

ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

UNIVERSIDAD DE CANTABRIA



Trabajo Fin de Grado

**EVOLUCIÓN DE LA BIOMASA AGRÍCOLA
EN ESPAÑA, SU RELACIÓN CON EL USO
DE PESTICIDAS Y LOS PRINCIPALES
IMPACTOS AMBIENTALES**
(Evolution of agricultural biomass in Spain, its
link with the use of pesticides and main
environmental impacts)

Para acceder al Título de

Graduada en Ingeniería Química

Autor: Ana Carriedo Veci

Agradecimientos:

Recuerdo mi primera clase de Cálculo I, en la que hablaron de números complejos y yo solo pensaba, “¿qué será eso de la i ?”, sin tener ni idea de que era, raíz de menos uno. Esto resume mi sensación cuando empecé la universidad. Hasta 2014, a mis 25, ni me planteaba estudiar una carrera. Comencé tarde, sin una base matemática, sin tener ni idea de dónde me había metido y compaginándolo con una jornada laboral. Ha sido un gran esfuerzo y aprendizaje en muchos sentidos. Puedo decir que estudiar este Grado me ha cambiado la vida a mucho mejor, y por eso marca una etapa muy importante que nunca olvidaré. Por ello, no podía despedirme sin unas palabras dedicadas a todas las personas que me han acompañado en este camino tan duro y a la vez gratificante.

A la ETSIIT, en especial a mis tutores, Tamara Llano y Alberto Coz, por todo lo que me han enseñado, sus palabras de ánimo, el buen ambiente de trabajo que han creado y por valorarme cuando he hecho las cosas bien, haciéndome sentir que mi criterio también es importante. A mis compañeros de clase, con los que he pasado tantas horas en la biblioteca, el comedor de la facultad, y alguna que otra en la cafetería.

A la Escuela de Química y Electrónica, ya que fueron mis inicios en el mundo de la química, y gracias a los que decidí empezar el Grado, en especial a Víctor Ortiz, por haber sido un profesor magnífico, y después un gran amigo, y a Koldo Zubimendi, que no dudó de mí cuando le planteé la idea de empezar, dándome dos grandes consejos: “ponte a derivar como una loca y cómprate el Perry”, cuánta razón tenía.

A mis amigos, a los que han aparecido por el camino para quedarse, y a los de toda la vida. Ellos alucinaron cuando les dije que iba a empezar el Grado, pero nunca han dudado de mí. Se han casado y formado familias mientras yo pasaba horas en la biblioteca, sois geniales. Gracias por aguantarme estos años, en los que, entre el trabajo y los estudios, solía decir que no a casi todos los planes, muchas veces, incluso a una llamada de teléfono (Vero, nada puede con nosotras). Gracias por seguir llamando a pesar de todo.

Por último, a los de siempre, mi familia. A mi padre Jorge y mis hermanos, Jorge y Diego, por apoyarme siempre y todas las veces que me han dicho: “¡tú puedes con esto y con más!”, sin su apoyo, esto habría sido mucho más duro. A mis sobrinos Lucas y Miguel, por hacerme desconectar con sus sonrisas a pesar de la distancia. A mi segunda madre, Paqui, quien ha celebrado cada uno de mis aprobados como si fueran suyos. Por supuesto, a la mujer de mi vida, mi madre Agus, gracias por su apoyo y amor incondicional, por tragarse mis enfados, lloros y frustraciones, pero que no ha dudado de mí ni un momento, y que sé que está orgullosa de mí. ¡Lo he conseguido!

Índice general

1.	Introducción.....	1
1.1	El uso del suelo en España.	1
1.1.1	Cultivos.	1
1.2	Tipos de cultivos en España.	2
1.2.1	Cultivos herbáceos.	2
1.2.2	Cultivos permanentes.	3
1.3	Principales usos de la biomasa agrícola.	4
1.4	Principales organismos nocivos asociados a los cultivos de la península ibérica.	5
1.5	Impactos en los cultivos agrícolas.	6
1.5.1	Cambio climático.	6
1.5.2	Productos fitosanitarios. Pesticidas de uso agrícola.	9
2	Objetivo.....	11
3	Metodología.....	13
4	Resultados.....	18
4.1	Evolución del uso del suelo.	18
4.1.1	Cultivos herbáceos.	18
4.1.2	Cultivos permanentes.	22
4.2	Evolución del uso de productos fitosanitarios.	27
4.2.1	Toneladas de pesticidas usadas anualmente.	27
4.2.2	Rendimiento y análisis estadístico del uso de productos fitosanitarios.	28
4.3	Evolución de los factores que afectan al cambio climático.	31
4.3.1	Precipitaciones.	31
4.3.2	Temperaturas.	34
4.3.3	Emisiones de CO ₂ .	37
4.4	Influencia del uso de pesticidas y factores de cambio climático en la producción de los cultivos.	38

4.4.1 Relación de las especies de cultivos de interés con el uso de productos fitosanitarios.	39
4.4.2 Relación del rendimiento de los cultivos con el aumento de las temperaturas.	44
4.4.3 Relación entre las emisiones de CO ₂ y el uso de insecticidas.	47
5. Conclusiones.	49
6. Referencias.	52
ANEXO.	56

Índice de figuras

Figura 1. Evolución del uso de suelo cultivable en los últimos 30 años (elaboración propia).	2
Figura 2. Producción de cultivos herbáceos en 2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO): A. Producción en % por grupo de cultivo; B: Producción en toneladas por especie mayoritaria.....	3
Figura 3. Producción de cultivos permanentes en 2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO): A. Producción en % por grupo de cultivo permanente; B. Producción en toneladas por especie mayoritaria.....	4
Figura 4. Esquema de la metodología llevada a cabo para la revisión bibliográfica (elaboración propia).	13
Figura 5. Esquema de la metodología llevada a cabo para el análisis de resultados (elaboración propia).	15
Figura 6. Interpretación de un diagrama de cajas (elaboración propia).....	17
Figura 7. Distribución geográfica de los cultivos herbáceos en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.	19
Figura 8. Evolución de la producción de cultivos herbáceos en el periodo 1990-2019: A. Evolución por grupo de cultivo; B. Evolución por especie mayoritaria; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	19
Figura 9. Evolución del rendimiento de cultivos herbáceos por grupo de cultivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	20
Figura 10. Evolución del rendimiento de cultivos herbáceos en el periodo 1990-2019: A. Rendimiento de tomate; B. Rendimiento de cebada; C. Rendimiento de trigo; D. Diagrama de cajas de tomate; E. Diagrama de cajas de cebada y trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	21
Figura 11. Distribución geográfica de los cultivos permanentes en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.....	23
Figura 12. Evolución de la producción de cultivos permanentes en el periodo 1990-2019: A. Evolución por grupo de cultivo; B. Evolución por especie mayoritaria; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	24
Figura 13. Evolución del rendimiento de cultivos permanentes por grupo de cultivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	24
Figura 14. Evolución del rendimiento de cultivos permanentes en el periodo 1990-2019: A. Rendimiento de naranja; B. Rendimiento de olivo; C. Rendimiento de viñedo; D. Diagrama de cajas de naranja; E. Diagrama de cajas de viñedo y olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	25
Figura 15. Evolución del uso en toneladas de productos fitosanitarios en el periodo 1990-2018: A. Pesticidas; B. Insecticidas; C. Fungicidas y bactericidas; D. Herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	28
Figura 16. Evolución del uso de insecticidas en toneladas: A. Periodo 1990-2010; B. Periodo 2011-2018; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	28

Figura 17. Evolución del uso de fitosanitarios en Kg/Ha en el periodo 1990-2018: A. Pesticidas; B. Insecticidas; C. Fungicidas y bactericidas; D. Herbicidas; E. Diagrama de cajas de pesticidas; F. Diagrama de cajas de insecticidas, herbicidas, fungicidas y bactericidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	29
Figura 18. Distribución geográfica de las precipitaciones anuales que tienen lugar en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.....	32
Figura 19. Evolución de las precipitaciones en España en el periodo 1990-2016: A. Precipitaciones máximas; B. Precipitaciones mínimas; C. Precipitaciones medias; D. Diagrama de cajas de precipitaciones máximas, mínimas y medias; (elaboración propia a partir de los datos de Climate Change Knowledge Portal).....	33
Figura 20. Distribución de temperaturas medias en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.....	35
Figura 21. Evolución de las temperaturas en el periodo 1991-2016: A. Temperaturas máximas; B. Temperaturas mínimas; C. Temperaturas medias; D. Diagramas de cajas de temperaturas máximas, mínimas y medias; (elaboración propia a partir de los datos de Climate Change Knowledge Portal).	36
Figura 22. Histórico de emisiones de CO ₂ en millón de toneladas: A. Periodo 1830-2016; B. Periodo 1991-2016; (elaboración propia a partir de los datos de Our World in Data).....	38
Figura 23. Relación entre el uso de pesticidas y el rendimiento de especies herbáceas: A. Tomate; B. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de pesticidas; C. Cebada; D. Trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	39
Figura 24. Relación entre el rendimiento del tomate con los diferentes grupos de pesticidas: A. Insecticidas; B. Fungicidas y bactericidas; C. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de fungicidas y bactericidas; D. herbicidas; E. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	41
Figura 25. Comparación de la evolución en el uso de pesticidas totales y el rendimiento de especies permanentes en el periodo 1990-2018: A. Uva; B. Regresión entre el rendimiento de uva y el uso de pesticidas; C. Naranja; E. Olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).....	42
Figura 26. Relación entre el rendimiento del viñedo con los diferentes grupos de pesticidas: A. Insecticidas; B. Fungicidas y bactericidas; C. Regresión entre el rendimiento de la uva y el uso de fungicidas y bactericidas; D. Herbáceos; E. Regresión entre el rendimiento de la uva y el uso de herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).	43
Figura 27. Comparación de la evolución de las temperaturas medias y el rendimiento de especies herbáceas en el periodo 1991-2016: A. Tomate; B. Cebada; C. Trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Climate Change Knowledge Portal).	45
Figura 28. Evolución de las temperaturas medias y el rendimiento de especies permanentes en el periodo 1991.2016: A. Uva; B. Naranja; C. Olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Climate Change Knowledge Portal).	46

<i>Figura 29. Comparación entre las emisiones de CO₂ y el uso de insecticidas en el periodo 1991-2018: A. Comparación de la evolución; B. Regresión; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Our World in Data).</i>	48
<i>Figura 30. Esquema de las principales plagas y los cultivos a los que atacan (elaboración propia).</i>	57
<i>Figura 31. Esquema de las principales bacterias y cultivos a los que afectan (elaboración propia).</i>	59
<i>Figura 32. Esquema de los principales hongos y cultivos a los que afectan (elaboración propia).</i>	62

Índice de tablas.

<i>Tabla 1. Análisis estadístico del rendimiento de tomate, cebada y trigo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia).</i>	21
<i>Tabla 2. Análisis estadístico del rendimiento de naranjo, vid y olivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia).</i>	26
<i>Tabla 3. Análisis estadístico del rendimiento de los diferentes productos fitosanitarios estudiados (elaboración propia).</i>	30
<i>Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de las precipitaciones en el periodo 1990-2016 (elaboración propia).</i>	34
<i>Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de las temperaturas máximas, mínimas y medias en el periodo 1990-2016 (elaboración propia).</i>	36

1. Introducción.

1.1 El uso del suelo en España.

1.1.1 Cultivos.

El sector agrícola es una fuente principal de ingresos en España, generando riqueza no solo de forma directa sino también indirecta debido a su interacción con otros sectores, convirtiéndose en el país con mayor proporción de PIB agrario de la Unión Europea, seguido de Alemania, Italia y Países Bajos (Asociación Empresarial para la Protección de las Plantas) (AEPLA 2019). El sector agrícola español representa el 12,1 % de la producción total de la Unión Europea, detrás de Francia, Alemania e Italia, destacando principalmente la producción hortofrutícola, árboles frutales, viñedo, olivar y cereales (Sainz-badillos et al. 2005). Otro factor que le hace destacar en comparación con otros países es la gran diversidad de cultivos que se encuentran en un territorio de no mucha extensión, que se ve favorecido por la heterogeneidad climática del país (AEPLA 2019). España cuenta con una superficie agraria útil de más de 23 MHa, suponiendo casi la mitad del territorio. De éstas, 17 millones de hectáreas son de cultivos agrícolas en uso (Demográfico 2014), dividiéndose en dos grandes grupos, cultivos herbáceos y cultivos permanentes, pudiéndose dar ambos tanto en secano como en regadío.

Los cultivos de secano representan el 76 % de la superficie agrícola cultivada. (Demográfico 2014) Se trata de aquellos cultivos que no precisan más riego que el agua de lluvia, adaptándose el trabajo del suelo y la selección de las especies y variedades mejor adaptadas a las características del clima de la zona en cuestión (Generalitat de Catalunya 2011). Al depender principalmente de la climatología, se encuentran mayoritariamente en la meseta y sur de la península, ya que en la zona norte la climatología es húmeda y el sector agrícola está menos desarrollado. Los cultivos de regadío son aquellos en los que se precisa un sistema de riego artificial que puede darse por diferentes técnicas y ocupan un 24 % de la superficie agrícola cultivada.

El uso de suelo ha ido disminuyendo a lo largo de los años, tal y como se observa en la Figura 1, siendo cada vez menor el número de hectáreas cultivadas. Esta disminución puede ser debida a un decrecimiento del sector agrícola, pero también a un mayor rendimiento de los cultivos. Como puede observarse, se ha obtenido una línea de

regresión lineal, del uso del suelo en los últimos 30 años, con una constante de regresión cuadrática de 0,902.

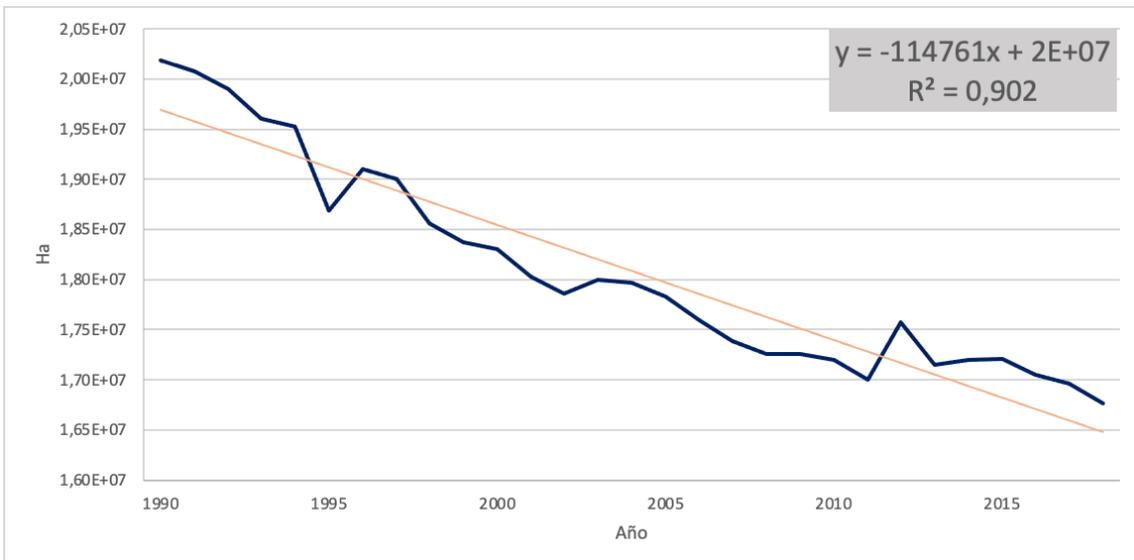


Figura 1. Evolución del uso de suelo cultivable en los últimos 30 años (elaboración propia).

1.2 Tipos de cultivos en España.

1.2.1 Cultivos herbáceos.

Los principales cultivos herbáceos que se cultivan en España son cereales (trigo, cebada o maíz entre otros), arroz, leguminosas (lentejas, judías o guisantes entre otras), oleaginosas (girasol, colza y soja), forrajes, remolacha azucarera, algodón, tabaco y lúpulo (Ministerio de Agricultura 2000). Los productos más exportados de este tipo de cultivo son pimientos, tomates, fresas, pepino, coles y brécoles (AEPLA 2019). Este tipo de agricultura se da principalmente en la Meseta y sur de la península, donde el clima es más propicio para este tipo de cultivos, y el sector agrícola está desarrollado, siendo las dos castillas y Aragón las principales productoras de cereales y Andalucía la principal productora de arroz (España, 2019).

En la Figura 2.A se muestra la producción de cultivos herbáceos por grupos de cultivo en 2019, elaborada a partir de una selección de datos procedentes de la *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), donde se observa que los cereales constituyeron el grupo con mayor producción, seguido de las hortalizas (FAO 2020). El grupo de cultivos industriales representa especies como la remolacha azucarera, algodón, tabaco, caña de azúcar o fibras de lino y estopa, ya que son cultivos cuyo uso

siempre pasa posteriormente por un proceso industrial y no se comercializa de forma directa. Haciendo un estudio por cultivo concreto, en la Figura 2.B se representan los cultivos herbáceos de los que se han producido más de 2 millones de toneladas en el año 2019. En relación con la Figura 2.A, los cereales toman mayor importancia, siendo concretamente la cebada, el trigo y el maíz los más producidos. Les siguen el tomate, perteneciente al grupo de las hortalizas, la patata del grupo raíces y tubérculos y por último la remolacha azucarera, que pertenece al grupo de cultivos industriales.

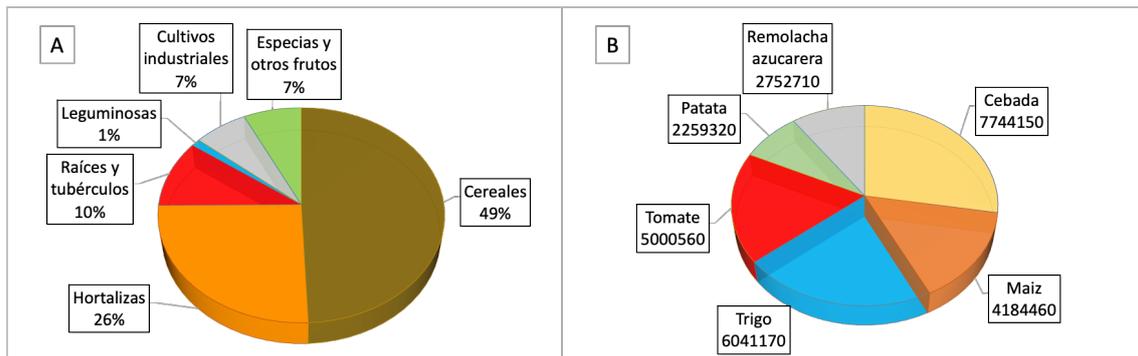


Figura 2. Producción de cultivos herbáceos en 2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO): A. Producción en % por grupo de cultivo; B: Producción en toneladas por especie mayoritaria.

