

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA POLITECNICA SUPERIOR DE GANDIA

Grado en Ciencias Ambientales

---



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



ESCOLA POLITÈCNICA  
SUPERIOR DE GANDIA

# “Estudio de abandono de parcelas agrícolas mediante datos LiDAR”

**TRABAJO FINAL DE GRADO**

Autor/a:

**José Bernardo Gil Vercher**

Tutor/a:

**Javier Estornell Cremades**

**GANDIA, 2019**

*A mis tíos Sandra, Mario y Santiago.*

# AGRADECIMIENTOS

Me cuesta escribir este fragmento de mi TFG ya que significa que se está cerrando el ciclo de mi carrera universitaria, la época más bonita de mi vida. Aunque esto sólo significa que empieza otro ciclo, que por supuesto será mejor.

Es muy complicado poder agradecer en tan sólo unas cuantas líneas a todas las personas que me han apoyado en la realización de este proyecto. Por mi parte, aquí presento un pequeño acto de respeto a todas ellas.

Ante todo, querría expresar mi más sincero agradecimiento a mi tutor de TFG, Javier Estornell Cremades. Sólo puedo expresar buenas palabras hacia su persona ya que es la clara demostración de lo que es ser un gran profesor de universidad. Su gran conocimiento o su trato con el alumno son algunas de sus virtudes. Aunque por encima de todo destaco la paciencia que ha tenido conmigo y con este proyecto. No ha sido tarea fácil y se han pasado momentos duros con el surgimiento de inconvenientes varios, pero al fin y al cabo se ha podido superar. Actitud intachable como profesor de TFG.

Por otra parte, me gustaría agradecer a mis tíos Mario y Sandra la gran labor que han hecho conmigo, permitiéndome vivir, experimentar, conocer, disfrutar, sobreponerme a las adversidades, etc. Pero, sobre todo, hacerme creer en mí mismo, que era lo de verdad necesitaba. Gracias, creo sinceramente que sois las mejores personas que existen.

A mi madre, pilar fundamental de mi vida que siempre está en lo bueno y en lo malo, ya tienes un motivo más de orgullo. Y también a mi tío Santiago, que sin su estimable ayuda nada habría sido posible y esto, también es un regalo para él ya que lo merece más que nadie.

Y por último a ti Mar, que me has soportado y ayudado todos estos meses de proyecto. Sé que no ha sido fácil, pero al menos siempre nos quedarán buenos recuerdos de los paseos por el campo o las noches hasta altas horas pasando datos.

Gracias a todos.

## RESUMEN

El abandono de parcelas agrícolas es un fenómeno muy presente en Europa desde hace décadas, siendo actualmente un problema de gran envergadura en España y en especial, en la Comunidad Valenciana, donde se encuentra la zona de estudio. Las causas y consecuencias son diversas y atienden a razones económicas, políticas, culturales o ambientales. Para abordar la problemática, este estudio presenta una metodología que tiene como objetivo discriminar las diferentes clases de parcelas agrícolas, a partir del uso de los Sistemas de Información Geográfica (SIG) y la tecnología LiDAR del sistema aéreo. Para definir la metodología fue necesario realizar un trabajo de campo basado en la localización de parcelas de calibración y validación en el término de Bellreguard, zona del estudio. La metodología se basó en primer lugar en el cálculo de los modelos digitales de elevaciones (MDE), modelos digitales de superficie (MDS) y los modelos digitales de superficie normalizada (MDSn) para las fechas con las que se dispone datos LiDAR (2009 y 2015). A continuación, se calculó la diferencia normalizada entre ambos MDSn y la diferencia de superficies de ocupación en este periodo. La elección de variables fue clave para la posterior construcción de los modelos de calibración. La elección del modelo que más se adaptó, antecede a su aplicación en la fase de validación. El método presentó una fiabilidad global del 70%, valor destacable, aunque es necesario el desarrollo de nuevas líneas de investigación para la mejora de los resultados.

**Palabras clave:** Teledetección, LiDAR, Modelo Digital de Elevaciones (MDE), Modelo Digital de Superficies (MDS), abandono parcelas agrícolas.

## RESUM

L'abandonament de parcel·les agrícoles es un fenomen molt present a Europa des de fa dècades, sent actualment un problema de gran importància a Espanya i en especial, a la Comunitat Valenciana, on es troba la zona d'estudi. Les causes i les conseqüències son diverses, i atenen a raons econòmiques, polítiques, culturals o ambientals. Per abordar la problemàtica, aquest estudi presenta una metodologia que té com a objectiu discriminar les diferents classes de parcel·les agrícoles, mitjançant l'ús dels SIG i de la tecnologia LiDAR del sistema aeri. Per definir la metodologia va ser necessari realitzar un treball de camp basat en la localització de les parcel·les de calibració i validació al terme de Bellreguard, zona de l'estudi. La metodologia es va basar en primer lloc en el càlcul dels models digitals d'elevacions (MDE), models digitals de superfície (MDS) i els models digitals de superfície normalitzada (MDSn) per a les dates amb què es disposa de dades LiDAR (2009 i 2015). A continuació, es va calcular la diferència normalitzada entre tots dos MDSn i la diferència de superfícies d'ocupació en aquest període. L'elecció de variables va ser clau per a la posterior construcció dels models de calibratge. L'elecció del model que més es va adaptar, antecedeix a la seua aplicació en la fase de validació. El mètode va presentar una fiabilitat global del 70%, valor destacable, tot i que és necessari el desenvolupament de noves línies de recerca per a la millora dels resultats.

## ABSTRACT

The abandonment of agricultural plots has been a very present phenomenon in Europe for decades, being currently a problem of great importance in Spain and especially in the Valencian Community, where the study area is located. The causes and consequences are diverse economic, political, cultural and environmental reasons. To address the problem, this study presents a methodology that aims to discriminate the different classes of agricultural parcels, from the use of GIS and LiDAR data. To define the methodology, it was necessary to carry out fieldwork based on the location of calibration and validation plots in the municipality of Bellreguard, study area. Firstly, the methodology was based on the calculation of digital terrain models (DTM), digital surface models (DSM) and normalized digital surface models (nDSM) from LiDAR data are available (2009 and 2015). Next, the normalized differences between both nDSM and the difference of occupation surfaces were calculated in this period. The selection of variables was a key factor to the subsequent construction of the calibration models. The definition of the most adapted model precedes its application in the validation phase. The method presented an overall accuracy of 70%, a remarkable value, although it is necessary to develop new lines of research to improve the results.

# ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

RESUM

ABSTRACT

<b>1. INTRODUCCIÓN</b>	2
1.1 CONCEPTO GENERAL	2
1.2 CAUSAS	2
1.3 CONSECUENCIAS Y SOLUCIONES ACTUALES	5
1.4 HISTORIA, EVOLUCIÓN Y CONTEXTO	9
1.5 PROPUESTA PARA ABORDAR LA PROBLEMÁTICA	11
1.6 CONCEPTO ESPECÍFICO	12
<b>2. ANTECEDENTES</b>	13
<b>3. OBJETIVOS</b>	15
<b>4. MATERIAL Y DATOS</b>	15
4.1 ZONA DE ESTUDIO	15
4.2 SOFTWARE	17
4.3 DATOS	17
<b>5. METODOLOGÍA</b>	17
5.1 TRABAJO DE CAMPO	18
5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS	18
<b>6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	26
6.1 MODELOS DIGITALES	26
6.2 MAPA DE CAMBIOS	31
6.3 MODELOS DE CALIBRACIÓN	32
6.4 VALIDACIÓN Y FIABILIDAD DEL MÉTODO	36
<b>7. CONCLUSIONES</b>	38
<b>8. BIBLIOGRAFÍA</b>	39

# 1. INTRODUCCIÓN

El abandono de parcelas agrícolas es un problema que se lleva arrastrando desde hace varias décadas en la zona europea (Martínez *et al.*, 2000) y que se acrecienta año tras año. España y por supuesto, la Comunidad Valenciana, no escapan de este fenómeno, abarcando un total de más de un millón de hectáreas abandonadas en todo el territorio nacional (Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos en España, ESYRCE). Este proyecto pretende, por una parte, estudiar y analizar el concepto de abandono de tierras de cultivo, además de su contexto y evolución en la zona de estudio. Por otra, aprovechando el abanico de posibilidades que ofrecen los SIG se intenta establecer una metodología basada en datos LiDAR que permita discriminar diferentes clases de parcelas, entre ellas las abandonadas y así, ofrecer datos relevantes a organismos o empresas que puedan desarrollar este tipo de métodos. Este estudio constituye una primera aproximación a la detección de parcelas abandonadas, que puede ser mejorada o simplemente hacerse con otro tipo de metodología. En esta parte del documento se justifica la importancia de este fenómeno y se destaca la dificultad y escasez de métodos para su detección y obtención de datos.

## 1.1 CONCEPTO GENERAL

Es importante destacar que el concepto de “abandono de parcelas agrícolas” es un concepto que debería ser desglosado como abandono de tierras y su consecuente disminución de la superficie agrícola útil (SAU). Además, entran muchos factores y protagonistas en escena siendo compleja su definición (Corbelle y Crecente, 2008). Lo que sí es cierto, es que la visión sobre esta temática variará según el enfoque que se le dé. Diversos autores diferencian entre *abandono total o efectivo* y *abandono oculto o semi-abandono*. El primero es fácil de distinguir por el crecimiento de especies adventicias y el deterioro de infraestructuras, no existiendo actividad en este tipo de parcelas ni tampoco ningún tipo de beneficio. Por otra parte, el semi abandono es más complicado de detectar ya que, aun constituyendo el preludeo del abandono, se mantiene la actividad pero la reducción de esta y de su intensidad es notable.

Otra forma de considerar el abandono es según el uso posterior que se le va a dar al terreno. La idea central de esta consideración es clara y además cierta. El cese de la actividad agrícola no siempre precede a un abandono de la tierra, sino que puede preceder a otros usos. Se llama abandono de la actividad agrícola si posteriormente el suelo se destina a otros usos como puedan ser los urbanísticos. Se hablará de abandono de la tierra cuando no se produzca ninguna actividad económica posterior (Corbelle y Crecente, 2008).

El abandono se suele localizar principalmente en tierras marginales, zonas donde es más difícil cultivar y por lo tanto obtener rendimiento. Los parámetros limitantes en este aspecto son la fertilidad, la pedregosidad o la pendiente (Cerdà *et al.*, 2012). Claro está que, en la zona de estudio no existen ni pendientes elevadas, ni suelos pedregosos ni problemas de fertilidad. Por tanto, otros factores pueden intervenir en el abandono de tierras en Bellreguard y no tienen que ver con la marginalidad de las tierras.

## 1.2 CAUSAS

El fenómeno del abandono de tierras está integrado por un gran número de protagonistas y factores y de ámbitos totalmente distintos, como por ejemplo la meteorología, la economía o la demografía. Aunque a priori son aspectos independientes en el presente estudio estos factores están interrelacionados. Por lo tanto, las causas que rodean el abandono de parcelas agrícolas

son muchas y tienen orígenes muy diferentes; pero también es cierta la convergencia entre ellas en muchas ocasiones, aparte de retroalimentarse unas con otras. Es decir, no sólo es importante el número de factores que afectan a este fenómeno sino también las intrincadas interrelaciones que se producen entre ellos (Benayas *et al.*, 2007; Zaragoza *et al.*, 2012). Incluso algunas de las causas, también son consecuencias.

Diversos autores han tratado de estructurar estas posibles causas (Benayas *et al.*, 2007; Zaragoza *et al.*, 2012), clasificándolas en tres posibles factores: socioeconómicos, ambientales y de inadecuada gestión. Si los factores socioeconómicos actúan en áreas determinadas y establecen tesituras determinadas, los factores biofísicos serán determinantes para el abandono de parcelas concretas (Benayas *et al.*, 2007; Zaragoza *et al.*, 2012).

### Factores socioeconómicos

- *Cambio de modelo productivo*: hace décadas que se empezó a originar la transformación del campo pasando de un modelo tradicional a uno de mercado. El primero está basado en el autoconsumo y la venta de proximidad. Trata de entender las relaciones que se producen en el ecosistema aprendiendo de ellas y respetándolas. El segundo modelo está relacionado con la intensificación de la agricultura, que tiene el objetivo de exportar más producción, más lejos y durante más tiempo para aumentar los beneficios. En este tipo de modelo se benefician las grandes explotaciones que son las que conciben la agricultura de esa forma, pero el resto de los agricultores y pequeñas explotaciones tienen mayor dificultad para adaptarse en tecnología o inversión (Alberdi, 2009). Además, cabría añadir la cantidad de insumos que se necesitan para llevar a cabo este tipo de agricultura, que en muchas ocasiones traspasa los límites contaminando y afectando el medioambiente. Se visualiza una clara falta de adaptación a la modernización del campo y una adecuación desfavorable de las producciones a la globalización de los mercados (Sarría *et al.*, 2016).
- *Despoblamiento rural y falta de relevo generacional*: en la década de los 50 se produce el inicio de un éxodo de zonas de montaña hacia las urbes para encontrar trabajos que permitan vivir mejor (Sánchez, 2008). A medida que han pasado los años, este fenómeno ha ido en aumento favoreciendo la expansión urbana. Actualmente, la mayor parte de la población se asienta en las zonas del litoral de la península o las áreas adyacentes, dejando el interior del país con un elevado número de pueblos con menos de mil habitantes. Otro problema ligado a este es la falta de relevo generacional, que hoy en día, es muy habitual en Europa y preocupa bastante a la UE (Alberdi, 2009). Pero la realidad es que convencer a los jóvenes para que se ganen la vida con la agricultura es una tarea muy complicada por las desventajas laborales (larga incertidumbre tras muchas inversiones, altos riesgos, bajas rentabilidades, etc.) y la dureza del trabajo, perdiéndose un valioso conocimiento rural que pasa de generación en generación (Alberdi, 2009). Esta causa es a la vez una de las consecuencias del abandono de tierras, algo que demuestra la complejidad del problema.
- *Superficie agrícola insuficiente*: como ya se ha comentado, las grandes explotaciones prevalecen sobre las pequeñas porque tienen mayores rentabilidades y tienen mayor capacidad para invertir y soportar imprevistos. La importancia de esta causa radica en esto mismo, el tamaño de la parcela o más bien de la explotación es un factor limitante a la hora de conseguir beneficios. Parcelas pequeñas y dispersas sólo generan gastos innecesarios. Además, en la Comunidad Valenciana existe una distribución de la tierra de estilo minifundista (Ramis, 2012) caracterizado por la pequeña extensión de las parcelas que forman una amalgama de tierras de diferentes propietarios con cultivos y

variedades distintas. Las tierras pertenecen a muchos propietarios que viven en los pueblos cercanos a las mismas, aspecto que dificulta la puesta en el mercado del producto (Ramis, 2012). Una solución a esta problemática fue la aparición de las cooperativas agrícolas que aglutinan la producción de los campos que se encuentran en los términos municipales en los que tengan competencia.

- *Acaparamiento de tierras:* en Europa se está produciendo en los últimos años una acusada transformación de la propiedad. Las pequeñas explotaciones o parcelas abandonadas sirven para ampliar las grandes explotaciones que de esta manera consiguen ser más rentables y competitivas. Existen informes, como el emitido por la FAO en 2011 referente al acaparamiento de tierras, que ponen de manifiesto la reducción de SAU en Europa, pero también, el aumento en la adquisición de terrenos por parte de grandes explotaciones o empresas. Esto sube los precios y disminuye la calidad del producto ya que cada vez menos gente copa el mercado. La importancia de este aspecto es tal, que se ha llevado a debate en foros sobre acceso a la tierra como el organizado por la misma U.P.V en 2016.
- *Falta de rentabilidad:* se trata de una de las causas más importantes, ya que de este aspecto dependen casi todos los demás. La actividad agrícola ya no supone obtener beneficios como para poder dedicarse a ello a diferencia de lo que ocurría en generaciones pasadas. Además, es una actividad económica que depende de factores externos como la climatología o plagas que pueden mermar la producción. El modelo productivo principalmente y su debilidad general dificulta toda posibilidad de mejora en los agricultores medios. Por otra parte, la incertidumbre creada por la espera de un año de inversión es muy negativa y difícil de soportar y se acrecienta debido a: años de bajas productividades, problemas fitosanitarios graves, el ya nombrado tamaño reducido de las parcelas, los elevados precios de agroquímicos y maquinaria, precios de la fruta a la baja (Sarría *et al.*, 2016) y el escaso control que se tiene sobre el mercado (Alberdi, 2009). Según el censo agrario del Instituto Nacional de Estadística (INE) realizado en 2009, se observa un acusado descenso en el número de explotaciones de más del 20% desde 1999, provocado por las bajas rentabilidades entre otras cosas.
- *Agricultura a tiempo parcial:* debido a la falta de rentabilidad principalmente, la población dedicada al sector agrícola ha disminuido su grado de dedicación (Sarría *et al.*, 2016) y ha tenido que buscar otras alternativas económicas de sustento. Además, gran parte de la gente que posee tierras ha tenido que realizar esta actividad a tiempo parcial, con el objetivo de obtener unos beneficios extra pero siendo consciente de que no genera suficiente rentabilidad. Así, se intenta diversificar rentas y aumentar ingresos (Alberdi, 2009). También es un preludio al abandono.
- *Políticas agrarias:* hay que recalcar que determinadas acciones políticas también son motivo de abandono de tierras (Sarría *et al.*, 2016). España se incorporó a la Política Agraria Común (PAC) en 1986, política gestionada por la UE. Este tipo de políticas no se acaban de entender en algunos casos por parte de la población. Un claro ejemplo es el presupuesto destinado a subvenciones por dejar de cultivar algunos productos excedentarios o no rentables para cultivar otros. Aunque esta medida pueda favorecer el cultivo en barbecho, algo que no tiene lógica porque actúa a favor de la disminución de SAU (Sarría *et al.*, 2016), favorece la bajada de precios (Sánchez, 2008). De esta forma, se consigue que los agricultores dependan de las subvenciones y se adapten a los cultivos que se encuentren financiados (Sánchez, 2008). En otra de las medidas propuestas en la última reforma, se antepone el terreno al producto provocando el establecimiento de una visión comercial de la tierra. Se realiza un pago único por

superficie (subvenciona la cantidad de terreno declarado, no el dedicado a producir), que también beneficia a grandes productores. Además, las reformas que se han ido realizando de la PAC durante los últimos años mejoran algunos aspectos levemente pero no promueven medidas que cambien el sentido de este fenómeno. La PAC por otra parte, también se ocupa de establecer medidas agroambientales o de fomentar el desarrollo rural. Sin embargo, sus medidas siempre son discutibles.

