

TRABAJO FIN DE GRADO

IDENTIFICACIÓN DE PARCELAS AGRÍCOLAS
ABANDONADAS EN LA COMARCA DEL MATARRAÑA-
MATARRANYA MEDIANTE TELEDETECCIÓN Y TÉCNICAS
DE APRENDIZAJE ARTIFICIAL

*IDENTIFYING ABANDONED AGRICULTURAL LANDS IN THE
COUNTY OF MATARRAÑA-MATARRANYA USING REMOTE
SENSING AND MACHINE LEARNING TECHNIQUES*

Javier Lázaro Gómez

Director: Marcos Rodrigues Mibrero

Facultad de Filosofía y Letras

2023

Agradecimientos

Quiero dar un especial agradecimiento a mi director del presente Trabajo Fin de Grado, Marcos Rodrigues Mimbrero, por la dedicación, las ganas y el tiempo dedicado a que se llevase a cabo correctamente dicho trabajo. Todas las dudas resueltas en el manejo de ArcMap y, los consejos y la información brindada, la disponibilidad para las tutorías, la rapidez en la respuesta a mis dudas y, sobre todo, por la ayuda prestada en el tratamiento de datos mediante R, haciendo posible el objetivo principal del TFG. He de reseñar que no podría haber llevado a cabo dicho trabajo si no me hubiese sentido motivado por mi director del presente trabajo.

Gracias por hacer esto posible y por ampliar mis conocimientos teóricos y prácticos en muchos ámbitos de la Teledetección y SIG, además de saber realizar correctamente un Trabajo Fin de Grado.

Muchas gracias.

Resumen

Los modelos de clasificación y regresión, junto con los estudios e investigaciones sobre ámbitos ambientales y paisajísticos a través de la Teledetección y los SIG, se encuentran entre las principales líneas de investigación en la actualidad por su capacidad para abordar estudios territoriales a escalas regionales. En ámbitos mediterráneos su aplicación para el análisis del proceso de abandono de tierras agrícolas está contribuyendo a la monitorización y mayor comprensión de este fenómeno. La Comarca del Matarraña/Matarranya, en las últimas décadas ha sufrido numerosos cambios en las tierras agrícolas y en la vegetación, debido, especialmente, a factores demográficos, ambientales, paisajísticos, económicos y políticos. El presente Trabajo Fin de Grado tiene como objetivo la creación de un modelo de clasificación de las tierras principales cubiertas involucradas en la dinámica del abandono, diferenciando entre cultivos, parcelas abandonadas y vegetación natural, a lo largo del periodo de tiempo que abarca los años 1984-2015 en la comarca del Matarraña. La recogida y el análisis de los datos ha sido a través de la Teledetección y SIG, mediante imágenes del satélite Landsat, y su posterior tratamiento a través del entorno Landtrendr y R. Se han obtenido así resultados relacionados con las tendencias en la respuesta espectral en términos de brillo y humedad (componentes de la transformación *Tasseled Cap*), pudiendo así predecir la evolución e identificación de las diversas parcelas del área de estudio con una precisión del 80% de acierto en la clasificación mediante *Random Forest*. Este tipo de estudios permiten profundizar en el análisis multitemporal las coberturas del suelo, componente de gran importancia para comprender la dinámica territorial de cara a su ordenación y planificación.

Palabras clave: *Comarca del Matarraña, abandono, teledetección, modelo de clasificación, cubiertas del suelo, transformación Tasseled Cap, respuesta espectral.*

Abstract

Classification and regression models, together with environmental and landscape studies and research through remote sensing and GIS, are among the main lines of research at present due to their capacity to address territorial studies at regional scales. In Mediterranean areas, their application for the analysis of the process of agricultural land abandonment is contributing to the monitoring and better understanding of this phenomenon. The Matarraña/Matarranya region has undergone numerous changes in agricultural land and vegetation in recent decades, especially due to demographic, environmental, landscape, economic and political factors. The present Final Degree Project aims to create a classification model of the main land covers involved in the dynamics of abandonment, differentiating between crops, abandoned plots and natural vegetation, over the period of time covering the years 1984-2015 in the Matarraña region. The collection and analysis of the data has been through Remote Sensing and GIS, using Landsat satellite images, and subsequent processing through the Landtrendr and R environment. Results have been obtained related to trends in spectral response in terms of brightness and humidity (components of the Tasseled Cap transformation), thus being able to predict the evolution and identification of the various plots in the study area with an accuracy of 80% accuracy in the classification by Random Forest. This type of study allows us to deepen in the multitemporal analysis of land cover, a component of great importance to understand the territorial dynamics for its management and planning.

Key words: *Matarraña region, abandonment, remote sensing, classification, land cover, Tasseled Cap Transformation, spectral response.*

Índice de contenidos

1. Introducción	1
1.1. Sobre el concepto de abandono.....	1
1.2. El abandono de las tierras en la Unión Europea y España.....	2
1.3. El abandono agrícola en Comarca del - Matarraña/Matarranya	3
1.4. El uso de la teledetección para la evolución del abandono de tierras	3
2. Objetivos	4
3. Área de estudio.....	4
4. Metodología	6
4.1. Selección de parcelas	6
4.2. Extracción de las trayectorias espectrales.....	7
4.3. Modelo de clasificación	7
5. Resultados.....	8
5.1. Análisis exploratorio/descriptivo	8
5.2 Clasificación de parcelas abandonadas	12
6. Discusión	19
7. Conclusiones	20
Bibliografía	21
Anexo.....	23

Índice de tablas

Tabla 1. Resumen de las trayectorias observadas en los valores Tcap	10
Tabla 2. Matriz de confusión resultante de la aplicación del modelo de clasificación a la muestra de validación.....	12

Índice de figuras

Figura 1. Mapa de límites administrativos y localización de la Comarca del Matarraña. Fuente: IAEST (https://bonansa.aragon.es/iaest/fic_mun/pdf/33.pdf).....	5
Figura 2. Trayectorias simplificadas de evolución temporal de los componentes TCap brillo (TCB, arriba) y humedad (TCW, abajo)	9
Figura 3. Distribución de los valores promedio, desviación y pendiente de Sen en las categorías analizadas.....	11
Figura 4. Distribución de los valores promedio y tendencia (Sen) en las categorías analizadas.....	12
Figura 5. Resumen de la importancia relativa de las variables explicativas en la clasificación.	13
Figura 6. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como cultivos.	16
Figura 7. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como parcelas abandonadas.	17
Figura 8. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como vegetación natural.....	18

1. Introducción

Los cambios en el uso del suelo son el resultado de diversas interacciones entre el medio ambiente, la sociedad y el abandono de tierras de cultivo. Este último es uno de los principales cambios en el uso del suelo dentro de los países mediterráneos de la UE (Verburg et al., 2010). Las principales causas de estas variaciones se relacionan fuertemente con cambios en las políticas de la UE, mayor urbanización, globalización y desertificación (Geeson et al., 2002). Se espera que los futuros cambios socioeconómicos en la UE incrementen la cantidad de tierras agrícolas abandonadas (Rounsevell et al., 2006).

Las personas encargadas en la administración y formulación de políticas sobre las tierras tienen que tener una concepción correcta de este fenómeno para así poder definir las mejores medidas de control. Por lo tanto, es necesaria la obtención de información y la clarificación de escenarios, que sean detallados, descriptivos y cuantitativos para entender y llegar a comprender las variaciones en el paisaje y el impacto que causan las variaciones en los procesos ambientales (Verburg et al., 2006). Finalmente, gracias a la información adecuada, los formuladores de políticas estarán mejor preparados para restaurar la degradación del paisaje que puede ocurrir después del abandono (Bielsa et al., 2005).

1.1. Sobre el concepto de abandono

El concepto de “tierras abandonadas” no es del todo claro y no existe una definición única en la Unión Europea (Zaragozí et al., 2012), existiendo matices diferentes. Baudry (1991) lo define como “*un cambio hacia modelos menos intensivos en los usos del suelo o como la terminación total de su uso, siendo abandonados a su dinámica espontánea*”. Según Pinto Correia (1993) “*el abandono de la tierra se aplica a aquellas tierras donde el uso tradicional o reciente de la agricultura se ha detenido*”. Corbelle y Crecente (2008) describen el concepto de abandono desde un punto de vista estático o dinámico, mencionan los términos de “abandono de tierras” y “tierra abandonada”, y establecen la distinción entre “abandono de la actividad agrícola” y “abandono de la tierra propiamente dicha”, aunque, según estos autores, en la mayor parte de los casos, el primero conduce directamente al segundo.

El abandono de tierras es un fenómeno global, con especial incidencia en los países desarrollados (Strijker, 2005). Ramankutty y Foley (1999) pudieron calcular que hay 1,5 millones de Km² que se han abandonado en el mundo entre 1700 y 1992, superficie que ha aumentado y que continuará aumentándose en las próximas décadas (Pointereau et al., 2008), entre otras razones porque hay alrededor de 280 Mha destinadas a agricultura nómada o itinerante (*shifting agriculture*) que irán progresivamente abandonándose (Heinimann et al., 2017).

El abandono es un proceso por el que los ecosistemas y paisajes modifican su capacidad para proporcionar bienes y servicios (Pereira et al., 2005; Kozak et al., 2017; García-Llamas et al., 2019). Sus causas son muy diversas y sus implicaciones ambientales, paisajísticas y socioeconómicas son múltiples (Keenleyside y Tucker, 2010; Lasanta-Martínez, 2014; Alonso-Sarría et al., 2016). Es, además, un proceso en el que confluyen elementos biofísicos, socioeconómicos, tecnológicos, demográficos, políticos y culturales (Terres et al., 2015; Lasanta et al., 2017a; Huang et al., 2020). Por otro lado, es un fenómeno eminentemente temporal, ya que la evolución de las tierras abandonadas y su diversidad de respuestas dependen en buena parte del tiempo transcurrido desde el abandono (García-Ruiz y López Bermúdez, 2009).

Existe una gran cantidad de causas que ocasionan el abandono de tierras y varios de los autores, que han tratado de investigarlas, piensan que tienen que ser tratadas a diferentes escalas y de forma integrada (Alonso Sarría et al., 2016a). Lasanta et al. (2017a) indican que las causas globales o externas son las desencadenantes del proceso de abandono, a diferencia de las causas locales o internas que afectan a la superficie abandonada y las áreas donde se ubica el abandono. El presente trabajo ha querido tomar como referencia en su aplicación explicativa y práctica la definición de Corbelle y Crecente (2008), ya que se ha querido tomar en mayor consideración el dinamismo del abandono de las tierras cultivadas a lo largo del periodo de tiempo estudiado y cómo ese abandono de la actividad agrícola está íntegramente relacionado con el abandono de tierras, todo ello se ha podido reflejar a través del modelo de clasificación creado y posteriormente explicado.

1.2. El abandono de las tierras en la Unión Europea y España

En diversos países de Europa, se certifica que procesos vinculados al abandono de tierras han tenido lugar en la Edad Media, sucedieron durante el siglo XIX debido a la industrialización, así como después de la Segunda Guerra Mundial (Gellrick y Zimmerman, 2007). En varios nuevos estados que pertenecen a la UE, el abandono se debe más actualmente como resultado del desarrollo económico postsocialista (Moravec y Zemeckis, 2007). En Europa, según Kuemmerle (2016) indica que entre los años 2000 y 2017 el abandono fue de 20.500 km², según Feranec (2010) entre 1990 y 2000 se abandonaron 88.000 km².