1.2.2 Cultivos permanentes.

Los cultivos permanentes se constituyen principalmente por leñosos, es decir, árboles frutales, cítricos, olivo y vid. En 2013, la producción de frutas, aceite de oliva, vino y mosto supuso el 24,9 % de la producción agraria nacional (Ministerio de Agricultura 2013). Los principales productos agrícolas permanentes exportados por España son naranjas, clementinas, melocotones, limones y almendras (AEPLA 2019). Los principales leñosos cultivados en España son olivo, vid, manzano, almendro, cerezo, melocotonero, y ciruelo. La amplia variedad de frutales cultivados y el clima propicio para ello, convierten a España en uno de los mayores productores de fruta del mundo (Rodríguez et al. 2020).

Las principales regiones dedicadas a este tipo de cultivo son Valencia, Murcia, La Rioja y el sur de España, predominando las técnicas de regadío en las zonas costeras y las de secano en el interior. A partir de los datos de la FAO y realizando una clasificación de cultivos permanentes por grupo, se ha elaborado el diagrama de la Figura 3.A, donde se

representa la producción anual en 2019, observándose que destacan los frutales seguidos de los cítricos y el olivo (FAO 2020).

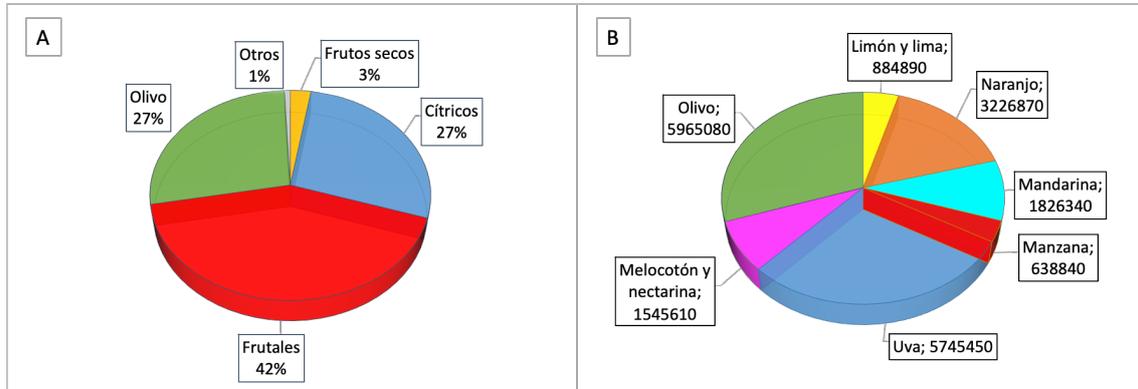


Figura 3. Producción de cultivos permanentes en 2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO): A. Producción en % por grupo de cultivo permanente; B. Producción en toneladas por especie mayoritaria.

Haciendo un estudio por cultivo concreto, en la Figura 3.B se observa que el olivo es la especie con mayor producción anual en 2019, seguido de la vid y el naranja. En este caso se han representado los cultivos con una aportación superior a 500 000 toneladas, aunque los datos correspondientes al olivo y la vid superan los 5 millones de toneladas.

1.3 Principales usos de la biomasa agrícola.

El creciente interés del público en cuestiones de protección del medio ambiente, la nueva normativa medioambiental sobre reservas insostenibles de petróleo, el problema global de los plásticos y el nuevo concepto de economía circular y bioeconomía, hace que exista un interés creciente por nuevos materiales producidos a partir de materias primas respetuosas con el medio ambiente (EEA 2018). En este sentido, los materiales obtenidos a partir de fibras de biomasa lignocelulósica tienen numerosas ventajas sobre los materiales sintéticos, entre ellas la de ser sostenible económicamente. Según la Agencia Europea del Medio Ambiente, los materiales a base de madera, los polímeros, los textiles y las fibras de materiales compuestos son los cuatro tipos principales de biomateriales utilizados en la UE (EEA 2018). Una condición importante para elegir el material fibroso de la biomasa es su disponibilidad y rápida recuperación (Jauhari, Mishra y Thakur 2015). Algunos de los materiales de fibra más apropiados para estos

criterios son los materiales residuales de los sectores forestal y agrícola (Singh, A.A; Afrin, S.; Karim 2017)

En este sentido, el sector agrícola tiene gran importancia económica en España no solo directamente sino en su implicación indirecta en otras actividades. Constituye una cadena que comienza en la materia prima y la producción de diversos productos que son utilizados en este sector, como fertilizantes, maquinaria o biotecnología. Después de la producción en sí, los usos son amplios no solo en la industria alimentaria sino en la producción de biocombustibles, tabacaleras o bodegas. España es el país con mayor diversidad agrícola de la Unión Europea, siendo un gran exportador de diversos productos agrícolas, destacando la naranja, pimiento y tomate (AEPLA 2019)

El uso de plantas aromáticas o medicinales está incrementándose, teniendo diferentes usos en industrias de licor, cosmética, farmacia o alimentación (Marino 2009). Además de los usos mencionados, los residuos de todos estos procesos deberían valorizarse por ser una fuente de biomasa alternativa, con usos diversos como materiales, compuestos químicos específicos o biocombustibles. Para ello, dichos residuos necesitan transformarse mediante procesos físico-químicos y biológicos, constituyendo la base de lo que se conoce como biorrefinería, donde pueden obtenerse productos muy similares a los obtenidos a partir del petróleo y las refinerías más tradicionales (Coz et al. 2016). Actualmente, existen numerosos proyectos de investigación asociados a esta vertiente.

1.4 Principales organismos nocivos asociados a los cultivos de la península ibérica.

Las plantas, al igual que los animales se ven afectadas por diversas enfermedades. Estas pueden ser causadas por distintos tipos de patógenos, de forma que se diferencian enfermedades causadas por bacterias, virus, hongos, nematodos y plagas (Centro de Investigación y Formación Agraria) (CIFA 2017). Los insectos, a parte de dañar la salud de las plantas, también pueden actuar como vectores de transmisión, contagiando cultivos enteros al pasar de planta en planta para alimentarse.

El cambio climático y el impulso del cultivo ecológico libre de pesticidas en los últimos años, hace cada vez más difícil controlar las plagas y las enfermedades. Las altas temperaturas y estaciones menos diferenciadas hacen que algunos insectos puedan

presentar más de un ciclo biológico en un año y la falta de heladas y bajas temperaturas hace que la regulación natural desaparezca. Por otro lado, el tipo de cultivo en ecológico conlleva más restricciones en cuanto a tratamientos químicos que el cultivo tradicional, por lo que estos se ven especialmente afectados (AEPLA 2019).

La metodología llevada a cabo para detectar estas enfermedades es similar a la que se hace en los animales. En el momento en que se detecta un ejemplar con sintomatología, este se aísla y se toma una muestra para llevar a cabo el análisis correspondiente en un laboratorio. Las analíticas realizadas pueden ir desde una siembra en un medio de cultivo adecuado hasta pruebas de biología molecular como la reacción en cadena de la polimerasa (PCR) (CIFA 2017).

Además de este tipo de detección, existen patologías denominadas de cuarentena. Éstas suelen referirse a patógenos nuevos, que antes no existían en la zona, o que causan grandes daños en los cultivos y deben ser controlados. Para éstos, se realizan inspecciones en los cultivos sensibles a contraer estas enfermedades, para realizar un control en cada comunidad autónoma detectándose la presencia de estos. Las técnicas de muestreo y análisis de este tipo de patologías suelen venir determinados por normativa europea (Ministerio de Agricultura 2020).

La misma patología puede ser específica de un tipo de huésped, por ejemplo, afectar únicamente al cultivo de patata, o afectar a numerosos huéspedes incluso de especies totalmente diferentes, como un árbol o una planta.

En Europa, la *European Plant Protection Organization* (EPPO) publica cada año un listado actualizado sobre las patologías presentes en Europa y la región del Mediterráneo, así como las recomendaciones a seguir en cuanto a detección, muestreo y análisis de cada una de ellas (EPPO, 2020). En el Anexo de este trabajo se ha realizado una selección de las más comunes y perjudiciales para los principales cultivos estudiados.

1.5 Impactos en los cultivos agrícolas.

1.5.1 Cambio climático.

La Península Ibérica se caracteriza por la gran variedad climática y de relieve en una extensión no demasiado amplia. De este modo, resulta complejo estudiar el impacto

ambiental de forma uniforme para todo el territorio (Instituto Geográfico Nacional 2019).

Existe un rango muy amplio de **temperaturas medias** anuales, las cuales varían entre los 0 °C y los 22 °C, correspondiendo las más bajas a las zonas de montañosas del norte de la península y las más altas a las islas canarias.

En cuanto a las **precipitaciones**, la situación es similar, ya que en España se encuentran lugares como Galicia, siendo uno de los más lluviosos de Europa, y otros como el cabo de Gata que están entre los más secos. De este modo se puede realizar una clasificación de tres áreas según sus precipitaciones. La más húmeda, se corresponde con el norte peninsular, con una media anual de unos 800 mm de precipitaciones, la seca o de transición, que es la más extensa al darse en la meseta y parte de la zona mediterránea, entre 300 y 800 mm; y la seca o semidesértica, desde Alicante hasta Almería y algunas zonas de las islas Canarias, con menos de 300 mm (Instituto Geográfico Nacional 2019).

El sector agrícola es uno de los más afectados por el cambio climático. Estos efectos dependen de varios factores. El aumento de CO₂ debido a la emisión de gases de efecto invernadero, conlleva a un incremento de las tasas fotosintéticas de los cultivos y con ello provoca una disminución de las tasas de evapotranspiración. Esto tiene un efecto positivo, ya que la productividad aumenta, así como la eficiencia del suelo y el agua (Sainz-badillos et al. 2005). Sin embargo, el incremento de las temperaturas contrarresta por completo los efectos positivos que pueda causar el aumento de CO₂. Las temperaturas van ligadas a la falta de agua, lo que provoca un estrés térmico en las plantas.

El suelo es la base para el correcto desarrollo de las plantas y árboles, ya que es donde están presentes los nutrientes y el agua necesarios para su crecimiento. Está considerado como un recurso no renovable, por lo que su conservación es fundamental para garantizar el desarrollo del sector agrícola y forestal. La degradación de las tierras afecta mucho a España, donde un 74% del suelo está en riesgo de desertificación (AEPLA 2019).

La evolución del suelo está relacionada directamente con la temperatura, las precipitaciones y la evapotranspiración. La erosión del suelo, los incendios forestales, la explotación de los recursos hídricos, la salinización y la sequía son factores que incrementan el proceso de desertificación (Gracia et al. 2005). La salinización es el

proceso de degradación más importante. Su causa principal es el regadío mediante el uso de agua con exceso de sales y las intrusiones marinas. Este problema está relacionado directamente con la presencia de sales en el suelo como NaCl y NaSO₄. Además, con la probable subida del nivel del mar, las intrusiones marinas se verán agravadas provocando una invasión en acuíferos (Vallejo, Díaz-Fierros y De la Rosa 2005).

El ciclo de carbono, en el que juegan un papel fundamental los suelos, consiste en un balance cuya entrada viene dada por la caída de las hojas y las raíces muertas, y cuya salida se produce con la descomposición de estas. Esta presencia de carbono orgánico tiene una influencia directa en los niveles de CO₂ atmosféricos. Además, en los suelos con mucha humedad se producen emisiones de CH₄ y N₂O.

Las zonas más vulnerables a los efectos negativos generados en el suelo son las que se ven más afectadas por la desertificación, que además de lo mencionado anteriormente, se verán más amenazadas por los incendios (Vallejo, Díaz-Fierros y De la Rosa 2005). Por ello, los cultivos agrícolas en los que se prevé un mayor impacto son los **cultivos de secano**, ya que la calidad del suelo se verá alterada por los cambios mencionados anteriormente siendo el olivo unos de los más afectados. En cuanto a los **cultivos de regadío**, se ven afectadas debido a la calidad del agua causada por la intrusión marina en los acuíferos y la contaminación por nitratos. Las **zonas costeras** pueden verse alteradas por el aumento del nivel del mar, sobre todo en zonas de marisma, deltas y desembocaduras, donde se pueden producir modificaciones en el aporte de sedimentos y en la calidad del agua (Sainz-badillos et al. 2005).

Por otro lado, el efecto de la variación de las precipitaciones es uno de los aspectos más importantes para tener en cuenta, ya que influye directamente en los cultivos de secano y de regadío. Si la disponibilidad de agua es insuficiente, se deberá variar el tipo de cultivo para adaptarse a la nueva situación, ya que, si se mantienen los mismos, sus ciclos serán cada vez más cortos, modificándose las fechas de floración y producción (Sainz-badillos et al. 2005). España es el país europeo con más tendencia a sufrir estrés hídrico, debido a que la demanda de agua es mayor que su disponibilidad.

Algunas de las estrategias para mitigar estos efectos consisten en la elección de cultivos que se adapten a las nuevas condiciones climáticas, así como realizar cambios en las

rotaciones y de manejo para adaptar los riegos a las nuevas situaciones (Sainz-badillos et al. 2005).

De todos modos, el sector agrícola no solo es una víctima del cambio climático, sino que también contribuye a su aceleración. En primer lugar, genera gases de efecto invernadero (GEI), debido a emisiones producidas por ciertos cultivos como el arroz, así como las habituales quemas de rastrojos que llevan a cabo los agricultores. Además, causa efectos directos en el suelo causando su erosión y la escasez de agua (AEPLA 2019).

1.5.2 Productos fitosanitarios. Pesticidas de uso agrícola.

Los productos fitosanitarios son pesticidas destinados a la sanidad vegetal, que están formados por sustancias cuyo objetivo es combatir plagas, enfermedades o plantas invasoras que puedan poner el riesgo un correcto desarrollo del cultivo (Cid 2014). El cambio climático tiene una gran incidencia sobre plagas y enfermedades vegetales, ya que sus efectos suponen un incremento de estas, así como de malas hierbas. El 18 % de los agricultores españoles han registrado un incremento de plagas en sus cultivos. Los cambios en las temperaturas, humedad o precipitaciones modificarán las estrategias para hacer frente a las plagas y enfermedades. La disminución de heladas eliminaría la regulación natural actual de numerosos organismos nocivos, y el aumento de las temperaturas puede provocar que aparezcan nuevas patologías propias de otros climas (AEPLA 2019).

Los plaguicidas pueden clasificarse siguiendo diferentes criterios, como su acción específica, sus propiedades toxicológicas, el grupo químico al que pertenecen, la especificidad que presentan hacia una patología o plaga concreta o la vía de ingreso entre otras (INSST 2021).

Hay que tener en cuenta la diferencia entre cultivo ecológico y convencional a la hora de la utilización de este tipo de productos. La agricultura ecológica tiene por objetivo obtener productos de gran calidad minimizando el uso de productos químicos para ello. De este modo, se rige por las prácticas más tradicionales de fertilización del suelo con compost y materia orgánica, así como realizando correctas rotaciones de los cultivos para preservar la calidad del suelo. Por otro lado, en la agricultura convencional, aunque también puede utilizar las técnicas mencionadas en el caso de los cultivos ecológicos,

tienen a su disposición un amplio abanico de productos químicos en el mercado, cumpliendo con la normativa vigente, siendo estas normativas mucho menos restrictivas que en el caso del cultivo ecológico, para el que hay que seguir un control muy estricto para conseguir las etiquetas oficiales de producto ecológico (Fernández 2020).

Lo mencionado anteriormente no quiere decir, que en el cultivo ecológico no se utilicen productos químicos. A modo de ejemplo, en el cultivo del olivo, la principal diferencia entre el cultivo ecológico y convencional es la posibilidad del uso de productos fitosanitarios de síntesis, ya que no están autorizados en el cultivo ecológico. Sin embargo, en el caso de utilizar tratamientos para enfermedades, los productos recomendados, basados en sales de cobre están autorizados en ambos tipos de cultivo (Junta de Andalucía 2011).

A continuación, se detallan los tipos de pesticidas según la acción específica y el grupo químico al que pertenecen, ya que son dos de las más utilizadas. Según el agente que controlan se clasifican en: insecticidas, acaricidas, fungicidas, nematocidas, herbicidas, reguladores del crecimiento, rodenticidas, conservadores de la madera, defoliantes, desecantes, molusquicidas y bactericidas (Betancourt y Diaz 2018). Según su composición química los grupos de pesticidas más comunes son: organoclorados, organofosforados, carbamatos, piretroides, neonicotinoides (Cid 2014).

2 Objetivo.

Este trabajo se enmarca dentro del proyecto europeo CELISE de la convocatoria MSCA-RISE 2020. El objetivo del proyecto es crear un grupo multinacional entre instituciones europeas de investigación e innovación, industria e investigadores en terceros países con el fin de intercambiar conocimientos y experiencias sobre materiales de celulosa procedentes del procesamiento de residuos de biomasa mediante procesos sostenibles, y para ser utilizados en pequeñas y medianas empresas, así como en zonas rurales y vulnerables. En el proyecto CELISE participan un total de 15 instituciones de España, Letonia, Polonia, Noruega, Grecia, República Checa, Reino Unido, Colombia, Argentina y Ecuador, contando con instituciones académicas y pequeñas y medianas empresas. El proyecto ha sido concedido el pasado mes de octubre, siendo la Universidad de Cantabria la coordinadora de este.

La primera tarea del proyecto es llevar a cabo un inventario y caracterización de la biomasa agraria y forestal en Europa, principalmente España, y algunos países de Latinoamérica. Para ello, los primeros pasos consisten en el estudio de la cantidad, origen y tipo de biomasa agraria y forestal en los últimos años y en establecer modelos de predicción de esta biomasa en los próximos años. Para ello, este trabajo tiene como objetivo principal el estudio de la evolución de la biomasa procedente de cultivos agrícolas, herbáceos y permanentes, en España, así como su relación con los principales impactos ambientales, siendo estos el uso de fitosanitarios debido a la proliferación de plagas y a la modificación de su composición, y el cambio climático.

Para cumplir este objetivo se han marcado las siguientes tareas:

1. Estudio inicial del uso del suelo en España y tipos de cultivos. Además, se hizo también una revisión de los principales organismos nocivos asociados a estos cultivos. Esta tarea se encuentra descrita en la introducción de este trabajo y el anexo.
2. Estudio de los impactos asociados con el uso del suelo para cultivos en España. Esta tarea se encuentra descrita en la introducción.
3. Estudio de la evolución de los cultivos en España en los últimos 30 años. Para llevar a cabo esta tarea se utilizaron diferentes bases de datos y como herramientas QGIS

y los paquetes estadísticos de Excel. Esta tarea se encuentra principalmente descrita en la metodología y en el apartado 4.1 de los resultados.

4. Estudio de la evolución del impacto de fitosanitarios y del cambio climático en España en los últimos 30 años. Para llevar a cabo esta tarea se utilizaron diferentes bases de datos y como herramientas QGIS y los paquetes estadísticos de Excel. Esta tarea se encuentra principalmente descrita en la metodología y en el apartado 4.2 y 4.3 de los resultados.
5. Una vez estudiadas las principales variables de la evolución de los cultivos y los impactos asociados, se ha realizado el estudio de la influencia de los impactos asociados en la productividad de los cultivos en España. Para ello, se han realizado diferentes correlaciones entre las diferentes variables entre sí, utilizando como herramienta Excel. Esta tarea se encuentra principalmente descrita en la metodología y en el apartado 4.4 de los resultados.