- *Cambios en el uso del suelo*: la expansión urbanística e industrial que se produjo a inicios de este siglo provocó que el precio de la tierra aumentara por motivos ajenos a su aptitud agrícola (Sarría *et al.*, 2016); a partir de entonces se habla de aptitud urbanística, que eleva el precio de la tierra de forma desorbitada en muchas ocasiones (Alberdi, 2009). De esta forma, aunque los proyectos de construcción no salgan adelante se dificulta el desarrollo de la actividad agraria y el flujo de compraventa de campos.

### Factores de inadecuada gestión

Provocado por la intensificación de la agricultura del modelo productivo actual. Este tipo de factores están relacionados con las malas prácticas llevadas al límite por algunos agricultores o explotaciones, que propiamente, conducen al abandono de tierras. Algunas de estas malas prácticas son el laboreo excesivo (daña la actividad microbiana y provoca erosión), la quema de rastrojos y materia orgánica que termina por no aportarse al suelo, restricciones al riego por uso excesivo, sobreexplotación de acuíferos, etc. (Sarría *et al.*, 2016).

### Factores ambientales

Aparte de los factores anteriormente citados, también se puede hablar de aspectos físicos del medio que pueden conducir al abandono como la pendiente, la fertilidad o estructura del suelo y el clima (Sarría *et al.*, 2016).

Entre las condiciones óptimas de cultivo se incluye una pendiente no muy acusada, aunque dependerá del tipo de cultivo. En el caso de que el suelo esté agotado o simplemente no es fértil, supondrá un factor limitante totalmente para establecer muchos tipos de cultivos. El clima, uno de los pilares de la agricultura, se está viendo sometido a un aumento de temperaturas en las últimas décadas a causa del cambio climático, que además se acrecienta por acción humana; estas variaciones positivas de temperatura provocan períodos de sequía cada vez más largos, sobre todo en la zona mediterránea, que afectan a todas las explotaciones pero en mayor medida a las dedicadas a cultivos de secano (Sarría *et al.*, 2016).

En Bellreguard, la pendiente (como ya se ha añadido en otros apartados), no supone ninguna dificultad para cultivar en la zona de estudio. El término se encuentra sobre un cordón litoral (caracterizados por tener escasas pendientes), poseyendo una pendiente media del 1'4%. El clima es prolífico para el cultivo de cítricos aunque haya algún período de sequía y las tierras son muy fértiles, así que los factores ambientales no son limitantes.

## 1.3 CONSECUENCIAS Y SOLUCIONES ACTUALES

Actualmente, debido a las causas que ya se han comentado, el sistema agroalimentario ha absorbido la agricultura, imponiendo condiciones de mercado que fluctúan continuamente y que suelen beneficiar a intereses empresariales de grandes superficies y multinacionales de fertilizantes o pesticidas. Las consecuencias convergen todas en el abandono de tierras y la SAU asociada, y son, principalmente:

### Consecuencias ambientales:

#### - *Incendios y sequía*

La zona es propia de clima mediterráneo, en la que el déficit de precipitaciones y la aparición de períodos de sequía es habitual. Además, el abandono de parcelas provoca un aumento de biomasa acumulada en el terreno, aumentando también su continuidad en él. Por lo tanto, la posibilidad de que estos factores se concentren en una misma área aumenta exponencialmente la capacidad del incendio de ser destructivo y de causar mayores pérdidas económicas al sector agrario (Benayas *et al.*, 2007).

Además, cuando se producen incendios en zonas boscosas o de montaña, desplazan a la fauna de su hábitat natural hasta zonas colindantes como los campos de cultivo de localidades cercanas, donde pueden encontrar alimento, agua y refugio.

#### - *Aumento de la fauna salvaje*

Aparte del abandono de las tierras agrícolas, el aumento de la fauna salvaje puede estar incitado por el aumento de masa forestal, la disminución del número de cazadores y la sequía, que, como ya se ha comentado en el punto anterior, obliga a los animales a bajar a beber y alimentarse en áreas más próximas a las zonas urbanizadas. Una vez desplazados pueden instalarse definitivamente en estas zonas dado que cubren todas sus necesidades de comida, agua y refugio. Además, cabe destacar que la fauna implicada en este impacto no tiene depredadores, algo que, sumado a las limitaciones de la caza en este tipo de zonas próximas a la población, hace que sea muy complicado impedir el crecimiento exponencial de estas especies.

Este incremento de fauna produce grandes pérdidas económicas a los agricultores. En los campos de cultivo, el mayor impacto se muestra en los brotes (ya que son más tiernos), en los frutos, en instalaciones de riego, en vallas y en márgenes. Las especies que se consideran más dañinas para el sector agrario son el jabalí, el ciervo, el corzo, el conejo y la cabra montesa ya que son capaces de devastar explotaciones de cultivo (Figura 1) o afectar al sector ganadero, por ser foco de enfermedades como la tuberculosis. Teniendo en cuenta la localización donde se desarrolla el estudio, las especies a considerar son el jabalí y el conejo. En este sentido, se hace necesario introducir cambios normativos que faciliten el control cinegético en los campos de cultivo y ayudas para instalar mecanismos de control.

Esta información se ha obtenido del estudio de revisión de zonas y cultivos declarados con sobrepoblación animal (*Direcció General de Medi Natural i Avaluació Ambiental de la Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural de la Generalitat Valenciana*).



**Figura 1.** Daños ocasionados por jabalíes en parcelas agrícolas.

- *Crecimiento de la cubierta vegetal*

Afecta por una parte a la diversidad de especies animales y vegetales y por otra, a la calidad paisajística (Alberdi, 2009). Los efectos varían en función de la localización y del paisaje (Benayas *et al.*, 2007). Es indispensable un mantenimiento de este tipo de hábitats seminaturales de alto valor ecológico y cultural, ya que estos “agroecosistemas” poseen riqueza vegetal y animal siendo representados generalmente dentro de la Red Natura 2000 (Corbelle y Crecente, 2008). En una parcela abandonada, una vez el terreno es colonizado por las especies pioneras y más robustas, es complicado el establecimiento de otro tipo de especies vegetales (Belmonte *et al.*, 1999). Por otro lado, la ausencia de frutos y cultivos sin carencias de nutrientes disminuye la biodiversidad de especies (insectos, arácnidos, hongos). Otra consecuencia del crecimiento desmesurado de la cobertura vegetal es la aparición, colonización y dispersión de especies declaradas como invasoras. En el caso concreto de Bellreguard existen parcelas abandonadas que sirven de asentamiento de diferentes comunidades de *Cortaderia selloana* o *Arundo donax*, algo que perjudica al medioambiente en general y a los agricultores de campos cercanos en particular (Figura 2).



**Figura 2.** Colonización de vegetación arvense y especies invasoras.

#### - *Procesos erosivos*

Normalmente afecta más a terrenos de pendiente elevada pero no es el caso que nos concierne. También hay que señalar que en zonas con este tipo de clima mediterráneo, el crecimiento de la vegetación es más lento, aumentando las posibilidades de que se produzca erosión. La idea de que un aumento de la cobertura vegetal frena los procesos de erosión se encuentra corroborada por diferentes estudios (Belmonte *et al.*, 1999; Cerdà *et al.*, 2012).

#### Consecuencias culturales

Debido al abandono de tierras de cultivo se produce una paulatina desaparición de paisajes alterados por la acción humana que transforman el paisaje rural. El cese de estas modificaciones conduce a la situación primigenia. Este fenómeno está relacionado con consecuencias culturales, debido a su estrecha relación con la disminución de las prácticas agrarias tradicionales (Corbelle y Crecente, 2008).

#### - *Percepción social*

Un campo abandonado tiene una percepción negativa en la sociedad ya que generalmente no se le impone ningún valor ni económico ni ecológico. Además, la percepción paisajística que se recibe en áreas de este tipo tampoco es muy positiva. Estos aspectos provocan baja empatía hacia estos espacios dando lugar a malas prácticas por parte de la población (aparición de vertederos ilegales) (Corbelle y Crecente, 2008). El conjunto de parcelas que conforman un paisaje agrario forma una red de cultivos y variedades en distinta fase de desarrollo. Estas tierras albergan márgenes, lindes o setos que proporcionan alimento y refugio para la biodiversidad; son estructuras de vital importancia pero poco valoradas, que se acaban perdiendo con el tiempo.

#### Consecuencias económicas

Relacionadas con la mayoría de las consecuencias descritas anteriormente. Los agricultores sufren pérdidas ocasionadas por el mercado, la fauna salvaje o los incendios. En este caso también sufre las consecuencias la población, o el ecosistema en general. Otra consecuencia muy importante es la pérdida de empleo que genera la disminución de suelo agrícola.

#### Soluciones actuales

Las soluciones que existen para hacer frente a este fenómeno son escasas y algunas se encuentran en fase de desarrollo. La complejidad del problema dificulta la labor de estos intentos de paliarlo.

Por una parte, la Ley de *l'Horta de València*, es un anteproyecto de Ley que pretende aumentar la protección del terreno y recuperar zonas agrarias. Uno de los puntos fuertes consiste en cesión de uso del terreno (que no de la propiedad) cuando presenta características de abandono. La intención de dicha Ley es paliar los efectos del abandono incentivando la actividad agraria. La fórmula es poner en contacto a quienes quieran trabajar en el campo y no poseen tierras, con la gente propietaria que no los cultive. El conjunto de organismos encargados de la gestión son la Generalitat, la Diputación de Valencia y algunos ayuntamientos.

Por otro lado, los bancos de tierras son una base de datos que funciona como herramienta administrativa para el alquiler de campos abandonados. Este modelo ha tenido resultados

satisfactorios en varios lugares como en la provincia de Valencia siendo incluso estudiados por organizaciones de alto nivel (Ramis, 2012).

#### 1.4 HISTORIA, EVOLUCIÓN Y CONTEXTO

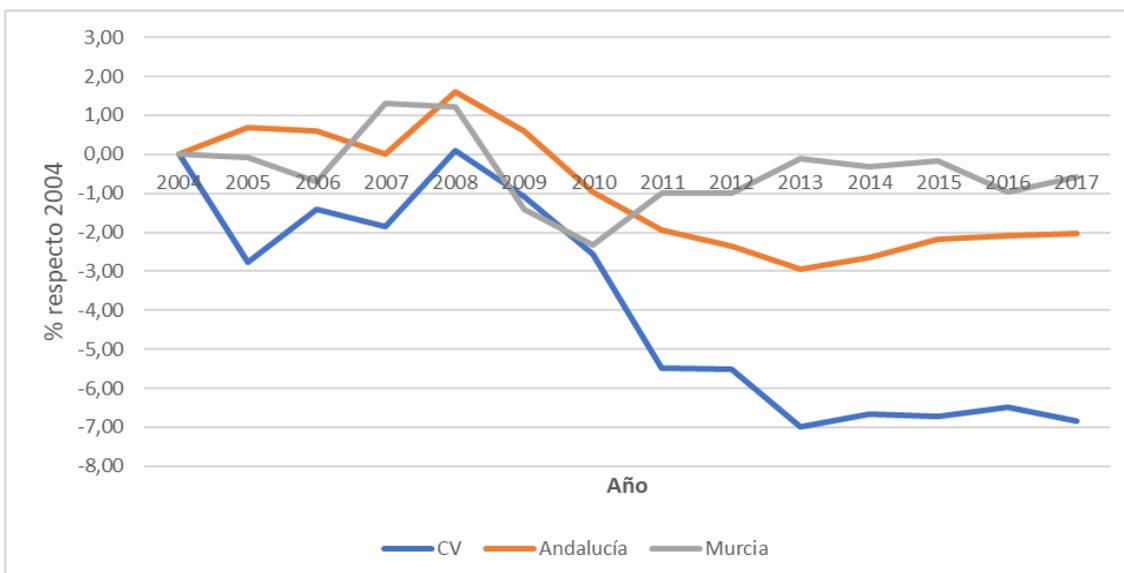
El sector agrícola tiene una marcada tradición en España y en concreto en la Comunidad Valenciana, que históricamente ha sido uno de los mayores productores de cítricos y vid del mundo. España en su conjunto, es famosa por la calidad y producción de aceite de oliva, hortalizas o cereales. Las diferentes condiciones de estructura y fertilidad del suelo, un clima favorable y un cierto desarrollo del sector, han permitido el establecimiento y la puesta en producción de distintos cultivos repartidos por toda la geografía española. El análisis específico en Bellreguard muestra un pasado muy ligado a la producción agrícola, habiendo sido una localidad en la que se cultivó caña de azúcar y después vid. Actualmente el cultivo de cítricos es el gran dominador del paisaje.

Pero debido a las causas apuntadas en apartados anteriores se ha producido una regresión del sector en todo el país, y por consecuencia de la SAU asociada a esta actividad. La lista de abandono de tierras por CCAA la encabeza casi todos los años la Comunidad Valenciana y así lo confirma la ESYRCE en su informe anual.

Para esclarecer más estos datos demoledores acerca de la evolución de la superficie cultivada en España y en la Comunidad Valenciana se presentan unos gráficos generados a partir de los datos de la ESYRCE que ofrece el Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación en su página web, sobre la evolución de la superficie cultivada según CCAA y en el caso valenciano según cultivos. Con el objetivo de realizar un análisis con un conjunto suficiente de datos y así visualizar la dimensión del problema, se ha retrocedido hasta 2004, primer año con datos disponibles.

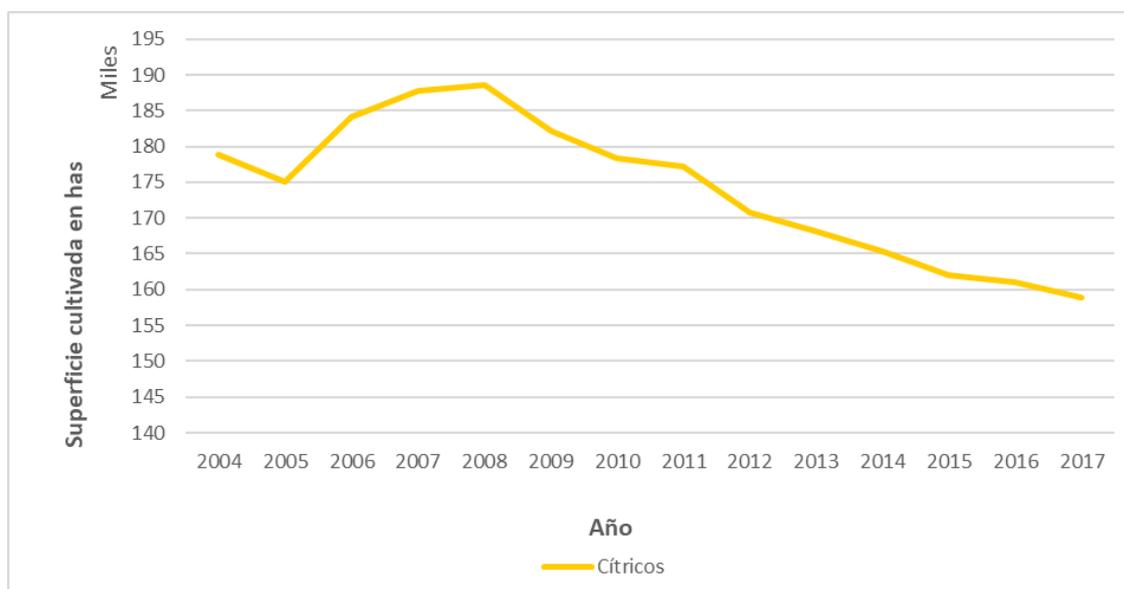
La superficie cultivada ha seguido una tendencia decreciente en España, perdiendo miles de hectáreas año tras año y situándose por encima del millón de hectáreas abandonadas en la actualidad. Este acontecimiento se magnifica en comunidades autónomas como la valenciana, que anualmente se sitúa a la cabeza de las CCAA con mayor superficie cultivada abandonada. La Comunidad Valenciana tiene el caché de ser una de las mayores productoras y exportadoras de frutas y hortalizas de España, siendo sus principales competidoras la Región de Murcia y Andalucía. En estas tres CCAA el número de hectáreas de superficie cultivada ha descendido (tomando como origen de los datos el año 2004), aunque Andalucía y Murcia muestran datos más alentadores, ya que presentan tendencias irregulares, pero cercanas a los niveles del año de origen de los datos y con posibilidades de alcanzar estos resultados.

La Comunidad Valenciana por el contrario, presenta una clara tendencia descendente que alcanza niveles alarmantes, perdiendo desde 2004, cerca del 7% de la superficie cultivada. Se visualiza perfectamente como el año 2008, marca un punto importante de inflexión, ya que a partir de aquí se produce un aumento del abandono en estas tres comunidades aunque la Comunidad Valenciana es la única que años después no se ha recuperado (Figura 3). Concretamente, en la Comunidad Valenciana se estabiliza la pérdida de superficie cultivada a partir de 2013, es decir, aunque se encuentre en niveles cercanos al 7% de pérdida de suelo desde 2004, en los años posteriores no se continúa perdiendo superficie cultivada a este ritmo. Esto es debido a la aparición de cultivos emergentes como el caqui, el granado o el aguacate, que equilibran la pérdida de suelo por parte del cultivo de cítricos o vid.



**Figura 3.** Variación de la superficie cultivada respecto a 2004 según CCAA. Gráfico de elaboración propia a partir de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos en España (ESYRCE).

Si se analiza la evolución de la superficie cultivada de cítricos (principal cultivo) en la Comunidad Valenciana se puede observar que hay un descenso significativo entre los años 2008 y 2017 pasando de 190.000 hectáreas a 165.000, lo que significa un descenso del 14% (Figura 4). Estos datos muestran una clara relación entre los cítricos y la pérdida de superficie cultivada en esta Comunidad Autónoma, que acusa en gran medida las causas del abandono agrícola anteriormente expuestas.