En los años ochenta del siglo pasado los estudios de abandonos de tierras en España se iniciaron, de manera sistemática, centrándose sobre todo la distribución espacial y temporal del proceso de abandono (Díaz-Muñoz, 1984; Alguacil García, 1985; Lasanta Martínez, 1988a; Arnáez et al., 1990; Lasanta Martínez et al., 1989) y en el comportamiento hidromorfológico de las tierras abandonadas (García-Ruiz et al., 1985 y 1988; García-Ruiz, 1986). En los años ochenta y noventa los estudios sobre la erosión del suelo en relación con la sucesión vegetal tuvieron un gran impulso (Lasanta Martínez, 1988; Ruiz-Flaño, 1993, Padilla-Blanco, 1998) y más recientemente en el siglo XXI (Oserín Elorza, 2007; Cañadas Sánchez, 2008; Martínez Hernández, 2018). Los temas de estudios posteriormente se ampliaron considerablemente, correspondiendo a cuestiones paisajísticas, socioeconómicas y ambientales. En la actualidad, existe una gran proporción de espacios agrarios sin actividad, y además de la vegetación que en tiempos remotos albergaba. En cambio, la agricultura en España continúa sin seguir las tendencias de los países del norte de la Unión Europea, esto ha tenido como resultado un uso mayor de medios tradicionales y baja producción. Han ayudado a la enorme diversidad de características orográficas y climáticas españolas que decretan una gran diversidad de hábitats naturales y de ecosistemas, a diferencia de Europa (Sancho et al., 1993; Vera y Romero, 1994).

Desde las primeras décadas del siglo XX en España, al igual que en diversos países de Europa de la cuenca mediterránea, el abandono de las tierras es uno de los principales cambios de uso del suelo, ocupando una gran parte de la superficie (García-Ruiz y Lana-Renault, 2011; García-Ruiz et al., 2011). Las zonas de mayor abandono de tierras son las áreas de montaña y los secanos semiáridos, considerándose como tierras marginales a las áreas de baja relevancia económica, con poca capacidad para competir en mercados muy dinámicos y competitivos. Diversos científicos y gestores del territorio opinan que se tiene que explotar de forma extensiva y abandonar dichos territorios para beneficiar la revegetación (Lasanta y García-Ruiz, 1996; Perino et al., 2019).

El abandono de tierras en España se puede resumir en: innovaciones tecnológicas y mecánicas en la agricultura; migración de la población rural hacia las ciudades (Kosmas et al., 2002); elevada competitividad en los mercados; baja productividad de algunos campos; la climatología en espacios semiáridos; incertidumbre en espacios de irregularidad en las lluvias; los efectos de la Política Agrícola Común (PAC), que entre 1989 y 2008 incentivó el abandono de tierras agrícolas de forma permanente (land retirement) o temporal (set-aside) (Boellstorff y Benito, 2005; Corbelle-Rico et al., 2012; Lasanta Martínez, 2014); la gestión y los factores que la relacionan, como el inadecuado uso de explotaciones agrarias; las ocupaciones; la fatiga del suelo debido a producciones intensivas; el abandono de prácticas y estructuras tradicionales de conservación de suelos (Vera y Romero, 1994; Franco y Calatrava, 2010).

Cabe destacar que las tierras abandonadas son muy codiciadas por los investigadores, por su gran gradiente climático, desde ambientes subalpinos a subdesérticos, por la gran variedad de sistemas de gestión, antes y después de que las tierras sean abandonadas y, además, es esencial por las perturbaciones que sufren las tierras abandonadas, como pueden ser los procesos erosivos y los incendios. Con todo esto, se puede ver como la evolución de las tierras abandonadas sigan patrones heterogéneos, con consecuencias muy variadas a escala local y en los servicios ecosistémicos que prestan a la sociedad.

1.3. El abandono agrícola en Comarca del - Matarraña/Matarranya

El resultado del fuerte proceso de abandono agrícola que ha sufrido igual que muchas zonas rurales en Aragón y en España es uno de los principales problemas que influyen en los paisajes de nuestra comarca. Este abandono figura una pérdida de paisajes agrarios especialmente valiosos. Buena parte de la comarca del Matarraña/Matarranya goza un paisaje cultural muy característico, resultado de siglos de explotación del territorio: los cultivos en zonas abancaladas, con muros de piedra seca y en vales de fondo plano, ofrecen diversidad en la configuración de unos mosaicos de calidad y son unas señas de identidad de la comarca.

Su abandono y la posterior colonización por la vegetación, actualmente de matorral denso y arbolado (mayormente almendros olivos secos), supone una homogeneización del paisaje que supone una pérdida del carácter propio y la diversidad de unos paisajes emblemáticos de la comarca.

La homogeneización del paisaje conlleva un aumento notorio de combustible pasando de una composición de mosaicos forestales con cultivos a un continuo forestal. Esto en un territorio con un grandísimo riesgo de incendios no supone un ascenso del riesgo de ignición, pero sí supone un aumento del riesgo de propagación del fuego al tiempo que obstaculiza las labores de extinción. Como resultado de todo ello, el riesgo de que se produzca un gran incendio es mayor que cuando existía un paisaje en el que las vales cultivadas actúan en una función ambiental como cortafuegos naturales. Las repercusiones negativas del abandono agrícola en esta comarca y se está trabajando por retornar este proceso en la puesta en marcha del proyecto “Banco de tierras” consiguiendo por concertación social que tiene por finalidad recuperar parcelas de cultivo abandonadas en los últimos 20 años. Con todo ello se pretenden diversos objetivos: (i) recuperar el paisaje tradicional, reducir el riesgo de incendios forestales y (iii) promocionar el sector primario.

1.4. El uso de la teledetección para la evolución del abandono de tierras

La teledetección surge como un componente novedoso que permite adquirir información del territorio con una frecuencia elevada y trabajar sobre determinadas situaciones y procesos. Esta

herramienta permite abordar distintas escalas como la global ya que son muchos los satélites que están operativos actualmente y que dan información en tiempo real de diversas partes del mundo. Permite conocer cambios en la vegetación, la humedad, la atmósfera y también trabajar sobre el cambio climático más fácilmente que realizando pequeños estudios en parcelas como anteriormente se venía haciendo (Cabello y Paruelo, 2008). Autores como Chuvieco (2010) sostienen que en sus inicios la teledetección en relación con los análisis ambientales y de variaciones tenían una conexión que se traducía en la fragmentación del espacio y la realización de cartografía de carácter temático. Con el tiempo tal y como dice el autor, se han seguido sucediendo una serie de innovaciones como los diferentes cambios en la respuesta espectral y su dinámica temporal como el que aquí se aborda (Chuvieco, 2010). Sin embargo, tal y como se refieren algunos autores como Sanchez - 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 se debe a que pese la utilización de la teledetección para este tipo de estudios aún queda camino por delante para innovar y determinar nuevos acercamientos en el estudio de los cambios y variaciones. Considerando esto para la realización del proyecto se han aplicado numerosas técnicas relacionadas con la teledetección como las series temporales y el análisis de tendencias aplicado a las mismas.

2. Objetivos

El objetivo principal del presente Trabajo Fin de Grado es analizar mediante teledetección espectral la evolución temporal de las parcelas abandonadas. Para ello se abordan una serie de objetivos específicos que conforman a su vez las principales etapas seguidas:

- Identifica visualmente parcelas abandonadas adecuadas para el análisis mediante teledetección espectral basada en sensores Landsat.
- Determinar los principales factores espetrales que sintetizan el proceso de abandono.
- Analizar las trayectorias espetrales en el periodo de estudio (1984-2015) mediante el uso del algoritmo Landtrendr.
- Crear un modelo de clasificación supervisada basado en algoritmos de aprendizaje artificial que permita identificar parcelas abandonadas de vegetación natural y zonas que permanecen cultivadas.

3. Área de estudio

El área de estudio se sitúa en la Comarca del Matarraña/Mataranya, comarca tradicionalmente agraria dónde el abandono de tierras ha contribuido a la modificación del paisaje, homogeneizando el mosaico de tierras agrícolas. La importancia de este fenómeno queda patente fruto de diversas iniciativas para revertir los efectos nocivos del abandono como el proyecto Banco de Tierras y el catálogo de parcelas abandonadas de dicha comarca. La comarca del Matarraña se sitúa en la parte Sur-Sureste de la provincia de Teruel, limitando con Tarragona y Castellón (Figura 1). Lo que más destaca de la comarca es que existen ciertos sectores muy distintos entre sí con un claro gradiente Norte – Sur denominados bajo y Alto Matarraña respectivamente (Lozano Tena, 2003). La superficie total de la comarca es de 933 km² y se encuentra dentro del dominio morfoestructural del sistema ibérico.

La comarca muestra principalmente entre los extremos norte y sur, grandes contrastes geográficos, de este modo hace que estudiar las variaciones a lo largo de una serie de años resulte especialmente interesante a la par que complejo. La fisiografía se caracteriza por la presencia de una serie de sierras en la zona Sur con una dirección de relieve Sureste – Sur. Hallamos que los puntos más elevados corresponden a los Puertos de Beceite, con una altura aproximada de 1.400 m sobre el nivel del mar. Algunos de ellos son el Tossal d'en Canader (1.393 m) o Tossal dels Tres Reis (1.361 m) (Lozano, 2003). Predomina el clima mediterráneo lluvioso, con veranos calurosos y secos que predominan en la parte Norte. Según la clasificación de Köppen pertenecen al grupo Csa. Por otro parte, se hallan grandes desigualdades entre la parte Norte de la comarca y la Sur, a causa de un fuerte gradiente altitudinal, explicado como la existencia de otro tipo de clima en algunos municipios como el de Peñarroya de Tastavins, donde se pueden hallar climas templados – húmedos, con veranos cálidos y calurosos que están incluidos en el grupo de los Cfb.

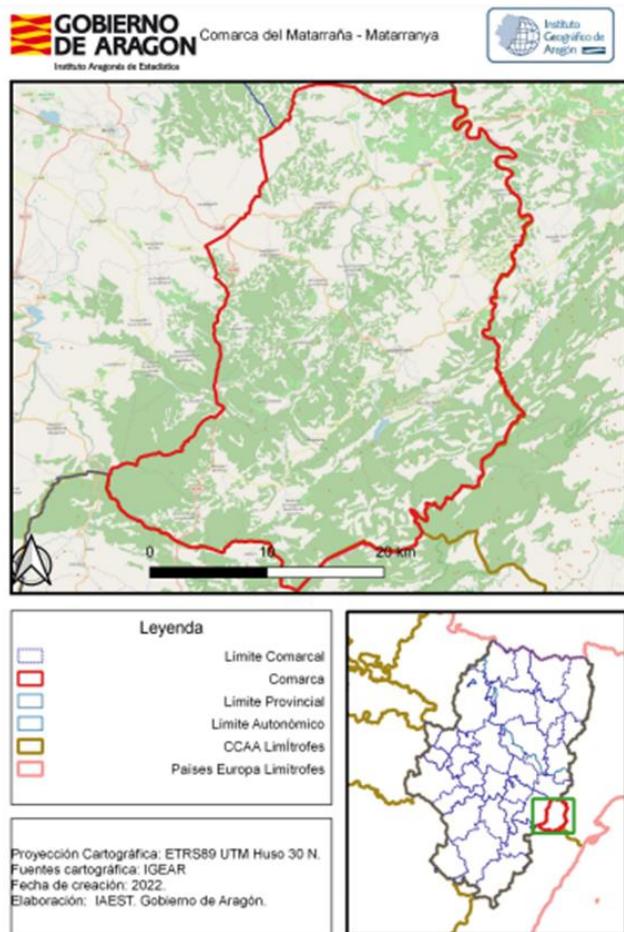


Figura 1. Mapa de límites administrativos y localización de la Comarca del Matarraña. Fuente: IAEST (https://bonansa.aragon.es/iaest/fic_mun/pdf/33.pdf).