3 Metodología.

La metodología llevada a cabo para realizar este trabajo se puede dividir en 2 partes principales, que a su vez se dividen en subtareas, relacionadas con las tareas descritas anteriormente. La primera parte se corresponde con la **revisión bibliográfica**, y la segunda con la **elaboración de resultados**.

Al realizarse la **revisión bibliográfica**, se han seguido varios caminos, que se pueden dividir en cuatro bloques detallados de forma esquemática en la Figura 4.

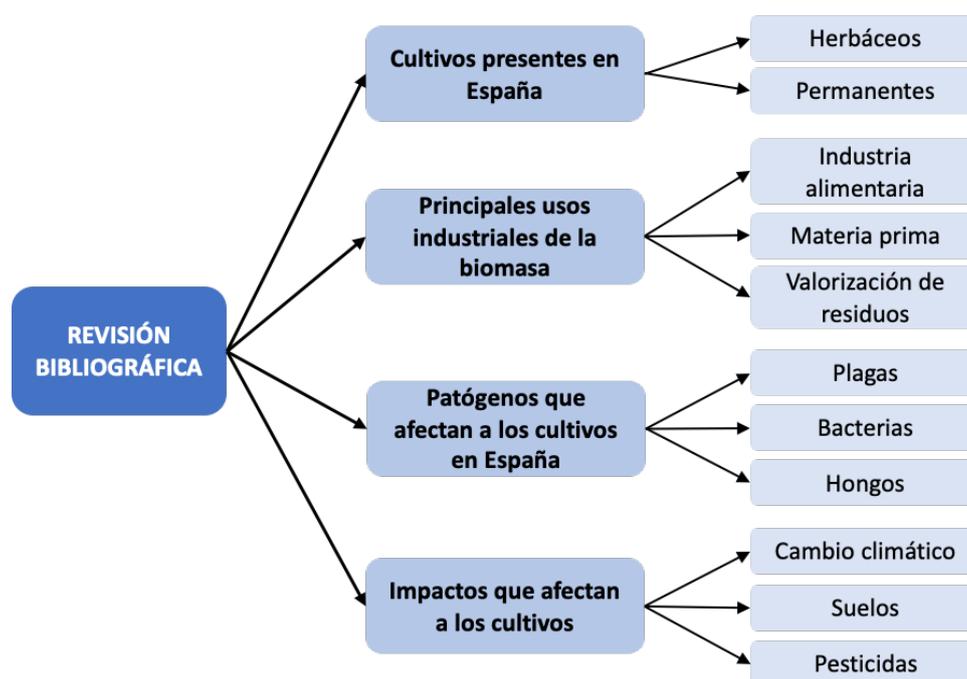


Figura 4. Esquema de la metodología llevada a cabo para la revisión bibliográfica (elaboración propia).

Para conocer qué cultivos se dan en España se realizó la revisión bibliográfica para poder llevar a cabo una clasificación de estos, diferenciando entre cultivos herbáceos y cultivos permanentes. Una vez realizada dicha clasificación se procede, a la búsqueda en bases de datos, a cerca de la producción de los cultivos en España. Los resultados utilizados durante todo el trabajo respecto a la producción de los cultivos, se han obtenido a partir de la *Food and Agriculture Organization of the United Nations* (FAO), desde donde se ha descargado un listado de la producción en toneladas por cultivo en los últimos 30 años, posteriormente se ha procedido a su clasificación entre herbáceos y permanentes, y a su vez en subgrupos como hortalizas, frutales, etc. En Excel, para poder representar las

Figuras 2 y 3 y comprobar qué grupo de cultivo y especie concreta ha aportado mayor producción en 2019.

En cuanto al uso de biomasa, resulta muy interesante conocer los usos que se pueden dar a estos cultivos, más allá de la industria alimentaria y se ha obtenido información acerca de la revalorización de residuos y usos como materia prima para la elaboración de materiales.

En tercer lugar, la búsqueda se centró en las patologías que afectan a estos cultivos, diferenciando entre plagas, bacterias y hongos principalmente, realizándose una clasificación de las más comunes en España y algunas características de ellas, recogidas en el Anexo, como los daños que pueden ocasionar o las condiciones climáticas que les son más favorables para su proliferación.

Por último, se ha realizado una revisión sobre los principales impactos que afectan a los cultivos, estudiándose en primer lugar los factores del cambio climático, entre los que se encuentran la temperatura, las precipitaciones y las emisiones de CO₂. Posteriormente, se han tenido en cuenta los posibles impactos en el suelo, ya que afectan directamente a los nutrientes y agua aportados al material vegetal, aunque dichos factores están muy relacionados con los comentados anteriormente en el cambio climático, y, por último, el uso de pesticidas, dentro de los cuales se diferencian dos clasificaciones: una en función del tipo de patógeno al que atacan, y otra en función del grupo químico al que pertenecen.

Para la **elaboración de los resultados**, se han llevado a cabo los pasos descritos de forma esquemática en la Figura 5.

Los datos utilizados para el análisis de la producción y rendimiento de los cultivos se han obtenido de la base de datos de la FAO (FAO 2020). En primer lugar, se han representado tanto la producción en toneladas como el rendimiento de cultivos permanentes y herbáceos, tanto por grupo general, como por especies con mayor producción, en las que se han seleccionado en el caso de los cultivos herbáceos tomate, cebada y trigo, y en el caso de los cultivos permanentes olivo, naranjo y vid. El análisis de datos se ha llevado a cabo a través de Excel, realizándose gráficos con los históricos de los últimos 30 años, así como un análisis estadístico mediante la elaboración de diagramas de cajas y obtención de resultados de estadística descriptiva, para relacionar las variaciones y

tendencias del rendimiento de cada una de las especies estudiadas y poder ver los diferentes comportamientos que hayan podido tener lugar.

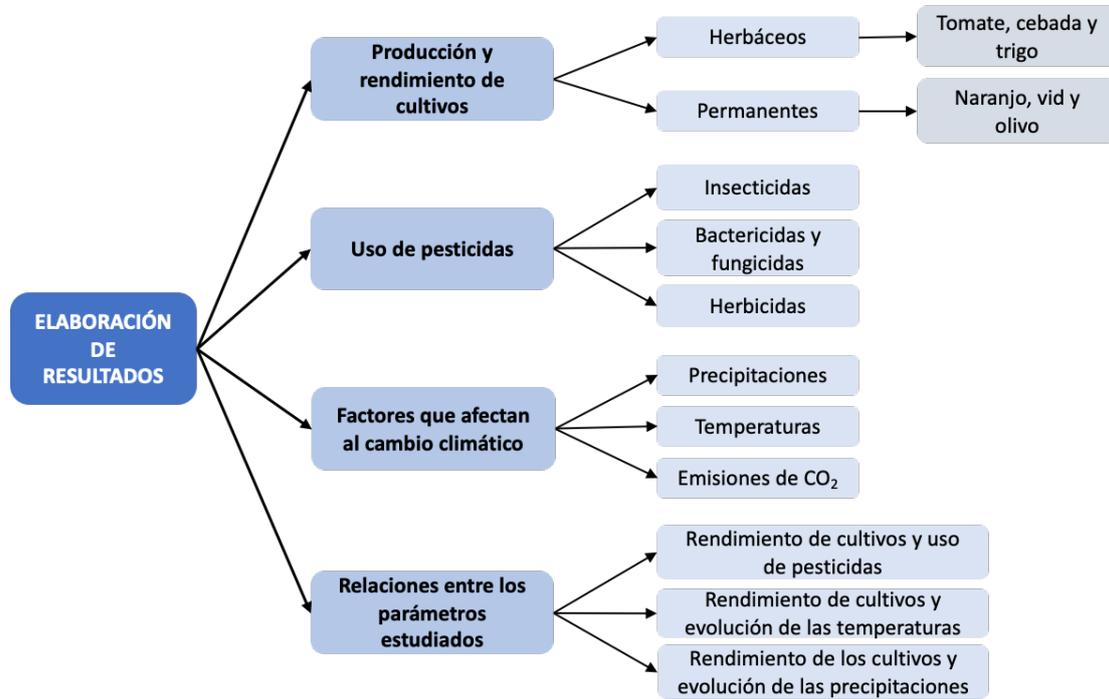


Figura 5. Esquema de la metodología llevada a cabo para el análisis de resultados (elaboración propia).

Seguidamente, se ha realizado el mismo procedimiento con los pesticidas, diferenciándose los datos de pesticidas totales, que engloban a todos, y por otro lado los grupos principales: insecticidas, herbicidas, fungicidas y bactericidas. Los datos también han sido obtenidos a partir de la base de datos de la FAO (FAO 2020), y la metodología seguida ha sido la misma que en el caso de los cultivos: históricos de uso anual en toneladas y Kg/Ha, y el posterior análisis estadístico de los resultados en Excel. Seguidamente se ha seguido el mismo procedimiento para las temperaturas y las precipitaciones. Estos datos se han obtenido de la base de datos de *Climate Change Knowledge Portal* (Bank 2021). Los datos se encontraban distribuidos por meses durante los diferentes años, por lo que se realizó una clasificación de los valores anuales máximos, medios y mínimos tanto para las temperaturas como para las precipitaciones, para así poder realizar un histórico de datos anuales al igual que en los cultivos y los pesticidas.

A continuación se ha representado el histórico de la evolución de CO₂, resultados obtenidos a partir de la base de datos de *Our World in Data* (Oxford 2019). En este caso no se realiza el análisis estadístico, simplemente se representa la evolución de las emisiones.

Para interpretar los resultados obtenidos, se ha recurrido a la teoría estadística utilizando los siguientes criterios. Los diagramas de cajas proporcionan una amplia información de forma visual, de modo que se reconocen fácilmente los valores máximos, mínimos, media, mediana, y cuartiles Q1 y Q3, señalados en la Figura 6. El cuartil Q3 se corresponde con el 0.75, y el Q1 con el 0.25, es decir, entre ambos se encuentra el 50% de los datos, y su separación con respecto de la mediana indica si los datos son simétricos o se desvían cuando toman valores inferiores y superiores. La desviación entre la media y la mediana también se corresponde con una señal de dispersión. Estos resultados, combinados con los obtenidos de la estadística descriptiva aportan gran información sobre la muestra. La desviación estándar indica la dispersión de la muestra respecto de la media, por lo que, si toma valores altos, quiere decir que los resultados distan entre sí, información que también aporta el error estándar y el coeficiente de asimetría. El intervalo de confianza al 95% indica con una confianza del 95%, que la media poblacional se encuentra en el intervalo dado. La curtosis aporta información sobre la distribución de la muestra y la forma que toman los datos, de modo que, cuando los valores son próximos a 0, los datos siguen una distribución normal. Cuando toma valores positivos, indica que las colas son más pesadas en la distribución, mientras que si toma valores negativos las colas son más livianas (Gorgas García, Cardiel López y Zamorano Calvo 2009).

Una vez representados los datos de forma individual se procede a representar conjuntamente algunos de ellos con el fin de encontrar relaciones. Para ello, se han representado los rendimientos de las especies de cultivos estudiadas, comparándolas con los pesticidas, las precipitaciones y las temperaturas medias, calculando los coeficientes de correlación entre ellas, para encontrar similitudes entre la evolución de los impactos y el rendimiento de los cultivos. Los coeficientes de correlación de Pearson, que toman valores entre -1 y 1 informan sobre la relación lineal entre dos variables, de modo que si toma valores positivos se da una relación directa, y para valores negativos

es inversa. Para determinar si la correlación es alta o baja, se ha seguido el siguiente criterio (Gorgas García, Cardiel López y Zamorano Calvo 2009):

- Valores desde $\pm 0,8$ hasta ± 1 indican que existe una correlación muy alta.
- Valores desde $\pm 0,6$ hasta $\pm 0,8$ indican que existe una correlación alta.
- Valores desde $\pm 0,4$ hasta $\pm 0,6$ indican que existe una correlación normal.
- Valores desde $\pm 0,2$ hasta $\pm 0,4$ indican que existe una correlación baja.
- Valores desde ± 0 hasta $\pm 0,2$ indican que existe una correlación muy baja.

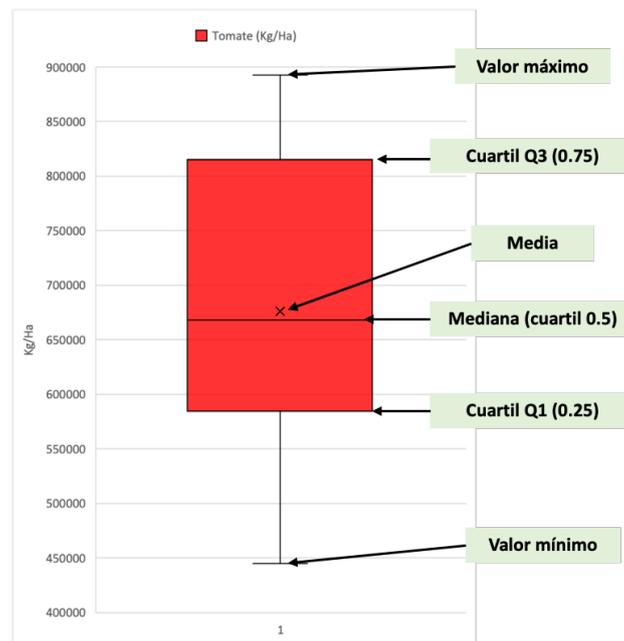


Figura 6. Interpretación de un diagrama de cajas (elaboración propia).

Por último, se ha representado la evolución de las emisiones de CO₂ y el uso de insecticidas, ya que se observó que sus evoluciones seguían una tendencia similar. En este apartado se ha procedido a la revisión bibliográfica a cerca de la relación entre la proliferación de plagas y su relación con el aumento de CO₂.

Los mapas representados tanto en los resultados de los cultivos como en el de temperaturas y precipitaciones, han sido elaborados utilizando el programa QGIS 3.14 para la elaboración de mapas GIS. Los datos utilizados para su elaboración han sido obtenidos a partir de la base de datos del Atlas Nacional de España (ANE) (ANE 2021), separándose las capas de interés para representar únicamente las variables requeridas en cada apartado.

4 Resultados.

Para llevar a cabo el análisis de resultados, en primer lugar, se ha realizado un estudio de la evolución del uso del suelo, tanto de cultivos herbáceos como permanentes en los últimos 30 años. Para ello, se han elaborado mapas de los cultivos en la actualidad, así como gráficos de la evolución de la producción, tanto por tipo de cultivo, como por especie mayoritaria, y de rendimiento de las especies con mayor producción en España. Estas especies se corresponden en el caso de herbáceos con el tomate, la cebada y el trigo, y en el caso de permanentes, la vid, el olivo y el naranjo. Seguidamente, se ha realizado un estudio del uso de productos fitosanitarios, por un lado, de los pesticidas totales, y por otro de los específicos, tales como: insecticidas, fungicidas, bactericidas y herbicidas. Posteriormente, se ha analizado la evolución de los factores que afectan al cambio climático, representándose la evolución de las precipitaciones, temperaturas y emisiones de CO₂.

Para estudiar la evolución de todas las variables mencionadas en mayor profundidad, se ha realizado además un análisis estadístico para analizar sus tendencias y comportamiento de las muestras. Por último, se realiza una comparativa entre los resultados más significativos con el objetivo de encontrar relaciones entre algunas de las variables estudiadas.

4.1 Evolución del uso del suelo.

4.1.1 Cultivos herbáceos.

Los cultivos herbáceos ocupan la parte mayoritaria del suelo dedicado a uso agrícola, tal y como se observa en el mapa de la Figura 7 elaborado con QGIS a partir de los datos del Atlas Nacional de España (ANE), donde se diferencian los cultivos de secano y los de regadío (ANE 2021). Los cultivos herbáceos de secano ocupan una mayor superficie, situándose principalmente en la meseta y sureste peninsular.

La evolución de la producción en el periodo 1990-2019 ha variado en función del grupo de cultivo. En la Figura 8.A se representa dicha evolución, obtenida a partir de los datos de la FAO (FAO 2020), donde se observa un aumento de la producción de hortalizas y una clara disminución de los cultivos industriales. En el caso de los cereales, se observa una irregularidad que aumenta y disminuye a lo largo de los años, aunque su tendencia

general tiende al alza. La producción de raíces y tubérculos también ha disminuido, salvo en el último periodo, donde se presenta un ligero aumento. La producción de leguminosas y especias y otros frutos se mantiene estable a lo largo del tiempo.

Haciendo un estudio más específico de los cultivos mayoritarios en el mismo periodo, los cuales se corresponden con cebada, trigo y tomate, en la Figura 8.B se observa un aumento de la producción de trigo y de tomate, este último más lineal y el trigo con más fluctuaciones. En cuanto a la cebada, su producción presenta numerosas fluctuaciones en este periodo.

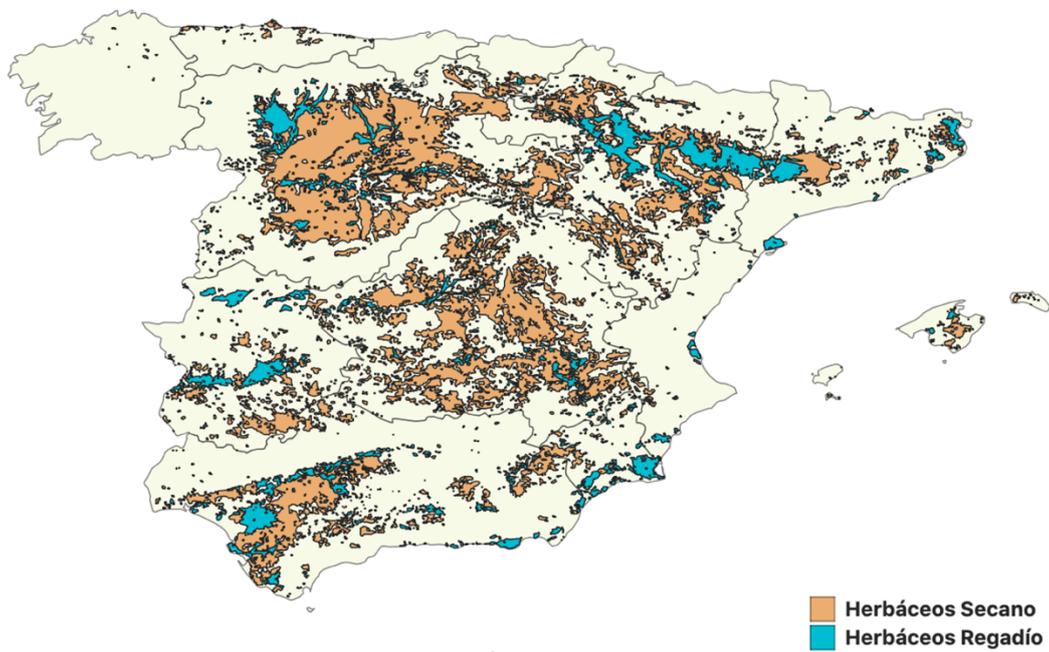


Figura 7. Distribución geográfica de los cultivos herbáceos en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.