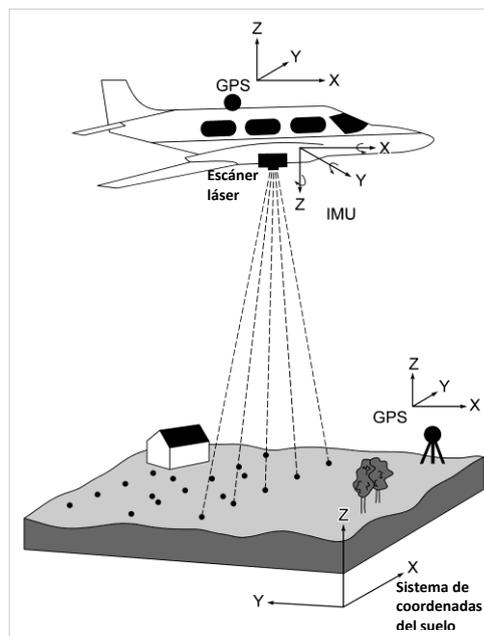
**Figura 4.** Evolución de la superficie cultivada de cítricos en la Comunidad Valenciana desde 2004. Gráfico de elaboración propia a partir de la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos en España (ESYRCE).

## 1.5 PROPUESTA PARA ABORDAR LA PROBLEMÁTICA

Una vez expuesto el problema y analizadas sus causas, consecuencias, soluciones y contexto en la zona de estudio, se procede a exponer la idea central del presente proyecto. Hay que aclarar que el objetivo de este estudio no es solucionar el problema del abandono de tierras sino determinar un método que permita detectar el fenómeno de manera eficiente y relativamente preciso. La información de este proyecto puede proporcionar datos que permitan tomar medidas al respecto.

Este propósito se va a intentar llevar a cabo a partir de la técnica de la teledetección, que permite observar y medir objetos a distancia mediante satélites, aviones, radares o drones que realizan escaneos o grabaciones sobre la superficie a estudiar. La teledetección es una tecnología que realmente se usa desde hace unas cuantas décadas, aunque ha sufrido un auge importante en los últimos años, permitiendo su aplicación a ámbitos tan dispares como la astronomía, la arqueología, el arte o como en este caso, la agricultura.

En este caso se ha optado por la tecnología LiDAR (*Laser Imaging Detection and Ranging*) como técnica y fuente de datos, que se caracteriza por contar con un sensor que realiza un barrido de pulsos láser que rebotan sobre la superficie terrestre y los elementos que la conforman. Estos pulsos reflejan un retorno o rebote de energía electromagnética cada vez que se topan con una superficie sólida (edificio, suelo). El pulso de energía que emite un sistema LiDAR permite penetrar la vegetación obteniendo así varios datos de retorno con el mismo pulso láser. Midiendo el tiempo que tarda en regresar el pulso al sensor, se pueden calcular mediciones (Wallace *et al.*, 2016). El objetivo que se persigue en este proyecto es procesar los datos LiDAR con una herramienta SIG proponiendo una metodología determinada que proporcione información sobre las parcelas que se han abandonado en el intervalo de tiempo establecido (2009 y 2015 con datos disponibles) con porcentajes de acierto. A continuación, se presenta una imagen con los elementos y el funcionamiento de un sistema LiDAR aerotransportado (Figura 5); de esta forma es más fácil de entender la operatividad de este sistema de teledetección.



**Figura 5.** Elementos y funcionamiento de un sistema LiDAR aerotransportado. Imagen etiquetada para reutilización no comercial.

A partir de la comparativa entre los datos LiDAR se extraen estadísticas que servirán para obtener variables que permitan clasificar parcelas en distintas clases a partir de parámetros derivados de estos datos como la superficie de ocupación o la altura media de la parcela. En fin, el uso que se le quiere dar en este estudio a los datos LiDAR es obtener una diferencia de alturas y superficies entre los años mencionados, y relacionarlo todo con el abandono de tierras y la consecuente disminución de la SAU. Es una aplicación de la teledetección láser que no está muy estudiada y que este proyecto pretende analizar y poner de manifiesto y que, además, permite trabajar conjuntamente con la teledetección satelital (imágenes) aunque como se comenta más adelante, no se ha podido en este estudio.

## 1.6 CONCEPTO ESPECÍFICO

Cuando en este apartado se habla de concepto específico, primero, se tiene en cuenta todo lo anteriormente expuesto para deducir como aplicarlo al presente estudio, con la intención de delimitar, matizar y determinar las características que deben reunir las parcelas que se van a considerar como abandonadas.

Como se comenta varias veces en este documento, la zona de estudio no presenta tierras marginales ya que se trata de una localidad sin apenas pendiente (1,4%), ni pedregosidad, ni baja fertilidad. Al contrario, nos encontramos sobre tierras muy fértiles. Por lo tanto, en este caso el concepto de tierra marginal no se tendrá en cuenta.

Tampoco se diferenciará el abandono según el tipo de uso posterior que se le vaya a dar. En este estudio se diferenciarán las parcelas abandonadas de las que se encuentren en producción, independientemente del uso futuro, (aunque son visibles casos de abandono por especulación urbanística en la periferia de la población de Bellreguard, cerca de la zona industrial) ya que se considera que el estudio solo mide el grado de abandono, sin que el uso futuro sea un factor determinante a la hora de que el método sea efectivo o no.

Además, después de realizar un exhaustivo trabajo de campo (más adelante se expone) se ha visto que no existe apenas semi-abandono o abandono oculto en estas tierras. La tendencia en Bellreguard es la de tener las parcelas en plena producción (o en proceso de producir) o abandonadas. En relación al semi-abandono o abandono oculto tan sólo se ha localizado alguna parcela que normalmente se encuentra junto a chalés o casetas (ya no es una parcela agrícola al 100% porque su uso posterior se ha modificado). En estos casos, se ha pasado de soportar actividad de producción agrícola a tener una parte ocupada por algún tipo de construcción, dejando pequeños espacios para el cultivo de hortalizas de consumo propio o algún árbol residual del anterior uso agrícola.

Como resumen a este último apartado introductorio y tras todo lo expuesto, se procede a deducir específicamente la consideración de abandono para este estudio. Al tratarse de un método innovador para este uso concreto, la bibliografía de la que se abastece el proyecto lo hace desde un concepto más teórico. Lo que impera en este proyecto es la vertiente técnica más que la teórica, convirtiendo el abandono en un concepto más abstracto, en el que la consideración de éste toma forma a partir de la diferencia entre los datos de un año y de otro. Aunque, al fin y al cabo, se refuerza y se calibra por el trabajo de campo visual que ayuda a entender el concepto y el método conjuntamente.

Como el proyecto analiza el grado de abandono en un período de tiempo determinado, la fórmula más lógica es tomar los años que se encuentren en los extremos de ese intervalo de tiempo y establecer una comparación entre ellos. Es decir, si en nuestro caso, la comparación se

va a realizar entre los datos de los años 2009 (septiembre) - 2015 (octubre) y el trabajo de campo se realizó a finales de 2018 y principios del 2019 (esto en ocasiones se puede utilizar en beneficio propio como en este caso, pero normalmente es un aspecto negativo), consideraremos abandono de actividad agrícola en parcelas en las cuales los datos muestren, diferencias significativas entre las alturas y la superficie de ocupación de un año y de otro. Se considerará abandono de la actividad agraria en parcelas en las que, en estos 6 años se hayan producido diferencias medibles de los parámetros anteriormente citados y, además, se pueda corroborar en ellas que el abandono ha continuado o por el contrario, simplemente se estaba produciendo un proceso de eliminación del cultivo anterior para replantar otro cultivo u otra variedad del cultivo predecesor, por lo que entonces se deberá tener en cuenta este tipo de errores asumibles.

Todo esto se encuentra respaldado por la ayuda visual que proporcionan las ortofotos durante el procesamiento de datos y por el trabajo de campo que resulta indispensable hasta que no se mejore el método. Dicho trabajo de campo al realizarse a finales de 2018 y principios de 2019, al igual que el proyecto, ayuda a corroborar que el abandono continúa en la parcela o que ha acontecido otra situación sirviendo, además, para calibrar el método.

## 2. ANTECEDENTES

La teledetección es una herramienta que se utiliza cada vez más en el sector agrícola. Su desarrollo continuo en los últimos años ha permitido desarrollar una nueva disciplina denominada agricultura de precisión (Zhang *et al.*, 2002; Pierce y Nowak, 1999). La aparición de los drones (sumado a los satélites o aviones, plataformas ya existentes) o la mejora de sensores han permitido avanzar mucho en este sentido (Tarragona, 2018). Pero, sin la mejora de capacidad en el procesado y análisis de datos que ofrecen los SIG habría sido imposible este avance permitiendo la conversión de la información de los sensores, en documentos digitales cartográficos (García-Ferrer, 2013).

Para la agricultura, supone un gran avance ya que ahora se puede cuantificar la variabilidad de una parcela y un conjunto de estadísticas relacionadas con ella. Esto permite realizar mapas actualizados de necesidades del cultivo o de su salud, posibilitando la aplicación de tratamientos, fitosanitarios o fertilizantes de forma eficiente y localizada. Como resultado se produce un menor aporte de insumos, aportando múltiples beneficios a este tipo de prácticas. Además, se puede utilizar para estudiar la producción e incrementarla o para economizar y ahorrar agua, entre otros (Tarragona, 2018).

Algunos de los proyectos más importantes en los que la teledetección se utiliza para fines agrícolas pueden ser el *Proyecto Nitrocon* (estudia la optimización del uso de fertilizantes nitrogenados y del riego), el *Proyecto Green+* (optimización del riego) y el *Proyecto Viñedo Valderrubí* (analiza las fases fenológicas del viñedo para conseguir vendimias selectivas) (Tarragona, 2018).

Continuando con lo expuesto, se procede a concretar los estudios que han servido de apoyo al presente trabajo. Este proyecto toma nota de estudios preliminares relacionados con aplicaciones agro-silvícolas, desarrolladas a partir del uso de la teledetección y los SIG. Por una parte, se han identificado proyectos que se sirven de la teledetección satelital (ortofotos) para resolver problemas, mejorar la eficiencia de labores u optimizar insumos. La respuesta espectral de la vegetación permite estimar producciones (Mitsikostas, 2017), controlar plagas y enfermedades, evaluar daños tras incendios forestales, cartografiar áreas agrícolas abandonadas (Martínez *et al.*, 2013), discriminar y controlar vegetación arvense (Castro *et al.*,

2009), planificar labores y usar eficientemente agua, fertilizantes o pesticidas (Mitsikostas, 2017). Todos estos, procesos relacionados con variaciones de clorofila.

Además, la información LiDAR se utiliza para estimaciones de producción de biomasa o mapas de gestión forestal (García-Ferrer, 2013) y para mediciones de la severidad de un incendio (Montealegre *et al.*, 2017), entre otros. Algunas aplicaciones con datos LiDAR en el sector agrícola, intentan determinar la producción de biomasa a partir de análisis de dendrometría (Velázquez-Martí *et al.*, 2012) o calcular el volumen y altura de árboles en parcelas agrícolas (Estornell *et al.*, 2014).

Hay estudios que utilizan los dos tipos de técnicas de teledetección mencionadas (LIDAR y satélite), para evaluar la estructura de bosques de eucaliptos y así obtener resultados del dosel con ambas técnicas (Wallace *et al.*, 2016). Estas técnicas siguen procedimientos distintos y sus resultados son comparados para ver cuál presenta un mayor acierto, pero no se persigue un resultado obtenido a partir de una vinculación entre ambas técnicas. Este es un tema importante para destacar, ya que era la idea primigenia de este proyecto, pero la falta de recursos, medios y tiempo lo han impedido.

Por lo que respecta a estudios que relacionen datos LiDAR con el abandono de parcelas agrícolas, hay que decir que, aunque no se ha encontrado apenas bibliografía que coincida exactamente con este proyecto, hay algún estudio que destacar. Es cierto que alguno trata de identificar tierras agrarias abandonadas a partir de datos LiDAR (Barrós *et al.*, 2016), pero las características de la zona de estudio y el tipo de agricultura presente en la zona gallega, condicionan una metodología que dista bastante de la que se presenta en el actual estudio, ya que simplemente clasifica la vegetación según su altura (con más clases, más tipos de cultivo y rangos mucho más amplios que los que se trabajan en este método). Otros trabajos que relacionan LiDAR y abandono de tierras agrícolas, lo hacen con el objetivo de estudiar las sucesiones secundarias de los bosques que se desarrollan en dichas tierras abandonadas (Kolecka *et al.*, 2015).

Como ya se ha visto en este apartado, la teledetección y los SIG permiten desarrollar infinidad de aplicaciones, siendo en este caso, de carácter agrícola. El estudio está ideado para incidir en el desarrollo de métodos que den respuesta a la cantidad de tierras que se abandonan en un área y espacio de tiempo determinados, respuesta que puede ser desarrollada e investigada en el futuro para mejorar sus resultados.

Por último, es importante tener en cuenta las motivaciones de este proyecto en cuanto a mejora de métodos actuales ya establecidos. Y no hay ninguno más importante a nivel estatal que la Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos (ESYRCE), publicada anualmente desde 1990. El estudio de la metodología que se utiliza en esta encuesta saca a relucir la necesidad que tiene de modernizarse para adaptarse a nuevos tiempos y cambios a los cuales poder hacer frente con la mayor rapidez posible. ESYRCE se basa en el análisis de datos recogidos mediante recorridos visuales durante el trabajo de campo, por zonas delimitadas llamadas unidades de muestreo: celdillas, bloques o segmentos (áreas de mayor o menor superficie). Estos datos forman parte de una gran operación estadística por muestreo. Según el cultivo que alberguen o el tipo de producción adoptado, variará la frecuencia de visita en los segmentos por parte de los técnicos especializados. Los datos se extrapolan a áreas con características similares (tipo de cultivo, orografía, proximidad...), para terminar obteniendo informes anuales de superficie cultivada y rendimientos según CCAA, provincias, cultivos, etc. (Informe Metodológico Estandarizado y Metodología de la Encuesta anual sobre superficies y rendimientos de cultivos en España). También suelen realizar cruces de datos con los relacionados con las entradas de producción al mercado por parcela.

Además, los métodos actuales no permiten una localización territorial concreta del abandono, siendo este un tema aún no explorado a pesar de su importancia (Corbelle y Crecente, 2008). El presente estudio tiene pros y contras, pero el aspecto de la localización concreta del abandono lo cumple.

### 3. OBJETIVOS

OG1.- Estudiar y analizar el concepto de abandono de parcelas agrícolas en el contexto de la zona de estudio.

OG2.- Conocer el grado de abandono en el término de Bellreguard, a partir de datos LiDAR.

OG3.- Establecer y definir una metodología que sirva para realizar este tipo de estudio.

OE1.- Calcular MDT, MDS y MDSn a partir de los datos LiDAR de los años 2009 y 2015 para analizar los cambios en la superficie de ocupación del área de estudio.

OE2.- Obtener resultados de los cambios en el paisaje, con el fin de poder analizarlos e interpretarlos.

OE3.- Definir de manera concreta los tipos de abandono agrícola presentes para determinar rangos de variables que efectúen una buena discriminación de parcelas.

OE4.- Utilizar parámetros de fiabilidad que permitan analizar el grado de robustez de los distintos métodos/modelos con el objetivo de escoger el que mejores resultados presente.

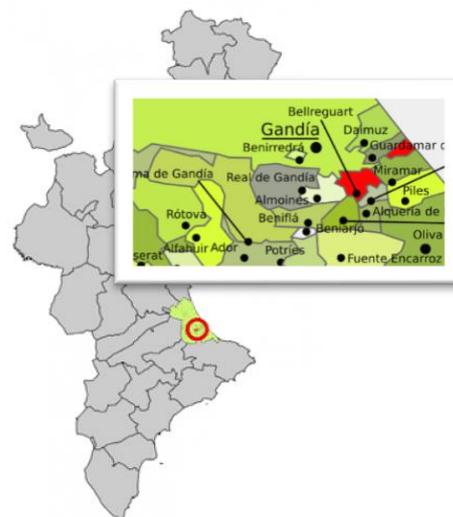
### 4. MATERIAL Y DATOS

#### 4.1 ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio se localiza en Bellreguard, municipio de 2,9 km<sup>2</sup> de la Comunidad Valenciana situado en la comarca de la Safor (Valencia), junto a la localidad de Gandía (Figura 6). La zona de estudio tiene aproximadamente una extensión de 1,4 km<sup>2</sup> ocupada por las parcelas declaradas como rústicas (parcelas de uso agrícola).

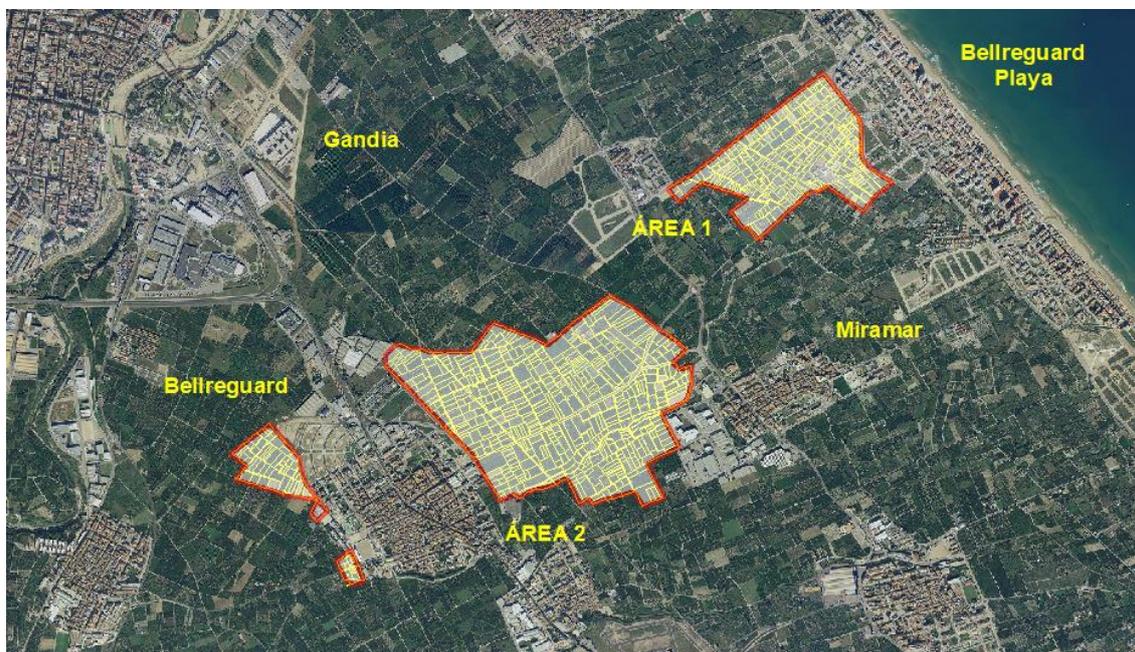
El término de Bellreguard se encuentra en una llanura aluvial con formaciones del cuaternario y está dividido en 2 expansiones de terreno separadas entre ellas por el término de Miramar (Figura 7). De ahora en adelante, "Área 1 (A1)" será la parte del territorio situado en el litoral y "Área 2 (A2)" la parte ubicada al interior de la Península.

