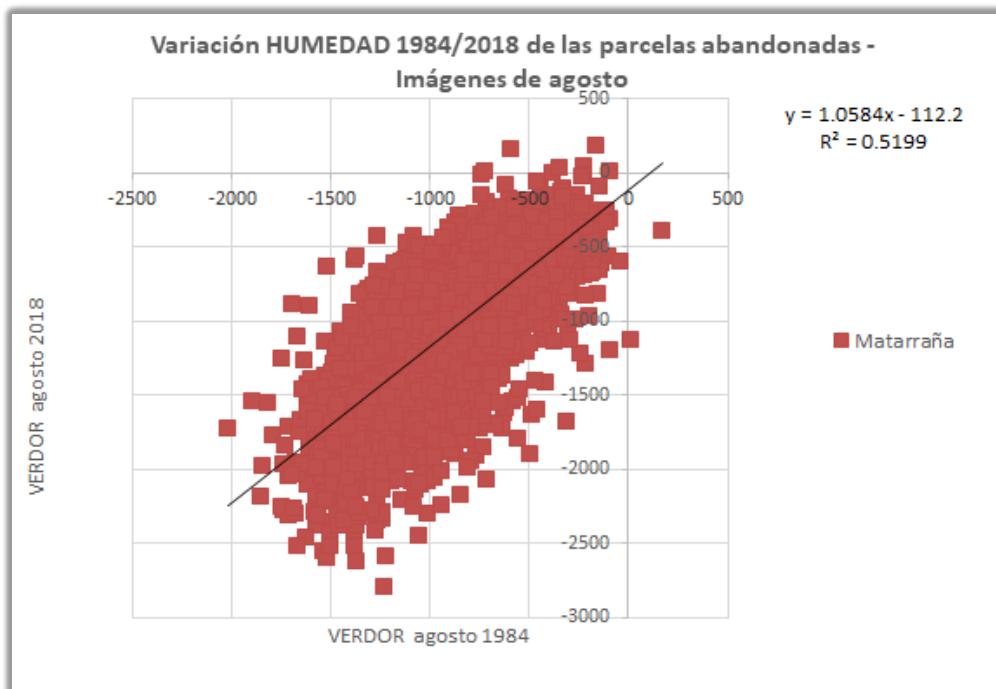


Figura 52: Variación de HUMEDAD 1984 / 2018 de las parcelas abandonadas. Fuente: Realización propia.

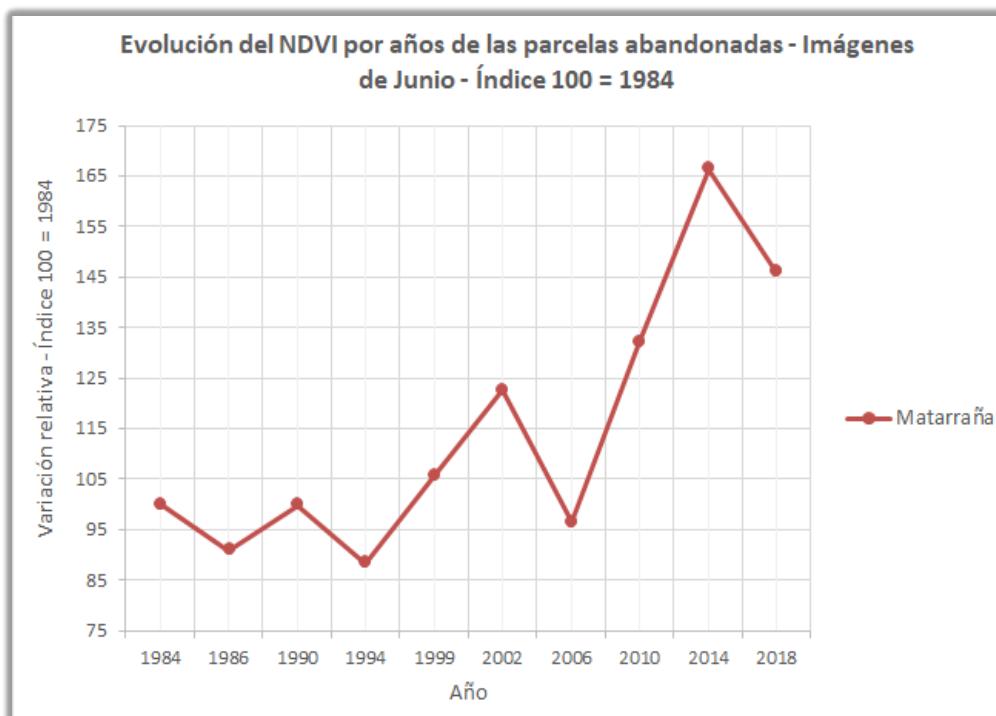


Figura 53: Evolución de NDVI por años de las parcelas abandonadas con índice 100 = 1984 para junio. Fuente: Realización propia.