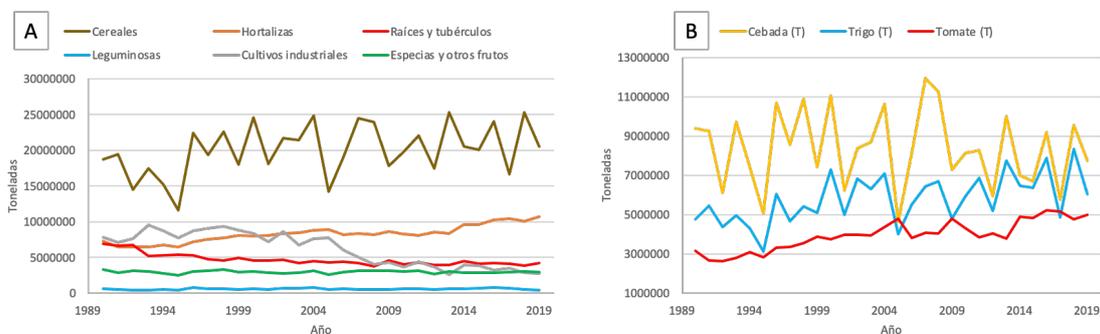


Figura 8. Evolución de la producción de cultivos herbáceos en el periodo 1990-2019: A. Evolución por grupo de cultivo; B. Evolución por especie mayoritaria; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

Debido a que las hectáreas cultivadas han disminuido con el tiempo, resulta interesante estudiar el rendimiento de los cultivos, representado por grupo de cultivo en la Figura 9 en Kg/Ha a partir de los datos de la FAO (FAO 2020). El rendimiento del grupo cereales, que se corresponde con los que presentan una mayor producción, se mantiene constante en el tiempo. Sin embargo, en el caso de las hortalizas se presenta un aumento lineal muy significativo, además de ser el grupo en el que se obtienen más kg/ha, seguido de raíces y tubérculos, que también aumentan hasta los últimos años que han experimentado un decrecimiento.

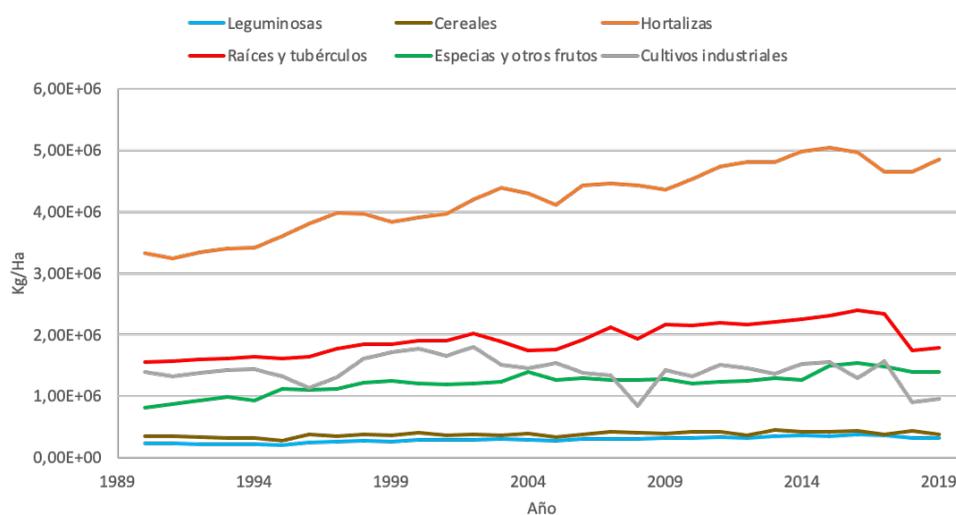


Figura 9. Evolución del rendimiento de cultivos herbáceos por grupo de cultivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

En cuanto al rendimiento de las especies, en la Figura 10.A está representada la evolución en el cultivo de tomate, que se ha incrementado de forma prácticamente lineal, por lo que se ha introducido la recta de regresión en la que se ha obtenido una constante de regresión cuadrática de 0,9596. Al tratarse de la especie de hortalizas con una mayor producción, esto explica el aumento del rendimiento de dicho grupo de cultivos observado en la Figura 9. En el caso de la cebada, en la Figura 10.B se observa cómo los Kg/Ha aumentan con el tiempo, pero con fuertes fluctuaciones, al igual que el trigo en la Figura 10.C.

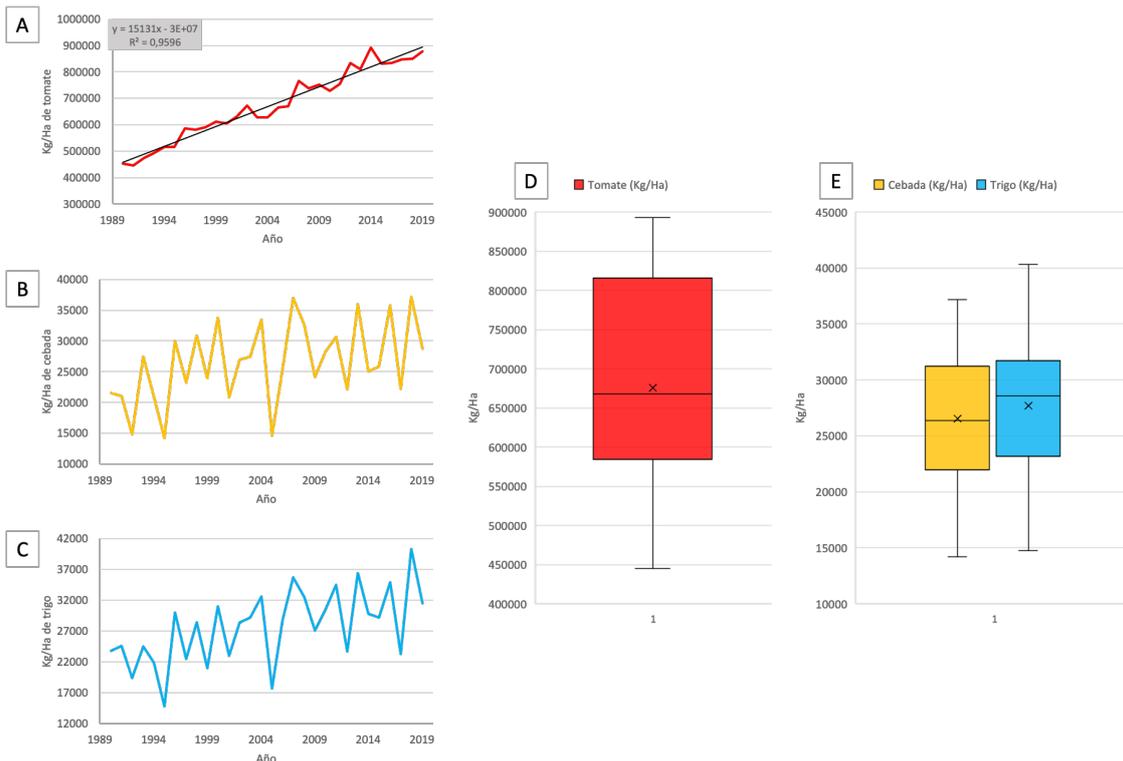


Figura 10. Evolución del rendimiento de cultivos herbáceos en el periodo 1990-2019: A. Rendimiento de tomate; B. Rendimiento de cebada; C. Rendimiento de trigo; D. Diagrama de cajas de tomate; E. Diagrama de cajas de cebada y trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

Analizando de forma más específica la evolución de tomate, trigo y cebada, se ha realizado un análisis estadístico de los resultados mediante los diagramas de cajas. (Figuras 10.D y 10E) y los datos obtenidos en Excel que están recogidos en la Tabla 1.

Tabla 1. Análisis estadístico del rendimiento de tomate, cebada y trigo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia).

Datos	Tomate (Kg/Ha)	Cebada (Kg/Ha)	Trigo (Kg/Ha)
Media	6,759E+05	2,653E+04	2,770E+04
Error típico	2,483E+04	1,176E+03	1,088E+03
Mediana	6,679E+05	2,638E+04	2,859E+04
Desviación estándar	1,360E+05	6,444E+03	5,958E+03
Varianza de la muestra	1,849E+10	4,152E+07	3,550E+07
Curtosis	-1,138E+00	-5,474E-01	-3,115E-01
Coficiente de asimetría	-6,423E-02	-1,258E-01	-8,650E-02
Cuenta	30	30	30
Nivel de confianza (95,0%)	5,077E+04	2,406E+03	2,225E+03

En el caso del tomate, en la Figura 10.D se observa que el cuartil Q3 está más alejado de la mediana que el cuartil Q1, lo que indica que los datos presentan mayor dispersión cuando toman valores altos, superiores a la mediana. La media es mayor que la mediana, lo que también confirma la asimetría de los datos en la franja superior, así como el valor obtenido para la desviación estándar, que es bastante elevado. Esto indica que el rendimiento se ha incrementado cada vez de forma más rápida a lo largo de los años, en concordancia con el aumento lineal de la Figura 10.A.

En la Figura 10.E, el diagrama de la izquierda muestra que los datos presentan mayor simetría en el cultivo de cebada. El valor de la media y la mediana es bastante próximo, y el valor de la desviación estándar no es demasiado alto. El cuartil Q3 está levemente más desviado que el cuartil Q1, pero son similares. El mínimo está más alejado de la media que el máximo, por lo que la dispersión puede ser generada por este dato. Es decir, el rendimiento de cebada, a pesar de las fluctuaciones, se ha comportado de manera simétrica en ese periodo, salvo los valores mínimos, que se corresponden con años en los que se ha experimentado una gran caída del rendimiento, observándose en la Figura 10.B que se corresponden con las dos caídas de principios de los años 90 y alrededor de 2004.

En la misma figura se muestra que el rendimiento del trigo tiene un comportamiento contrario al del tomate. El cuartil Q1 está más desviado de la mediana que el Q3, por lo que la dispersión es mayor en valores bajos, además la media toma un valor menor a la mediana. Estos datos indican que la dispersión es mayor en los picos inferiores, y que los años que el rendimiento ha caído, ha ocurrido de manera brusca, tal y como se representa en la Figura 10.C, donde se diferencian tres picos que se desvían de la tendencia general.

En los tres casos, el coeficiente de curtosis toma valores negativos, lo que quiere decir que la distribución toma una forma en colas más liviana que la distribución normal.

4.1.2 Cultivos permanentes.

Los cultivos permanentes ocupan una menor superficie de suelo que los herbáceos, tal y como se observa en la Figura 11, donde se diferencian los cultivos de secano y de regadío en el mapa realizado con QGis a partir de los datos del Atlas Nacional de España (ANE 2021). Los cultivos de secano ocupan una gran superficie en Andalucía y Castilla la

Mancha, seguido de Extremadura, La Rioja y Cataluña. En el caso de los cultivos de regadío se sitúan principalmente en zonas costeras del levante.

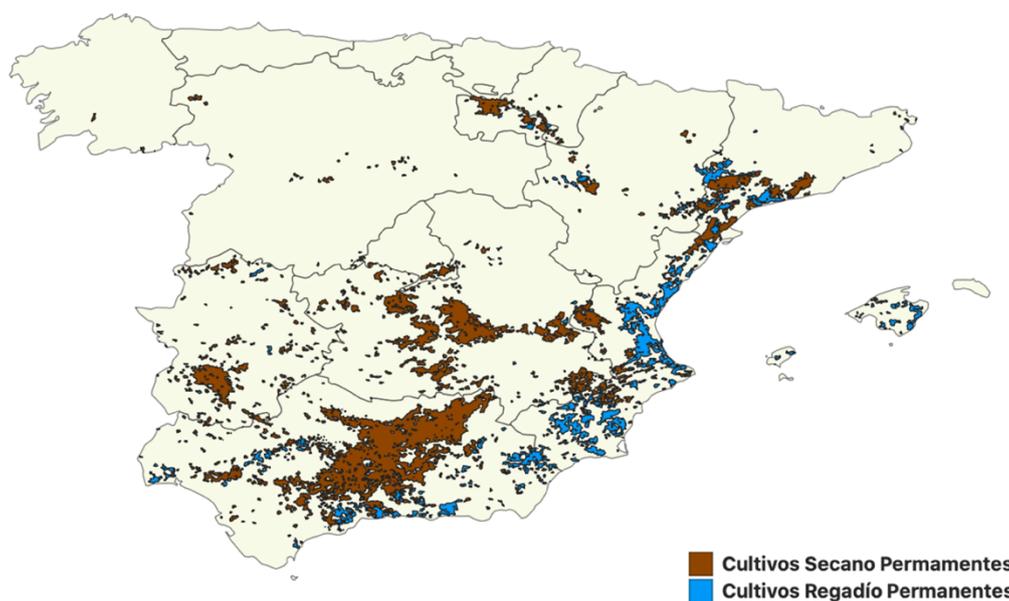


Figura 11. Distribución geográfica de los cultivos permanentes en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.

En la Figura 12.A está representada la evolución de la producción en toneladas por grupo de cultivo permanente con los datos obtenidos de la base de datos de la FAO (FAO 2020). Los grupos con una mayor producción en el periodo 1990-2019 son los frutales, que presentan una caída hasta mediados de los años 90 y después una tendencia positiva, seguidos de cítricos y olivo, que a pesar de ser un cultivo individual y no un grupo de ellos, destaca por su alta producción y el aumento de esta con el tiempo. Los frutos secos y otros cultivos presentan la menor producción, además de una tendencia más homogénea.

Como especies permanentes con mayor producción anual destacan el naranjo, el olivo y la vid. En la Figura 12.B se observa cómo la producción de olivo aumenta con los años tal y como se veía en la figura anterior. El naranjo se mantiene más estable, aunque su producción también tiende a aumentar con el paso del tiempo. La uva experimenta una disminución hasta mediados de los 90 y después un aumento, aunque con ligeras fluctuaciones.

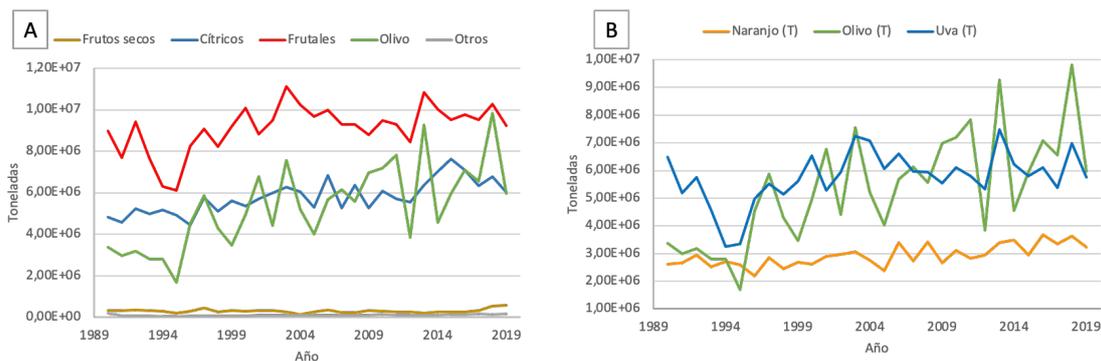


Figura 12. Evolución de la producción de cultivos permanentes en el periodo 1990-2019: A. Evolución por grupo de cultivo; B. Evolución por especie mayoritaria; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

Haciendo un estudio del rendimiento, en la Figura 13 se representa la evolución de los diferentes grupos de cultivos permanentes en los últimos años en Kg/Ha a partir de los datos de la FAO (FAO 2020). Aumenta el rendimiento del cultivo de frutales, cítricos y del grupo otros, que se corresponde con especies de frutos rojos, membrillo y café. Los frutos secos experimentan un descenso durante estos años.

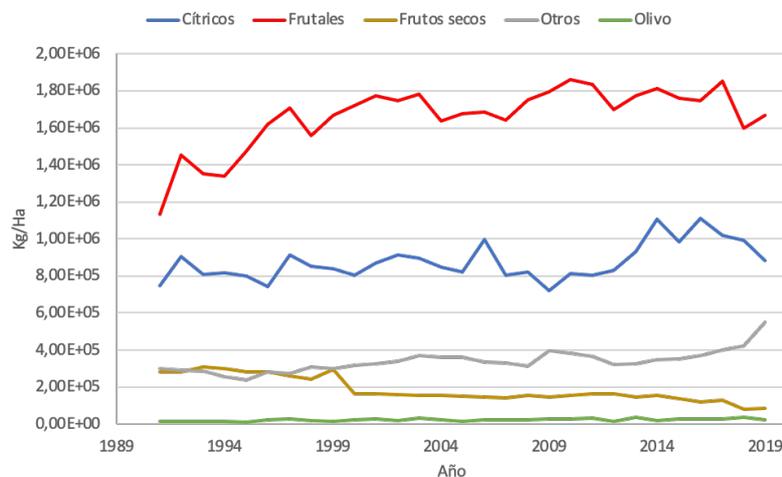


Figura 13. Evolución del rendimiento de cultivos permanentes por grupo de cultivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

En cuanto a las especies mayoritarias, en la Figura 14.A está representada la evolución del rendimiento en el cultivo de naranjas, que aumenta con el tiempo, aunque con grandes fluctuaciones. En la Figura 14.B está representado el olivo, observándose que el rendimiento también aumenta, pero sufre fluctuaciones dependiendo del año. En la

Figura 14.C se representa la evolución en el cultivo de uva, donde las fluctuaciones son menores que en los casos anteriores y también ha aumentado con el tiempo.

Tras el análisis estadístico del rendimiento de naranjas, uva y olivo se han elaborado diagramas de cajas (Figuras 14.D y 14.E) y obtenido en Excel los datos recogidos en la Tabla 2.

La Figura 14.D se corresponde con el naranjo, donde el cuartil Q3 está más alejado de la mediana que el Q1, por lo que los valores más altos son más dispersos que los bajos. La media toma un valor superior a la mediana y la desviación estándar, así como el nivel de confianza del 95% presentan valores altos. Esto es debido a que en los años en los que el rendimiento ha aumentado, se ha producido de forma brusca respecto a la tendencia general de los datos, en concordancia con la forma de la Figura 14.A, donde las fluctuaciones son grandes.



Figura 14. Evolución del rendimiento de cultivos permanentes en el periodo 1990-2019: A. Rendimiento de naranjo; B. Rendimiento de olivo; C. Rendimiento de viñedo; D. Diagrama de cajas de naranjo; E. Diagrama de cajas de viñedo y olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

Tabla 2. Análisis estadístico del rendimiento de naranjo, vid y olivo en el periodo 1990-2019 (elaboración propia).