Existen parcelas agrícolas tanto en un área como en otra y en aspectos como la litología del suelo, se debe distinguir las características de una zona y de otra (aunque existan pequeñas diferencias). Aunque todos los materiales son de procedencia aluvial, en la zona A1 el suelo está formado por arenas y gravas de cordones litorales y playas.



**Figura 6.** Localización de Bellreguard respecto a la Comunidad Valenciana.

En la zona A2 predominan gravas, arenas, arcillas y limos provenientes de depósitos de glaciares, piedemonte y superficies. Debido a las características litológicas de los materiales, la permeabilidad que existe en estas zonas es "Alta" y "Media", respectivamente.



**Figura 7.** Zona de estudio.

No hay presencia de ningún río, aunque hay que resaltar como elementos hidrográficos más importantes: el "barranc de Sotaia" y una amplia red de acequias que cubren toda la trama de parcelas, entre las que destaca la "Séquia mare". La ubicación del proyecto se encuentra dentro de la unidad hidrogeológica 38 "Plana de Gandía-Dénia" según la Confederación Hidrográfica del Júcar.

La zona forma parte del Subsistema Acuífero detrítico "Plana de Gandía-Denia", perteneciente al Sistema Acuífero Nº 50-1 "Zona Norte, Prebético de Valencia-Alicante". Hay que saber que el subsistema de la Plana de Gandía-Denia puede ser subdividido nuevamente, encontrando en este caso, la extensión ocupada por la playa de Bellreguard que se encuentra en la unidad denominada Piles-Bellreguard. Según el IGME, A1 se encuentra sobre un acuífero de "formaciones detríticas y cuaternarias de permeabilidad alta o muy alta", diferenciándose de A2 únicamente, por la permeabilidad media de este último.

El clima presente en esta localidad es de tipo mediterráneo, con una temperatura media anual de 18°C y precipitación media de 500mm aproximadamente. Son característicos sus veranos cálidos con temperaturas por encima de 30°C, y sus inviernos templados con temperaturas por encima de 6°C. Las mayores precipitaciones se producen de Septiembre a Diciembre, y los meses más secos son Junio, Julio y Agosto.

La población cuenta con un registro en el padrón de 4.550 habitantes en 2018, habiendo aumentado la población 1.000 habitantes aproximadamente, en los últimos 20 años. El crecimiento de población ha sido paulatino pero continuo durante este último período, siendo bastante típico en localidades del litoral.

El cultivo de cítricos es el que predomina absolutamente en este paisaje, existiendo parcelas con diferentes variedades de naranjas, mandarinas y clementinas. Atendiendo el análisis de la zona de estudio se puede considerar que esta área es prolífica para el cultivo de cítricos por diversas razones: clima de la región, escasa pendiente del terreno (1,4%), altitud media de 15 m.s.n.m., naturaleza estructural y mineralógica del suelo, etc.

## 4.2 SOFTWARE

Para la realización de este estudio, se han utilizado dos programas:

- ArcMap 10.2 de ESRI: utilizado para el procesamiento de datos LiDAR, cálculo de modelos digitales, creación de mapa de cambios, cálculo de parámetros estadísticos por parcela, aplicación del modelo de calibración y su posterior validación.
- Excel de Microsoft office: este programa fue apto para realizar análisis estadísticos de los modelos digitales o de fiabilidad del método. Además, ha servido de apoyo a ArcMap en la conversión y transferencia de datos.

## 4.3 DATOS

Para la realización de este apartado se ha solicitado al Instituto Geográfico Nacional (IGN), los documentos que reúnen las “Especificaciones Técnicas del Vuelo Fotogramétrico Digital con vuelo LiDAR” de la zona de estudio en los años 2009 y 2015.

La fecha de adquisición del primer conjunto de datos fue entre los días 17 y 24 de agosto de 2009 y se utilizó el sensor LMS-Q680-RIEGL. Los parámetros técnicos de adquisición de los datos fueron los siguientes: altura media de vuelo 1300 m.s.n.m., frecuencia de pulso 70 kHz, frecuencia de escaneo 46 Hz, campo de visión transversal de la toma de puntos LiDAR (FOV) 60º, velocidad promedio de vuelo 120 km/h y densidad promedio de 0,7 puntos por m<sup>2</sup>. Los datos de cada año fueron entregados en 5 ficheros formato LAS.

La fecha de adquisición del segundo conjunto de datos fue entre los días 28 y 29 de octubre de 2015 y se utilizó el sensor LMS-Q780-RIEGL. Los parámetros técnicos de adquisición de los datos fueron los siguientes: frecuencia de pulso 160 kHz, frecuencia de escaneo 62 Hz para un campo de visión transversal de la toma de puntos LiDAR (FOV) de 60º y densidad promedio de 0,8 puntos por m<sup>2</sup>. No se han conseguido datos de altura media de vuelo y velocidad promedio del avión. Los datos de cada año fueron entregados en 5 ficheros formato LAS.

Además, se ha utilizado el parcelario catastral de Bellreguard facilitado por la Dirección General del Catastro, e imágenes aéreas satelitales (ortofotos) de 2010 y 2015 obtenidas a partir del Plan Nacional de Ortofotografía Aérea (PNOA). El tamaño de píxel de dichas ortofotos es de 0,5 m y 0,25 m respectivamente.

## 5. METODOLOGÍA

Para conseguir el objetivo planteado en este estudio se ha realizado el trabajo en dos vertientes distintas: procesamiento de datos y trabajo de campo. El procesamiento de datos sirve para generar modelos digitales que determinen las características de cada parcela. El trabajo de campo permite corroborar o desechar ciertas determinaciones del programa y es totalmente

necesario para la calibración de parcelas abandonadas, para su validación y para entender el caso concreto de la agricultura de Bellreguard.

## 5.1 TRABAJO DE CAMPO

Una vez entendida la importancia del trabajo de campo en este tipo de proyecto, se ha realizado un análisis exhaustivo del término de Bellreguard abarcando alrededor de un 95% de su territorio (entre el Área 1 y el Área 2) y visitando cada una de las parcelas declaradas como rústicas (unas 950 aproximadamente). El objetivo de esto es obtener un conjunto de parcelas de distintas clases reales (más adelante se explican las clases) que permitan establecer un método a partir de sus características intrínsecas, para discriminar un tipo de parcela u otra. Además, se visualiza una precisión mayor del proyecto en global ya que permite observar y analizar el caso concreto de la localidad in situ, la tendencia de abandono presente, los cultivos dominantes, los entresijos del término y sus características, etc.

Se considera indispensable el trabajo de campo para realizar este tipo de análisis, ya que tanto para la calibración (cuantas más parcelas, mayor conjunto de datos) como para la validación de parcelas (se puede medir el error cometido por el método de forma real), se necesita visitar el terreno. Es posible que, si el método se desarrolla en un futuro, el trabajo de campo quede relegado a un segundo plano.

La dinámica de trabajo que se ha seguido, precisa de diferentes herramientas y pautas. Por una parte, en cuanto a herramientas se destaca el “GPS Etrex10” que ha servido para marcar las coordenadas de parcelas abandonadas que se han ido encontrando en las rutas y transferir posteriormente al software los datos como una capa de puntos. También es indispensable un mapa del término, en el cual se van marcando las parcelas objeto del estudio, las rutas seguidas u otros temas de interés. Una vez marcadas las coordenadas y la parcela, se realizan un par de fotografías que dan apoyo en la parte de procesamiento de datos.

Por lo que respecta a las pautas, se ha intentado realizar trayectos de Este a Oeste y de Norte a Sur por la red de carreteras, caminos o acequias que se asientan sobre esta parte del término. En muchas ocasiones se han tenido que tomar accesos alternativos para llegar a ciertas partes del territorio o en su caso, la inestimable ayuda de agricultores que han auxiliado a ello. Cabe destacar que la distribución de los campos, el marcado minifundio o el ataque de fauna salvaje (por vallado de campos) entre otros, ha dificultado el trabajo de campo (zona A1) ya que hay zonas en las que no se puede pasar por las citadas vallas, por el crecimiento desmesurado de vegetación u otros.

## 5.2 PROCESAMIENTO DE DATOS

Esta parte está compuesta por 4 fases: generación de los modelos digitales, uniones espaciales y de tablas, construcción de mapa de cambios y la fase conjunta de calibración y validación del modelo (imprescindible el apoyo del trabajo de campo en esta fase). En cada una se han seguido procedimientos distintos utilizando diferentes técnicas y herramientas. El resultado final que se desea conseguir precede a la consecución conjunta de las 3 fases que se acaban de nombrar. La mayoría de los procesos que se explican a continuación han sido realizados dos veces, ya que se poseen datos de dos años diferentes y el proceso a seguir es el mismo. La creación de una *geodatabase* se prevé indispensable para trabajar con tal cantidad de datos, ya que es una estructura que actúa como “contenedor de archivos” que admite diferentes operaciones, capas y sus formatos. Reúne conjuntos de datos geográficos en un sistema de archivos común, que permite trabajar mejor con grandes volúmenes de datos.

## Modelos digitales: MDS y MDE

Un Modelo Digital de Elevaciones (MDE) es una representación digital de la distribución espacial de elevaciones de una superficie topográfica, es decir, una modelización de la elevación del terreno. Por otro lado, un Modelo Digital de Superficies (MDS) plasma la superficie de la tierra representando todos los objetos que se encuentran sobre ella, como por ejemplo árboles o edificios. En esta fase se procede a calcular ambos modelos (MDS y MDE) con el objetivo de resolver el Modelo Digital de Superficies normalizado (MDSn), que representa la altura de los objetos de la superficie terrestre. Finalmente se obtiene la diferencia normalizada entre los MDSn de cada año.

Los archivos LAS de los datos LiDAR deben ser transformados en un formato que reconozca ArcGIS. Para ello, es necesario primero, convertir el archivo LAS en un archivo de puntos que proporcione datos estadísticos como *Zmin*, *Zmax*, espaciado entre puntos, etc. Esta información es necesaria para proseguir con el siguiente paso, convertir el archivo LAS en un archivo *shape* multipunto. Es muy importante extraer la información en el paso anterior ya que se necesita, por ejemplo, conocer el espaciado de puntos promedio para establecer un valor de este parámetro igual o mayor.

### - MDS

El primer paso para generar los dos MDS correspondientes a los años 2009 y 2015 es la creación de un *terrain* o *dataset del terreno*, que es una superficie basada en un TIN (*Triangular Irregular Networks*) que deriva los modelos digitales, creada a partir de mediciones de las entidades almacenadas en la *geodatabase*. Un TIN representa la morfología de la superficie terrestre a partir de una red de triángulos contiguos y no superpuestos. Una ventaja de estos datos geográficos es la optimización de la resolución (dependiendo de la escala o ventana aplicada), que agiliza el almacenamiento de datos. Esto es posible gracias a la generación de pirámides del terreno, que permiten controlar y modificar el nivel de detalle según la toma de puntos que se aplique. Además, se realizan operaciones que verifiquen la mejor resolución de pirámide para crear más adelante los modelos digitales.

Al realizar los dos *terrain*, se debe tener en cuenta que los parámetros “espaciado de puntos” y “resolución” se encuentren en los mismos valores y condiciones. Al tratarse de la representación de una superficie heterogénea se aplica la máxima resolución posible (tamaño de ventana mínimo). Aplicando el parámetro de tamaño de ventana (*Window size*), es posible seleccionar puntos en el área definida por el tamaño de ventana, según el criterio escogido. En el caso del MDS, es necesario indicar que tome como criterio para realizar la operación/simplificación, “*Zmax*”, ya que es el punto con el valor de elevación más alto. Como en este caso se desea representar los objetos que se encuentran sobre la superficie terrestre (Figura 8), se escoge el valor más alto.



**Figura 8.** “A” Ortofoto; “B” Terrain MDS.

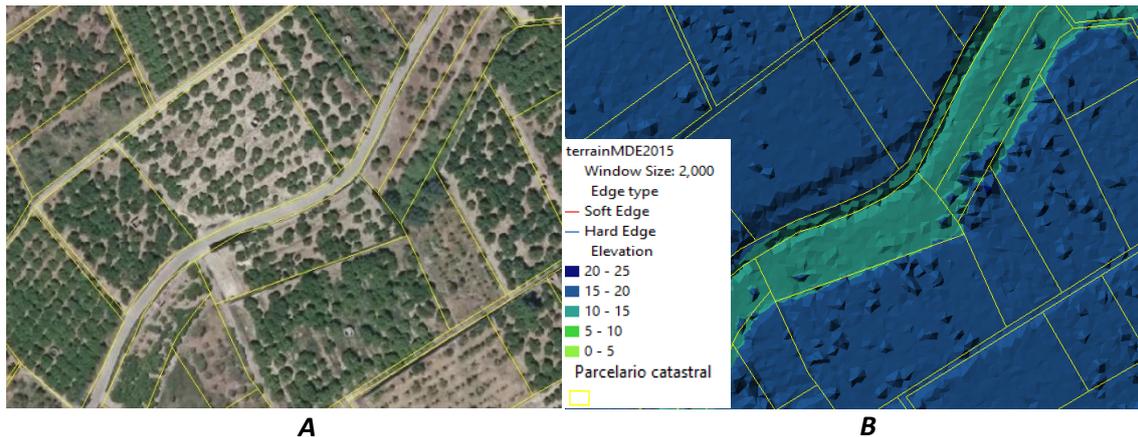
Para evaluar la precisión altimétrica de los MDS generados a partir de los datos LiDAR, se toman diferentes puntos de control. En este caso, se ha realizado un ajuste entre los MDS 2009 y 2015 para corroborar que los dos se encuentran con un origen de los datos ajustado respecto a Z, o al menos con una diferencia entre ellos que se pueda despreciar. Para ello se debe seguir una serie de pasos:

1. Crear una capa de puntos. Las entidades de esta capa se sitúan sobre zonas estables de la superficie, como pueden ser áreas asfaltadas (carreteras o parkings), ya que se entiende que la altura en estos puntos no ha cambiado en el intervalo de años que se maneja en este estudio. Para la realización de este ajuste se han tomado 56 puntos sobre distintas zonas estables repartidas por A1 y A2.
2. Extraer información de estos puntos, en concreto la altura (Z). Para poder extraer estos datos, primero hay que crear los MDS transformando los *terrain* en archivos ráster. Necesitamos obtener la máxima precisión posible en el caso del MDS, ya que la superficie es mucho más heterogénea que en el caso de la elevación del terreno, por lo tanto, tomamos valores mínimos de tamaño de celda y nivel de resolución de pirámide. Es posible extraer valores de los puntos (en concreto datos del punto Z de cada entidad) mediante la herramienta adecuada.
3. Se trasladan los datos obtenidos de los puntos en los dos años de estudio, se exporta el archivo como “*dBase*” y se carga a un archivo Excel. A partir de aquí, se obtiene la diferencia entre 2015 y 2009 de cada punto y el promedio global. Se presentan puntos con una diferencia negativa, por lo que se procede a analizar estos puntos también en los *terrain*.

Finalmente, se obtiene la diferencia entre los MDS de los años 2015 y 2009 mediante expresión *SQL* en la calculadora ráster. Es importante resaltar el detalle de que se resta el año 2009 al 2015. El resultado se puede visualizar mejor ajustando la rampa de color de la capa.

- *MDE*

Al igual que en el caso anterior de los MDS, para generar los MDE de los dos años objeto de estudio, hay que crear dos nuevos *terrain*, con las mismas condiciones de espaciado de puntos y resolución para 2009 y 2015. Pero en este caso, se indicará como criterio para realizar la operación/simplificación, “*Zmin*”. Como en este caso, se desea representar la elevación del terreno (Figura 9), se toma el punto con el valor de elevación más bajo.



**Figura 9.** “A” Ortofoto; “B” Terrain MDE.

También en este caso, se han tomado puntos de control para evaluar la precisión altimétrica de los MDE generados a partir de los datos LiDAR. El ajuste entre los MDE 2009 y 2015 sigue un procedimiento que difiere en algún aspecto con el referido a los MDS.

1. Crear capa de puntos (72 concretamente), pero esta vez en zonas de suelo desnudo, es decir, zonas de tierra como puedan ser caminos o explanadas en los que se observe mediante las ortofotos que no existen cambios importantes como movimientos de tierras.
2. Siguiendo los mismos pasos que antes, lo primero que hay que hacer para poder extraer información sobre Z, es transformar los *terrain* en archivos ráster. Pero en cambio, ahora se crean tres MDE distintos para cada año con el objetivo de encontrar el que menos error presente. La diferencia entre estos tres MDE radica en el nivel de resolución de pirámide que se aplica antes de su generación; cuanto mayor es la pirámide (menor nivel de resolución) mayor probabilidad existe de que el punto mínimo pertenezca al suelo, ya que toma este punto de un área más amplia, pero si el tamaño de pirámide es demasiado grande se puede suavizar demasiado el terreno. Como el terreno es mucho más homogéneo que la superficie se pueden tomar resoluciones más bajas sin que esto afecte en demasía al resultado, aunque hay que comprobarlo. En este caso se opta por los niveles de resolución 4 m, 6 m y 8 m para comprobar cuál es más adecuado. Se extraen los valores de los puntos mediante la misma herramienta y el mismo procedimiento que en el caso de los MDS. Al final, se cuenta con 6 capas diferentes.
3. Generación de un “LAS Dataset”, archivo que permita consultar información sobre la coordenada Z de los datos LiDAR. La creación de este tipo de archivo es útil para verificar la mejor resolución de pirámide, porque se considera como la información real de la coordenada Z. Por lo tanto, se crearán dos archivos “.las” siendo uno para cada año.
4. El siguiente paso consta en analizar cada uno de los 72 puntos de control, tomando el punto LiDAR más cercano a dicho punto, como cota real. Es recomendable la herramienta de medir, para certificar dudas en puntos con distancias al punto de control parecidas. El resultado de la extracción de los datos de cada una de las seis capas se exporta y se guarda en archivo “dBase” para cargarlo posteriormente a Excel. En este caso, el objetivo es obtener la diferencia promedio, entre la cota real de cada uno de los 72 puntos (obtenida a partir del “LAS Dataset”) y la cota resultado de los MDE generados con diferente resolución.