Considerando una clasificación adaptada al territorio Aragonés, como la realizada por José María Cuadrat (J.M. Cuadrat, 2000), la comarca del Matarraña podría incluirse en su sector Norte como un clima de transición mediterránea continental mientras que la parte Sur se corresponde con un clima de alta montaña de las sierras ibéricas con unas precipitaciones que no sobrepasan los 1000 Lm2 y cuyos máximos se sitúan en otoño y en verano. Por lo tanto, el factor determinante para la diferenciación de estos pisos climáticos es la altura.

Las precipitaciones se hallan entre los 700 mm y la temperatura media varía entre los 12º (Peñarroya de Tastavins y las zonas montañosas del Sur) y los 17 – 19º de los municipios pertenecientes a la parte más llana del sector Norte, como por ejemplo Calaceite. Un factor determinante para la distinción de la frontera entre Aragón y Cataluña es la red hidrográfica tiene una disposición Sur – Norte, con los ríos Matarraña y Algars. La vegetación existente se encuentra en gran parte influenciada por varios 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 regla general, degradada. Por tal razón, los pisos bioclimáticos que existen se corresponden en primer lugar con el piso mesomediterráneo representado por matorrales aromáticos, encinares, 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. Asimismo, entre estos dos pisos se podrían dar zonas con quejigares.

La agricultura se centra en la trilogía mediterránea de olivo, almendro y vid, además de cereal y, más recientemente, melocotón en las zonas bajas de la comarca. Además de la vocación agrícola en la comarca, destaca la importancia de la ganadería, alcanzando un alto porcentaje de la población activa. La abrupta orografía de la comarca ha creado dos ámbitos distintos dentro de la misma: un Matarraña de montaña, forestal y ganadero y un Matarraña de valles y vales, totalmente agrícola. Cabe destacar que el olivo no es sólo uno de los cultivos tradicionales y fundamentales para la economía de la zona, sino un elemento constituyente y conformador de su riqueza histórica, etnográfica, patrimonial y paisajística.

4. Metodología

La metodología de trabajo ha sido una de las partes más complejas e importantes de cara a conseguir alcanzar los objetivos y resultados del presente Trabajo de Fin de Grado. Así pues, para la obtención del modelo de clasificación de las variaciones estudiadas en la comarca del Matarraña entre 1984-2015, se ha desarrollado en las siguientes etapas: (i) selección de parcelas, (ii) extracción de las trayectorias espectrales mediante Landtrendr, (iii) ajuste del modelo de clasificación

4.1. Selección de parcelas

En primer lugar, se han seleccionado una serie de parcelas abandonadas de la comarca del Matarraña que serán la base para la interpretación de la respuesta espectral y el ajuste del modelo de clasificación. En un principio se contaba con una capa vectorial de cultivos abandonados procedente del proyecto de Banco de Tierras del Matarraña (Ric e Ibarra, 2015), con un total de 4650 parcelas identificadas mediante fotointerpretación de ortofotografías históricas. Del conjunto de parcelas se ha hecho una selección teniendo en cuenta 2 factores: el tamaño, que debía ser suficiente como para que cupiese un píxel dentro, por ello se ha tenido como mínimo determinante el tamaño de media hectárea (30x30); y la forma, ya que aparecían parcelas abandonadas, en la capa, que no correspondían a cultivos abandonados, sino a zonas fluviales, etc. Esta primera delimitación se ha llevado a cabo a través del entorno SIG (*ArcGIS 10.X*). Se ha calculado la superficie en hectáreas de cada polígono de la capa. Así, en la selección por atributos he podido seleccionar todos aquellos polígonos que tengan una superficie mayor o igual a media hectárea. Con la selección realizada se ha exportado la capa, para tenerla ya bien delimitada. Posteriormente se han descartado aquellas con formas excesivamente longitudinales y que por tanto no garantizan la pureza de los píxeles Landsat.

Como todavía se encontraba un gran número de parcelas que resultaba excesivo poder trabajar sobre él, se ha optado por hacer una delimitación por número de píxeles por polígono. Para ello, se ha descargado una imagen LandSat 8 de referencia, con una cubierta de nubes del 0% (para facilitar el trabajo y que se vea una imagen limpia y clara), a través del USGS (United States Geological Survey). Una vez obtenida la imagen LandSat, se ha procedido a convertir los píxeles de la capa raster a puntos (centroides), asignando éstos a la capa de parcelas mediante unión espacial (*spatial join*). Finalmente se ha procedido a la delimitación final, dejando todos aquellos polígonos de parcelas abandonadas que contengan en su interior un mínimo de 4 puntos (es decir, 4 píxeles).

Con esta última delimitación (40 parcelas), ya se tenía una muestra manejable de cara al proceso de análisis visual de la respuesta y trayectoria espectral. Se extrajo una muestra final de análisis de 40 parcelas teniendo en cuenta su distribución geográfica, debido a la, ya comentada anteriormente, gran

diferencia fisiográfica y por ende climática dentro de la comarca del Matarraña; por lo que se escogieron parcelas distribuidas por toda el área de estudio.

4.2. Extracción de las trayectorias espectrales

Como la herramienta principal del trabajo es la Teledetección y se van a estudiar las variaciones espectrales en las parcelas abandonadas durante un periodo de años, se optó por trabajar en Google Earth Engine (GEE) con LandTrendr (Kennedy et al., 2018). A través de esta herramienta, se pueden extraer las trayectorias espectrales para la serie temporal de análisis (en este caso el periodo comprendido entre el inicio de la serie de imágenes Landsat y la fecha de publicación de la cobertura vectorial de parcelas abandonadas; 1984-2015) originales y simplificadas. Esto último es la principal utilizada de Landtrendr, la posibilidad de eliminar las fluctuaciones interanuales y el posible ruido procedente de la respuesta espectral original, facilitando la interpretación del comportamiento multitemporal de series espectrales.

Landtrendr permite evaluar las trayectorias temporales de las bandas de reflectividad originales y de una serie de neocanales de los que se han seleccionado los componentes de la Transformación *Tasseled Cap* (Tcap, humedad, verdor y brillo). Las series temporales para cada una de las 40 parcelas se extrajeron a partir de la herramienta específica implementada en GEE (<https://emapr.github.io/LT-GEE/ui-applications.html#ui-landtrendr-pixel-time-series-plotter>). Esta herramienta resulta particularmente adecuada ya que permite la inspección visual de las parcelas, pudiendo seleccionar así aquellos píxeles en los que se percibe el progreso de la vegetación natural, ya que no necesariamente la vegetación coloniza la totalidad de la parcela de forma homogénea. Además, el píxel exacto dentro de las parcelas abandonadas estudiadas fue escogido según la magnitud de cambio en las variaciones durante el periodo de estudio, para así coger los puntos más afectados y con un mayor contraste. Para cada parcela se ha seleccionado una trayectoria recíproca en una zona con vegetación natural y, cuando ha sido posible, de una zona de cultivo. De este modo se obtiene, parcela por parcela, las trayectorias espectrales simplificadas de (i) la vegetación natural en parcela abandonada, (ii) la vegetación natural en zona no abandonada y (iii) los cultivos, de los 3 ejes Tcap. Cabe destacar que no en todas las parcelas estudiadas se pudo rescatar información de los cultivos, ya que no se encontraban cultivos cerca de dichas parcelas abandonadas. Finalmente, con todos los datos y toda la información obtenida se ha elaborado una tabla, para organizar todos los datos y así poder trabajar, posteriormente, con éstos de forma más fácil en entorno R (R Core Team, 2013).

4.3. Modelo de clasificación

A partir de las series temporales simplificadas se ha procedido a hacer un ajuste y validación de un modelo de clasificación de las 3 coberturas a través del modelo “*Random Forest*” (L. Breiman, 2001). Este modelo ha sido elegido por su facilidad a la hora de manejar una gran cantidad de datos para poder hacer una clasificación según las preguntas que se quiera que responda (con sí o no). A través de ello, y una vez organizadas correctamente las preguntas que se quería que respondiese este algoritmo, se ha podido llegar a diversas conclusiones y a una clasificación primaria sobre nuestros datos.

Se llegó a la conclusión de que el Verdor (TCG) no era especialmente significativo para el estudio, ya que no había una gran diferencia en sus resultados ni en su variación, por lo que se optó por utilizar solamente los neocanales de Humedad (TCW) y Brillo (TCB). Las series temporales de estos dos componentes se han agregado en 3 variables que resumen las trayectorias temporales en términos

de magnitud de la respuesta espectral (promedio de la serie temporal) y su variabilidad (desviación estándar de la serie), así como de la magnitud y sentido de la tendencia temporal (pendiente de Sen de la serie temporal; P.K. Sen, 1968). De este modo se sintetiza la respuesta en un total de 6 variables explicativas. Posteriormente se ha procedido a separar la clasificación en muestra aleatoria de entrenamiento (70% de las observaciones en cada categoría) y validación (30% restante), es decir, para poder hacer pruebas y cálculos sin afectar a la información estudiada. A través de la muestra de entrenamiento, se ha podido calibrar y optimizar el algoritmo “*Random Forest*”, para obtener una respuesta, es decir, un modelo de clasificación con el que interpretar el papel explicativo de las variables. A través de la muestra de validación se ha podido verificar el porcentaje de acierto de dicho algoritmo en la predicción de las categorías.

Finalmente se ha realizado el análisis de la importancia de las variables y su sentido explicativo mediante curvas de respuesta (*partial dependence plots*; B.M. Greenwell, 2017). Es decir, se ha obtenido un gráfico en el que muestra en el eje Y las variables (promedio, variabilidad y tendencia) de la Humedad y del Brillo y en el eje X la importancia, en porcentaje, para conocer la variable más significativa. También se han obtenido diversos gráficos del promedio, variabilidad y tendencia de Humedad y Brillo de las diferentes categorías de estudio. Además, diversos gráficos de tendencia se han utilizado para visualizar los cambios y su distribución en el tiempo, como es el de “*Promedio Valor T-Cap*” y el de “*Valores ajustados*”, solamente de Humedad y Brillo. Para concluir, el gráfico de “*Caja y Bigotes*” (BoxPlot), muestra los valores ajustados del promedio, la variabilidad y la tendencia de las 3 categorías estudiadas, mostrando los resultados bien diferenciados entre categorías.

5. Resultados

5.1. Análisis exploratorio/descriptivo

En la Figura 2 se muestra la evolución temporal (1984-2015) de los valores ajustados T-Cap del Brillo y de la Humedad. La vegetación no abandonada (línea verde) muestra los menores valores de magnitud en el Brillo, con una evolución descendente y suave, que concuerda con la información que se espera obtener, ya que hay una mayor cantidad de vegetación en las zonas no abandonadas. En cambio, en la Humedad, sus valores son los más altos, con una evolución ascendente y suave, a diferencia del resultado encontrado en la evolución del Brillo, ya que la vegetación refleja mucho la humedad. Las trayectorias iniciales observadas en los cultivos (línea roja) y la vegetación abandonada (línea azul) se encuentran casi emparejadas en un inicio (1984), separándose paulatinamente a lo largo del periodo de análisis debido al descenso gradual que se aprecia en el brillo asociado a las parcelas abandonadas. Esto sugiere que un momento anterior a nuestro periodo de estudio, las parcelas abandonadas eran efectivamente zonas cultivadas. Por el contrario, encontramos que la vegetación abandonada y la vegetación natural se encuentran muy separadas en sus inicios, y conforme van sucediendo los años se van juntando de forma constante y suave, hasta llegar cerca una categoría de la otra al final de nuestra serie de años (2015), es decir, que la vegetación natural estaría colonizando gradualmente las parcelas abandonadas, asemejándose éstas cada vez más a las zonas forestales adyacentes. Un comportamiento recíproco, aunque inverso se observa en los valores de humedad, es decir, aumento de los niveles de humedad en las parcelas abandonadas partiendo de valores similares a las zonas cultivadas acercándose hacia los valores observados de en las zonas de vegetación natural.