Datos	Naranjo (Kg/Ha)	Vid (Kg/Ha)	Olivo (Kg/Ha)
Media	2,084E+05	5,327E+04	2,234E+04
Error típico	4,703E+03	2,144E+03	1,312E+03
Mediana	2,023E+05	5,321E+04	2,211E+04
Desviación estándar	2,576E+04	1,174E+04	7,188E+03
Varianza de la muestra	6,635E+08	1,379E+08	5,167E+07
Curtosis	-6,082E-01	4,283E-01	-2,459E-01
Coefficiente de asimetría	3,720E-01	-2,009E-01	3,032E-01
Cuenta	30	30	30
Nivel de confianza (95,0%)	9,618E+03	4,385E+03	2,684E+03

En el caso de la uva, en la Figura 14.E se observa que los datos presentan una menor dispersión. La media y la mediana toman valores similares, lo que se corresponde con la simetría de la muestra, que se confirma con la distancia de los cuartiles Q1 y Q3 respecto de la mediana, es decir, los datos están distribuidos de forma centrada, aunque los valores máximo y mínimo están bastante alejados. Esto es debido a que el rendimiento ha evolucionado sin cambios bruscos, salvo el mínimo observado hacia 1994 y el máximo hacia 2014 de la Figura 14.C, que son los que generan esa separación entre los límites. En la misma figura se representa la distribución del rendimiento del olivo, donde los datos se mueven en un rango menor y son más simétricos, al igual que en el caso de la uva, con media y mediana de valores similares y los valores máximo y mínimo, más cercanos a ellas. De este modo, aunque en la Figura 14.B se observen fluctuaciones, se concluye que el rendimiento del olivo se ha movido a lo largo de los años en un rango de valores no muy distantes entre sí.

Se concluye, por tanto, que la producción y el rendimiento de los cultivos, tanto permanentes como herbáceos ha aumentado en España en los últimos 30 años, traduciéndose en una disminución del uso de suelo agrícola, que a su vez puede ser debida a una desertificación de los suelos como consecuencia del cambio climático, o a un uso del suelo cada vez más intensivo. Estos datos plantean un escenario positivo en cuanto a la valorización de residuos procedentes de biomasa agrícola, tanto de los cultivos herbáceos como el tomate, cuyas plantas son desechadas tras el periodo de

cosecha, como los que pueden proceder de la poda de cultivos permanentes como los viñedos, naranjo y olivo. De forma paralela, el cultivo de la vid, que tiene tanta importancia en España, está destinado principalmente a la industria vinícola, en la que se producen una gran cantidad de residuos, procedentes de hollejos, raspones etc. Que se desechan tras el procesado del vino (Lomas Esteban et al. 2001).

4.2 Evolución del uso de productos fitosanitarios.

4.2.1 Toneladas de pesticidas usadas anualmente.

Para observar cómo ha variado a lo largo del tiempo el uso de pesticidas, a partir de los datos de la FAO (FAO 2020) se han elaborado los diagramas del uso en toneladas de diferentes productos fitosanitarios.

En la Figura 15.A se representan las toneladas de pesticidas totales utilizados en el periodo 1990-2018, cuyo uso ha aumentado considerablemente de forma lineal. Para observar esta tendencia se ha representado la recta de regresión, donde se ha obtenido un valor cuadrático de R de 0,7127.

En la Figura 15.B se representa la evolución del uso de insecticidas en toneladas en el mismo periodo. En este caso se observa un aumento hasta el año 2010 y después una disminución brusca. En la Figura 16 se ha realizado una división de el gráfico en dos intervalos para estudiar la tendencia a partir de rectas de regresión, donde se observa hasta 2010 un aumento lineal con un valor cuadrático de R de 0,7741 y un valor prácticamente constante, con una pequeña bajada desde 2011 hasta 2018, con un valor cuadrático de R de 0,5782.

En la Figura 15.C se representa la evolución del uso de bactericidas y fungicidas, de modo que se observa un uso bastante regular hasta 2009, con un gran salto al año siguiente, aumentando durante unos años para volver a estabilizarse. Se corresponde con una tendencia exponencial en la que se ha obtenido un valor cuadrático de R de 0,6868.

En la Figura 15.D se representa la evolución en el caso de los herbicidas. Se observa que su uso desciende hasta mediados de los años 90, momento a partir del que su uso va en aumento hasta 2018, teniendo en general una tendencia irregular.

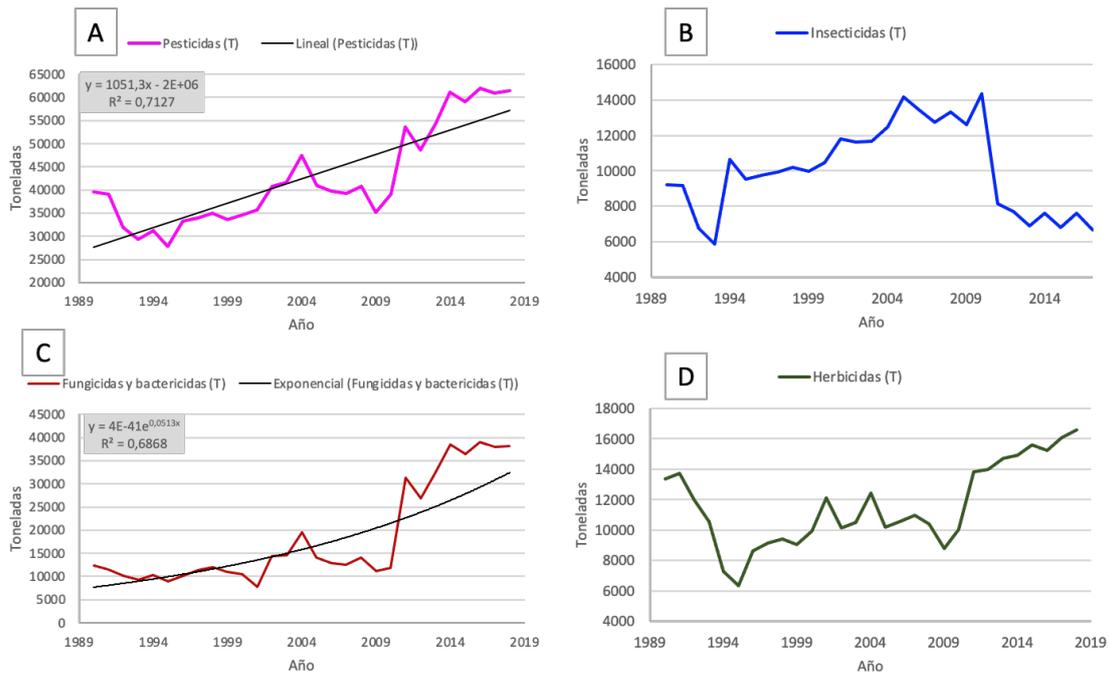


Figura 15. Evolución del uso en toneladas de productos fitosanitarios en el periodo 1990-2018: A. Pesticidas; B. Insecticidas; C. Fungicidas y bactericidas; D. Herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

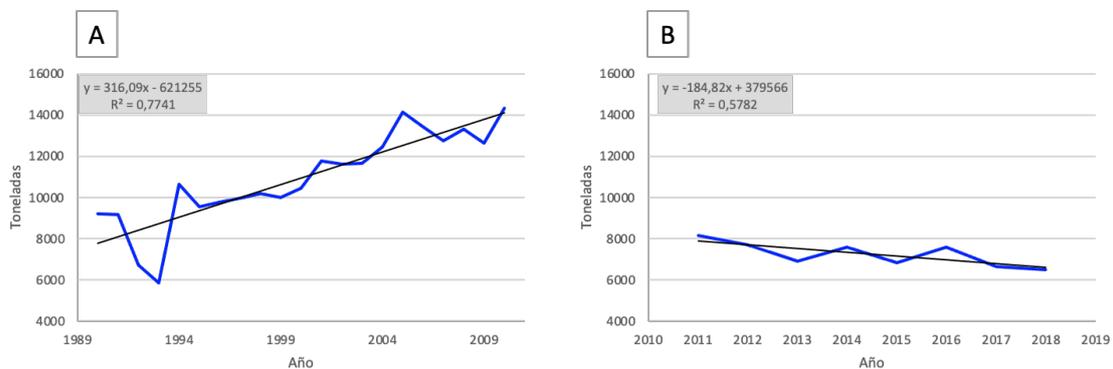


Figura 16. Evolución del uso de insecticidas en toneladas: A. Periodo 1990-2010; B. Periodo 2011-2018; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

4.2.2 Rendimiento y análisis estadístico del uso de productos fitosanitarios.

En la Figura 17 se representan las evoluciones de uso en Kg/Ha de los pesticidas estudiados a partir de los datos de la FAO (FAO 2020). Se observa en todos ellos que su evolución toma forma muy similar a la de su uso en toneladas vista en el apartado 4.2.1. En la Figura 17.A, en la que está representado el uso de pesticidas en Kg/Ha, la tendencia ha aumentado de forma exponencial a lo largo de los años con un valor cuadrático de R de 0,8243.

En el caso de los insecticidas, en la Figura 17.B se observa que la forma del gráfico es igual a la del uso en toneladas, al igual que en el caso de los herbicidas en la Figura 17.D. En el caso de los fungicidas y bactericidas, el aumento se da de forma exponencial con un valor cuadrático de R de 0,7493 tal y como se observa en la Figura 17.C.

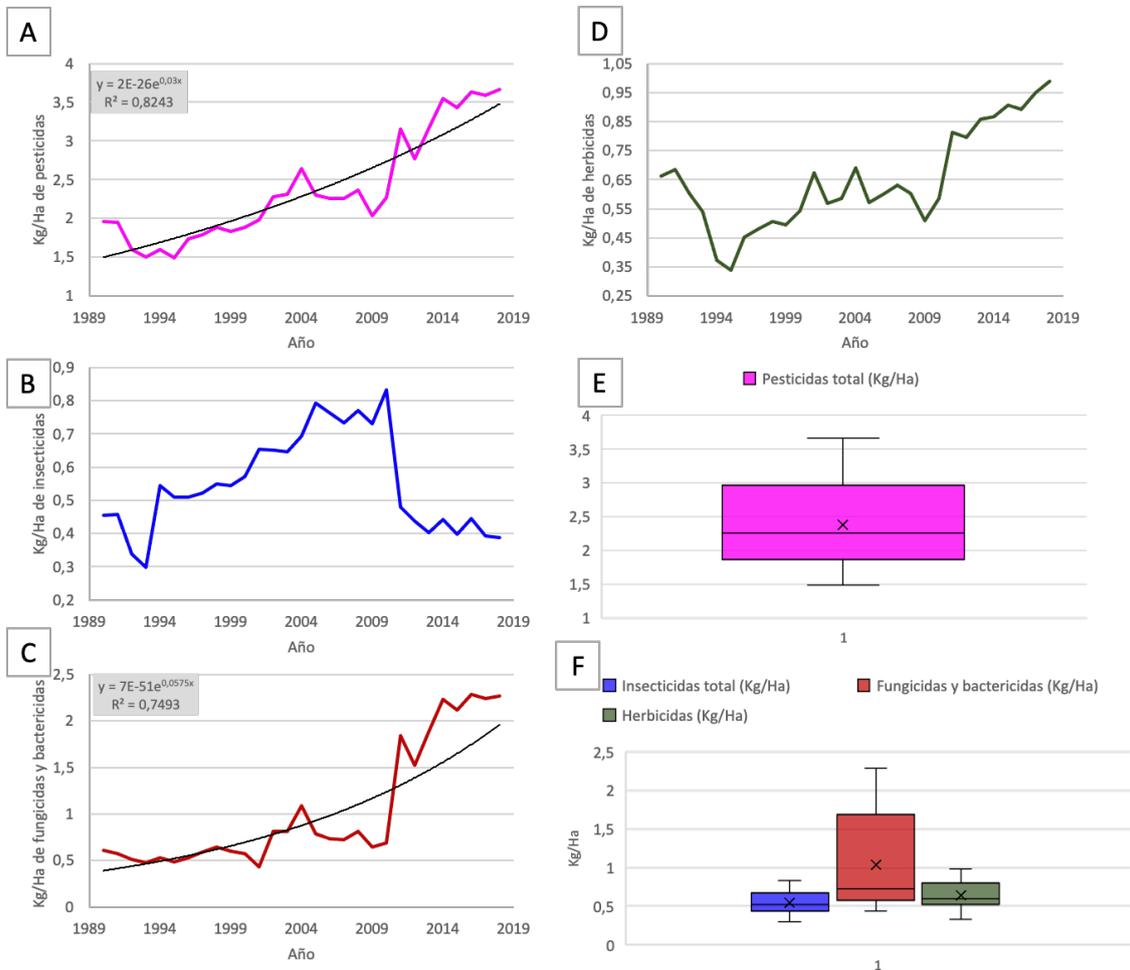


Figura 17. Evolución del uso de fitosanitarios en Kg/Ha en el periodo 1990-2018: A. Pesticidas; B. Insecticidas; C. Fungicidas y bactericidas; D. Herbicidas; E. Diagrama de cajas de pesticidas; F. Diagrama de cajas de insecticidas, herbicidas, fungicidas y bactericidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

Realizando un análisis estadístico de estos datos, se ha procedido a realizar diagramas de cajas (Figuras 17.E y 17.F) y un análisis cuyos resultados obtenidos en Excel están reflejados en la Tabla 3, para dar sentido a la distribución de los datos y analizar las variaciones de forma más precisa.

Tabla 3. Análisis estadístico del rendimiento de los diferentes productos fitosanitarios estudiados (elaboración propia).

Datos	Pesticidas (Kg/Ha)	Insecticidas (Kg/Ha)	Fungicidas y bactericidas (Kg/Ha)	Herbicidas (Kg/Ha)
<i>Media</i>	2,375E+00	5,503E-01	1,037E+00	6,474E-01
<i>Error típico</i>	1,293E-01	2,756E-02	1,232E-01	3,193E-02
<i>Mediana</i>	2,260E+00	5,232E-01	7,264E-01	6,021E-01
<i>Desviación estándar</i>	6,964E-01	1,484E-01	6,635E-01	1,719E-01
<i>Varianza de la muestra</i>	4,850E-01	2,203E-02	4,402E-01	2,957E-02
<i>Curtosis</i>	-7,544E-01	-9,613E-01	-6,013E-01	-6,080E-01
<i>Coefficiente de asimetría</i>	7,175E-01	3,402E-01	1,062E+00	3,958E-01
<i>Cuenta</i>	29	29	29	29
<i>Nivel de confianza (95,0%)</i>	2,649E-01	5,646E-02	2,524E-01	6,540E-02

En el caso de los pesticidas totales, el diagrama de cajas de la Figura 17.E muestra una dispersión en la distribución de los datos de valores superiores, ya que la mediana y el cuartil Q3 están más alejados, además de que la media toma un valor mayor a la mediana. Los valores inferiores, no distan mucho de la mediana, por lo que son menos dispersos que los altos. En concordancia con la Figura 17.A, esto es debido a la evolución bastante constante hasta 2009, y el aumento brusco en el último periodo, tomando valores mucho más altos que hasta esa fecha.

En la Figura 17.F se observa que el uso de herbicidas e insecticidas, no se ha movido en un rango muy amplio de valores, ya que la caja es pequeña y los extremos no se encuentran muy separados. En el caso de los herbicidas, los datos muestran una dispersión mayor que en los insecticidas, sobre todo en valores altos ya que el cuartil Q3 está más separado de la mediana que el cuartil Q1, lo que es debido al aumento significativo de los últimos años que se diferencia en la Figura 17.D. La dispersión en los insecticidas también es superior en los valores altos, correspondiéndose con la forma de la Figura 17.B, donde los mínimos se mantienen en valores más próximos entre sí que los máximos.

En el caso de los fungicidas y bactericidas, en la Figura 17.F se observa que el rango de valores es significativamente más amplio que en los anteriores, y por tanto su dispersión mucho mayor. Además, la media se encuentra muy alejada de la mediana en la franja superior, lo que corrobora esa dispersión, sobre todo en los valores más altos, al igual que indica el cuartil Q3 tan separado de la mediana. Esto es debido a que los valores inferiores, que se corresponden con periodo hasta 2009 se mantienen bastante estables, tal y como se representa en la Figura 17.C, sufriendo una subida muy significativa a partir de este año, tomando valores muy superiores a los anteriores debido al incremento de su uso.

Se concluye por tanto que el uso de pesticidas en España ha aumentado en los últimos 30 años, a pesar de la aparición de nuevas normativas que limitan su uso, así como un aumento de la práctica de cultivos ecológicos, en los que está más limitado el uso de estos productos. Estos resultados llevan a un planteamiento en el que debe hacer un uso más responsable de este tipo de productos, ya que contienen productos químicos perjudiciales para el medio ambiente, desfavoreciendo el desarrollo sostenible.

4.3 Evolución de los factores que afectan al cambio climático.

4.3.1 Precipitaciones.

En la Figura 18 se muestra el mapa elaborado con QGIS a partir de los datos del ANE (ANE 2021), con la distribución geográfica de las precipitaciones que tienen lugar en España en mm. Como se observa, la zona norte y montañosa de la península presenta unas precipitaciones mucho mayores al resto, con valores entre 800 y más de 2200 mm. En la zona de la meseta, los valores mayoritarios se encuentran entre 300 y 800 mm, siendo la zona del sureste donde menos precipitaciones se producen, con valores entre 100 y 300 mm, correspondiéndose con la zona donde se siembran más más cultivos de regadío.

Para estudiar la evolución de las precipitaciones en los últimos años, se han representado las precipitaciones máximas, mínimas y medias en el periodo 1991-2016, con los datos obtenidos a partir de la base de datos de *Climate Change Knowledge Portal* (Bank 2021).

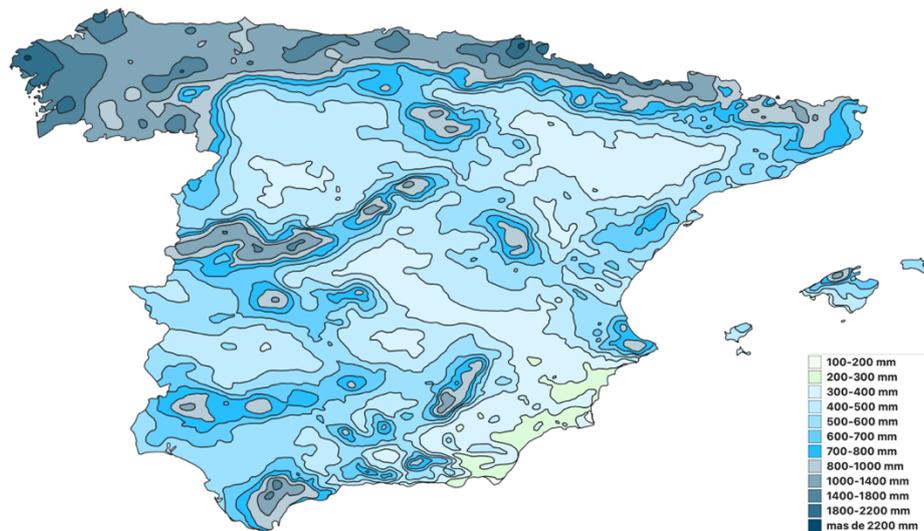


Figura 18. Distribución geográfica de las precipitaciones anuales que tienen lugar en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.