- *MDSn y diferencia normalizada*

A partir de una superposición de imágenes basada en álgebra de mapas se ejecutan las operaciones para obtener el MDS normalizado de los años 2009 y 2015 (Ecuaciones 1 y 2). De esta manera se obtiene un archivo ráster que contiene la altura real de los objetos que se encuentran sobre el terreno. La forma de proceder es la siguiente:

$$MDS_{2009} - MDE_{2009} = MDSn_{2009} \quad (\text{Ec. 1})$$

$$MDS_{2015} - MDE_{2015} = MDSn_{2015} \quad (\text{Ec. 2})$$

Ahora, se calcula la diferencia entre los dos MDSn (Ecuación 3) y como antes, es importante destacar que se debe restar el  $MDSn_{2015}$  y  $MDSn_{2009}$  obteniendo así la diferencia normalizada entre los dos años, es decir, se puede determinar los cambios que se han producido respecto a las alturas de los objetos de la superficie (en nuestro caso árboles) en el intervalo de tiempo estudiado.

$$MDSn_{2015} - MDSn_{2009} = Dif\_Norm \quad (\text{Ec. 3})$$

Obtención de superficies de ocupación

La superficie de ocupación también es una variable que se considera relevante para este caso de estudio. Para obtener capas con la superficie de ocupación que se presenta en las parcelas y de este modo, poder calcular la diferencia entre un año y otro (del mismo modo que con la diferencia normalizada), se procede de la siguiente manera. Se toman las capas anteriormente creadas ( $MDSn_{2009}$  y  $MDSn_{2015}$ ) y se realiza una reclasificación de cada una de ellas, con la intención de asignar a todos los objetos que se encuentren por debajo de 0,5 metros, un valor de "No data". De esta manera se consigue extraer únicamente todo lo que se encuentre por encima de dicha altura, que en nuestro caso se adapta a los árboles de producción agrícola, pudiendo así observar la diferencia que se ha producido, no en toda la parcela, si no únicamente en los árboles que se asientan sobre ella.

Esto mejora los resultados en cuanto a la media de altura de la parcela, ya que el programa no opera con todos los puntos presentes dentro de ella (árboles y suelo) si no que sólo realiza el análisis de la vegetación por encima de 0,5 m. Un aspecto importante a tener en cuenta son los márgenes que superan la altura citada, que pueden modificar y empobrecer los resultados. La posible solución a este problema se desarrolla en el apartado de conclusiones, aunque no se ha puesto en práctica en este proyecto.

Uniones espaciales y de tablas

Primeramente, se extrae por máscara para sacar toda la información de las capas anteriores a partir de una capa *shape* como es la del parcelario catastral del término de Bellreguard. De esta forma se consigue disminuir el peso de las capas, ya que las anteriores contienen mucha más información por albergar más superficie de la necesaria. Además, las operaciones de uniones espaciales y de tablas que se realizan a continuación se agilizan de manera notable ya que hay menos operaciones que realizar.

Para poder realizar dichas uniones, primero hay que transformar las capas ráster obtenidas en el paso anterior ( $MDSn_{2009}$ ,  $MDSn_{2015}$ , Diferencia Normalizada y Diferencia Superficie Ocupación) en capas de puntos, mediante herramientas de conversión.

Esta unión está basada en una localización espacial entre las capas de puntos y la capa de parcelas catastrales. Con esta operación, los atributos de los puntos aparecen en la tabla de atributos de las parcelas. Además, esta herramienta permite calcular diferentes parámetros interesantes para este estudio, como la media de alturas por parcela o la desviación estándar.

Como resultado final, se obtiene una capa con una tabla de atributos que reúne los valores de las estadísticas deseadas de todas las parcelas del término municipal y que permite trabajar y operar con estos datos.

### Mapa de cambios

El siguiente paso es obtener un mapa de cambios con el objetivo de observar la evolución de la vegetación en las parcelas de estudio. De esta manera se puede tener una primera idea de la tendencia en cada parcela, para más tarde clasificarlas según la evolución que han sufrido durante estos años. La variable escogida para clasificar los distintos tipos de cambio es la diferencia normalizada y se realiza una selección por atributos según los rangos acordados, que por supuesto deben ser excluyentes.

Se consideran tres posibilidades: que la vegetación aumenta, que la vegetación disminuye y sin cambios apreciables. Hay que recordar que se trabaja con la media de alturas por parcela. La variable escogida para clasificar los distintos tipos de cambio es la diferencia normalizada.

Si la vegetación aumenta (aumenta la media de altura de la parcela) se presupone que la parcela se encuentra en producción porque los árboles crecen de forma natural. Pero también puede ser que la media de la altura de la parcela aumente porque una parcela abandonada ha sido colonizada por vegetación arvense.

Si la vegetación desciende existen tres posibilidades: que se haya producido una tala (sin entrar en si después se abandona o se replanta), una poda fuerte de regeneración, o un abandono de la parcela sin talarla (no crece vegetación arvense en exceso y es posible que se rompan ramas o algún árbol incluso).

Si existe un aumento o un descenso que se considere despreciable, se tratará de parcelas sin cambios. Este tipo de valores deberían responder a parcelas que se encuentran abandonadas desde antes del 2009 en las que sólo existe vegetación herbácea, o campos de producción en estado muy adulto sin recibir podas drásticas.

Todas estas consideraciones son usadas después para crear las clases reales y determinar las características y variables de cada una que permitan discriminarlas unas de otras. Pero como ya se ha visto, las parcelas en producción tienen características parecidas a un tipo de parcelas abandonadas si hablamos únicamente del factor altura.

### Calibración y validación del modelo

Para la consecución de este apartado, es indispensable haber hecho previamente un trabajo de campo que permita la localización de un número suficiente de parcelas de las distintas clases. La estimación de clases de abandono agrícola precede al trabajo de campo, ya que éste da visión sobre los tipos de parcelas que existen en la zona de estudio. Tras la visita de campo se consideran cuatro clases diferentes en las cuales se pueden clasificar dichas parcelas (Figura 10):

- Parcelas Abandonadas y Taladas (AYT): las parcelas que pertenecen a esta clase son las que en el intervalo de años citado, se produce un descenso en la altura de los árboles

por tala y abandono, que se corrobora después en el trabajo de campo. Principalmente esta clase está compuesta por parcelas que se encontraban en estado de producción en 2009 pero en 2015, no es que ya no se encuentre en producción sino que también no existen árboles por que la parcela se ha talado y abandonado. Los errores asociados a esta clase dependen de parcelas de producción en las cuales se ha producido una poda bastante fuerte o en parcelas que han sufrido tala, pero que simplemente antecede a una nueva plantación.

- Parcelas Abandonadas Sin Talar (AST): esta clase es muy complicada de discriminar con respecto a las parcelas de producción. Se considerarán parcelas AST cuando, una vez realizado el trabajo de campo, se observe que la parcela se encuentre en estado de abandono aunque los árboles sigan en pie. Algunas características que presentan este tipo de parcelas son: crecimiento de vegetación arvense (en algunas parcelas es excesivo y en otras no tan importante), pérdida de volumen foliar de los árboles, escaso mantenimiento de infraestructuras asociadas (acequias, quemadores de restos de poda, etc), pérdida de vigor en los árboles, disminución de la capacidad clorofílica que se traduce en un amarilleamiento de las hojas, etc. Estas parcelas pueden ser confundidas con las de producción debido a que en muchas ocasiones, se ha verificado que la vegetación arvense coloniza de tal forma la parcela que cubre los árboles completamente, siendo en ocasiones visible la presencia de una “manta” verde que impide distinguir incluso los árboles que crecen bajo de ella. Por tanto, es lógico pensar que la diferencia normalizada es positiva en este caso, alterando la fiabilidad del método.
- Parcelas en Producción (PRD): se trata de parcelas que se encuentran en plena producción. Ya sean campos en edad de asentamiento o en edad adulta de plena producción, ya que en ambos casos el árbol crece de forma natural y por lo tanto, la diferencia normalizada de la altura también aumenta. Esta clase es fácil de discriminar respecto a las parcelas AYT, pero como ya se ha comentado, muy difícil de diferenciar de las parcelas AST si se sigue únicamente la metodología expuesta en este estudio que trata de diferenciar parcelas únicamente por aspectos de altura de los objetos.
- Parcelas Sin Cambios (SC/AA09): estas parcelas pertenecen a una clase exenta de cualquier clasificación por parte de los modelos, debido a que dichas parcelas se encuentran abandonadas antes de 2009 (año de partida del estudio) y permanecen sin actividad agrícola durante el intervalo de tiempo analizado. Sería ilógico introducir estas parcelas en los métodos de discriminación, ya que este estudio analiza el grado de abandono agrícola en un intervalo de años determinado y estas parcelas ya se encuentran abandonadas antes del año del que parte el estudio. Además, se ha confirmado durante el desarrollo de la metodología que esta clase crea problemas para diferenciarla de la AST. La característica principal de las parcelas SC, es que no se producen apenas cambios entre 2009 y 2015 en la superficie de ocupación o la altura media de la vegetación de la parcela, variables utilizadas para la clasificación. Por estos motivos, se considera que estas parcelas no pueden ser clasificadas como AYT, AST o PRD.



**Figura 10.** Clases reales de clasificación del método.

Como ya se ha comentado, en la calibración y validación del método es necesario localizar parcelas que pertenezcan a las clases reales y que sirvan de fuente de datos para ajustar los rangos posteriormente. Un total de 91 parcelas de calibración, 70 de validación y 35 exentas de clasificación apoyan el estudio. Después de analizar todas las variables que se han obtenido durante esta metodología, se decide que la media de la diferencia normalizada y la diferencia en la superficie de ocupación son las más relevantes. Por lo tanto, se ajustarán los intervalos según los valores de las parcelas de calibración.

Para la obtención de un método que presente los mejores resultados posibles, se ha optado por realizar 3 modelos de calibración diferentes. Estos tres modelos se diferencian por los rangos que se establecen en cuanto a las variables: media de la diferencia normalizada y diferencia de superficie de ocupación. Al igual que en el caso del mapa de cambios, los rangos deben ser excluyentes para evitar solapes. En algún caso se opta por ajustar los rangos en favor de una clase y en otros casos se favorecen las otras, pero siempre con la máxima de realizar este procedimiento de manera cerciorada y racional para obtener unos resultados admisibles. Es imposible ajustar todas las clases con un error ínfimo, así que hay que tomar decisiones que afecten al resultado final.

Una vez completado el proceso de establecer los modelos, hay que comprobar cuál es el que más se adapta a las exigencias establecidas. Para ello, la mejor forma de saber estadísticamente cuál es el modelo preferible para la validación, es la construcción de matrices de confusión. Una matriz de confusión es una herramienta que se utiliza para evaluar modelos de clasificación y permite obtener resultados de fiabilidad global, errores a los que se enfrenta el usuario o errores asignados al productor.

La última fase de la metodología empleada consiste en realizar una validación del mejor método determinado en pasos anteriores. Es necesario volver a realizar el trabajo de campo para obtener nuevas parcelas de las distintas clases reales y no utilizadas en el proceso de calibración, que permitan calcular otra vez la fiabilidad del método. Aplicado el modelo, se repite el proceso de construcción de la matriz de confusión que determina el grado de acierto o error que tendrá el método finalmente. El resultado proviene de la cantidad de parcelas de validación que el método consigue discriminar. Las 35 parcelas exentas de clasificación han sido localizadas mediante el trabajo de campo, aunque su clase se ha determinado posteriormente mediante la comparación entre las ortofotos y la capa de la diferencia normalizada. Terminado el estudio, se puede confirmar que es posible determinar parcelas SC sin necesidad de trabajo de campo.

## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.1 MODELOS DIGITALES

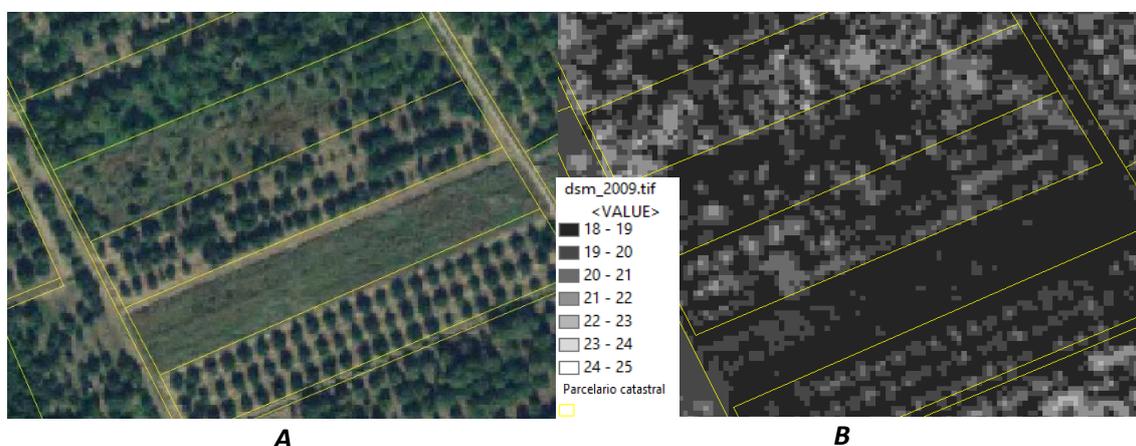
Como se ha comentado con anterioridad, es necesario evaluar la precisión altimétrica de los MDS generados a partir de los datos LiDAR, tomando 56 puntos de control. En este caso, se ha realizado un ajuste entre los MDS 2009 y 2015, calculando la diferencia de altura de cada punto en los dos años y sacando el promedio global. Se presentan puntos con una diferencia negativa.

Tanto el promedio de la diferencia entre los puntos en zonas estables del año 2015 y 2009 a partir de los MDS, como el promedio de los *terrain* (puntos negativos) presentan valores despreciables. Esto permite que no se tengan que ajustar ni corregir los MDS posteriormente, por lo que se prosigue con el método sin incidencias de este tipo. Los resultados de este procedimiento se presentan a continuación (Tabla 1), en forma de tabla resumen con los estadísticos obtenidos.

**Tabla 1.** Estadísticos precisión altimétrica MDS.

	Nº PUNTOS	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	SD
MDS ráster	56	-0,243	0,631	0,031	0,160
<i>Terrain</i>	30	-0,203	-0,006	-0,088	0,057

La siguiente imagen representa otra muestra de los resultados obtenidos en la generación del MDS. La comparación entre la ortofoto y el archivo ráster que contiene el modelo digital permite visualizar los árboles en ambas capas, confirmando una representación digital que se ajusta a la realidad (Figura 11).



**Figura 11.** "A" Ortofoto; "B" MDS ráster.

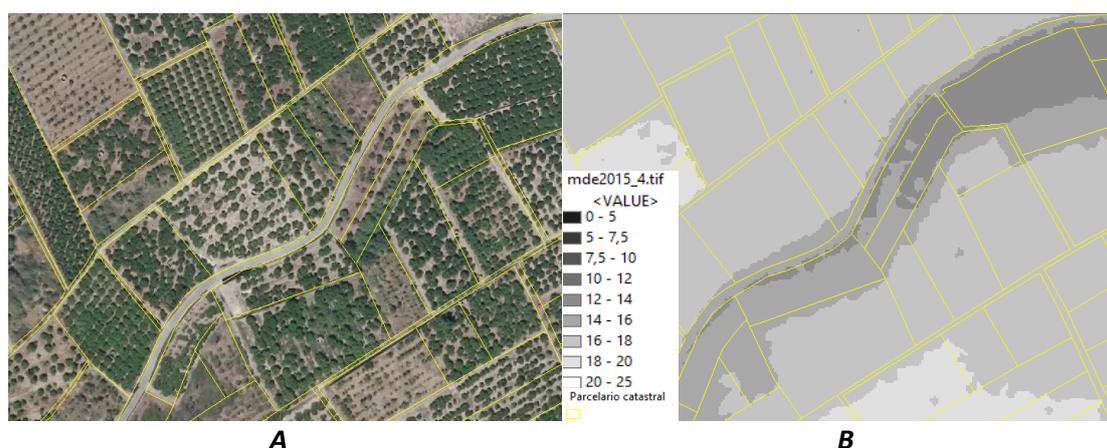
Por otro lado, con los MDE también se ha realizado un ajuste de la precisión altimétrica. El ajuste entre los MDE 2009 y 2015 sigue un procedimiento diferente al anterior, que se explica en el apartado de metodología. En esta ocasión se presentan tres tipos de resolución de pirámide, entre las cuales hay que escoger la que más se adapte a las exigencias impuestas. Una vez realizado el análisis de estos puntos de control y determinado el promedio de errores, se verifica que el MDE con el menor promedio de error respecto a la cota real es el de ventana de resolución 4 m tanto para el año 2009 como para el año 2015. Como en el caso anterior, se presenta una tabla resumen con los resultados estadísticos del proceso (Tabla 2), según la resolución de pirámide escogida para generar el MDE.