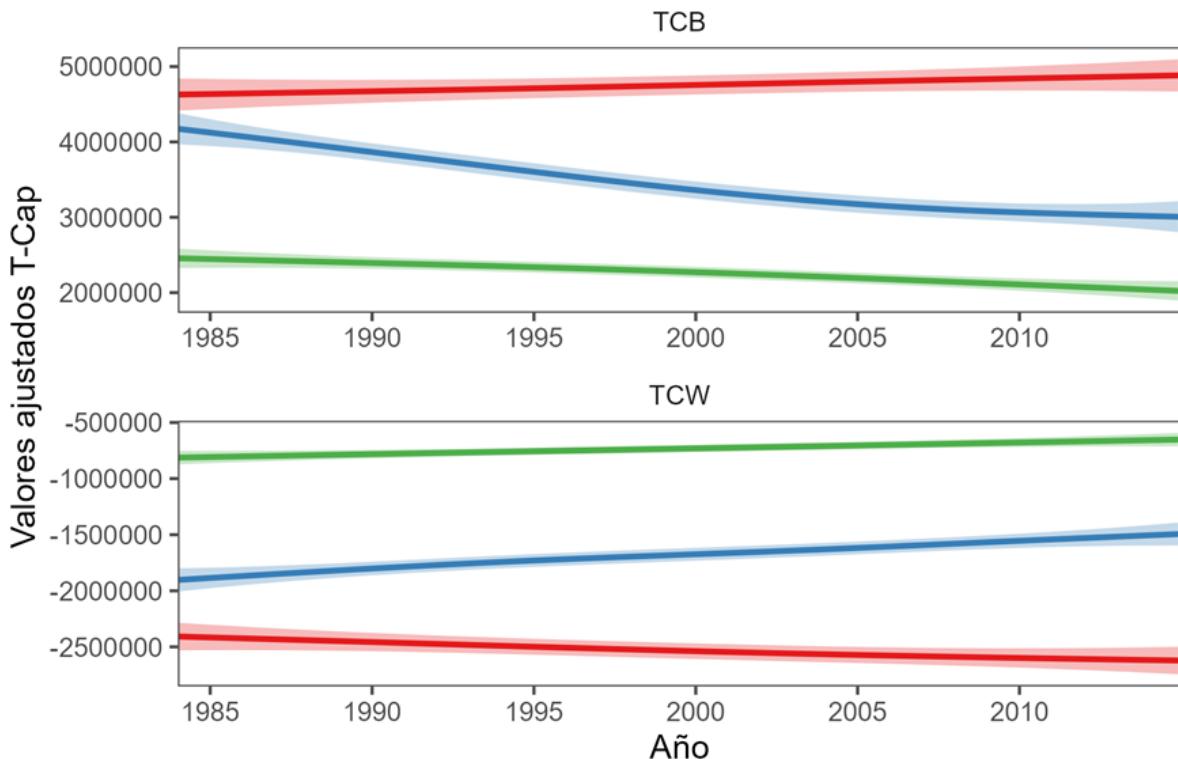


Figura 2. Trayectorias simplificadas de evolución temporal de los componentes TCap brillo (TCB, arriba) y humedad (TCW, abajo).

La Tabla 1 resume la magnitud, variabilidad y tendencia de las trayectorias mostradas en la Figura 2. Las zonas cultivadas muestran los mayores valores de magnitud en el Brillo, con una evolución ascendente y suave, que concuerda con la información que se esperaba obtener, ya que hay una mayor cantidad de suelo en las zonas cultivadas. En cambio, en la Humedad, sus valores son los más bajos, con una evolución descendente y suave también, en contraposición al resultado encontrado en la evolución del Brillo, ya que los cultivos no reflejan la humedad. La vegetación abandonada en el Brillo y la Humedad se encuentra en los valores intermedios, pero en el Brillo lo hace de forma descendente y de forma muy severa y en la Humedad, al contrario, lo hace de forma ascendente y muy severa también. Se observan unos valores promedio que responden a valores de magnitud esperados, siendo las categorías en el Brillo las que cuentan con unos valores positivos, siendo de mayor a menor: cultivos (4.7 Millones), parcelas abandonadas (3.5 Millones) y vegetación natural (2.3 Millones). Posteriormente se encuentran por debajo y con valores negativos las categorías que se encuentran en la Humedad, siendo de mayor a menor: cultivos (-2.5 Millones), parcelas abandonadas (-1.7 Millones) y vegetación natural (-0.7 Millones). En cuanto a los valores de las tendencias (Sen), se observa como en el Brillo, solo son los cultivos los que tienden a aumentar una magnitud de 13 Mil unidades por año, siendo la categoría con mayor aumento anual, en cambio, las parcelas abandonadas y la vegetación natural tienden a disminuir con el suceder de los años, con -15 Mil al año en la vegetación natural y en las parcelas abandonadas la tendencia a disminuir es la más severa de todas las categorías, con -39 Mil al año. En cuanto a la Humedad, solo encontramos una categoría con valores negativos, siendo ésta la de los cultivos, con una magnitud anual de -7 Mil; las parcelas abandonadas tienen una tendencia positiva de 12 Mil al año y, por último, se encuentra la vegetación natural, siendo ésta la categoría con menor evolución en su tendencia, con 5 Mil. Las tendencias nos confirman a través de p -valor < 0.05 las trayectorias vistas en la Figura 2.

Tabla 1. Resumen de las trayectorias observadas en los valores Tcap.

TCap	Categoría	Sen	p-valor	Promedio	Desviación
TCB	Cultivos	12973	0.07	4752999	326852
	Parcelas abandonadas	-39298	0.00	3463250	407972
	Vegetación natural	-15120	0.00	2262218	164671
TCW	Cultivos	-7205	0.00	-2526601	150185
	Parcelas abandonadas	12357	0.00	-1685043	148442
	Vegetación natural	5603	0.00	-732722	64579

En la Figura 3, se aprecia de forma visual la gran diferencia entre categorías en las 3 variables utilizadas (promedio, variabilidad y tendencia). En línea con los valores agregados en la Tabla 1, en el promedio se encuentran los mayores valores de diferenciación entre categorías, en el que no se solapan ninguna de ellas. Ésta sería la mejor variable de cara a hacer una clasificación, por su claridad visual y efectiva. La variabilidad sería la segunda variable con mejores resultados de cara a una clasificación, en el que se encuentran valores con mucho más rango dentro de cada categoría estudiada (en comparación a los vistos en el promedio), pero las categorías siguen sin solaparse, lo que es fundamental para no obtener resultados erróneos en la clasificación. Por último, la tendencia sería la que peor resultados nos daría, fruto de la solapación visible que existiría entre categorías, sobre todo entre la de vegetación abandonada y no abandonada; aunque es cierto que presenta valores en un rango muy cercano dentro de cada categoría. Esta variable no sería suficiente como para hacer una clasificación final, por su poca fiabilidad en los resultados, pudiendo resultar equívoca en su categoría asignada.

Finalmente se muestra un diagrama de dispersión (Figura 4) ilustrativo del potencial para diferenciar las 3 categorías analizadas. Este gráfico representa perfectamente la diferencia entre categorías, representadas con diversas formas. Se puede ver como el cultivo (color rojo), en ambos neocanales, es el que tiene los valores más separados entre sí, incluso hay algunos que se escapan de lo que se esperaría encontrar, ocupando el mayor espacio de los 3. La vegetación abandonada (color azul) se encuentra un poco más concentrada, sobre todo en la Humedad, aunque también presenta valores que se escapan de lo esperado, mezclados también con el cultivo y la vegetación no abandonada. Por último, la vegetación no abandonada (color verde) es la que presenta una mayor concentración en sus valores, pese a que también tiene valores fuera de lo esperado, incluso mezclados con las otras 2 categorías.

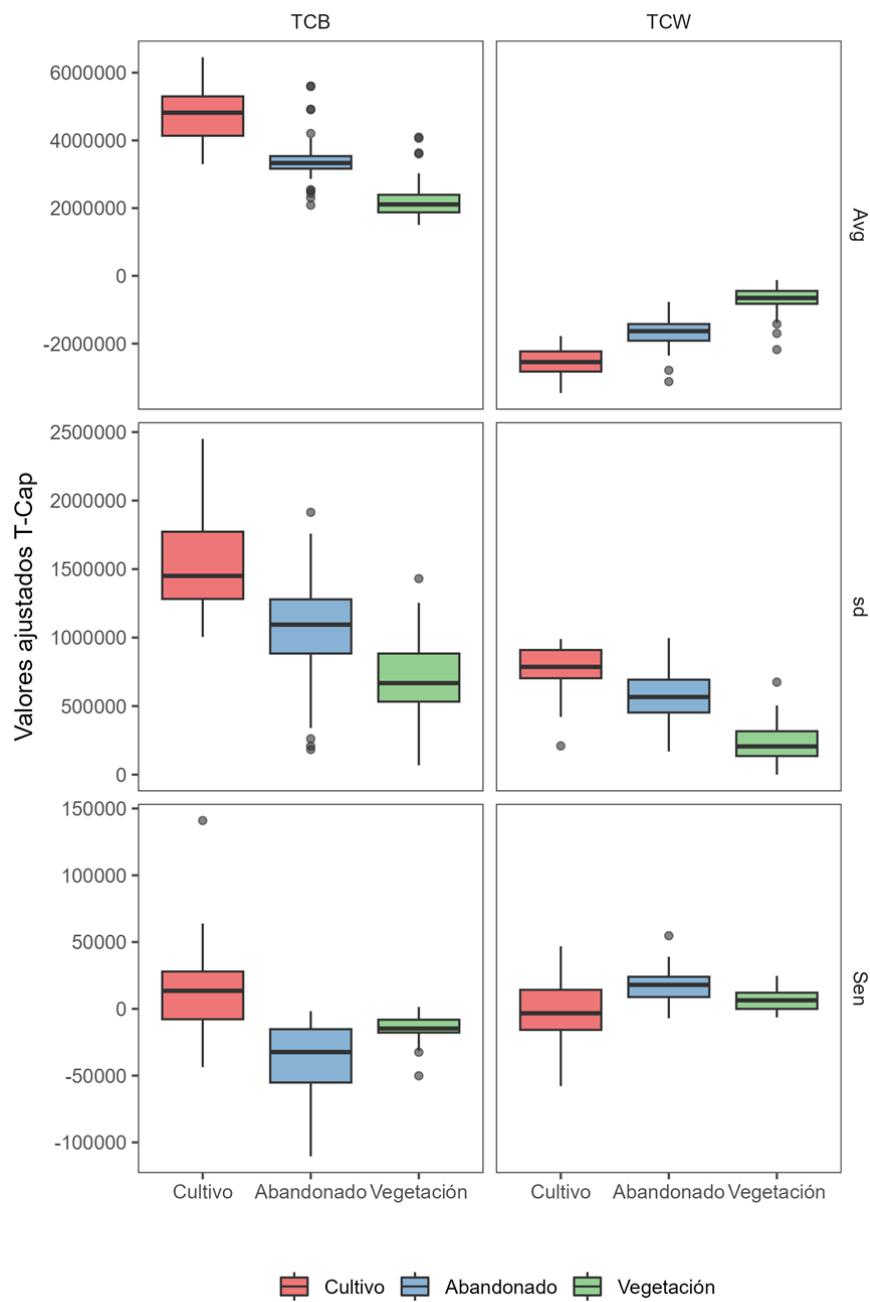


Figura 3. Distribución de los valores promedio, desviación y pendiente de Sen en las categorías analizadas.