En la Figura 19.A está representada la evolución de las precipitaciones máximas, que presentan fuertes fluctuaciones a lo largo de los años, aunque la tendencia en general ni aumenta ni disminuye.

En el caso de las precipitaciones mínimas, en la Figura 19.B se da una tendencia similar, con fluctuaciones y una tendencia estable que ni aumenta ni disminuye con el paso del tiempo.

Las precipitaciones medias en la Figura 19.C también tienen una tendencia similar, con fluctuaciones y sin un aumento o disminución claros a lo largo del tiempo.

Realizando un análisis estadístico se ha representado un diagrama de cajas (Figura 19.D) y se han obtenido en Excel los resultados recogidos en la Tabla 4.

En el diagrama de la Figura 19.D se observa cómo las precipitaciones medias y mínimas se mantienen en rangos de datos con poca dispersión, ya que las cajas son reducidas, lo que indica que a pesar de las fluctuaciones observadas en las Figuras 19.B y 19.C, los valores entre los que fluctúan no son muy dispares entre sí. En el caso de las mínimas si se observa una ligera desviación del valor mínimo respecto del resto, lo que se corresponde con el pico inferior de finales de los años 90 observado en la Figura 19.B.

Las precipitaciones máximas presentan fluctuaciones mucho mayores, de modo que el rango de estas es más amplio. En cuanto a la dispersión, se aprecia una desviación en los valores más altos, ya que el cuartil Q3 está más desviado de la mediana que el Q1, y

el valor medio también toma un valor más alto, es decir, en los años con más precipitaciones, estas han sido muy altas en comparación con la tendencia general. En la Figura 19.A se observa que en 2015 también se da un mínimo en las precipitaciones máximas, que se corresponde con el límite inferior del diagrama de cajas y bigotes.

De forma general se puede concluir que las precipitaciones no han sufrido grandes variaciones a lo largo del tiempo salvo en momentos puntuales, pero no se observa en ninguno de los casos una tendencia que aumente o disminuya, sino que fluctúan dentro de rangos bastante estables salvo alguna desviación puntual.

Tras estudiar la evolución de las precipitaciones en España en los últimos 30 años, se observa cómo a pesar del cambio climático, estas no han variado de forma significativa, aunque sí ha aumentado la dispersión de las precipitaciones máximas, por lo que no se considera un impacto a tener en cuenta en cuanto a su repercusión en el rendimiento de los cultivos.

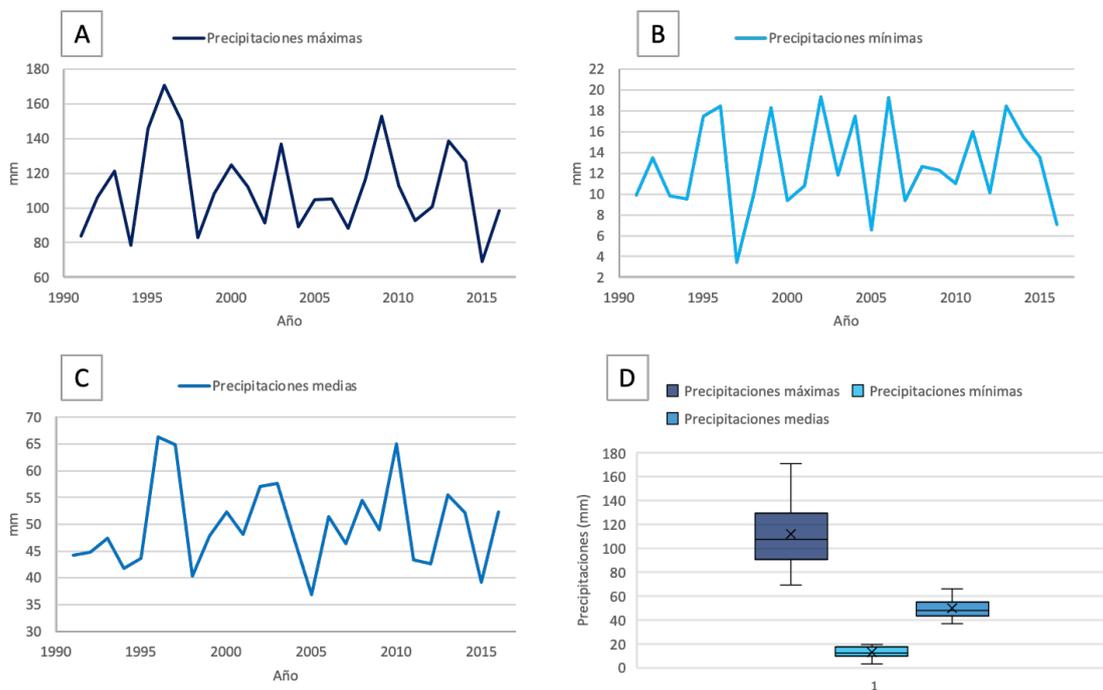


Figura 19. Evolución de las precipitaciones en España en el periodo 1990-2016: A. Precipitaciones máximas; B. Precipitaciones mínimas; C. Precipitaciones medias; D. Diagrama de cajas de precipitaciones máximas, mínimas y medias; (elaboración propia a partir de los datos de Climate Change Knowledge Portal).

Tabla 4. Resultados del análisis estadístico de las precipitaciones en el periodo 1990-2016 (elaboración propia).

Datos	Precipitación máxima (mm)	Precipitación mínima (mm)	Precipitación media (mm)
Media	1,119E+02	1,274E+01	4,968E+01
Error típico	5,044E+00	8,548E-01	1,556E+00
Mediana	1,071E+02	1,207E+01	4,802E+01
Desviación estándar	2,572E+01	4,359E+00	7,932E+00
Varianza de la muestra	6,615E+02	1,900E+01	6,292E+01
Curtosis	-3,453E-01	-7,784E-01	-1,840E-01
Coficiente de asimetría	5,176E-01	-1,908E-02	6,199E-01
Cuenta	26	26	26
Nivel de confianza (95,0%)	1,039E+01	1,761E+00	3,204E+00

4.3.2 Temperaturas.

En la Figura 20 se muestra el mapa elaborado con QGis a partir de los datos del Atlas Nacional de España (ANE 2021), donde se representa la distribución de temperaturas medias en España. En las zonas montañosas las temperaturas medias son entre 2,5 y 10 °C, seguidas de la zona norte de la meseta, y el interior de Galicia, donde las temperaturas oscilan entre 10 y 12,5 °C. Las temperaturas más altas se dan en la costa de levante, el sur peninsular y baleares, donde las temperaturas medias oscilan entre los 15 y los 20 °C.

Para estudiar la evolución de las temperaturas globales de los últimos años, se han representado las temperaturas máximas, mínimas y medias en el periodo 1991-2016 que se han dado en España, a partir de los datos obtenidos de la base de datos del *Climate Change Knowledge Portal* (Bank 2021).

En la Figura 21.A se representa la evolución de las temperaturas máximas anuales, donde la tendencia general no tiende a aumentar ni a disminuir, presentando fluctuaciones a lo largo de los años.

En cuanto a las temperaturas mínimas, en la Figura 21.B se observa que, si presentan una leve tendencia ascendente, presentando algunas fluctuaciones principalmente en el primer periodo.

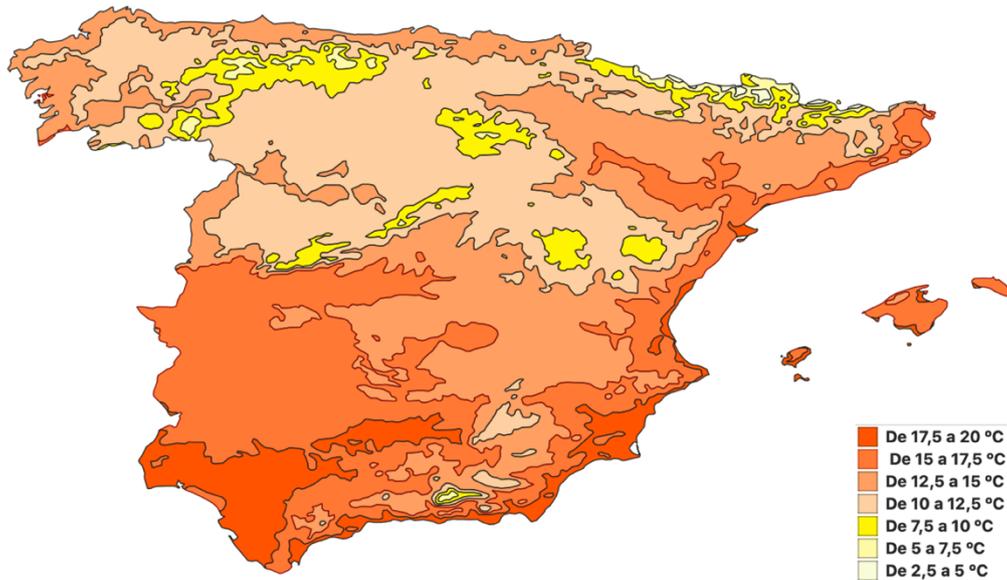


Figura 20. Distribución de temperaturas medias en España. Elaboración propia a partir de los datos del ANE.

En la Figura 21.C se observa que las temperaturas medias anuales si presentan una tendencia ascendente a lo largo de los años, aunque con fluctuaciones.

Realizando un análisis estadístico se ha representado un diagrama de cajas (Figura 21.D) y se han obtenido a partir de Excel los resultados recogidos en la Tabla 5 para realizar un análisis más detallado de la evolución.

En la Figura 21.D se observa que las temperaturas máximas, medias y mínimas se mantienen a lo largo de los años entre valores próximos, es decir, no hay dispersión de los datos debido al pequeño tamaño de los diagramas de cajas y bigotes.

En las temperaturas máximas, la media y la mediana toman valores muy próximos, lo que se corresponde con la simetría de los datos. La curtosis, toma un valor próximo a 0, lo que se corresponde con una distribución que tiende a normal, con colas livianas a tratarse de un valor negativo. La desviación estándar toma un valor bajo, lo que indica que los valores en general están agrupados cerca de la media. Esto indica, en concordancia con la Figura 21.A, que las temperaturas máximas en los últimos años han sufrido fluctuaciones, pero generalmente se han mantenido dentro del mismo rango de valores, por lo que no ha habido un incremento ni una disminución significativas.

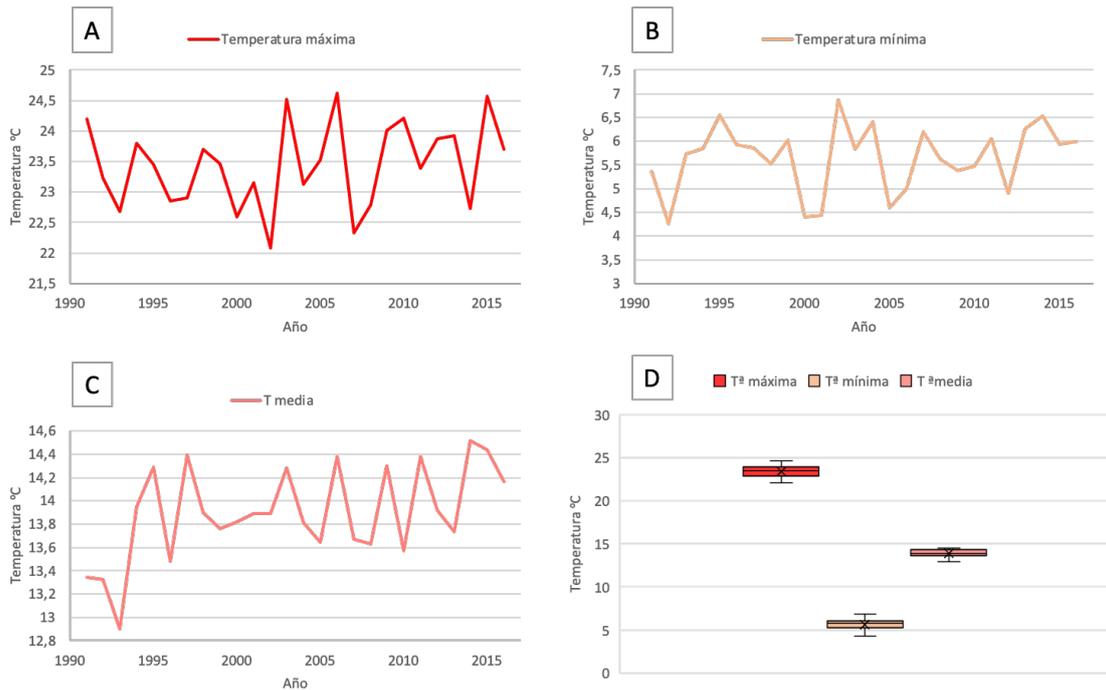


Figura 21. Evolución de las temperaturas en el periodo 1991-2016: A. Temperaturas máximas; B. Temperaturas mínimas; C. Temperaturas medias; D. Diagramas de cajas de temperaturas máximas, mínimas y medias; (elaboración propia a partir de los datos de Climate Change Knowledge Portal).

Tabla 5. Resultados del análisis estadístico de las temperaturas máximas, mínimas y medias en el periodo 1990-2016 (elaboración propia).

Datos	Temperaturas máximas	Temperaturas mínimas	Temperaturas medias
Media	2,344E+01	5,652E+00	1,390E+01
Error típico	1,368E-01	1,374E-01	7,930E-02
Mediana	2,345E+01	5,834E+00	1,389E+01
Desviación estándar	6,974E-01	7,006E-01	4,044E-01
Varianza de la muestra	4,863E-01	4,909E-01	1,635E-01
Curtosis	-7,666E-01	-3,958E-01	-9,927E-02
Coficiente de asimetría	-3,318E-02	-5,299E-01	-3,879E-01
Cuenta	26	26	26
Nivel de confianza (95,0%)	2,817E-01	2,830E-01	1,633E-01

En las temperaturas mínimas, la media se desvía levemente por debajo de la mediana, por lo que los datos tienden a desviarse muy ligeramente por la franja inferior. En la Figura 21.C, observamos que hay menos picos en valores inferiores, y que los superiores se mantienen más constantes. Sin embargo, se trata de variaciones mínimas, ya que la

desviación estándar toma un valor muy bajo, estando los valores próximos al valor medio.

Las temperaturas medias presentan un mínimo bastante alejado de la media en comparación al resto de datos, debido al pico inferior observado en la Figura 21.B a principios de los años 90. En general, al igual que en los casos anteriores la variación es mínima, siendo la desviación estándar muy baja, así como el error estándar y el nivel de confianza del 95%, valores que nuevamente nos indican una dispersión baja de los datos.

El incremento observado en la evolución de las temperaturas medias pone de manifiesto las consecuencias del calentamiento global en España, factor que tiene una consecuencia directa con la desertificación de los suelos, ya que las precipitaciones se mantienen estables pero el aumento de temperaturas conlleva a que sea necesario un aumento del uso de agua en los cultivos de regadío. Además, este factor está ligado directamente con la proliferación de plagas y enfermedades, ya que como se describe en el Anexo, muchas de estas dependen de temperaturas óptimas para su proliferación, pudiéndose verse favorecidos los ciclos de reproducción en el caso de insectos, como la mosca de alas manchadas, o una aparición temprana en el caso de hongos que se mantienen latentes cuando las condiciones no son óptimas, como el oídio, pudiendo también aparecer nuevos patógenos propios de otras regiones próximas con climas más calurosos, como África, tal y como ha ocurrido con la *Psila Africana* (ver anexo de este trabajo).

4.3.3 Emisiones de CO₂.

En la Figura 22.A está representado el histórico de datos de emisiones de CO₂ globales registradas en España en millones de Toneladas por año, desde 1830 hasta 2018 a partir de los datos obtenidos de la base de datos de *Our World in Data* (Oxford 2019). En esta gráfica se observa un claro aumento exponencial de las emisiones hasta 2007, que comienzan a disminuir de nuevo, con un valor cuadrático de R de 0,8577.

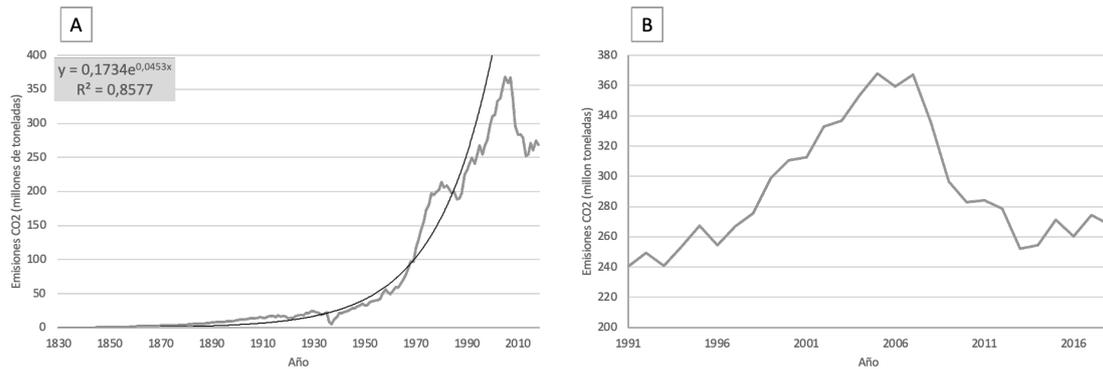


Figura 22. Histórico de emisiones de CO₂ en millón de toneladas: A. Periodo 1830-2016; B. Periodo 1991-2016; (elaboración propia a partir de los datos de Our World in Data).

En la Figura 22.B se representa el periodo 1991-2016 ya que se corresponde con el intervalo estudiado en el resto de los parámetros. A partir de 2007 se observa una caída en las emisiones de CO₂, que se corresponde con el comportamiento en otros países europeos como Italia. Esta disminución puede ser debida a la crisis económica que tuvo lugar en ese periodo, así como a las nuevas reglamentaciones Europeas llevadas a cabo, como la que tuvo lugar en 2007 por la *Comission of the European Communities* en la que se limitaban las emisiones de CO₂ provocadas por vehículos a 120 g/Km (Of et al. 2007). El aumento de las emisiones de CO₂ se corresponde con un factor relacionado directamente con el calentamiento global, al tratarse de un gas de efecto invernadero.

4.4 Influencia del uso de pesticidas y factores de cambio climático en la producción de los cultivos.

Tras representar los resultados del rendimiento de los diferentes cultivos, se ha observado cómo este ha ido aumentando de forma general a pesar de la disminución de las hectáreas cultivadas. Dicho aumento puede ser debido al aumento de la temperatura, o también al aumento en el uso de pesticidas, que a su vez puede darse por un aumento e la proliferación de plagas y enfermedades, y dicha proliferación estar relacionada con el aumento de la temperatura u otros factores, de modo que todas las variables podrían tener una relación entre sí.

A continuación, se realizan diferentes comparaciones entre variables para observar si dichas relaciones tienen lugar y en qué grado se dan.

4.4.1 Relación de las especies de cultivos de interés con el uso de productos fitosanitarios.

4.4.1.1 Uso de pesticidas totales respecto a cultivos herbáceos.

En la Figura 23 se representan los rendimientos de tomate, cebada y trigo frente al uso de pesticidas totales en Kg/Ha a lo largo del periodo 1990-2018 con los datos obtenidos de la FAO (FAO 2020) para observar si existe relación en la tendencia entre ambas variables.