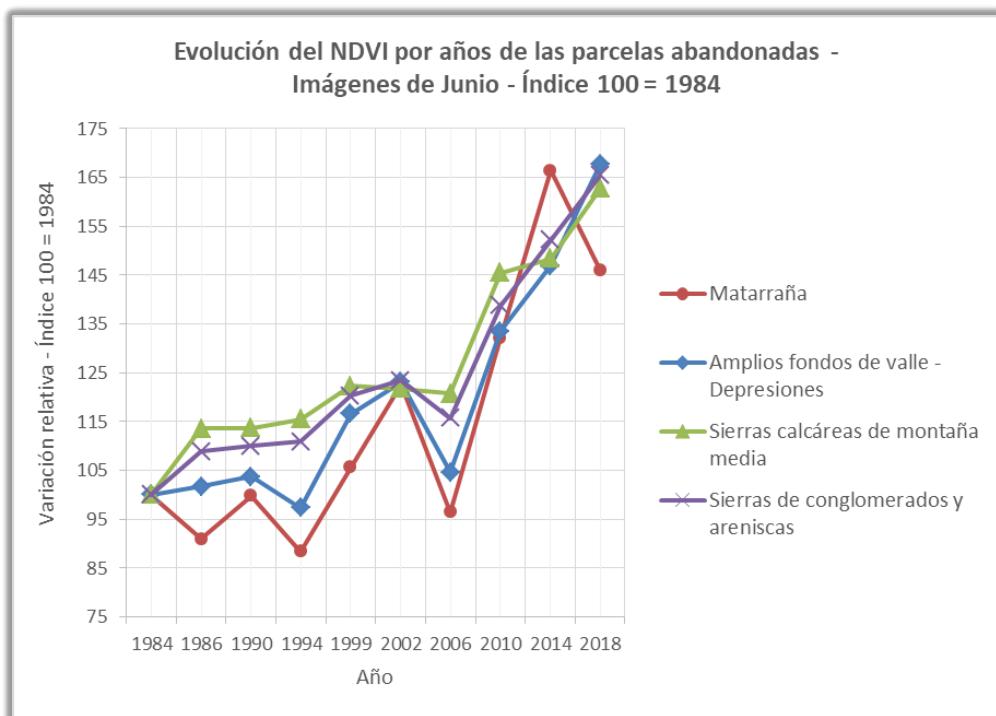


Figura 54: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los dominios del paisaje con mayor superficie y localizados en Alto Matarraña en junio. Fuente: Realización propia.