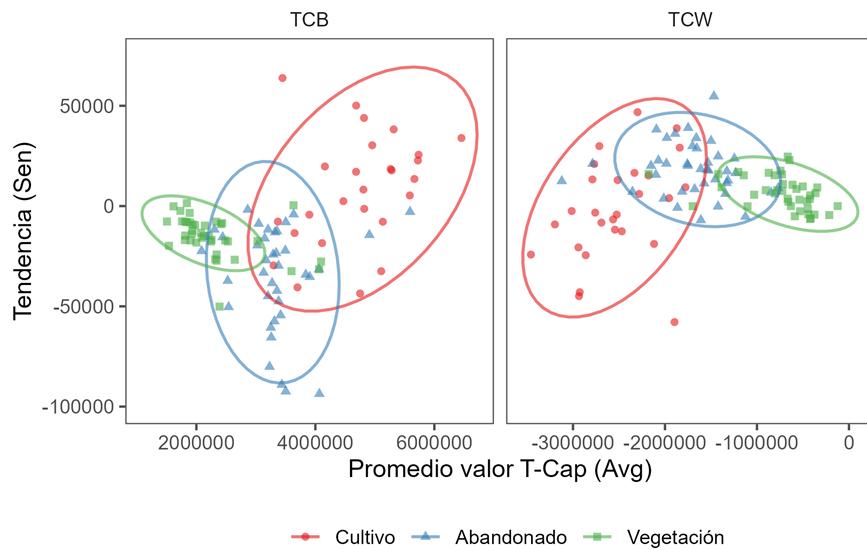


Figura 4. Distribución de los valores promedio y tendencia (Sen) en las categorías analizadas.

5.2 Clasificación de parcelas abandonadas

De cara a la clasificación final de las parcelas, se ha procedido a un análisis de precisión del modelo creado, con el que conocer la fiabilidad y seguridad de nuestro modelo. El análisis se ha llevado a cabo en la muestra test, con un resultado de precisión del 0,77. Como se aprecia en la tabla que prueba la clasificación de nuestro modelo, la categoría del cultivo presenta una eficacia casi perfecta en su clasificación, con 7 de 8 puntos acertados, en el que solo 1 se ha clasificado erróneamente con la vegetación abandonada. La categoría de la vegetación abandonada es la que peores resultados nos ha dado, con 7 de 12 puntos acertados, en el que 4 de los errados se han clasificado en los cultivos y el restante se ha clasificado en la vegetación no abandonada. Por último, la categoría de la vegetación no abandonada es la que mejores resultados nos ha dado, con una eficacia casi perfecta en su clasificación, con 10 de 11 puntos acertados, en el que solo 1 se ha clasificado erróneamente con la vegetación abandonada.

Tabla 2. Matriz de confusión resultante de la aplicación del modelo de clasificación a la muestra de validación.

	Cultivos	Parcelas abandonadas	Vegetación natural
Cultivos	7	1	0
Parcelas abandonadas	4	7	1
Vegetación natural	0	1	10

Para conocer la importancia de las variables, se ha procedido a crear un análisis de importancia en el que se ha mostrado, en una tabla, de mayor a menor la importancia de cada variable del 100 al 0 por ciento, teniendo en cuenta la Humedad y el Brillo, para tener así una mayor consideración en su clasificación final. Como se puede observar en la tabla y en la gráfica, el promedio de la Humedad es la variable de mayor importancia, con el 100% se encuentra muy distanciada de la siguiente, que sería

el promedio del Brillo, con un 25% aprox. El resto de variables no se deberían tomar en consideración, debido a la baja importancia que presentan.

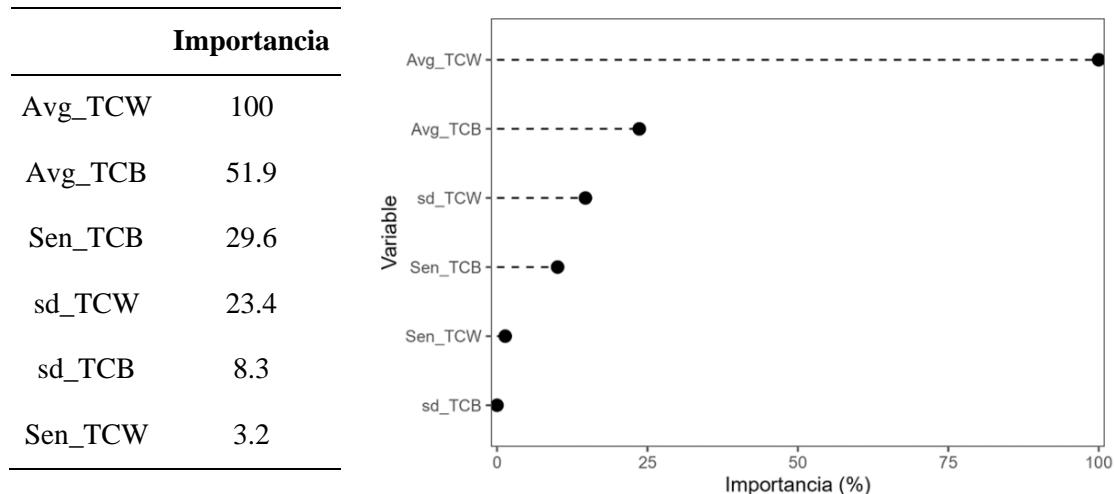


Figura 5. Resumen de la importancia relativa de las variables explicativas en la clasificación.

En cuanto al sentido explicativo, se han creado gráficos que representan la probabilidad de que un píxel en nuestra área de estudio y nuestro modelo de clasificación realizado corresponda a una de las categorías estudiadas, según el promedio, la variabilidad y la tendencia, tanto en el Brillo como en la Humedad. Esto finalmente determinará la clasificación gracias al modelo creado, con el que poder aplicar a cualquier estudio temporal de variaciones de las categorías estudiadas. Aquí están las gráficas finales, que representan el modelo creado y la asignación a cada categoría estudiada: cultivos (rojo), cultivos abandonados (azul) y vegetación natural (verde).

En primer lugar, nos encontramos con los gráficos de la curva de respuesta para calcular la probabilidad de que sea cultivo (**Figura 6**), desglosados según las 3 variables estudiadas (promedio, variabilidad y tendencia) en Humedad y Brillo.

En cuanto a las gráficas del promedio, se observa como en la Humedad, la probabilidad es casi del 75% con valores de -3 Millones, esa probabilidad va disminuyendo, de forma considerable, hasta el 25% con valores de -2 Millones, donde sigue disminuyendo hasta llegar casi al 0% con valores de -1 Millón. En el Brillo no encontramos un gradiente tan fuertemente marcado, partiendo del 20% de probabilidad con valores de 2 Millones, que se mantiene hasta empezar a aumentar llegando a los valores de 4 Millones a 5.5 Millones, donde se daría una probabilidad un tanto superior al 30% y, por último, disminuiría hasta el 20%, como en su inicio, con valores de 6 Millones.

En cuanto a las gráficas de variabilidad, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea de probabilidad se mantiene casi de forma constante en toda la gráfica, siendo ésta levemente inferior al 20% con valores que van desde 0 hasta 1 Millón, donde al final sí que se encuentra levemente por encima del 20%. En el Brillo, también se encuentra una línea aún más constante que la vista anteriormente en la Humedad, partiendo levemente por debajo del 20% con valores de 0 y llegando al 25%, pero sin superarlo, a los valores de 2.5 Millones.

Por último, en cuanto a las gráficas de tendencia, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea de probabilidad se mantiene casi de forma constante en la mayor parte de la gráfica, siendo

ésta del 25% con valores que van desde -50 Mil hasta los 25 Mil, donde posteriormente empieza a ascender la probabilidad hasta casi el 30%, manteniéndose hasta el final de la gráfica con valores de 50 Mil. En el Brillo, también se encuentra una trayectoria de la línea casi constante en la mayor parte de la gráfica, pero al contrario que en la Humedad, al inicio hay una probabilidad del 20% con valores que van desde 100 Mil hasta 50 Mil y empieza a ascender hasta llegar al 30% con valores de 0 a 150 Mil.

Posterior a la **Figura 6**, nos encontramos con los gráficos de la curva de respuesta para calcular la probabilidad de que sea cultivo abandonado (**Figura 7**), desglosados según las 3 variables estudiadas (promedio, variabilidad y tendencia) en Humedad y Brillo.

En cuanto a las gráficas del promedio, se observa como en la Humedad, la probabilidad es del 25% con valores de -3 Millones, esa probabilidad disminuye hasta el 15% con valores de -2.5 Millón, donde vuelve a remontar, ascendiendo de forma muy considerable y volviendo, posteriormente, al 15% al final del gráfico, entre los valores que van desde -1 Millón hasta 0, con un pico del 60% con los valores de -1.75 Millones. La curva de respuesta encontrada en este gráfico es la típica de una función Gaussiana, siendo casi simétrica. En el Brillo, nos encontramos con una estructura bimodal de la curva, es decir, con dos máximos alcanzados durante la evolución de los valores. Donde encontramos un 35% con valores de 2 Millones, ascendiendo hasta el 50% con valores de 3 Millones, descendiendo posteriormente hasta el 30% con valores que van de los 3 a 4 Millones, manteniéndose en ese porcentaje hasta los 5.5 Millones, donde vuelve a ascender hasta el 45% con valores que van desde los 5.5 Millones hasta los 7 Millones.

En cuanto a las gráficas de variabilidad, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea se mantiene casi de forma constante durante la segunda parte de la gráfica, comenzando entre el 35 y 40%, con valores que van desde 0 a 250 Mil, donde desciende en este punto, volviendo a ascender hasta el 45% entre los valores que van de 250 a 400 Mil y a partir de este punto se mantiene casi uniforme hasta el final de la gráfica, con valor de 1 Millón. En el Brillo, se encuentra una trayectoria totalmente uniforme durante toda la gráfica, siendo ésta de entre el 35 y 40%, con valores que van desde 0 a 2.5 Millones.

Por último, en cuanto a las gráficas de tendencia, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea de se mantiene de forma constante en toda la gráfica, siendo ésta de entre el 35 y 40%, con valores que van desde -50 hasta 50 Mil, donde al final sí que se encuentra muy levemente por debajo del 35%. En el Brillo, encontramos una línea constante a partir de la segunda mitad de la gráfica, comenzando casi en el 50% con valores de -100 Mil, descendiendo considerablemente hasta el 25% entre los valores que van de los -100 Mil hasta 0, donde a partir de este punto se mantiene constante hasta el final de la gráfica, con valores de 150 Mil.

Posterior a la **Figura 7**, nos encontramos con la última de las figuras (**Figura 8**), la correspondiente a los gráficos de la curva de respuesta para calcular la probabilidad de que sea cultivo abandonado, desglosados según las 3 variables estudiadas (promedio, variabilidad y tendencia) en Humedad y Brillo.