En el caso del tomate, en la Figura 23.A se observa una tendencia similar entre ambas variables. Para cuantificar dicha relación se ha calculado el coeficiente de correlación entre ambas variables, obteniéndose un resultado de 0,87, que se corresponde con una correlación muy alta próxima a 1, de modo que cuando el rendimiento del cultivo de tomate aumenta, también lo hace el uso de pesticidas. Debido a este valor, se ha representado en la Figura 23.B el rendimiento del tomate frente a los pesticidas, obteniéndose una regresión lineal con un valor cuadrático de R de 0,7515.

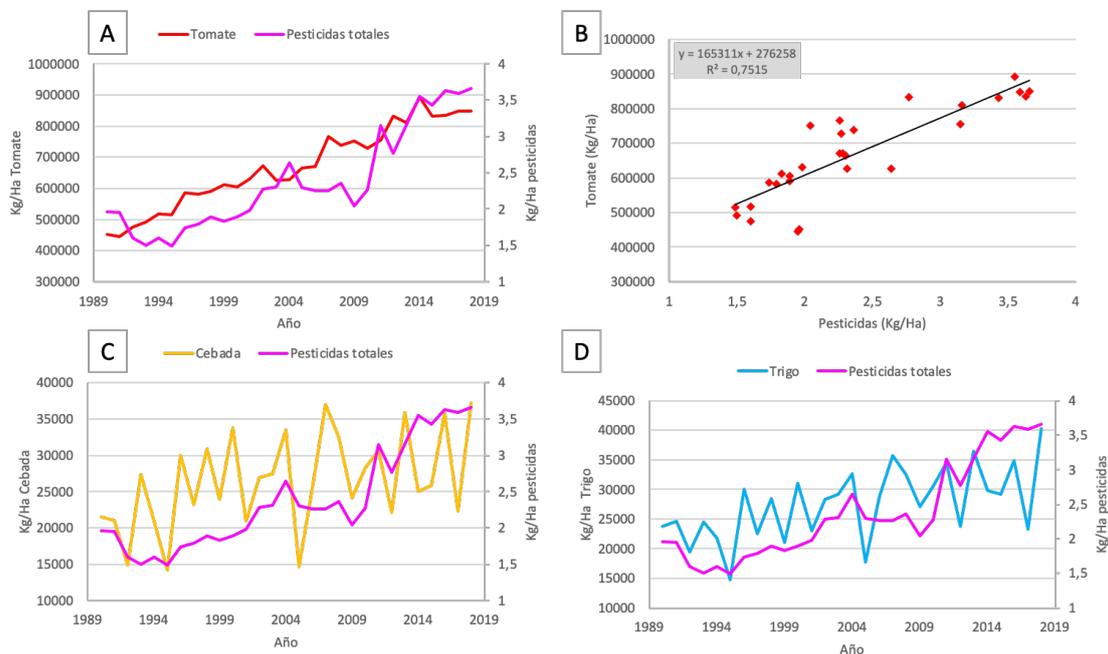


Figura 23. Relación entre el uso de pesticidas y el rendimiento de especies herbáceas: A. Tomate; B. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de pesticidas; C. Cebada; D. Trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

En la Figura 23.C se representa la relación entre pesticidas totales y rendimiento del cultivo de cebada. En este caso, el coeficiente de correlación obtenido toma un valor de

0,43, que se corresponde con una correlación normal entre ambas variables por lo que no se ha representado la regresión entre ambas variables.

En el caso del trigo, en la Figura 23.D se ha representado la relación del rendimiento de este cultivo respecto a los pesticidas totales, y se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0,58 que se corresponde con una correlación normal al igual que en el caso de la cebada.

De este modo, las especies herbáceas estudiadas se concluye que el tomate presenta una correlación muy alta con el uso de pesticidas totales, mientras que la relación con cebada y trigo, aunque su relación es positiva, esta no presenta similitudes características. Por ello se ha realizado un estudio del rendimiento del tomate más específico con cada uno de los tipos de pesticidas estudiados (Figura 24).

En la Figura 24.A se representa el rendimiento de tomate y el uso de insecticidas en el periodo 1990-2018, donde se observa que las curvas presentan formas diferentes. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables es de 0,04, de modo que la correlación es muy baja entre ambas variables y no interesa representar la regresión entre ambas.

En la Figura 24.B se representa la relación de la evolución entre el rendimiento del tomate y el uso de fungicidas y bactericidas. Ambas gráficas presentan un aumento, y el coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables es de 0,82, lo que se corresponde con una correlación muy alta indicando que cuando el rendimiento del tomate aumenta, también lo hace el uso de fungicidas y bactericidas. En la Figura 24.C se representa la regresión entre ambas, obteniéndose una tendencia lineal con un valor cuadrático de R de 0,6672.

En el caso de la comparativa del tomate y los herbicidas, en la Figura 24.D se observa cómo ambos aumentan a lo largo del tiempo. El coeficiente de correlación obtenido en este caso toma un valor de 0,72, que se corresponde con una correlación alta entre ambas variables de modo que cuando una aumenta la otra también lo hace. En la Figura 24.E se representa la regresión entre ambas variables y se obtiene una tendencia lineal con un valor cuadrático de R de 0,5132.

Tras este análisis se observa que el rendimiento de cultivo del tomate no tiene relación con el uso de insecticidas, pero sí con el de herbicidas, fungicidas y bactericidas, sobre todo con estos últimos, con los que se presenta una correlación muy alta.

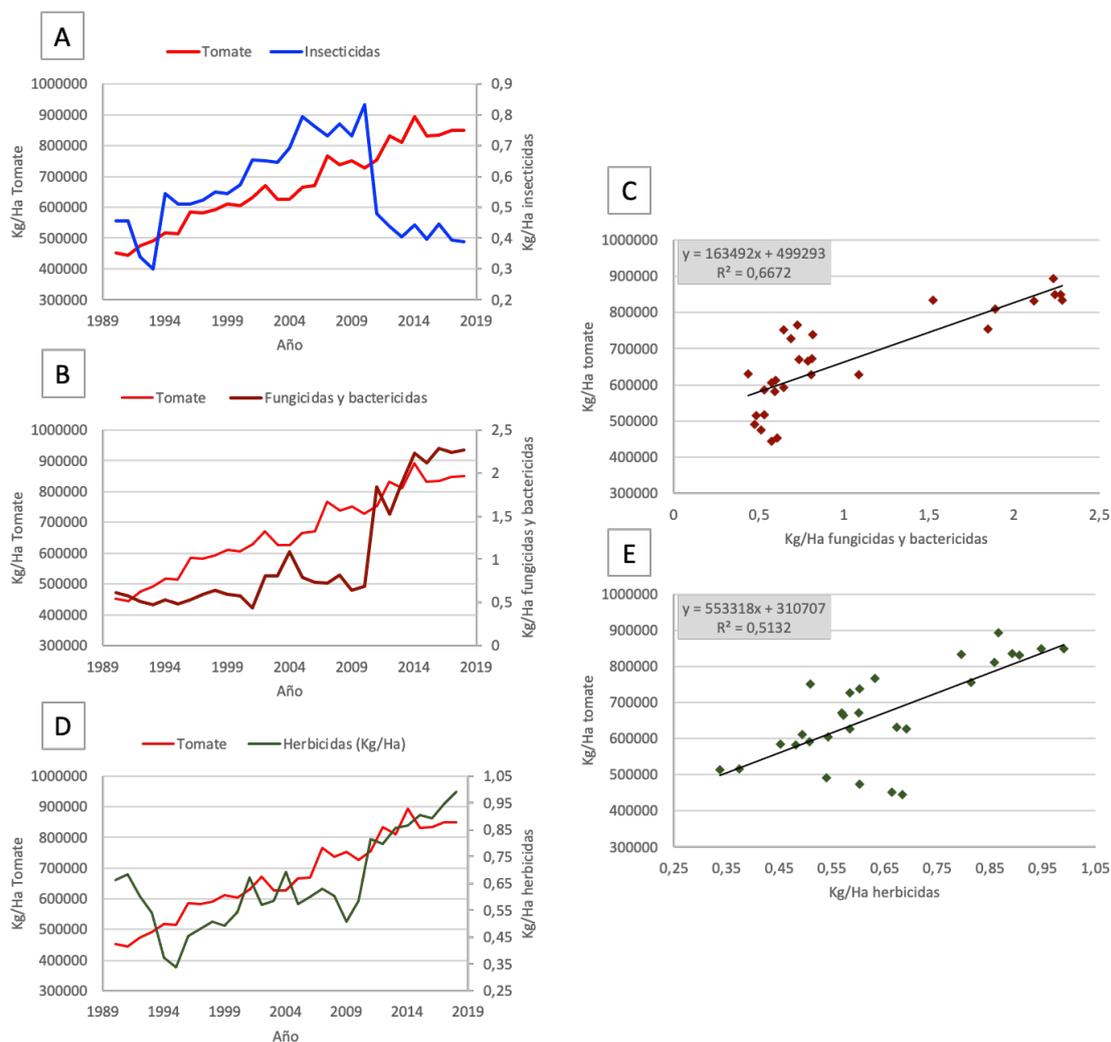


Figura 24. Relación entre el rendimiento del tomate con los diferentes grupos de pesticidas: A. Insecticidas; B. Fungicidas y bactericidas; C. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de fungicidas y bactericidas; D. herbicidas; E. Regresión entre el rendimiento de tomate y el uso de herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

4.4.1.2 Uso de pesticidas totales respecto a cultivos permanentes.

En la Figura 25 se representan los rendimientos de vid, naranjo y olivo frente al uso de pesticidas totales en Kg/Ha a lo largo del periodo 1990-2018 a partir de los datos de la FAO (FAO 2020) para observar si existe relación en la tendencia entre ambas variables. En la Figura 25.A se representa la evolución de pesticidas totales y el rendimiento de la uva, y se observa una tendencia similar. El coeficiente de correlación entre ambas variables toma un valor de 0,81, que se corresponde con una correlación muy alta que indica que a medida que aumenta el rendimiento de los viñedos, también lo hace el uso

de pesticidas. Al obtenerse una correlación tan alta, se ha representado la regresión entre ambas variables en la Figura 25.B, obteniéndose una regresión lineal con un valor cuadrático de R de 0,6545.

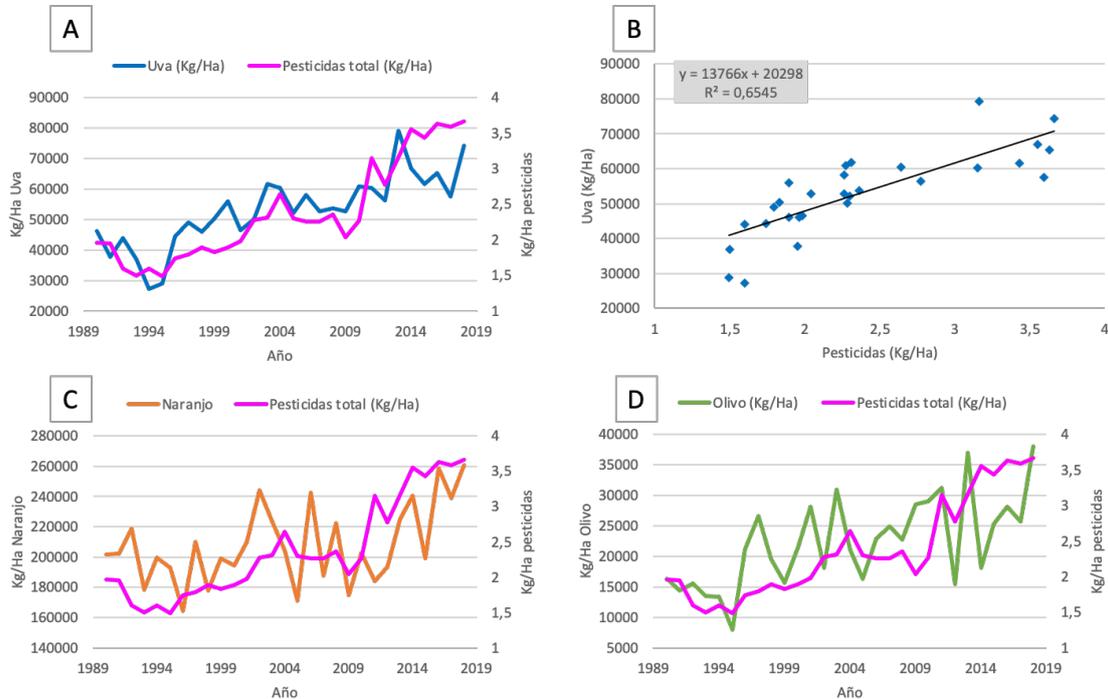


Figura 25. Comparación de la evolución en el uso de pesticidas totales y el rendimiento de especies permanentes en el periodo 1990-2018: A. Uva; B. Regresión entre el rendimiento de uva y el uso de pesticidas; C. Naranja; E. Olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

En la Figura 25.C se representa la relación entre los pesticidas y el rendimiento del Naranja. En este caso se observan diferencias en ambas curvas, y se ha obtenido un coeficiente de correlación normal de 0,57 entre ambas variables, al igual que en el caso del olivo representado en la Figura 25.D, donde el valor obtenido es el mismo de modo que la correlación no es muy significativa.

Debido a la correlación significativa de la uva y los pesticidas, se ha procedido a realizar un estudio más específico por tipo de pesticida con este cultivo, el cual está representado en la Figura 26.

En la Figura 26.A se representa el rendimiento del cultivo de uva y el uso de insecticidas en el periodo 1989-2018, donde se observan tendencias diferentes, habiéndose obtenido un coeficiente de correlación de 0,01 que se corresponde con una correlación muy baja.

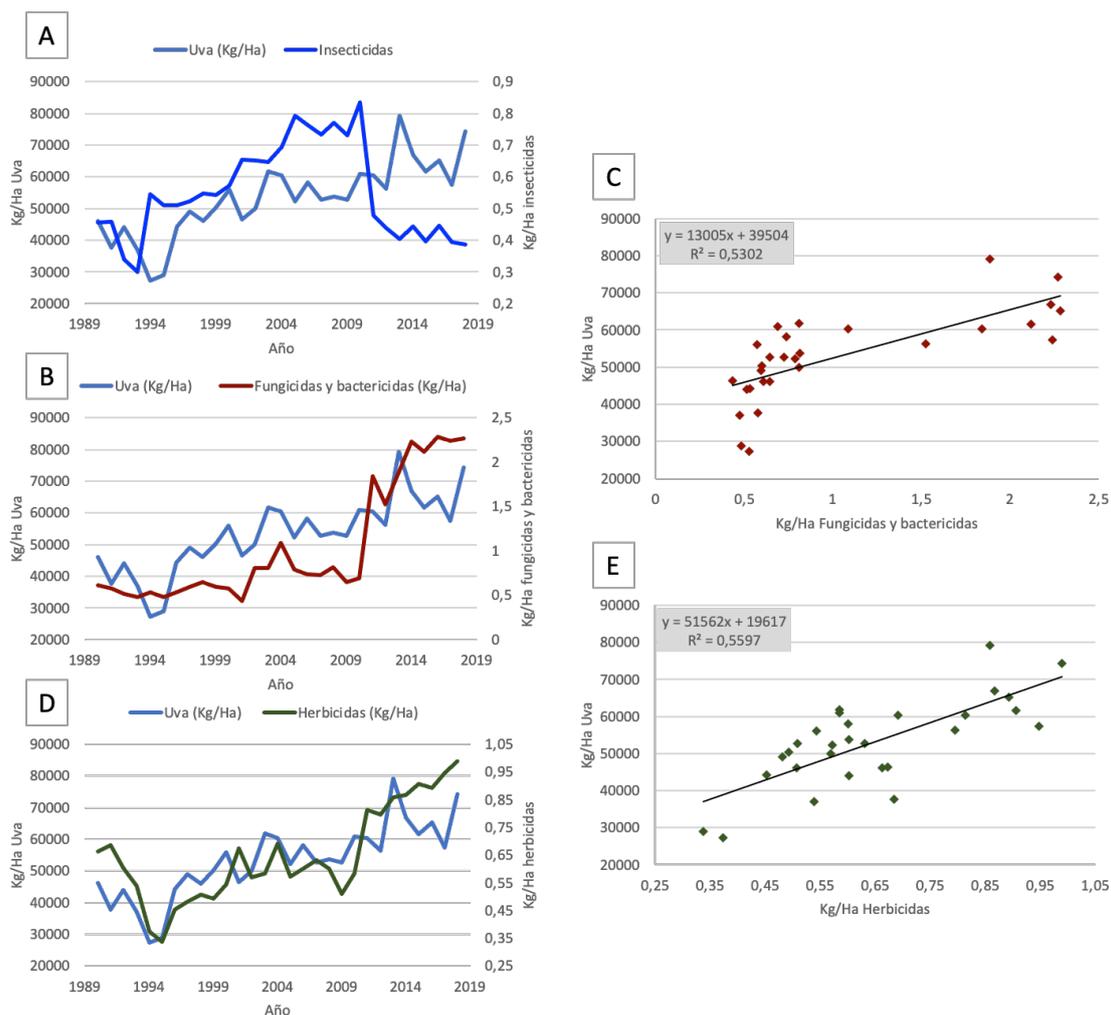


Figura 26. Relación entre el rendimiento del viñedo con los diferentes grupos de pesticidas: A. Insecticidas; B. Fungicidas y bactericidas; C. Regresión entre el rendimiento de la uva y el uso de fungicidas y bactericidas; D. Herbáceos; E. Regresión entre el rendimiento de la uva y el uso de herbicidas; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO).

En la Figura 26.B se representa la evolución del rendimiento de uva frente al uso de fungicidas y bactericidas, donde ambas tendencias tienden a incrementarse. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables toma un valor de 0,73 que se corresponde con una correlación alta de modo que cuando el rendimiento del cultivo de uva aumenta también lo hace el uso de fungicidas y bactericidas. En la Figura 26.C se representa la regresión entre ambas variables, que toma una forma lineal con un valor cuadrático de R de 0,5302.

En la Figura 26.D se representa la evolución del rendimiento de uva frente al uso de herbicidas, cuya tendencia nuevamente tiende a aumentar en ambos casos. El

coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables toma un valor de 0,75 que se corresponde con una correlación alta de modo que cuando el rendimiento de uva aumenta también lo hace el uso de herbicidas. En la Figura 296E se representa la regresión entre ambas variables, que toma una forma lineal con un valor cuadrático de R de 0,5597.

Tras este análisis se concluye que el rendimiento del cultivo de la uva está relacionado con el uso de pesticidas, teniendo muy poca relación con el uso de insecticidas, pero si con el uso de fungicidas, bactericidas y herbicidas, principalmente con estos últimos ya que es con el que se obtiene un coeficiente de correlación más elevado.