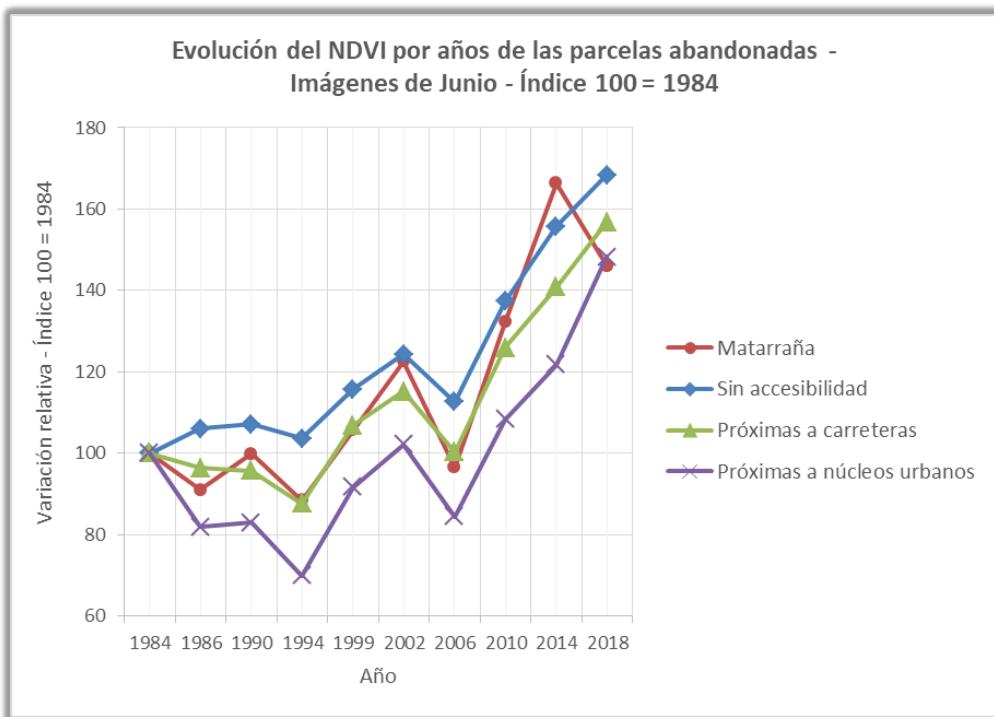


Figura 55: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con la accesibilidad para junio. Fuente: Realización propia.

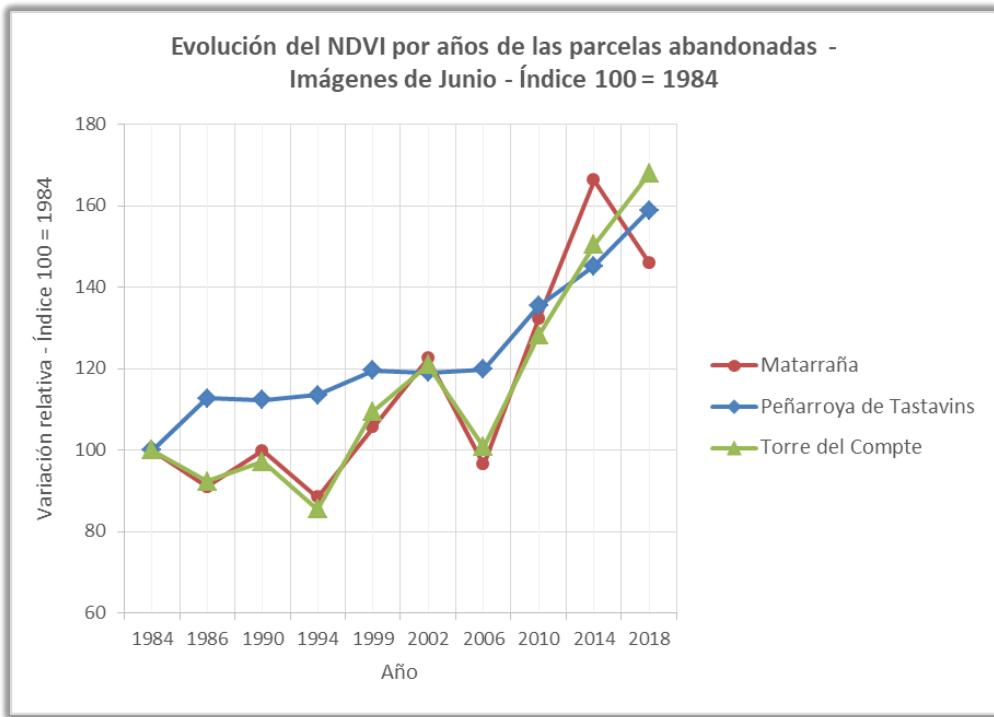


Figura 56: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con dos municipios contrastados para junio. Fuente: Realización propia.