**Tabla 2.** Estadísticos precisión altimétrica MDE. Errores respecto a cota real (LAS).

AÑO	NIVEL DE RESOLUCIÓN	MÍNIMO	MÁXIMO	PROMEDIO	SD
2009	4 m	-0,005	0,505	0,094	0,112
	6 m	-0,005	0,544	0,108	0,112
	8 m	-0,008	0,544	0,128	0,126
2015	4 m	-0,007	0,812	0,092	0,116
	6 m	0,001	0,851	0,113	0,128
	8 m	0,002	0,854	0,133	0,139

Las ventanas de resolución superiores a 4, presentan mayor error respecto a la cota real debido a que toman menos puntos de base para transformar las alturas en modelos de elevación del terreno (1 punto cada 36 m<sup>2</sup> en el caso de la pirámide de 6 m, y 1 punto cada 64 m<sup>2</sup> en el caso de la pirámide de 8 m). Lógicamente, si la ventana de resolución es superior, la resolución del modelo digital será menor. De todas formas era necesario comprobarlo, ya que teniendo en cuenta las características homogéneas del terreno que permiten utilizar pirámides con tamaños más elevados se podía optar por una resolución más baja sin que afectara a los resultados finales. En contraste, se deben descartar en este estudio pirámides menores a 4 m dado que se podrían seleccionar puntos de vegetación para calcular el MDE.

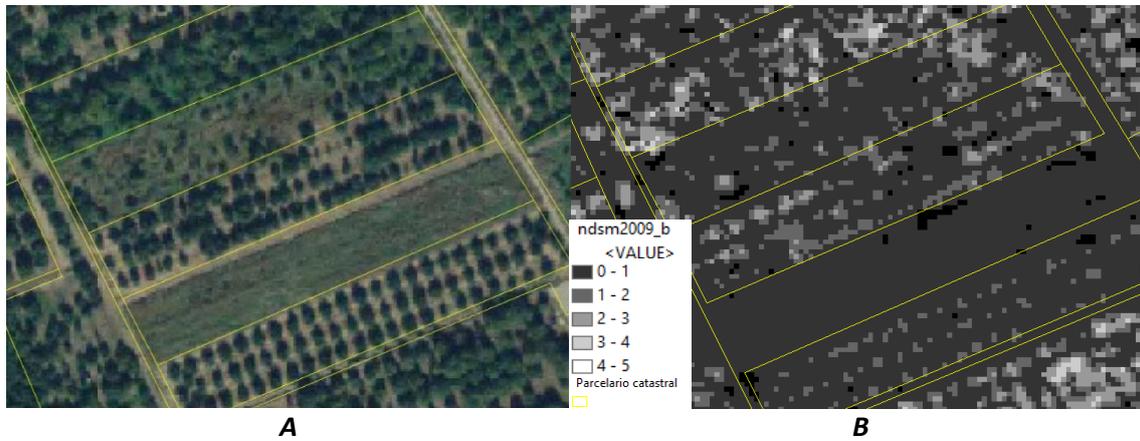
Se aporta el resultado del MDE en formato imagen. La comparativa entre ortofoto y archivo ráster (Figura 12), ayuda a visualizar y entender los resultados de la representación digital de la elevación del terreno. Las zonas más oscuras pertenecen a partes del terreno con menor altura, coincidiendo en este caso con el “barranc de Sotaia”. Por tanto, es palpable una buena representación de la realidad.



**Figura 12.** “A” Ortofoto; “B” MDE ráster.

Una vez realizadas las operaciones pertinentes mediante álgebra de mapas para la obtención del MDSn, se aporta como resultado otra imagen comparativa entre ortofoto y archivo generado (Figura 13). Se pueden observar los árboles repartidos por el terreno de forma muy clara,

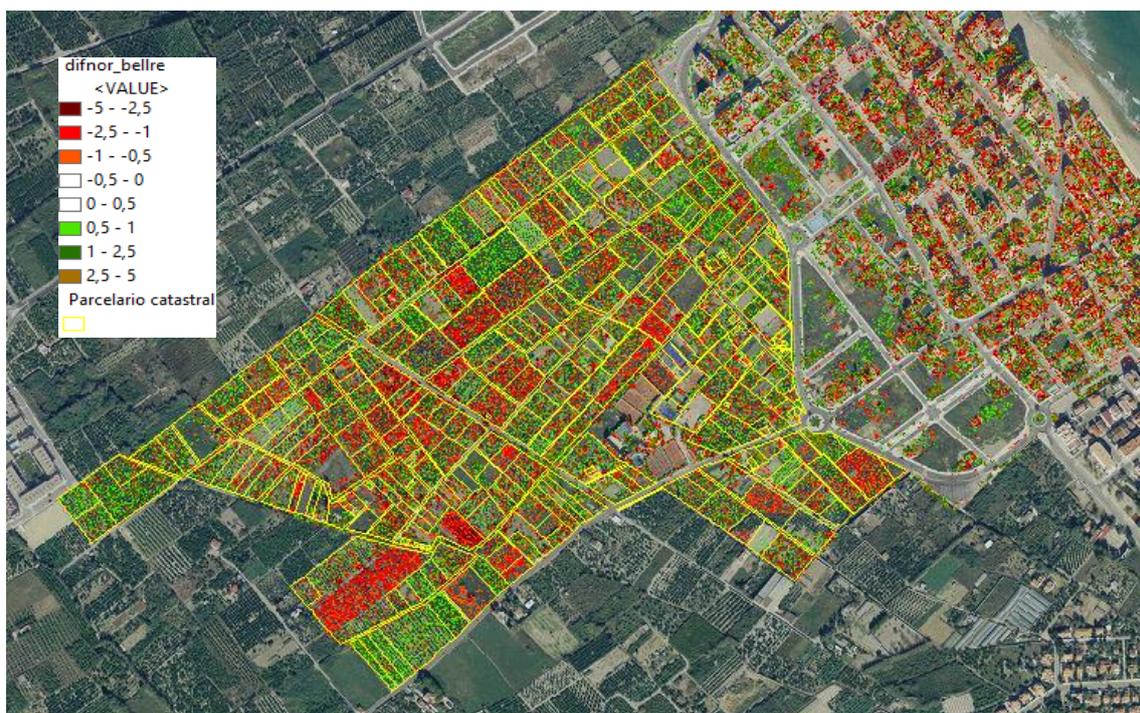
albergándose en el archivo, la altura real de cada uno de éstos. Por otro lado, la parcela sin cultivar se diferencia de las que se encuentran en producción, confirmando una buena apreciación de lo que ha sucedido en estos 6 años por parte del modelo.



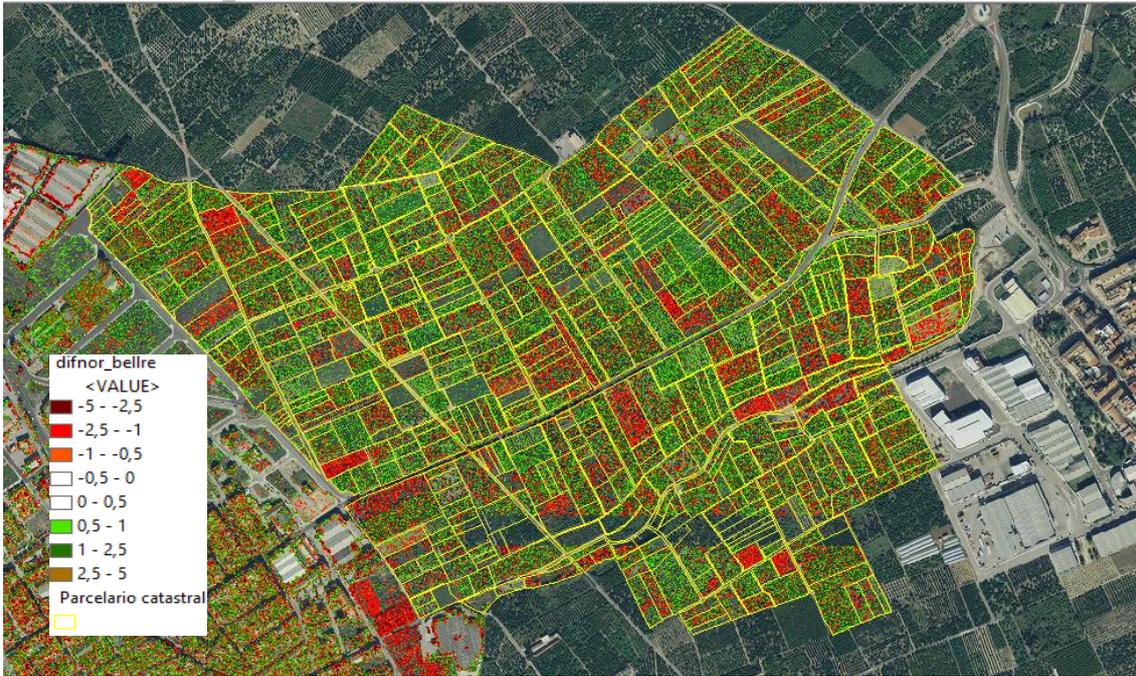
**Figura 13.** “A” Ortofoto; “B” MDSn.

El resultado de la diferencia normalizada calculada se presenta a partir de las siguientes imágenes. Para su mejor visualización se ha modificado la rampa de color, descrita en la leyenda asociada.

El análisis visual de los resultados de la diferencia normalizada muestra diferentes cambios en la vegetación por todo el término, aunque también existen parcelas en las que apenas se han producido cambios. Generalmente, los cambios que se producen en una parcela son totalmente independientes de las parcelas restantes, por lo que es destacable el marcado carácter heterogéneo de la zona de estudio en cuanto a los cambios en la altura de la vegetación. Se añade tanto el resultado obtenido en A1 (Figura 14), como en A2 (Figura 15). También se muestra una imagen de detalle en la que se aprecia mejor el resultado (Figura 16).



**Figura 14.** Capa resultado diferencia normalizada. A1.



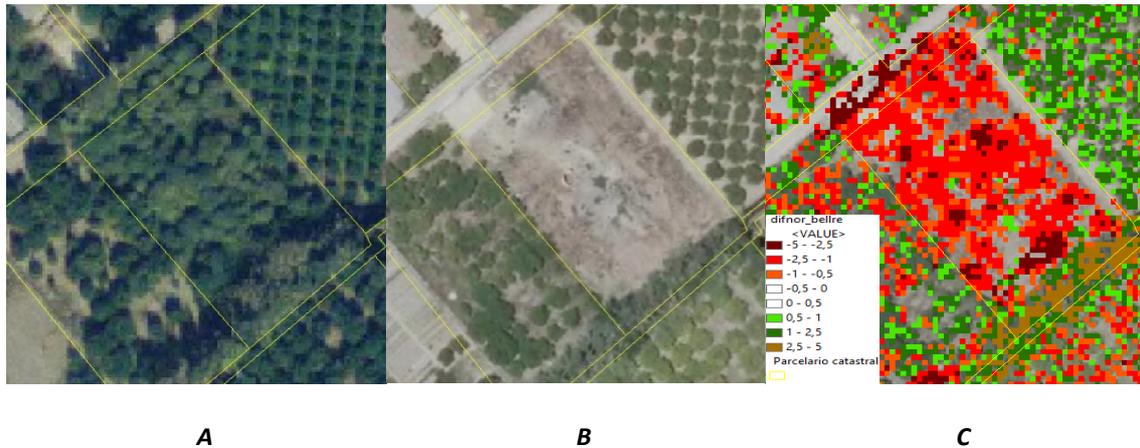
**Figura 15.** Capa resultado diferencia normalizada. A2.



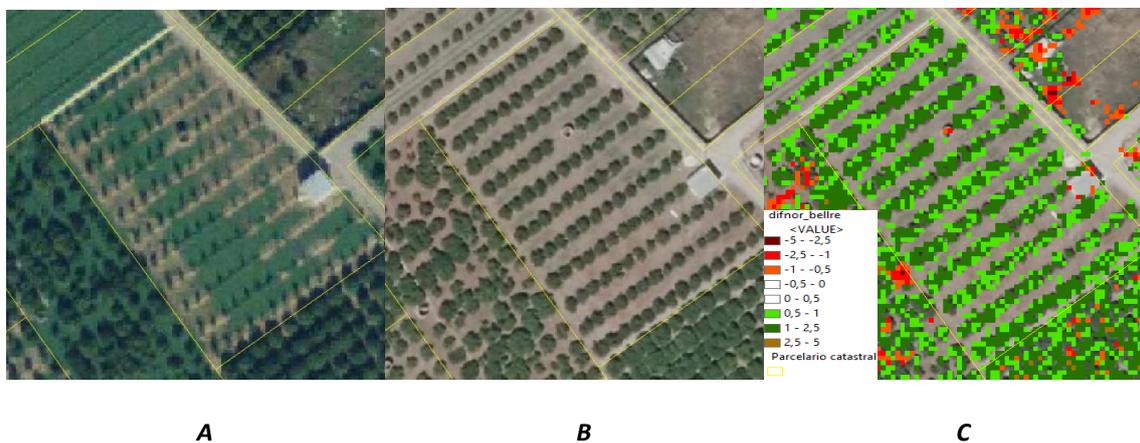
**Figura 16.** Detalle de la capa resultado diferencia normalizada. Zona A1.

Por último, se muestran tres figuras que representan algunos de los cambios habituales que se producen en parcelas entre el 2009 y el 2015. Se ha optado por añadir una situación en la que la vegetación haya descendido tras la tala del cultivo (Figura 17), otra en la que se haya producido un aumento de vegetación (Figura 18) propio de parcelas que se encuentran en producción, y una tercera posibilidad en la que no se producen cambios, intrínseca de las parcelas abandonadas antes del 2009 (Figura 19). Existe una clara diferencia entre un tipo de parcela y otra, aunque hay que ser consciente de que existen muchas posibilidades intermedias

entre estos tres tipos (se puede comprobar en la Figura 16). Recordar que los aumentos o los descensos de vegetación tienen que ver con la altura y con la superficie de ocupación.



**Figura 17.** Detalle parcelas descenso de vegetación. “A” corresponde a la ortofoto de 2009 y “B” a la de 2015. “C” es la capa de la diferencia normalizada.



**Figura 18.** Detalle parcelas aumento de vegetación. “A” corresponde a la ortofoto de 2009 y “B” a la de 2015. “C” es la capa de la diferencia normalizada.



**Figura 19.** Detalle parcelas sin cambios. “A” corresponde a la ortofoto de 2009 y “B” a la de 2015. “C” es la capa de la diferencia normalizada.

Esta capa de diferencia normalizada contiene los datos más relevantes de todo el estudio, ya que a partir de ellos se establecen los rangos del mapa de cambios y los modelos de calibración y validación. Aparentemente, se puede observar que el resultado del procedimiento seguido responde bien en términos generales, ya que se adapta bastante a los cambios en la vegetación.

## 6.2 MAPA DE CAMBIOS

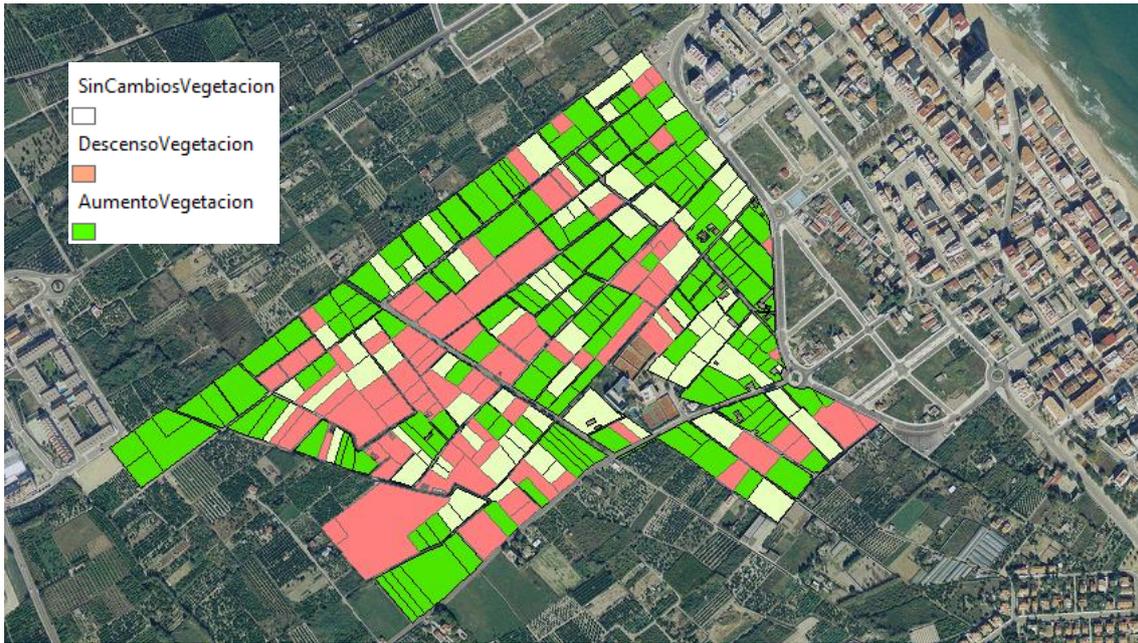
Los valores tomados para el mapa de cambios se presentan a continuación (Tabla 3). La variable escogida para clasificar los distintos tipos de cambio es la media de la diferencia normalizada obtenida en apartados anteriores (Uniones espaciales y de tablas), que como se puede observar, presenta rangos excluyentes. El resultado muestra a priori la tendencia general de las parcelas de pertenecer a una clase o a otra que más adelante se determina en el proceso de calibración. Se añade el número de parcelas en las que se produce dicho cambio.