En cuanto a las gráficas del promedio, se observa como en la Humedad, la línea tiene un claro componente ascendente durante toda la gráfica, partiendo desde el 10%, con valores que van desde -3 a -2.5 Millones, donde comienza a ascender de forma severa y constante entre los -2.5 Millones y 0, donde llega a la probabilidad del 80%, siendo ésta la mayor probabilidad encontrada en el global. En el Brillo, nos encontramos una línea prácticamente constante a partir de la segunda parte de la gráfica, partiendo del 40% con los valores de 2 Millones, descendiendo progresivamente hasta el 25%, entre los

valores que van de los 2 a 3 Millones, remontando hasta el 35% entre los valores que van de los 3 a 4 Millones, donde finalmente se mantiene constante hasta el final de la gráfica, con valores de 7 Millones.

En cuanto a las gráficas de variabilidad, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea se mantiene casi de forma constante durante la segunda parte de la gráfica, comenzando en el 40%, con valores que van desde 0 a 250 Mil, donde asciende en este punto, volviendo a descender hasta el 30% entre los valores que van de 250 a 500 Mil y a partir de este punto se mantiene casi uniforme hasta el final de la gráfica, con valor de 1 Millón. En el Brillo, se encuentra una trayectoria totalmente uniforme durante toda la gráfica, siendo ésta de entre el 35 y 40%, con valores que van desde 0 a 2.5 Millones.

Por último, en cuanto a las gráficas de tendencia, se observa como en la Humedad, la trayectoria de la línea de se mantiene de forma constante en toda la gráfica, siendo ésta de entre el 35 y 40%, con valores que van desde -50 hasta 50 Mil. En el Brillo, encontramos una línea constante a partir de la segunda mitad de la gráfica, comenzando en el 35% con valores de -100 Mil, ascendiendo considerablemente hasta el 45% entre los valores que van de los -50 Mil hasta 0, donde a partir de este punto se mantiene constante hasta el final de la gráfica, con valores de 150 Mil.

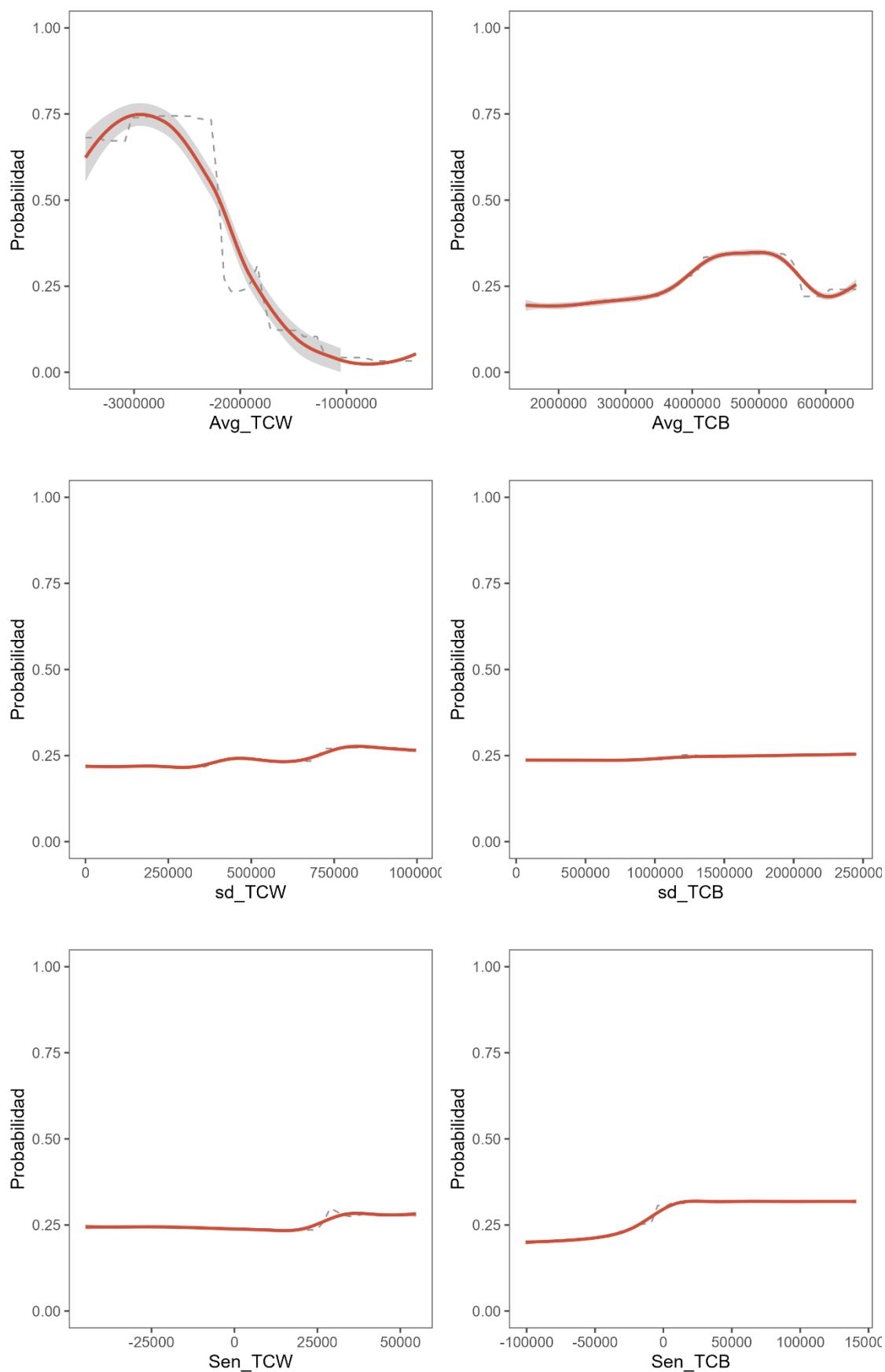


Figura 6. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como cultivos.

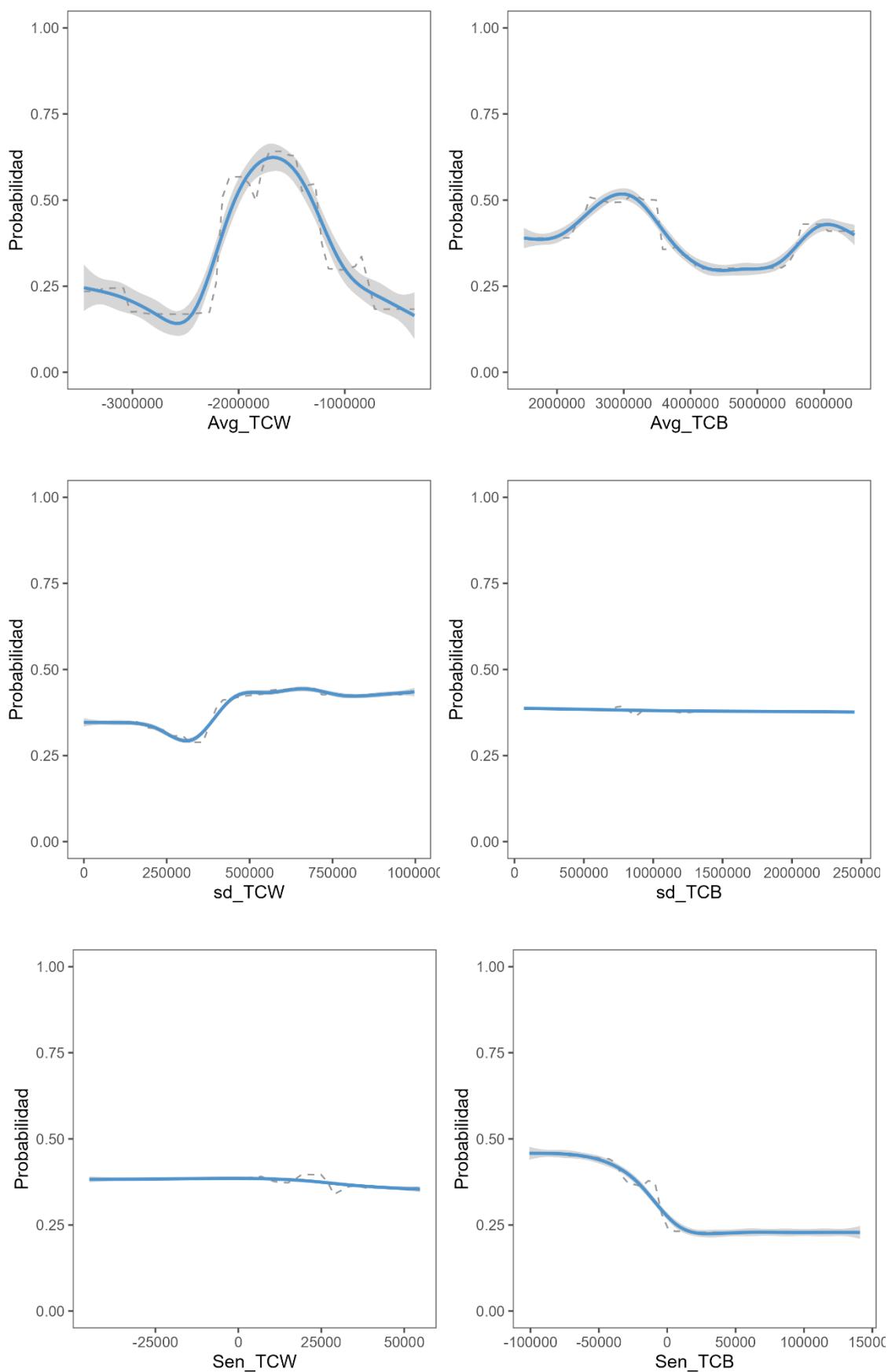


Figura 7. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como parcelas abandonadas.