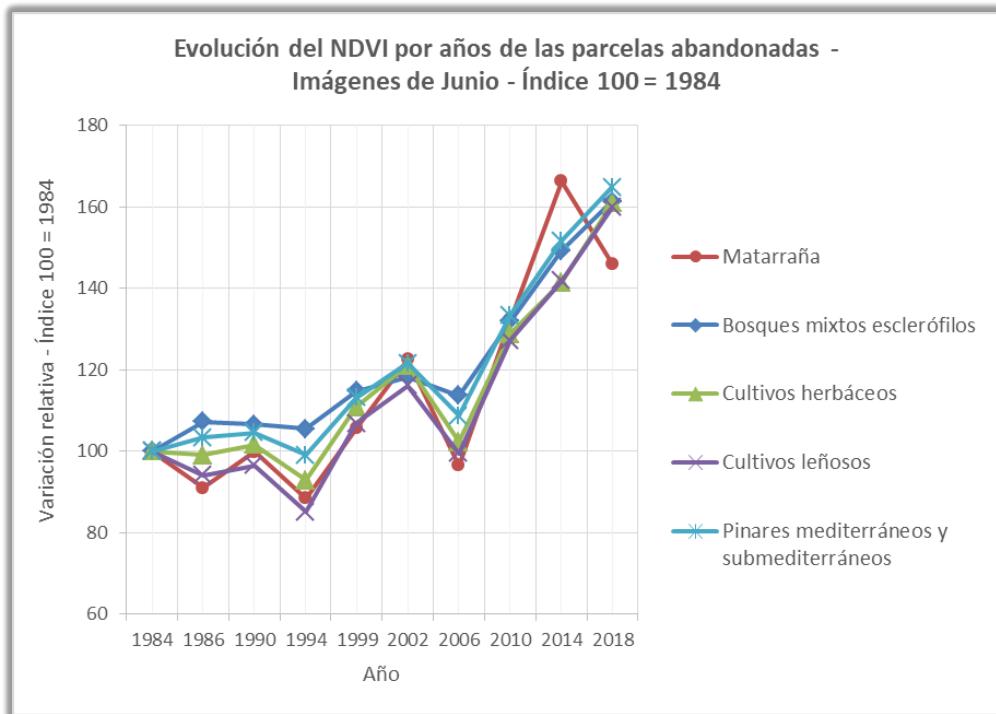


Figura 57: Variación de NDVI 1986 / 2018 de las parcelas abandonadas en relación con los usos de suelo para junio. Fuente: Realización propia.