**Tabla 3.** Parámetros y resultados del mapa de cambios.

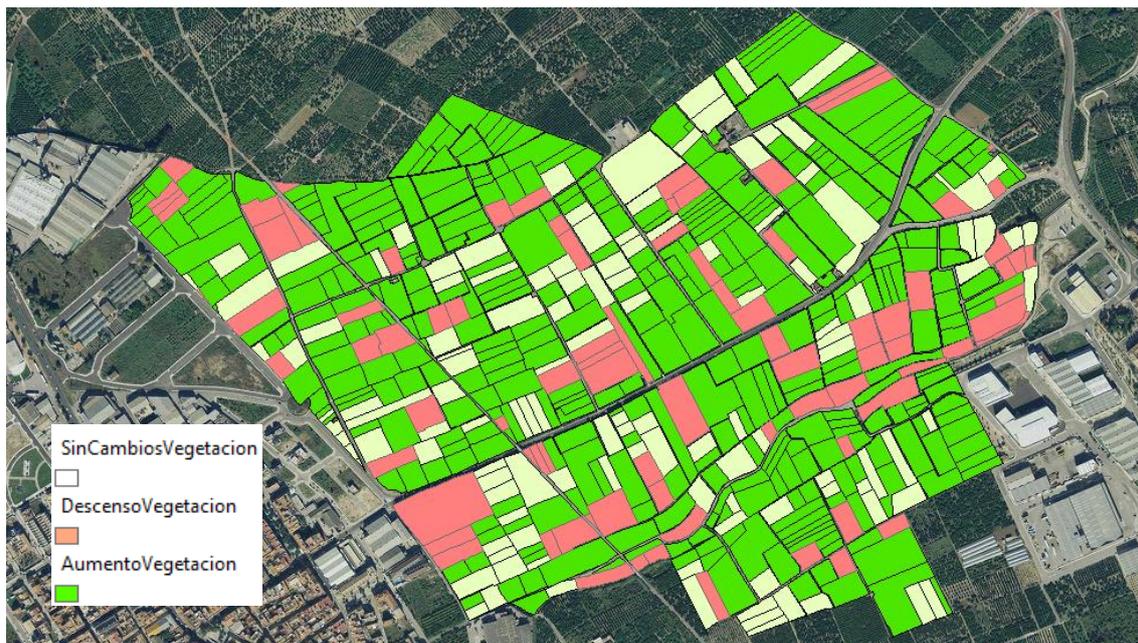
CAMBIO ALTURA VEGETACIÓN	MEDIA DIF. NORMALIZADA	Nº PARCELAS
Aumenta	$> 0,1$	567
Sin cambios	$(-0,1 ; 0,1)$	210
Desciende	$< -0,1$	176

Como era de esperar, de las 953 parcelas rústicas presentes en el término de Bellreguard, se ha producido un aumento de vegetación en la mayoría de ellas (60% de las parcelas aproximadamente). Es un porcentaje bastante elevado, pero tras lo visto en el trabajo de campo no se justifica del todo a la realidad ya que este porcentaje debería ser todavía más alto. Tras analizar los resultados, se observa como en la clase "Sin Cambios" que cuenta con alrededor de un 22% de las parcelas, se han asignado más parcelas de las que debería. Aunque hay que tener en cuenta que "Sin cambios" está formado por un intervalo que tiene en cuenta una pequeña fracción de descensos de vegetación y otra fracción de aumentos, pudiendo modificar sobre todo los resultados finales de las parcelas en las que aumenta la altura media (o parcelas tendentes a ser de la clase PRD). El descenso de vegetación queda representado en un 18% de los campos, siendo la mayoría susceptibles a pertenecer a la clase AYT, aunque también hay que tener en cuenta que aquí también pueden entrar parcelas en las cuales se han producido podas cercanas a 2015 o parcelas en las que se haya talado para volver a replantar, por lo tanto el porcentaje aumenta. Este tipo de errores ya se han comentado en la metodología que podrían aparecer, aunque se asumen, ya que actualmente no se encuentra solución a este problema.

También se aporta el mapa de cambios generado, en el que se observan las variaciones en la altura de la vegetación según la clasificación anteriormente realizada (Figuras 20 y 21). Las parcelas de color verde corresponden a parcelas en las que la vegetación ha aumentado en estos seis años. Las de color blanco son parcelas donde no se han producido apenas cambios en la altura media de la vegetación. Por último, las marcadas con color rojo han sufrido un descenso de altura del cultivo. Visualmente se puede apreciar que en A1 el número de parcelas "SC" es demasiado elevado.



**Figura 20.** Mapa de cambios, evolución de la vegetación. A1.



**Figura 21.** Mapa de cambios, evolución de la vegetación. A2.

### 6.3 MODELOS DE CALIBRACIÓN

Se construyen tres modelos de calibración para encontrar el que presente mejores resultados de fiabilidad, cada uno con diferentes valores asignados a sus rangos. Las clases catalogadas anteriormente son tres (teniendo en cuenta la eliminación de las parcelas SC por estar abandonadas antes de 2009) y el objetivo es que todas las parcelas existentes sean clasificadas por una clase o por otra. Para ello, hay que haber realizado el trabajo de campo previamente, y

en este caso se han localizado un total de 91 parcelas de calibración (17 AYT, 40 AST y 34 PRD) y 35 parcelas eliminadas del estudio pertenecientes a la clase SC.

Los valores tomados para los modelos de calibración se muestran en las siguientes tablas, que contienen los rangos de los modelos 1 (Tabla 4), 2 (Tabla 5) y 3 (Tabla 6). Las variables escogidas para clasificar las clases de parcelas es la media de la diferencia normalizada y la diferencia en la superficie de ocupación. Se toman dos variables que se consideran muy relevantes con la intención de obtener una buena discriminación entre parcelas

**Tabla 4. Modelo de calibración 1.**

CLASE REAL	MEDIA DIF. NORMALIZADA	DIFERENCIA SUP. OCUPACIÓN (%)
AYT	< - 0,25	< - 4
AST	(- 0,6 ; 0) <sup>1</sup> OR (> - 0,25) <sup>2</sup>	(- 4 ; 22) <sup>1</sup> OR (- 36 ; - 4) <sup>2</sup>
PRD	> 0	> - 4

**Tabla 5. Modelo de calibración 2.**

CLASE REAL	MEDIA DIF. NORMALIZADA	DIFERENCIA SUP. OCUPACIÓN (%)
AYT	< - 0,1	< - 10
AST	(- 0,5 ; 0,1) <sup>1</sup> OR (> - 0,1) <sup>2</sup>	(- 10 ; 22) <sup>1</sup> OR (- 31 ; - 10) <sup>2</sup>
PRD	> 0,1	> - 10

**Tabla 6. Modelo de calibración 3.**

CLASE REAL	MEDIA DIF. NORMALIZADA	DIFERENCIA SUP. OCUPACIÓN (%)
AYT	< - 0,15	< - 15
AST	(- 0,15 ; 0,2)	(- 17 ; 28)
PRD	(≥ 0,2) <sup>1</sup> OR (< - 0,15) <sup>2</sup>	(> -15) <sup>1</sup> OR (- 15 ; 3'5) <sup>2</sup>

Una vez se tienen los tres modelos construidos hay que corroborar cuál de los tres presenta una mayor fiabilidad discriminando clases de parcelas agrícolas, con respecto a las parcelas de calibración. Se muestra el número de parcelas de calibración por clase (Tabla 7), datos necesarios para el siguiente proceso. Las matrices de confusión ofrecen información estadística al respecto, respaldando la decisión tomada. Además, se estima el coeficiente kappa que mide la influencia del azar. A continuación, se exponen los resultados de dichas matrices para valorarlos posteriormente:

**Tabla 7. Parcelas de calibración por clases.**

Total Parcelas AYT:	17
Total Parcelas PRD:	34
Total Parcelas AST:	40
Total Parcelas insitu:	91

**Tabla 8. Matriz de confusión modelo de calibración 1.**

		CLASE REAL			Σ	Fiabilidad usuario (%)
		AYT	PRD	AST		
CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO	AYT	13	3	4	20	65,00
	PRD	0	27	21	48	56,25
	AST	4	4	15	23	65,22
	Σ	17	34	40	55	
Fiabilidad productor		76,47	79,41	37,50		

Fiabilidad global (%)	60,44
Coefficiente Kappa	0,39

**Tabla 9.** Matriz de confusión modelo de calibración 2.

		CLASE REAL			$\Sigma$	Fiabilidad usuario (%)
		AYT	PRD	AST		
CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO	AYT	16	5	3	24	66,67
	PRD	0	24	14	38	63,16
	AST	1	5	23	29	79,31
	$\Sigma$	17	34	40	63	
Fiabilidad productor		94,12	70,59	57,50		

Fiabilidad global (%)	<b>69,23</b>
Coeficiente Kappa	<b>0,53</b>

**Tabla 10.** Matriz de confusión modelo de calibración 3.

		CLASE REAL			$\Sigma$	Fiabilidad usuario (%)
		AYT	PRD	AST		
CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO	AYT	15	2	1	18	83,33
	PRD	1	22	14	37	59,46
	AST	1	10	25	36	69,44
	$\Sigma$	17	34	40	62	
Fiabilidad productor		88,24	64,71	62,50		

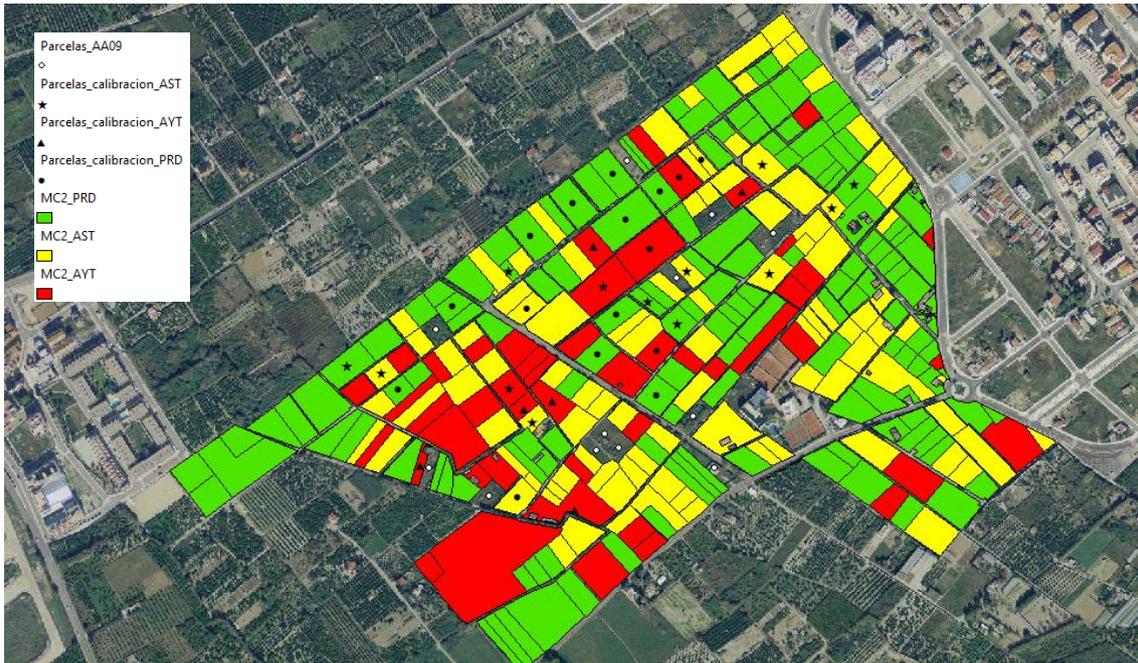
Fiabilidad global (%)	<b>68,13</b>
Coeficiente Kappa	<b>0,50</b>

Tras realizar los cálculos estadísticos se observa que el modelo 2 (Tabla 9) es el que más se adapta a las exigencias pretendidas, ya que posee una fiabilidad global cercana al 70% y el mejor coeficiente Kappa de los tres modelos. De las 91 parcelas el número de aciertos es 63. Aunque el modelo 3 (Tabla 10) genera resultados parecidos, se seleccionó el modelo 2. En el modelo 3 se da prevalencia a las parcelas AST sobre las parcelas PRD. Como ya se ha comentado con anterioridad, las parcelas AST y PRD son muy complicadas de distinguir en base a datos LiDAR, por lo que en un modelo se ha dado preferencia a una clase y en el otro modelo a otra. Esto significa que aunque se acierten más parcelas, se estén produciendo mayores errores, ya que un número bastante considerable de parcelas de la zona de estudio aparecen como AST cuando la realidad es que son PRD. Por lo tanto, en la búsqueda del equilibrio entre aciertos y errores, el modelo por el que se opta es el número 2. Por otro lado, el modelo 1 (Tabla 8) presenta una fiabilidad y un coeficiente Kappa más bajos, por lo que se desprecia directamente.

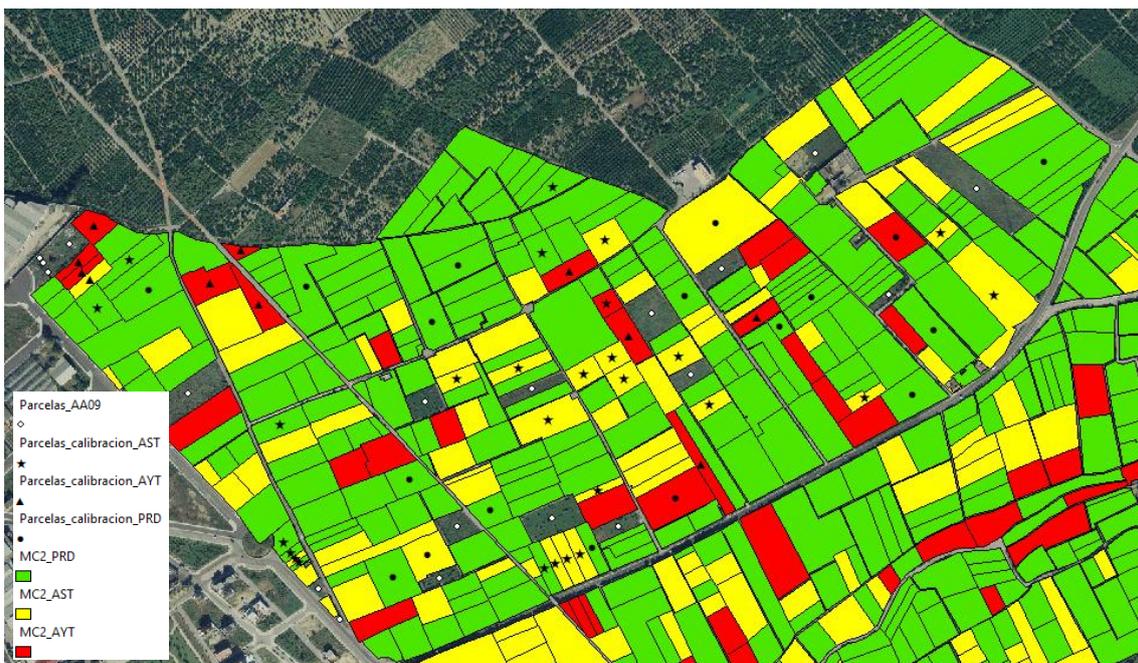
La fiabilidad del productor hace referencia a la cantidad de parcelas de calibración reales de una clase que es capaz de discriminar el método. En términos generales las parcelas AYT son las que mejores resultados presentan, confirmando lo que se viene comentando durante el estudio que el problema se encuentra en las AST y PRD. El modelo que se ha escogido presenta una fiabilidad del productor destacable en parcelas AYT, pero en PRD y AST existe margen de mejora.

En cuanto a la fiabilidad del usuario, adaptando el concepto a este estudio, se podría definir como la cantidad de parcelas reales de todas las clases que discrimina una clase del método. Cometiendo de esta manera errores por comisión (señala más parcelas de las que debería). Este parámetro estadístico tiene niveles más moderados en el modelo 2 que se toma para validar. La clase AST presenta los mejores resultados en este caso, y las clases AYT y PRD mantienen resultados aceptables.

Con el objetivo de poder darle sentido visual a todo esto, se muestran dos imágenes que representan las dos zonas (A1 y A2) que componen el término de Bellreguard. Se observa la clasificación realizada por el modelo (color base de la parcela) y si ha acertado o no (las entidades geométricas representan parcelas de calibración de clases reales), tanto en A1 (Figura 22) como en A2 (Figura 23). Los colores siguen la misma tónica que con anterioridad: PRD verde, AST amarillo y AYT rojo. Hay que recordar que las parcelas no asignadas a ninguna de las otras tres clases (parcelas sin color base), pertenecen a la clase “Abandonadas antes del 2009” y como ya se ha explicado, no son necesarias para determinar el grado de abandono agrícola en el intervalo de tiempo estudiado.



**Figura 22.** Detalle visual modelo calibración 2. A1.



**Figura 23.** Detalle visual modelo calibración 2. A2.

## 6.4 VALIDACIÓN Y FIABILIDAD DEL MÉTODO

Tras la aplicación del modelo 2 a las 70 parcelas de validación (Tabla 11), se obtiene la matriz de confusión asociada (Tabla 12), que muestra una fiabilidad global del 70% tras el acierto de 49 parcelas. Esta fiabilidad ha aumentado ligeramente con respecto a la fiabilidad obtenida en la calibración, aunque se podría afirmar que se mantiene en los mismos valores. Lo mismo ocurre con el coeficiente Kappa que ha aumentado sutilmente hasta un valor de 0,55. Por tanto, también se encuentra en un valor aproximado al obtenido en la calibración.

**Tabla 11.** Parcelas de validación por clases.

Total Parcelas AYT:	17
Total Parcelas PRD:	12
Total Parcelas AST:	41
Total Parcelas insitu:	70

**Tabla 12.** Matriz de confusión modelo de validación.

		CLASE REAL			Σ	Fiabilidad usuario (%)
		AYT	PRD	AST		
CLASIFICACIÓN DEL MÉTODO	AYT	16	0	2	18	88,89
	PRD	0	11	17	28	39,29
	AST	1	1	22	24	91,67
	Σ	17	12	41	49	
Fiabilidad productor		94,12	91,67	53,66		

Fiabilidad global (%)	70,00
Coeficiente Kappa	0,55

El valor del coeficiente Kappa debe estar próximo a 1, lo que indicaría que la bondad de los resultados no está asociada a factores aleatorios (Tabla 13). Por lo que se observa en los resultados de la validación, la acción del azar ha descendido levemente tras aplicar el método, aunque se mantiene en valores parecidos. Según la clasificación realizada por Landis y Koch en 1977, la fuerza de la concordancia ligada a la metodología de este estudio es moderada.