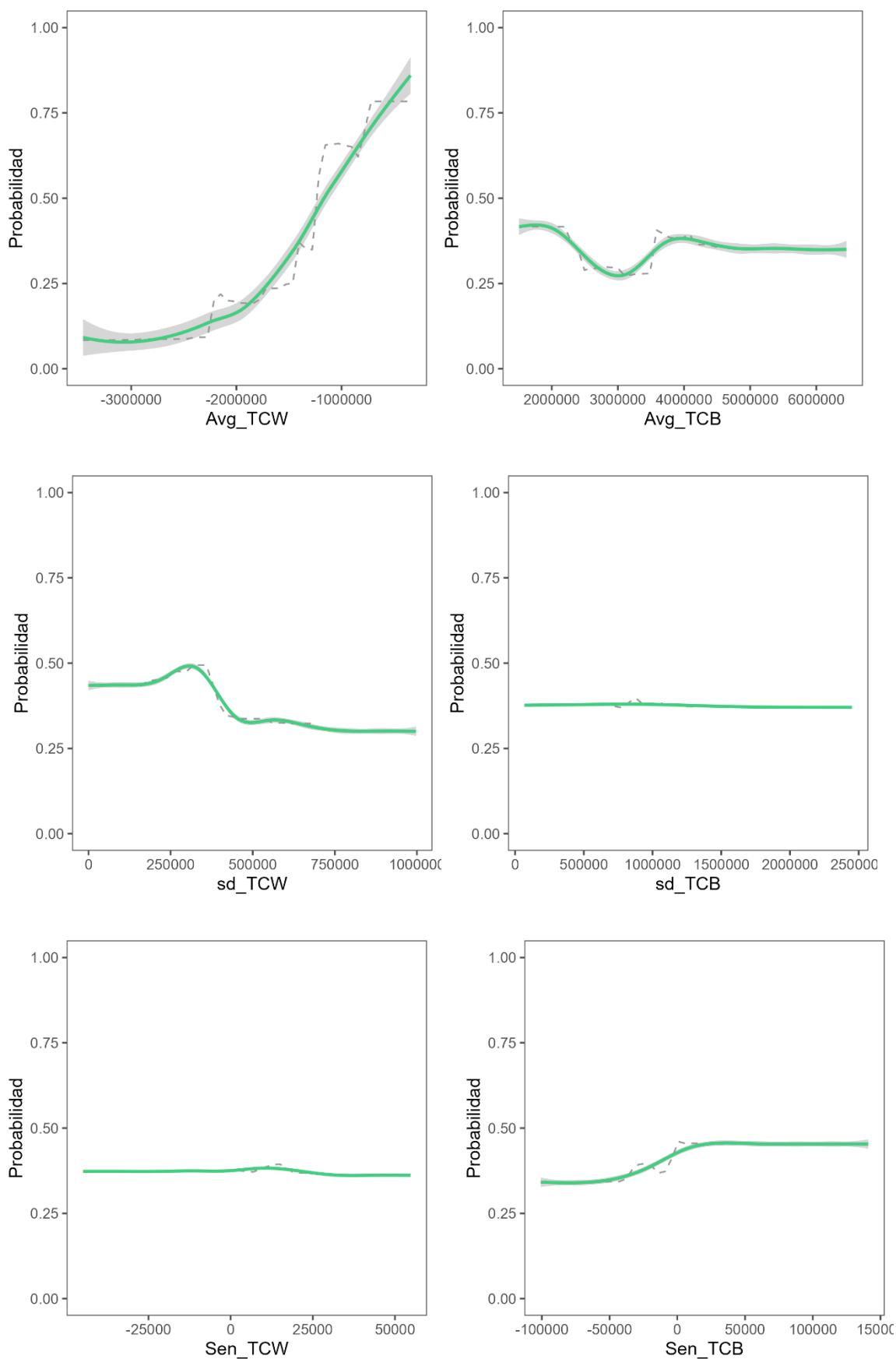


Figura 8. Curvas de respuesta para la probabilidad de clasificar como vegetación natural.

6. Discusión

Existe una importante cantidad de estudios sobre el abandono agrícola (Díaz-Muñoz, 1984; Alguacil García, 1985; Lasanta Martínez, 1988a; Arnáez et al., 1990; Lasanta Martínez et al., 1989; García-Ruiz et al., 1985 y 1988; García-Ruiz, 1986; Lasanta Martínez, 1988; Ruiz-Flaño, 1993, Padilla-Blanco, 1998; Oserín Elorza, 2007; Cañadas Sánchez, 2008; Martínez Hernández, 2018). En las últimas décadas, se están implementando diversas políticas de actuación, impulsando proyectos de cara a recuperar y mantener la calidad paisajística, además de contribuir al mantenimiento del sector primario y del espacio rural, que se ve fuertemente afectado por el abandono demográfico existente. La comarca del Matarraña es una de las muchas regiones que se ven afectadas por los procesos de abandono, en especial, el abandono agrícola (Ric e Ibarra, 2015).

Aunque, han surgido proyectos de investigación que estudian este fenómeno de forma conceptual, también encontramos proyectos que lo estudian a través de una perspectiva geográfica, con herramientas como la Teledetección y los SIG. La Comarca objeto de estudio cuenta con algunas iniciativas para el análisis del abandono como el proyecto “Banco de tierras”, con la finalidad de recuperar parcelas de cultivo abandonadas en las últimas dos décadas, pero en los últimos años se ha visto afectado, llevándolo a su cancelación. El proyecto se basa en el análisis visual de ortofotografía aérea, un proceso eficaz pero costoso en tiempo. En este contexto, el presente trabajo ha tenido como objetivo avanzar en trabajos como el realizado por O. Ric Sorinas y P. Ibarra (Ric e Ibarra, 2015) sobre las áreas prioritarias de recuperación y, en especial, el trabajo realizado por Sergio Romero Cabezudo (R.C. Sergio, 2019), que aborda el tema desde una perspectiva ambiental y de detección de cambios de la cubierta vegetal. Para profundizar en el análisis del abandono desde un prisma territorial se han combinado técnicas de teledetección espectral, segmentación de series temporales y aprendizaje artifical para desarrollar un modelo que permita discernir las principales cubiertas que involucradas en el proceso de abandono. El modelo tiene el potencial para clasificar los píxeles del área de estudio como cultivos, parcelas abandonadas y vegetación natural, a través del modelo de clasificación creado.

De los resultados obtenidos se aprecia que la dimensión temporal es uno de los factores más importantes de cara a realizar un estudio de este tipo, además de la identificación correcta de los canales espectrales que se deben utilizar (Cabello y Paruelo, 2008; Chuvieco, 2010). En una estadía inicial del presente trabajo, se han identificado como más relevantes los componentes de Humedad y Brillo, debido a que el Verdor fue descartado por no mostrar una variabilidad entre cubiertas suficiente como para su posterior tratamiento. Las tendencias observadas en el comportamiento espectral han resultado tener los comportamientos esperados en las 3 categorías estudiadas (cultivos, parcelas abandonada y vegetación natural), punto clave en la recogida de información para su correcto tratamiento posterior. Es de señalar que la cobertura vegetal del suelo, en la comarca del Matarraña, ha ido cambiando considerablemente y de forma progresiva con el paso del tiempo, donde se ha visto un proceso de revegetación muy importante en la comarca, que puede suponer un papel clave y de gran importancia en un futuro.

En cuanto a la calidad del modelo de clasificación creado se espera que pueda servir de apoyo o de ejemplo para seguir investigando un fenómeno imparable con una problemática de escala mundial, que, aunque parezca que no, nos afecta a todos, directa o indirectamente. Aunque el modelo de clasificación no es del todo completo y todo lo eficaz que se podría esperar, puede servir para inspirar o ser complementado. El objetivo final de todo investigador de nuestra área de estudio es trabajar independientemente como un equipo, con el único fin de aportar información y garantizar a la sociedad un bienestar territorial, con todo lo que ello conlleva. Cabe destacar que los resultados obtenidos y las tendencias observadas a través de nuestro modelo de clasificación son en cierto modo un análisis

preliminar para determinar el potencial de las técnicas e informaciones utilizadas. Sería necesario tener una muestra mucho más amplia de las parcelas abandonadas, así como abordar un trabajo de campo que pueda refutar y confirmar nuestros resultados, aunque, igualmente, pueden servir de cara a tener una primera aproximación a lo esperado, teniendo así ya una base de trabajo algo más sólida.

7. Conclusiones

En este trabajo, se han analizado series temporales de imágenes espectrales para desarrollar un modelo para la automatización de la detección de cultivos abandonados en la Comarca del Matarraña. Se han caracterizado zonas de cultivo, parcelas abandonadas y vegetación natural durante los años comprendidos de 1984 a 2015.

Para ello, se analizó un conjunto compuesto por 40 parcelas, distribuidas por toda la comarca, a través de una red de satélites, donde se identificaban las 3 categorías estudiadas a través de los neocanales de Humedad y Brillo. Se combinaron estos datos con las variables de promedio, variabilidad y tendencia para probar un modelo “*Random Forest*”. Una vez identificados diversos umbrales, se procedió a la sintetización en un total de 6 variables explicativas, las cuales, a través de un proceso de entrenamiento, se pudo calibrar y optimizar el algoritmo “*Random Forest*”. Con ello se pudo obtener un modelo de clasificación con el que poder explicar el papel de las variables y a mediante la muestra de validación se verificó el porcentaje de acierto de nuestro algoritmo. El análisis de la importancia de las variables y su sentido explicativo mediante curvas de respuesta, revela que la magnitud promedio de la respuesta espectral en los componentes de brillo y humedad, acompañados de su dinámica temporal expresada en forma de índices de tendencia son informaciones clave para identificar parcelas abandonadas, en su transición desde zonas de cultivo hacia espacios dominados por vegetación natural.

Desde un punto de vista instrumental, es necesario destacar la importancia de la teledetección, herramienta fundamental para el análisis territorial y, en especial, para el presente trabajo. Gracias a ella, se ha podido obtener esta caracterización objetiva y cuantitativa de los cambios observados y variaciones de las parcelas abandonadas estudiadas durante el periodo de estudio. Además de los programas como R, que facilitan el manejo de datos y su tratamiento posterior, con el que se pueden obtener diversos algoritmos, modelos y gráficos, a través de pruebas de entrenamiento, que hacen posible obtener resultados visuales de forma fiable, de manera mucho más rápida.

En cuanto a futuros trabajos de investigación de este tipo, creo que es esencial el uso de herramientas como la Teledetección y los SIG, complementados con programas de digitalización como R, de cara a seguir avanzando y ampliando conocimientos. Este es un estudio sobre la comarca del Matarraña, así que no se puede aplicar el modelo obtenido a ninguna otra área de estudio, por lo que indagar en las dinámicas en otras zonas corroboraría o, al menos, extrapolaría nuestros datos obteniendo verdaderas conclusiones sobre el abandono de tierras.

Bibliografía

- BAUDRY, J. (1991): Ecological consequences of grazing extensification and land abandonment: Role of interactions between environment, society and techniques. Options Méditerranéennes - Série Séminaires 15: 13-19.
- BENAVENTE SERRANO, J. A.; THOMSON LLISTERRI, T. Comarca del Matarraña. Comarcalización de Aragón, Gobierno de Aragón.[(accessed on 15 February 2021)], 2003.
- BREIMAN, Leo. Random forests. Machine learning, 2001, vol. 45, p. 5-32.
- CHUVIECO SALINERO, Emilio. Empleo de imágenes de satélite para medir la estructura del paisaje: análisis cuantitativo y representación cartográfica. Serie Geográfica, 1996, vol. 6, p. 131-147.
- CORBELLE RICO, E., Crecente Maseda, R. (2008): El abandono de tierras: concepto teórico y consecuencias. Revista Galega de Economía 17 (2): 1-15.
- GELLRICH, Mario, et al. Agricultural land abandonment and natural forest re-growth in the Swiss mountains: a spatially explicit economic analysis. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2007, vol. 118, no 1-4, p. 93-108.
- GOGA, Tomáš, et al. A review of the application of remote sensing data for abandoned agricultural land identification with focus on Central and Eastern Europe. Remote sensing, 2019, vol. 11, no 23, p. 2759.
- GREENWELL, Brandon M. pdp: an R Package for constructing partial dependence plots. R J., 2017, vol. 9, no 1, p. 421.
- HEINIMANN, Andreas, et al. A global view of shifting cultivation: Recent, current, and future extent. PloS one, 2017, vol. 12, no 9, p. e0184479.
- HUANG, Yingqian; LI, Fengqin; XIE, Hualin. A scientometrics review on farmland abandonment research. Land, 2020, vol. 9, no 8, p. 263.
- KEENLEYSIDE, Clunie; TUCKER, Graham; MCCONVILLE, Andrew. Farmland Abandonment in the EU: an Assessment of Trends and Prospects. Institute for European Environmental Policy, London, 2010.
- KENNEDY, Robert E., et al. Implementation of the LandTrendr algorithm on google earth engine. Remote Sensing, 2018, vol. 10, no 5, p. 691.
- KOZAK, Jacek, et al. Current practices and challenges for modelling past and future land use and land cover changes in mountainous regions. Regional Environmental Change, 2017, vol. 17, p. 2187-2191.
- LASANTA, Teodoro, et al. Space-time process and drivers of land abandonment in Europe. Catena, 2017, vol. 149, p. 810-823.
- LEAL FILHO, Walter, et al. An assessment of the causes and consequences of agricultural land abandonment in Europe. International Journal of Sustainable Development & World Ecology, 2017, vol. 24, no 6, p. 554-560.