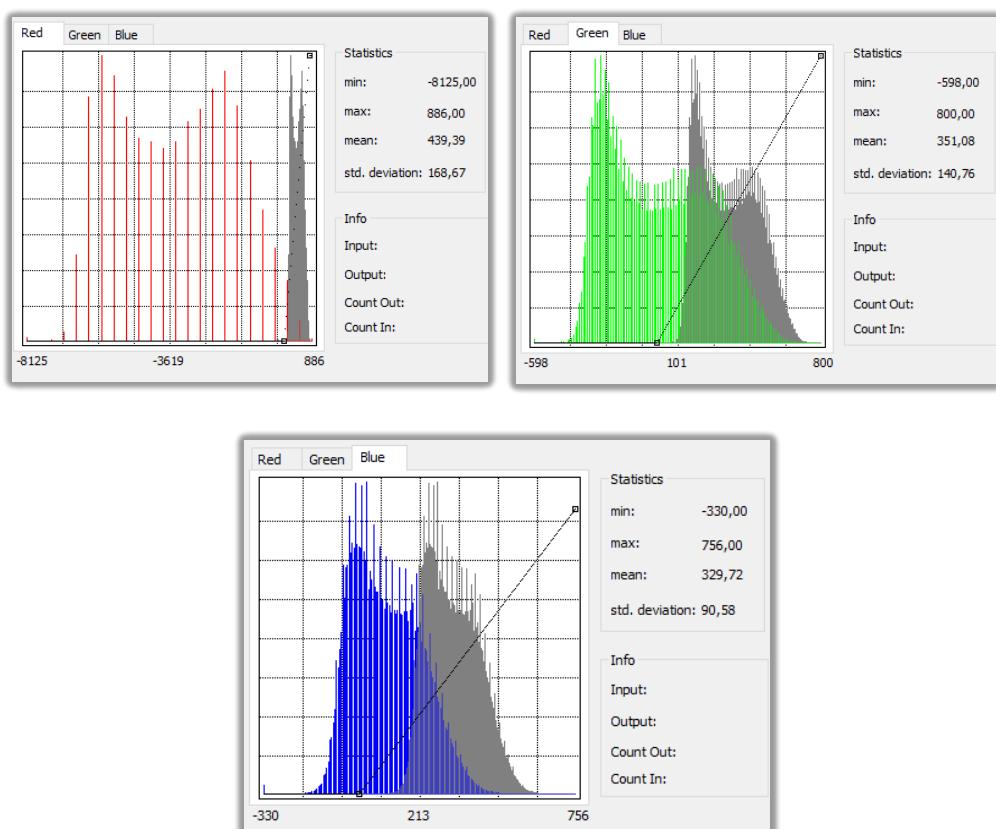
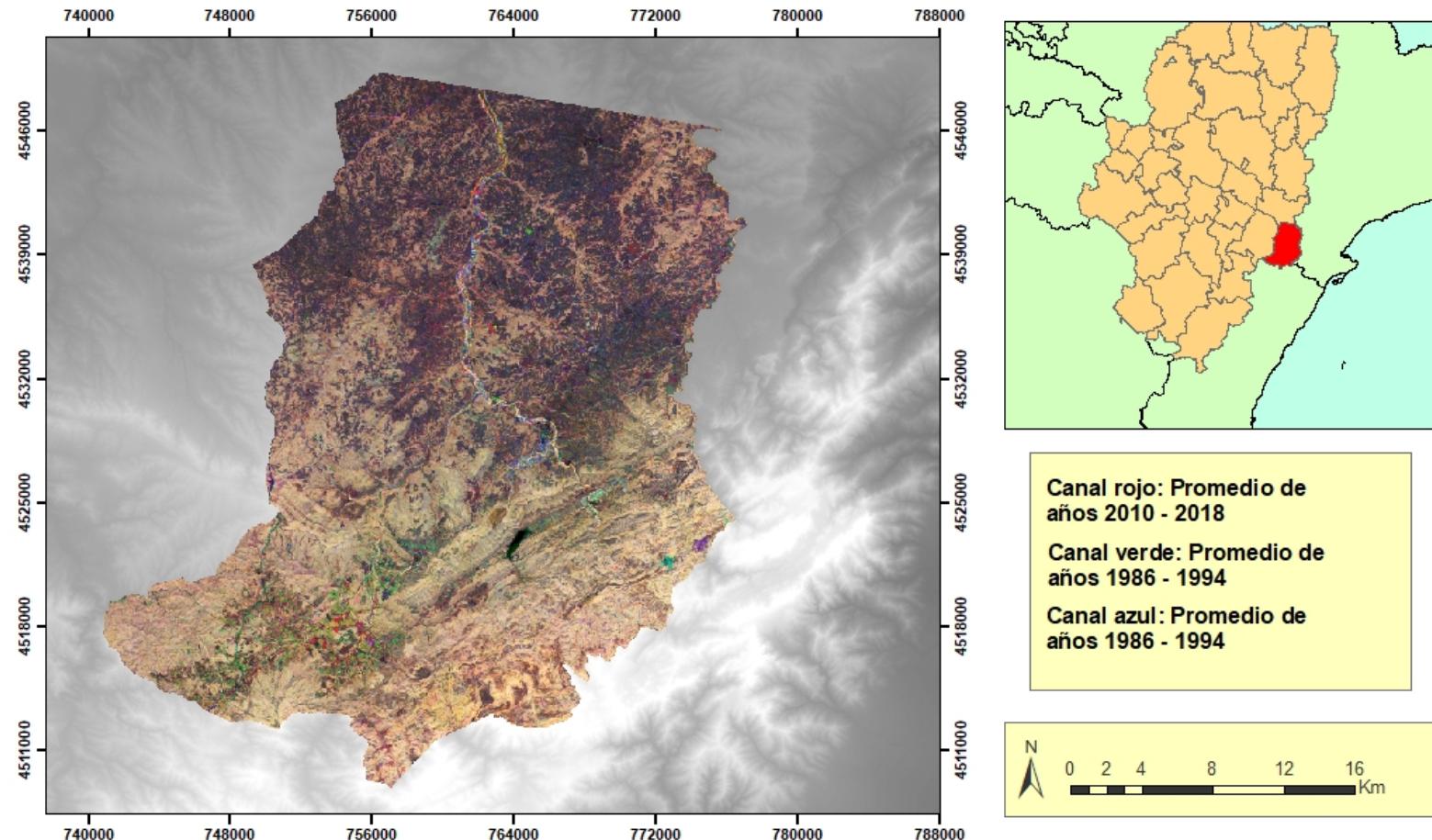


Figura 58: Histogramas para la variación en el promedio de NDVI en agosto entre los años 1984 - 2018 en la comarca del Matarraña. Fuente: Realización propia.