**Tabla 13.** Valoración del coeficiente Kappa según Landis y Koch.

Coeficiente kappa	Fuerza de la concordancia
0,00	Pobre ( <i>Poor</i> )
0,01 - 0,20	Leve ( <i>Slight</i> )
0,21 - 0,40	Aceptable ( <i>Fair</i> )
0,41 - 0,60	Moderada ( <i>Moderate</i> )
0,61 - 0,80	Considerable ( <i>Substantial</i> )
0,81 - 1,00	Casi perfecta ( <i>Almost perfect</i> )

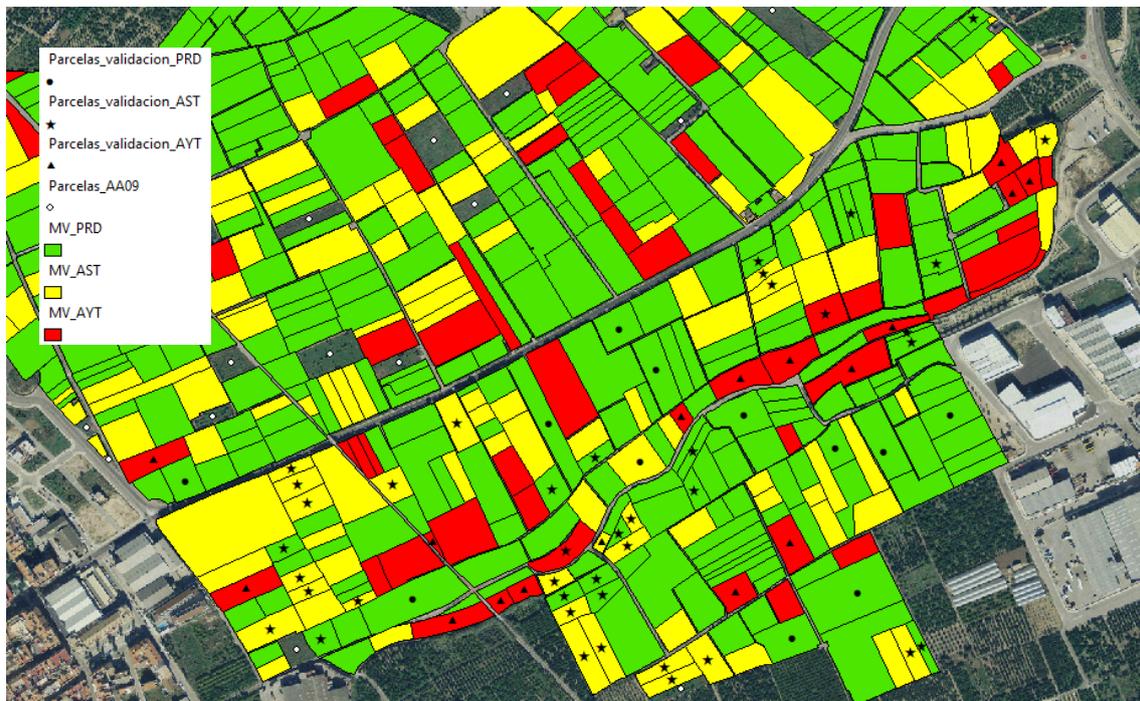
Obtener un 70% de fiabilidad global es un dato muy positivo tras la cantidad de inconvenientes que han surgido durante la realización de este estudio. A priori, antes de empezar, se esperaban fiabilidades que rondaban el 50%, así que este resultado se da por bueno pudiéndose mejorar a partir de otras acciones o procesos que se exponen en el apartado de conclusiones.

La fiabilidad del productor es excelente en las clases AYT y PRD, debido a que este modelo da prevalencia a la clase PRD. La clase AYT es fácil de discriminar por los descensos acusados de vegetación, aunque esta clase presenta dificultades para diferenciar entre parcelas taladas y

abandonadas o parcelas taladas y replantadas, en el caso de que en 2015 la replantación no haya crecido lo suficiente. En cuanto a la fiabilidad del productor de AST, hay que decir que eran valores esperables al dar preferencia a las PRD.

Por lo que respecta a la fiabilidad del usuario se debe continuar destacando la clase AYT, que aparte de clasificar la clase real con efectividad, consigue no clasificar otras clases de parcelas reales en demasía, por lo que el valor de este parámetro es alto. Otro aspecto para destacar bastante sorprendente es la fiabilidad del usuario que presenta AST, que no consigue determinar todas las parcelas reales de su clase pero tampoco clasifica otras en la suya, poseyendo así un valor excelente de fiabilidad del usuario. En relación a la clase PRD, clasifica un número excelente de parcelas de su clase pero también de otras (sobre todo AST), presentando valores bajos en este aspecto.

También se presenta como en el caso anterior, el detalle de la validación realizada en la zona de estudio (Figura 24). La validación se realizó en un área que supone la 1/3 parte del término, estando situada en la mitad Sur de A2. La leyenda continúa siendo la misma que antes. Recordar que para interpretar bien la imagen, hay que tener en cuenta el color base de la parcela (clasificación método) y la entidad geométrica que se sitúa sobre ella (parcela de clase real).



**Figura 24.** Detalle visual validación.

Los resultados finales del método respecto al abandono dan motivos para continuar desarrollando esta metodología, aportando nuevas ideas y procesos que puedan mejorarlo. Después de realizar el trabajo de campo (que representa el abandono real) por el 90% del territorio y teniendo en cuenta todas las clases de abandono (incluyendo las abandonadas antes de 2009), se ha confirmado la existencia de alrededor de 195 parcelas en situación de abandono de las 950 que existen aproximadamente (un 21% de las parcelas), lo que aglutina una cantidad total de alrededor de 21 hectáreas de las 1.400 de la zona de estudio (1,5% de superficie abandonada). Tras el estudio, se demuestra que en el caso concreto de esta localidad es más destacable el número de parcelas abandonadas que la superficie ocupada por ellas, aunque estos resultados pueden variar dependiendo de las características de las parcelas o del modelo

productivo, entre otros. Las parcelas con la clase de abandono más habitual son las AST, siendo lógico, ya que la tala cuesta dinero y si la opción es abandonar el campo suele no importar dejar el campo así, provocando problemas por riesgo de incendios o refugio y comida para fauna.

## 7. CONCLUSIONES

En este último apartado del estudio se exponen las consideraciones finales haciendo un recorrido por diferentes fases del proyecto.

Las tierras agrícolas tienen un aspecto de multifuncionalidad latente, el cual debe servir para proporcionar servicios como la producción de bienes, pero también hay que tener en cuenta lo que proporcionan a este tipo de ecosistemas, a los que culturalmente se encuentra ligado el hombre desde tiempos remotos.

Por lo tanto, desde este estudio se expone el problema del abandono de parcelas agrícolas para intentar paliar sus consecuencias ambientales, culturales o económicas, pero siendo consciente de que la solución al abandono no eliminaría problemas como los ambientales. En este aspecto se realiza esta afirmación, por la cantidad de problemas que ocasiona la agricultura intensiva al medioambiente (plaguicidas, herbicidas, exceso de fertilizantes, etc.). Por lo tanto, se hace necesario que la actividad agraria retome niveles de hace unas décadas (o al menos que no continúe sufriendo esta situación), pero igualmente es necesario que se cambie la percepción de la agricultura intensiva y se intente transformar cada vez más en un tipo de agricultura más respetuosa con su entorno.

En cuanto a la metodología seguida durante el estudio cabe destacar los resultados finales de fiabilidad que ronda el 70% de acierto, siendo un método más aceptable para parcelas abandonadas y taladas. A partir de estos resultados surgen algunos aspectos mejorables o líneas de investigación que se pueden desarrollar en el futuro.

Un punto importante que se ha detectado es que la media de la diferencia normalizada es una operación que el programa realiza de todos los puntos presentes en la parcela, es decir, tanto los que pertenecen a árboles como los que pertenecen al suelo. Esto modifica los resultados pero se puede adaptar a ellos ya que no produce diferencias insalvables. En este sentido se ha intentado trabajar con las capas de superficie de ocupación (que tienen los puntos del suelo como "Sin datos"), pero también creó problemas, ya que al contar tan sólo con los puntos superiores a una altura de 0,5 metros, los márgenes de *Arundo donax* tienen una incidencia muy superior en la media calculada (si se realiza una operación con todos los puntos de la parcela, este tipo de errores se suavizan) alterando los valores de forma brusca. Como solución a este problema, aunque no se ha aplicado al proyecto por cuestiones de carga de trabajo y tiempo, se puede realizar un buffer de 5 metros aproximadamente tomando la capa de parcelas catastrales con el objetivo de eliminar cualquier incidencia de los márgenes en el cálculo de la media de la altura de la parcela.

Hay que destacar la importancia que pueden tener los SIG y la teledetección en problemas de este tipo. Se consiguen automatizar muchos procesos que sirven para conseguir los objetivos pretendidos. Aún así es necesario mejorar la metodología, ya que se hace completamente imprescindible el trabajo de campo, algo que este estudio ha pretendido disminuir debido a que son técnicas que ya se utilizan actualmente, pero tras su realización, la realidad es que todavía es muy necesario. Este aspecto va ligado a la fiabilidad del método, porque si se consigue aumentarla el trabajo de campo va a ser menos importante. La intención no es eliminar el trabajo de campo, si no disminuir la importancia de éste en el desarrollo del método. La

consecución de todas estas consideraciones aumentaría la rapidez con la que se realizan las encuestas de superficie cultivada, eliminando una gran cantidad de horas dedicadas al trabajo de campo.

Por último, es muy importante el papel que puede tener la teledetección satelital en el desarrollo de este tipo de métodos. Este proceso trabaja con índices de vegetación y reflectancias que se adaptan muy bien a la cantidad de clorofila de la vegetación, a partir de longitudes de onda en la región del infrarrojo cercano. Esto sería muy útil para mejorar los resultados que en este proyecto se presentan como debilidad, como la discriminación entre parcelas PRD y AST; ya que la altura no es un factor determinante para diferenciar entre unas y otras, pero la cantidad de clorofila que poseen podría serlo. Una parcela PRD va a ser muy fácil de diferenciar de una AST a partir de este método, porque las parcelas AST como ya se ha comentado, presentan poca superficie foliar en un estado bastante débil en muchos casos y las PRD son parcelas sanas en general, donde los niveles de clorofila son mucho más altos. Un estudio conjunto con datos LiDAR e imágenes de satélite para discriminar tierras agrícolas abandonadas puede presentar resultados mejores que los obtenidos en este estudio, siendo una línea de investigación todavía por desarrollar. Este estudio no ha conseguido seguir con esta línea de investigación por la gran carga de trabajo que ha supuesto sólo el análisis y procedimiento de datos LiDAR.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Alberdi Collantes, J. C. (2009). Medio rural y abandono de la agricultura: desarrollo de un ejemplo, el caserío vasco.

AM Online Projects. (2019). Climate-data. Recuperado de <https://es.climate-data.org/europe/espana/comunidad-valenciana/bellreguard-179586/>

Barrós, D. M., Rodríguez, N. P., López, F. J. Ó., García, M. J. E., & Seoane, S. B. Identificación de tierras agrícolas abandonadas para su movilización productiva. Caso de Cal de Lemos (Galicia-España). *IV Seminario Internacional Brasil, Espanha e Portugal—Planejamento Territorial e Desenvolvimento Rural Sustentável: Tendência e Desafios/Diego Camelo Moreira, Natália Aragão de Figueredo, Roseni Aparecida de Moura—Palmas, TO. 2016. 201p.*

Belmonte Serrato, F., Romero Díaz, M. A., & López Bermúdez, F. (1999). Efectos sobre la cubierta vegetal, la escorrentía y la erosión del suelo, de la alternancia cultivo-abandono en parcelas experimentales. *Investigaciones geográficas, nº 22, 1999; pp. 95-107.*

Benayas, J. R., Martins, A., Nicolau, J. M., & Schulz, J. J. (2007). Abandonment of agricultural land: an overview of drivers and consequences. *CAB reviews: Perspectives in agriculture, veterinary science, nutrition and natural resources, 2(57), 1-14.*

Castro, A., Peña, J., García, L., & López, F. (2009). Discriminación de malas hierbas crucíferas en cultivos de invierno para su aplicación en agricultura de precisión. In *XIII Congreso de la Asociación Española de Teledetección Calatayud* (pp. 61-64).

Cerdà, A., Morera, A. G., Burguet, M., Baldo, V. A., Peñaloza, F. G., Orenes, F. G., & Pereira, P. (2012). El impacto del cultivo, el abandono y la intensificación de la agricultura en la pérdida de agua y suelo: el ejemplo de la vertiente norte de la Serra Grossa en el Este Peninsular. *Cuadernos de investigación geográfica, (38), 75-94.*

Conselleria d'Agricultura, Medi Ambient, Canvi Climàtic i Desenvolupament Rural de la Generalitat Valenciana, Direcció General de Medi Natural i Avaluació Ambiental. Estudio de revisión de zonas y cultivos declarados con sobrepoblación animal.

Corbelle Rico, E., & Crecente Maseda, R. (2008). El abandono de tierras: concepto teórico y consecuencias. *Revista Galega de Economía*, 17(2).

Estornell, J., Velázquez-Martí, B., López-Cortés, I., Salazar, D., & Fernández-Sarría, A. (2014). Estimation of wood volume and height of olive tree plantations using airborne discrete-return LiDAR data. *GIScience & Remote Sensing*, 51(1), 17-29.

García-Ferrer, A. (2013). Potencialidad y nuevas orientaciones en el uso de la teledetección en agricultura y silvicultura. *Ambienta: La revista del Ministerio de Medio Ambiente*, (105), 6-15.

Instituto Nacional de Estadística (INE). (2019). Censo Agrario. Recuperado de [http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica\\_C&cid=1254736176851&menu=ultiDatos&idp=1254735727106](http://www.ine.es/dyngs/INEbase/es/operacion.htm?c=Estadistica_C&cid=1254736176851&menu=ultiDatos&idp=1254735727106)

Kolecka, N., Kozak, J., Kaim, D., Dobosz, M., Ginzler, C., & Psomas, A. (2015). Mapping secondary forest succession on abandoned agricultural land with LiDAR point clouds and terrestrial photography. *Remote Sensing*, 7(7), 8300-8322.8

López-Granados, F. (2013). Uso de vehículos aéreos no tripulados (UAV) para la evaluación de la producción agraria. *ambienta*, (105), 40-52.

MAPAMA, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. (2004-2019). Encuesta sobre Superficies y Rendimientos de Cultivos en España, ESYRCE (N.I.P.O.: 013-17-120-0). Recuperado de [https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas/agrarias/boletin2017sm\\_tcm30-455983.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas/agrarias/boletin2017sm_tcm30-455983.pdf)

MAGRAMA, Secretaría General Técnica, Subdirección General de Estadística. (2019). Metodología de la Encuesta anual sobre superficies y rendimientos de cultivos en España. [https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/METODOLOG%C3%8DA%20DE%20LA%20ESYRCE\\_tcm30-122313.pdf](https://www.mapa.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticasagrarias/METODOLOG%C3%8DA%20DE%20LA%20ESYRCE_tcm30-122313.pdf)

Martínez Hernández, C., Cánovas García, F., Alonso Sarria, F., Romero Díaz, A., & Belmonte Serrato, F. (2013). Cartografía de áreas agrícolas abandonadas mediante técnicas de SIG y fotointerpretación. Comarcas de la huerta y Campo de Murcia y Alto Guadalentín. *Espacios insulares y de frontera, una visión geográfica*. Palma de Mallorca, Universitat de les Illes Balears, 393-403.

Martínez Pérez, J. E., Martín Martín, J., & Seva Román, E. (2000). Paisajes amenazados de la cuenca mediterránea: aplicación del SIG en el análisis de la dinámica de usos del territorio (1956-1998) en la Vall de Gallinera (Alicante-España). *Mediterránea. Serie de Estudios Biológicos, Época II, n. 17 (2000); pp. 51-60*.

Ministerio de Ciencia, Innovación y Universidades. (2019). Instituto Geológico y Minero de España (IGME), Servicios de mapas. Recuperado de <http://mapas.igme.es/Servicios/default.aspx>

Mitsikostas, E. (2017). *Monitorización y optimización de tierras con drones y fotogrametría aérea para aplicaciones de precisión en agricultura* (Doctoral dissertation).

Montealegre, A. L., de la Riva, J., Tanase, M. A., & Lamelas, M. T. (2017). *Estimación de la severidad en incendios forestales a partir de datos LiDAR-PNOA y valores de Composite Burn Index* (No. ART-2017-100559).

Pierce, F. J., & Nowak, P. (1999). Aspects of precision agriculture. In *Advances in agronomy* (Vol. 67, pp. 1-85). Academic press.

Presidència de la Generalitat Valenciana, Direcció d'Anàlisi i Polítiques Públiques. (2019). Portal de informació ARGOS. Recuperado de [http://www.argos.gva.es/bdmun/pls/argos\\_mun/DMEDB\\_MUNDATOSINDICADORES.DibujaPagina?aNMunId=46048&aNIndicador=2&aVLengua=C](http://www.argos.gva.es/bdmun/pls/argos_mun/DMEDB_MUNDATOSINDICADORES.DibujaPagina?aNMunId=46048&aNIndicador=2&aVLengua=C)

Ramis, A. C. (2012). *Disseny d'un banc de terres mitjançant aplicacions SIG a la zona PORN del Parc Natural del Montgó* (Doctoral dissertation).

Sánchez, E. C. (2008). *Estudio de tierras agrícolas abandonadas en ambiente mediterráneo semiárido: Vegetación, suelos y distribución espacial. Bases para la gestión* (p. 1). Universidad de Granada.

Sarría, F. A., Hernández, C. M., Serrato, F. B., & Carrillo, M. Á. F. (2016). Principales causas del abandono de cultivos en la Región de Murcia. In *Abandono de cultivos en la Región de Murcia: consecuencias ecogeomorfológicas* (pp. 203-226). Universidad de Murcia.

Tarragona, C. (2018). Nuevas tecnologías: ¿Para qué sirve la teledetección en agricultura?. *AIMCRA: Asociación de investigación para la mejora del cultivo de la remolacha azucarera*, (130), 36-37.

Velázquez-Martí, B., Estornell, J., López-Cortés, I., & Martí-Gavilá, J. (2012). Calculation of biomass volume of citrus trees from an adapted dendrometry. *Biosystems engineering*, 112(4), 285-292.

Wallace, L., Lucieer, A., Malenovský, Z., Turner, D., & Vopěnka, P. (2016). Assessment of forest structure using two UAV techniques: A comparison of airborne laser scanning and structure from motion (SfM) point clouds. *Forests*, 7(3), 62.

Zhang, N., Wang, M., & Wang, N. (2002). Precision agriculture—a worldwide overview. *Computers and electronics in agriculture*, 36(2-3), 113-132.