LIU, Bo; SONG, Wei; SUN, Qian. Status, Trend, and Prospect of Global Farmland Abandonment Research: A Bibliometric Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 2022, vol. 19, no 23, p. 16007.

PEREIRA, Elvira, et al. Ecosystem services and human well-being: a participatory study in a mountain community in Portugal. *Ecology and Society*, 2005, vol. 10, no 2.

PINTO CORREIA, T. (1993): Land abandonment: Changes in the land use patterns around the mediterranean basin. *Cahiers Options Méditerranéennes* 1 (2): 97-112.

R CORE TEAM, R., et al. R: A language and environment for statistical computing. 2013.

RAMANKUTTY, Navin, et al. Farming the planet: 1. Geographic distribution of global agricultural lands in the year 2000. *Global biogeochemical cycles*, 2008, vol. 22, no 1.

RAMANKUTTY, Navin; FOLEY, Jonathan A. Estimating historical changes in global land cover: Croplands from 1700 to 1992. *Global biogeochemical cycles*, 1999, vol. 13, no 4, p. 997-1027.

RIPLEY, Brian D., et al. The R project in statistical computing. *MSOR Connections*. The newsletter of the LTSN Maths, Stats & OR Network, 2001, vol. 1, no 1, p. 23-25.

SARRÍA, Francisco Alonso, et al. Principales causas del abandono de cultivos en la Región de Murcia. *Abandono de Cultivos en la Región de Murcia. Consecuencias Ecogeomorfológicas*; Romero, A., Ed, 2016, p. 203-226.

SEN, Pranab Kumar. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau. *Journal of the American statistical association*, 1968, vol. 63, no 324, p. 1379-1389.

SORINAS, O. Ric; BENLLOCH, P. Ibarra. 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 *Análisis espacial y representación geográfica: innovación y aplicación*. Departamento de Geografía y Ordenación del Territorio, 2015. p. 1193-1202.

TERRES, Jean-Michel, et al. Farmland abandonment in Europe: Identification of drivers and indicators, and development of a composite indicator of risk. *Land use policy*, 2015, vol. 49, p. 20-34.

VICENTE SERRANO, Sergio M.; LASANTA MARTÍNEZ, Teodoro; CUADRAT, José María. Transformaciones en el paisaje del Pirineo como consecuencia del abandono de las actividades económicas tradicionales. 2000.

ZARAGOZÍ, B., et al. Modelling farmland abandonment: A study combining GIS and data mining techniques. *Agriculture, ecosystems & environment*, 2012, vol. 155, p. 124-132.

Anexo

Script utilizado para la implementación y validación del modelo

```
rm(list=ls())

#Carga de librerías
library(trend)
library(tidyverse)
library(readr)
library(dplyr)
library(ggforce)
library(ggthemes)
library(ggplot2)
library(caret)

#Carga tabla parcelas
parc <- read_delim(file.choose())

options(scipen = 9999)

#Gráfico de tendencia (Figura 2)
tendencia.plot <- parc %>%
  mutate(ID=row_number()) %>%
  pivot_longer(cols = VN_Ab:Cult) %>%
  na.omit() %>%
  ggplot(aes(x=Ab/span>0,y=value,color=name,fill=name)) +
  geom_smooth(alpha=.3) +
  scale_color_brewer(name='',palette = 'Set1',direction = 1,
                     labels=c('Cultivo','Abandonado','Vegetación/span>')) +
  scale_fill_brewer(name='',palette = 'Set1',direction = 1,
                     labels=c('Cultivo','Abandonado','Vegetación/span>')) +
  scale_y_continuous(minor_breaks = NULL) +
  scale_x_continuous(breaks = seq(1985,2010,5),
                     limits = c(1984,2015),
                     expand = c(0,0)) +
  facet_wrap(~VAR,ncol = 1,scales = 'free') +
  theme_few() +
  labs(x='A/span>,y='Valores ajustados T-Cap') +
  theme(legend.position = 'bottom')

#Resumen variables explicativas (Tabla 1)
tendencia <- parc %>%
  mutate(ID=row_number()) %>%
  pivot_longer(cols = VN_Ab:Cult) %>%
  na.omit() %>%
  group_by(VAR,name,Ab/span>0) %>%
  summarise(value = mean(value)) %>%
  summarise(Sen = round(sens.slope(value)$estimate,2),
            P = round(sens.slope(value)$p.value,2),
            Avg = mean(value),
            sd = sd(value))

#Boxplot variables en todas las parcelas (Figura 3)
tendencia.boxplot <- parc %>%
  mutate(ID=row_number()) %>%
  pivot_longer(cols = VN_Ab:Cult) %>%
  na.omit() %>%
```

```

group_by(VAR, name, FID) %>%
  # summarise(value = mean(value)) %>%
  summarise(Sen = round(sens.slope(value)$estimate, 2),
            # P = round(sens.slope(value)$p.value, 2),
            Avg = mean(value),
            sd = sd(value)) %>%
  ungroup() %>%
  pivot_longer(cols = Sen:sd, names_to = 'Feature') %>%
  ggplot() +
  geom_boxplot(aes(x=name, y=value, fill=name), alpha = .6) +
  facet_wrap(~VAR) +
  scale_color_brewer(name='', palette = 'Set1', direction = 1,
                     labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  scale_fill_brewer(name='', palette = 'Set1', direction = 1,
                     labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  scale_y_continuous(minor_breaks = NULL) +
  scale_x_discrete(labels = c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  facet_grid(Feature~VAR, scales = 'free') +
  theme_few() +
  labs(x='', y='Valores ajustados T-Cap') +
  theme(legend.position = 'bottom')
tendencia.boxplot

#Diagrama de dispersioFigura 4)
parc %>%
  mutate(ID=row_number()) %>%
  pivot_longer(cols = VN_Ab:Cult) %>%
  na.omit() %>%
  group_by(VAR, name, FID) %>%
  # summarise(value = mean(value)) %>%
  summarise(Sen = round(sens.slope(value)$estimate, 2),
            P = round(sens.slope(value)$p.value, 2),
            Avg = mean(value),
            sd = sd(value)) %>%
  ggplot(aes(x=Avg, y=Sen, color=name)) +
  geom_point(alpha = .6, aes(shape=name)) +
  scale_shape(name='', labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  scale_y_continuous(limits = c(-100000, 75000)) +
  # scale_x_continuous(limits = c(0, 500000)) +
  # ggforce::geom_mark_hull() +
  stat_ellipse(level = 0.95, size=.7, type="t", alpha=.6) +
  scale_color_brewer(name='', palette = 'Set1', direction = 1,
                     labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  facet_wrap(~VAR, scales = 'free_x') +
  labs(x='Promedio valor T-Cap (Avg)', y="Tendencia (Sen)") +
  theme_few() +
  theme(legend.position = 'bottom')

#####
##### MODELO RANDOM FOREST #####
set.seed(100)

#Creacion de datos para modelar
datos <- parc %>%
  mutate(ID=row_number()) %>%
  pivot_longer(cols = VN_Ab:Cult) %>%
  na.omit() %>%
  group_by(VAR, name, FID) %>%
  # summarise(value = mean(value)) %>%
  summarise(Sen = round(sens.slope(value)$estimate, 2),
            P = round(sens.slope(value)$p.value, 2),
            Avg = mean(value),
            sd = sd(value)) %>%
  ungroup() %>%
  pivot_longer(cols = Sen:sd, names_to = 'Feature') %>%
  ggplot() +
  geom_boxplot(aes(x=name, y=value, fill=name), alpha = .6) +
  facet_wrap(~VAR) +
  scale_color_brewer(name='', palette = 'Set1', direction = 1,
                     labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  scale_fill_brewer(name='', palette = 'Set1', direction = 1,
                     labels=c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  scale_y_continuous(minor_breaks = NULL) +
  scale_x_discrete(labels = c('Cultivo', 'Abandonado', 'Vegetacio/span>)) +
  facet_grid(Feature~VAR, scales = 'free') +
  theme_few() +
  labs(x='', y='Valores ajustados T-Cap') +
  theme(legend.position = 'bottom')
tendencia.boxplot

```

```

P = round(sens.slope(value)$p.value,2),
Avg = mean(value),
sd = sd(value))

datos <- datos %>%
  select(-P) %>%
  pivot_wider(names_from = VAR,values_from = Sen:sd) %>%
  select(-FID) %>%
  na.omit()

# Separaci n muestras de entrenamiento y validaci n
training <- datos %>%
  group_by(name) %>%
  do(sample_frac(.,.7))

test <- anti_join(datos, training)

tunegrid <- expand.grid(.mtry = c(2:6))

control <- trainControl(method = "repeatedcv",
                         number = 5,
                         repeats = 3,
                         # search='grid',
                         classProbs = TRUE,
                         # summaryFunction = twoClassSummary,
                         allowParallel = TRUE)

# Entrenamiento
modelo <- train(name~.,
                  data = training,
                  method = 'rf',
                  # family = 'binomial',
                  trControl = control,
                  # tuneGrid = tunegrid,
                  # method = "svmLinear",
                  # preProcess = c("center","scale"),
                  tuneLength = 10,
                  verbose = FALSE)

#Importancia de las variables explicativas (Figura 5)
varImp(modelo) %>%
  ggplot(aes(y=reorder(Variable,Importancia),x=Importancia),
color='gray20') +
  geom_segment(aes(y=reorder(Variable,Importancia),
yend=reorder(Variable,Importancia), x=0, xend=Importancia),
lty=2) +
  geom_point(size=3) +
  scale_x_continuous(expand = c(0,1)) +
  theme_few() +
  labs(y='Variable',x='Importancia (%)')

#validaci n
p <- predict(modelo, test)

test$pred <- p

t <-table(test[,c(1,10)])
sum(diag(t))/sum(t)

```

```

##### PDPs (Figuras 6, 7 y 8) #####
##### Cultivos

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCW"), which.class = 'Cult',
             chull = TRUE, plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3', method='gam') +
  ylim(c(0,1)) +
  theme_few() +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCB"), which.class = 'Cult', chull =
TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCW"), which.class = 'Cult', chull =
TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCB"), which.class = 'Cult', chull =
TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3', method='gam') +
  ylim(c(0,1)) +
  theme_few() +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCW"), which.class = 'Cult', chull =
TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCB"), which.class = 'Cult', chull =
TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='tomato3', method='gam') +
  ylim(c(0,1)) +
  theme_few() +
  labs(y='Probabilidad')

##### Parcelas abandonadas

```

```

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCW"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCB"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCW"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCB"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCW"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCB"), which.class = 'VN_Ab', chull =
  TRUE, plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='steelblue3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

#####
##### Vegetació natural

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCW"), which.class = 'VN_noAb', chull =
  = TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3', method='gam') +

```

```

theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("sd_TCB"), which.class = 'VN_noAb', chull
= TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=sd_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCW"), which.class = 'VN_noAb', chull
= TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Avg_TCB"), which.class = 'VN_noAb', chull
= TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Avg_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCW"), which.class = 'VN_noAb', chull
= TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCW, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

pdp::partial(modelo, pred.var = c("Sen_TCB"), which.class = 'VN_noAb', chull
= TRUE, , plot=F, rug = TRUE, prob=T) %>%
  ggplot(aes(x=Sen_TCB, y=yhat)) +
  geom_line(color='gray60', lty=2) +
  geom_smooth(color='seagreen3', method='gam') +
  theme_few() +
  ylim(c(0,1)) +
  labs(y='Probabilidad')

```