Variación en el promedio de NDVI en agosto entre los años 1984 - 2018 en la comarca de Matarraña



Autor: Sergio Romero Cabezudo
Departamento de Geografía y Ordenación del territorio
Universidad de Zaragoza

Fuente: Realización propia
a partir de datos de Mastergeo, S.L.

Datum: ETRS89
Proyección: UTM30N
Fecha: 07/11/2019

Figura 59: Variación en el promedio de vigor vegetal en agosto entre los años 1984 – 2018 en la comarca del Matarraña.

Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del alto Matarraña

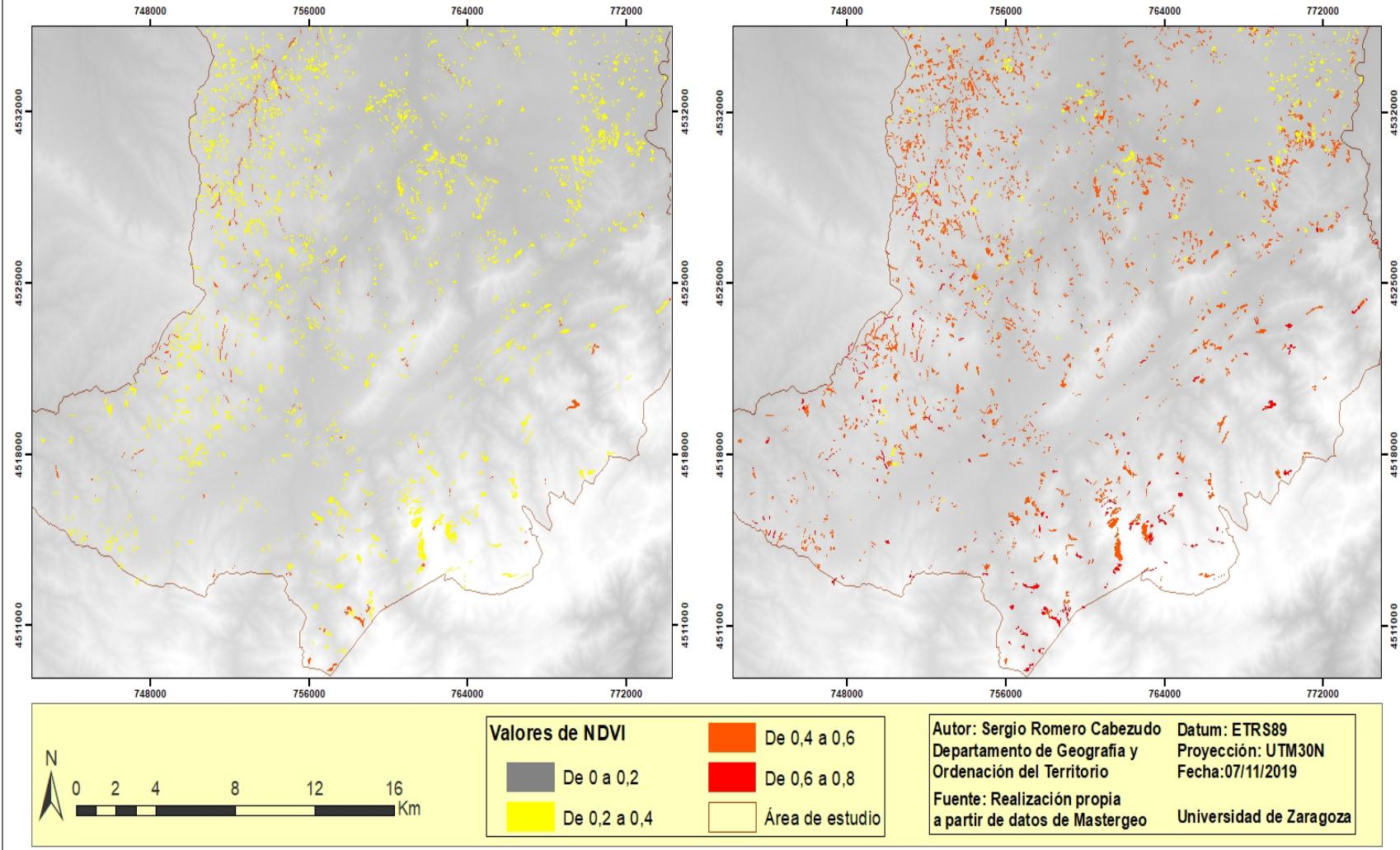


Figura 60: Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Alto Matarraña.

Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del bajo matarraña

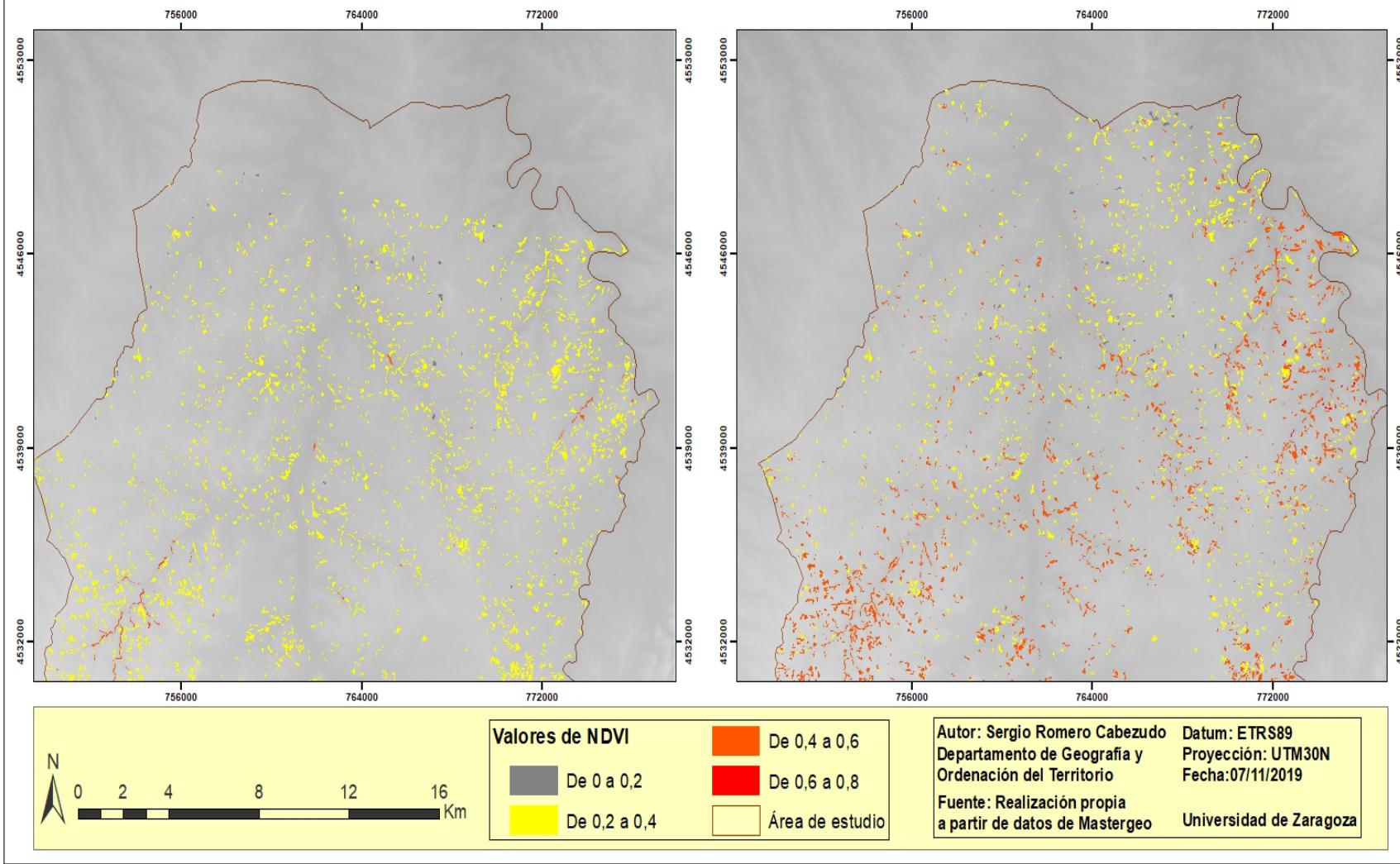


Figura 61: Evolución de valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Bajo Matarraña.

Magnitud del cambio en los valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para cada uno de los cultivos abandonados en la zona del alto y bajo Matarraña.

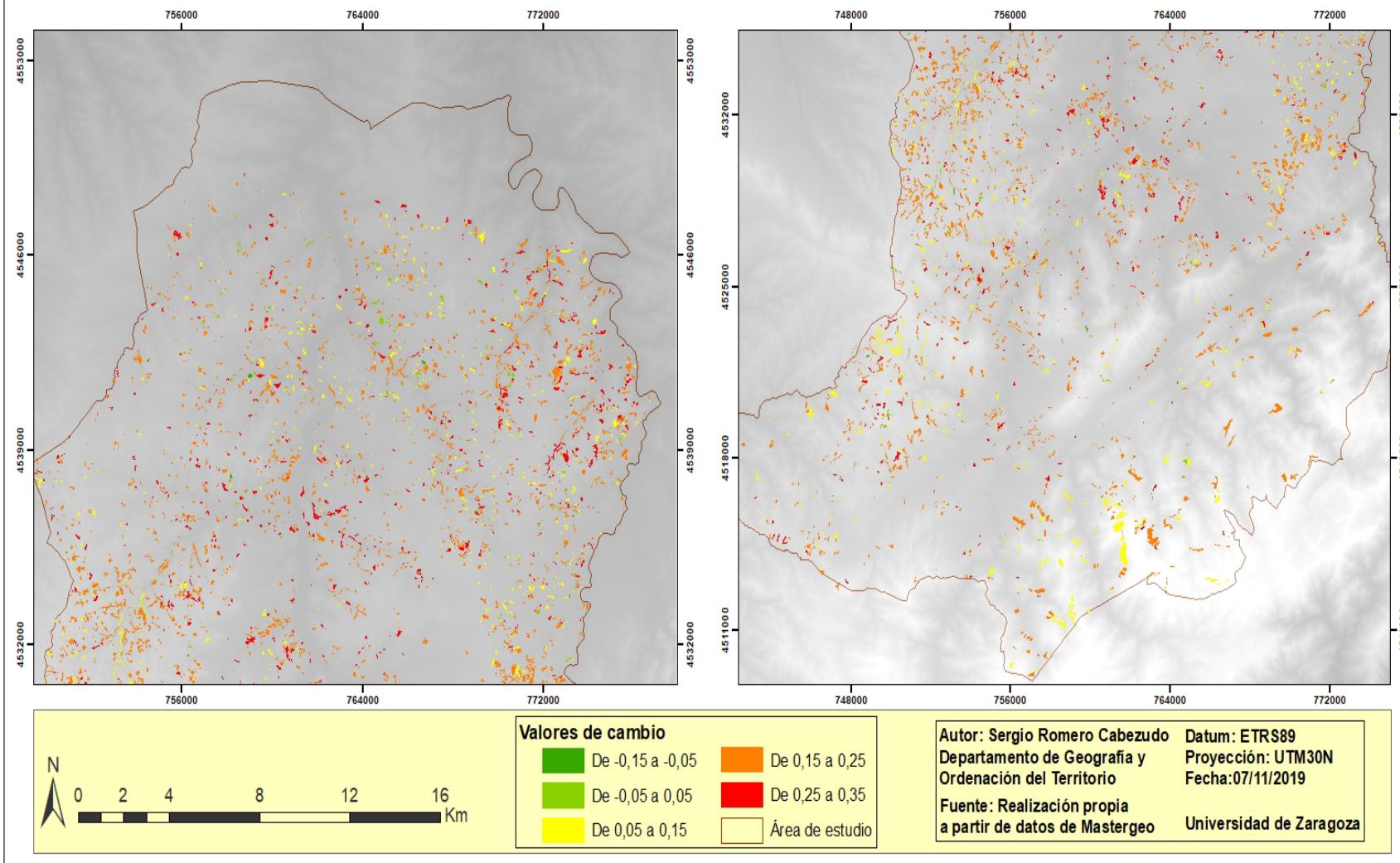


Figura 62: Magnitud del cambio en los valores de NDVI en los años 1986 y 2018 en agosto para los cultivos abandonados en la zona del Alto y Bajo Matarraña.