Tras observar estas relaciones, tanto en cultivos herbáceos como en permanentes, se concluye que el incremento en el uso de pesticidas favorece de forma general el rendimiento de los cultivos, especialmente los herbicidas, fungicidas y bactericidas. Esto puede traducirse en un mayor control de las patologías, que se han mantenido más controladas, y a su vez al incremento de estas.

4.4.2 Relación del rendimiento de los cultivos con el aumento de las temperaturas.

4.4.2.1 Cultivos herbáceos y su relación con la temperatura.

Para comparar la relación entre la evolución del rendimiento de las diferentes especies herbáceas y la evolución de la temperatura, se han representado en la Figura 27 las temperaturas medias anuales obtenidas del *Climate Change Knowledge Portal* (Bank 2021) y los rendimientos de tomate, cebada y trigo obtenidos de la FAO (FAO 2020) en el periodo 1991-2016.

En la Figura 27.A se representa la evolución del rendimiento de tomate frente a las temperaturas medias, donde se observa que ambas tienden a aumentar. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables toma un valor de 0,48 que se corresponde con una correlación normal entre ambas variables. En el caso de la temperatura, la variación es muy grande, sin embargo, a mayor temperatura se observa un mayor rendimiento de tomate.

En la Figura 27.B se representa la evolución del rendimiento de cebada frente a las temperaturas medias, donde ambas presentan fuertes fluctuaciones y tienden a aumentar. Sin embargo, el coeficiente de correlación entre ambas toma un valor negativo de -0,02, que se corresponde con una correlación muy baja que tiende a ser a

la contra, es decir, cuando la temperatura aumenta, el rendimiento de cebada disminuye, aunque al tratarse de un valor tan bajo apenas existe relación.

En la Figura 27.C se representa la evolución del rendimiento de trigo frente a las temperaturas medias, donde nuevamente se observan fuertes fluctuaciones en ambos parámetros, tendiendo a aumentar los dos. El coeficiente de correlación obtenido es de 0,11 por lo que la correlación entre ambas es muy baja.

Tras este análisis se concluye que el incremento de las temperaturas medias tiene una influencia en la producción de tomate y que la variación de estas puede hacer que varíen también otros cultivos como la cebada o el trigo, aunque en ambos casos no se ha encontrado una correlación entre ambas variables.

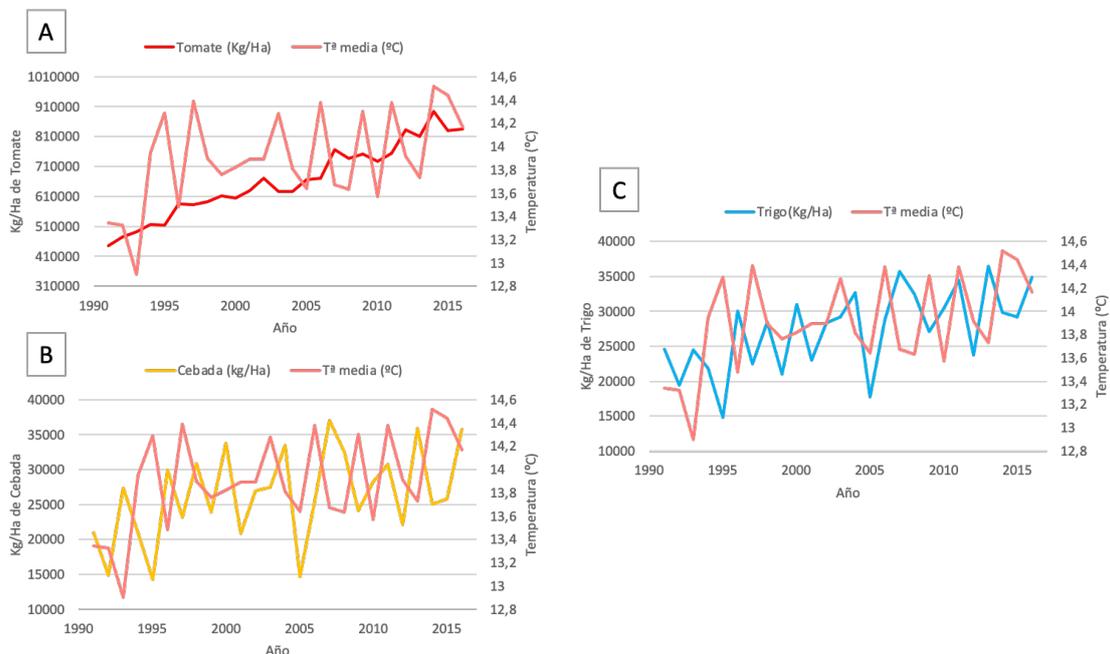


Figura 27. Comparación de la evolución de las temperaturas medias y el rendimiento de especies herbáceas en el periodo 1991-2016: A. Tomate; B. Cebada; C. Trigo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Climate Change Knowledge Portal).

4.4.2.2 Cultivos permanentes y su relación con la temperatura.

Para comparar la relación entre la evolución del rendimiento de las diferentes especies permanentes y la evolución de la temperatura, se han representado en la Figura 28 las temperaturas medias anuales a partir de los datos de Climate Change Knowledge Portal (Bank 2021) y los rendimientos de uva, naranjo y olivo a partir de los datos de la FAO (FAO 2020) en el periodo 1991-2016.

En la Figura 28.A se representa la evolución del rendimiento de uva y la evolución de las temperaturas medias, donde ambas tienden a aumentar. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables toma un valor de 0,33 que se corresponde con una correlación baja entre ambas variables.

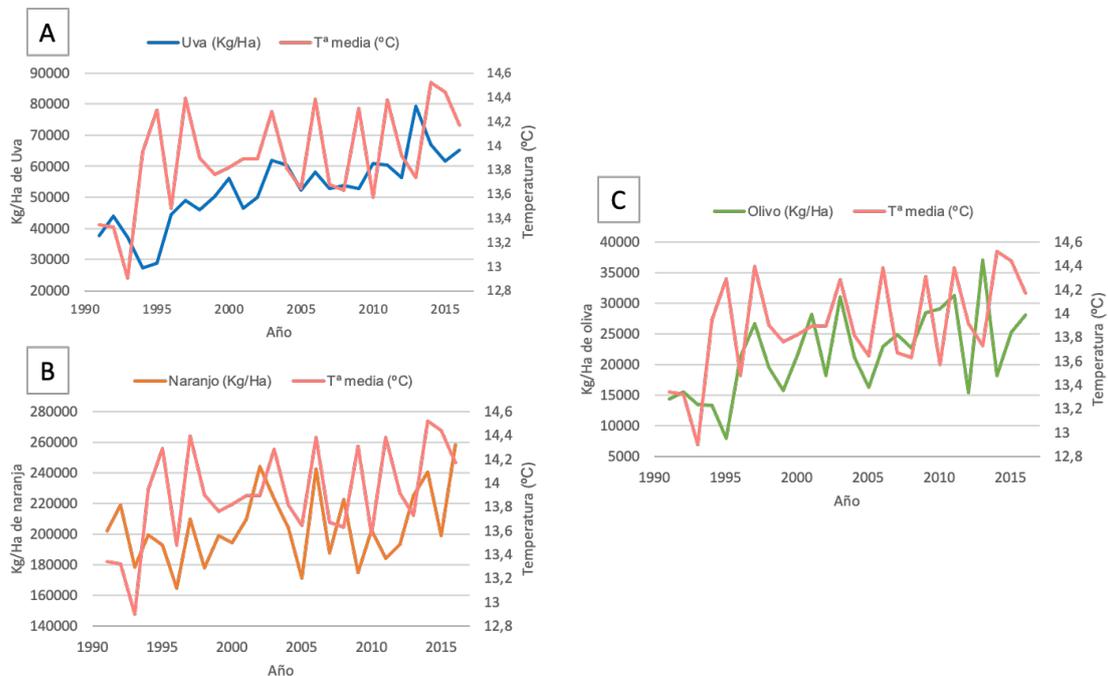


Figura 28. Evolución de las temperaturas medias y el rendimiento de especies permanentes en el periodo 1991.2016: A. Uva; B. Naranja; C. Olivo; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Climate Change Knowledge Portal).

En la Figura 28.B se representa la relación entre el rendimiento en el cultivo de naranjas frente a la temperatura media, donde ambas presentan fuertes fluctuaciones y una tendencia similar. A pesar de que se observan algunas similitudes en los picos de ambas variables, lo que puede reflejar una correlación entre ellas, el coeficiente de correlación es de 0,31, que se corresponde con una correlación baja.

En la Figura 28.C se representa la evolución en el rendimiento del cultivo de olivas frente a las temperaturas medias, donde nuevamente se observan fluctuaciones coincidentes en ambos parámetros. El coeficiente de correlación obtenido entre ambas variables toma un valor de 0,31 al igual que en el caso del naranjo, correspondiéndose con una correlación baja.

Tras este análisis se concluye que la temperatura sí puede tener un efecto significativo en el rendimiento de los cultivos permanentes, sobre todo en determinados años, encontrándose correlaciones rondando los valores de 0,31-0,33 en los cultivos mayoritarios. Tras este estudio preliminar, se recomienda hacer un estudio más profundo entre estas variables, ya que de forma general se observa una correlación positiva, a través de la que se deduce, que el aumento de la temperatura contribuye a la mejora del rendimiento. Esto puede ser debido a que realmente los cultivos presenten un crecimiento favorable con dichas temperaturas, o bien a que sufran un estrés térmico que pueda provocar una mayor producción de fruto, ya que el aumento de las temperaturas también favorece la desertificación. De este modo también resulta interesante realizar un estudio por zonas, ya que estas temperaturas son globales, pero el comportamiento puede variar mucho según la región, sus condiciones, y el tipo de cultivo sembrado en ellas.

4.4.3 Relación entre las emisiones de CO₂ y el uso de insecticidas.

Al verse anteriormente que los gráficos de emisiones de CO₂ y del uso de insecticidas tomaban formas similares, se ha procedido a representarlos de forma conjunta para estudiar dicha relación. Para ello, se ha representado en la Figura 29.A la evolución de ambas variables en el periodo 1991-2018, donde se observa que toman una forma similar. Para ello se ha obtenido un coeficiente de correlación entre ambas variables, siendo de 0,75 que se corresponde con una correlación alta. En la Figura 29.B se ha obtenido una recta de regresión lineal, con un coeficiente de R cuadrado de 0,5622.

Esta relación puede ser debida a que el aumento del CO₂ puede provocar un aumento en la tasa de crecimiento en la planta, ya que realizan una mayor fotosíntesis debido a que existe en el aire una mayor cantidad de CO₂ que procesar (Meng y Li 2005). Este aumento puede provocar un cambio en la composición química de las plantas, haciendo que tengan carencia de ciertos nutrientes en sus hojas y tallo (Whittaker 1999). De este modo, los insectos, al alimentarse de la planta y obtener menos nutrientes, pueden intentar contrarrestar dichas carencias obteniendo una mayor cantidad de alimento, de modo que causan un daño mayor en la planta al alimentarse de forma más masiva (Sombke, Harzsch y Hansson 2011).

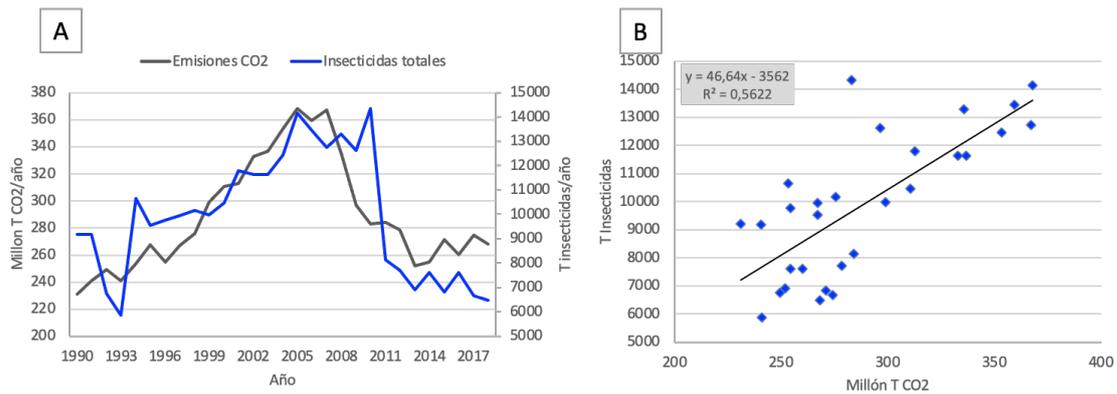


Figura 29. Comparación entre las emisiones de CO₂ y el uso de insecticidas en el periodo 1991-2018: A. Comparación de la evolución; B. Regresión; (elaboración propia a partir de los datos de la FAO y Our World in Data).

Desde un punto de vista muy similar, al aumentar el crecimiento de la planta, también es posible que una mayor cantidad de insectos acudan a alimentarse de ellas, y de este modo también aumentar la población, requiriendo un mayor uso de insecticidas para poder contrarrestar los daños causados por dichas plagas. (Guerenstein y Hildebrand 2008)

5. Conclusiones.

El objetivo principal de este trabajo consiste en el estudio de la evolución de la biomasa procedente de cultivos agrícolas en España, así como su relación con el uso de pesticidas y los principales impactos ambientales. Las principales conclusiones obtenidas para las diferentes tareas planteadas son las siguientes:

1. Llevando a cabo un estudio inicial del uso de suelo, se concluye que los cultivos agrícolas en España se clasifican en dos grandes grupos: herbáceos y permanentes, ocupando los primeros la mayor parte del suelo. En los últimos 30 años, las hectáreas cultivadas han descendido de forma lineal con una constante de regresión cuadrática de 0,902. Este descenso en el uso de suelo es debido al incremento del rendimiento de los cultivos, aunque podría ser debido también a la desertificación provocada por el cambio climático.
2. Tras estudiar los impactos asociados al uso de suelo en España, se concluye que las temperaturas, las precipitaciones, las emisiones de CO₂ y el uso de productos fitosanitarios, son factores que pueden afectar al correcto desarrollo de la biomasa agrícola.
3. Haciendo un estudio estadístico de la evolución de los cultivos en los últimos 30 años, se observa de forma general un incremento tanto en la producción como en el rendimiento, que puede ser debido al empleo de mejores técnicas disponibles, y plantea un escenario positivo en cuanto al aprovechamiento de biomasa agrícola. Concretamente, se han obtenido los siguientes resultados:
 - En el caso de los cultivos herbáceos, las especies que han presentado una producción mayor son el tomate, la cebada y el trigo. Analizando sus respectivos rendimientos, destaca el del cultivo del tomate, que aumenta de forma lineal con una constante de regresión cuadrática de 0,9596. La evolución del rendimiento de la cebada y el trigo muestra más fluctuaciones, aunque su tendencia también tiende a aumentar.
 - En cuanto a los cultivos permanentes, cuyas especies con mayor producción son el naranjo, la vid y el olivo, se ha observado que en las tres que el rendimiento tiende a aumentar con los años con fuertes fluctuaciones, presentando el naranjo una mayor dispersión.

4. Tras el estudio de la evolución del uso de pesticidas y de los impactos ambientales se concluye que:
- De forma general, el uso de pesticidas ha aumentado notablemente en los últimos 30 años a pesar de la aparición de nuevas normativas que limitan su uso, excepto los insecticidas en los últimos años que presentan una disminución acusada a partir de 2010. En el caso de los herbicidas, han aumentado desde mediados de los 90, y destaca el uso de fungicidas y bactericidas, que presentan un incremento en su uso significativo en los últimos 10 años. Se recomienda limitar su uso, ya que muchos de estos productos químicos son perjudiciales para el medio ambiente y desfavorecen el desarrollo sostenible.
 - Las precipitaciones se han mantenido estables a lo largo del tiempo, siendo las máximas las que han presentado mayor dispersión en sus valores.
 - En el caso de las temperaturas, las medias presentan un ligero aumento, aunque con fluctuaciones, mientras que las máximas y las mínimas han sido más estables. Estos resultados ponen de manifiesto las consecuencias del calentamiento global en España.
 - Las emisiones de CO₂, que presentan un crecimiento exponencial desde 1830, con una constante de regresión cuadrática de 0,8577, han comenzado a descender a partir de 2007, posiblemente debido a las nuevas reglamentaciones tomadas en Europa desde entonces y/o a la crisis económica.
5. Relacionando la influencia de los diferentes impactos, asociados al rendimiento de los cultivos estudiados, se ha concluido que:
- El rendimiento en los cultivos herbáceos presenta una mayor relación con el uso de pesticidas, principalmente con fungicidas y bactericidas, destacándose el rendimiento del cultivo de tomate donde se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0,82 entre ambas variables.
 - En el caso de los cultivos permanentes, también se observa una relación entre el uso de pesticidas y el rendimiento en el cultivo, aunque con menores correlaciones que en el caso del tomate, destacándose en este caso el cultivo de la uva, donde se ha obtenido un coeficiente de correlación de 0,73. Tanto en herbáceos como en permanentes el uso de pesticidas favorece el rendimiento, pudiendo ser debido a un mayor control sobre las patologías.

- Por otro lado, en algunos cultivos se ha observado también alguna correlación entre las fluctuaciones del rendimiento del cultivo con la fluctuación en la temperatura media, principalmente en el caso de los cultivos permanentes de naranjo y olivo, aunque también se observa que el incremento de las temperaturas medias podría tener influencia en la producción de tomate, cebada y trigo, aunque en estos últimos no se han encontrado correlaciones. Resultaría interesante hacer un estudio más profundo entre estas variables, para determinar si realmente las mayores temperaturas favorecen el rendimiento, si ocurre lo contrario por el incremento de la desertificación, o si depende de la zona y/o el cultivo concreto.
- Se ha obtenido una relación entre el uso de insecticidas y las emisiones de CO₂, con un coeficiente de correlación de 0,75 y una constante de regresión cuadrática de 0,5622. Dicha relación puede ser debida a la modificación en la composición nutricional de las plantas generada por el aumento de CO₂, lo que puede provocar que los insectos se alimenten de mayor cantidad y con ello proliferen su propagación, y, por tanto, el aumento en la cantidad de insecticidas.

6. Referencias.

- AEPLA, 2019. El futuro del sector agrícola español. *Claves para construir un sector sostenible económica, social y medioambientalmente*.
- ANE, 2021. Atlas Nacional de España. *Instituto Geográfico Nacional* [en línea]. [Consulta: 12 noviembre 2020]. Disponible en: http://atlasnacional.ign.es/wane/Página_principal.
- BANK, T.W., 2021. Climate Change Knowledge Portal. [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <https://climateknowledgeportal.worldbank.org/download-data>.
- BETANCOURT, R. y DIAZ, O., 2018. Los pesticidas: clasificación, necesidad de un manejo integrado y alternativas para reducir su consumo indebido: una revisión. *Revista Científica Agroecosistemas*, no. September, pp. 14-30.
- CID, R., 2014. Capítulo 2 Plaguicidas químicos, composición y formulaciones, etiquetado, clasificación toxicológica, residuos y métodos de aplicación. *Aplicación eficiente de fitosanitarios*. [en línea], pp. 1-14. Disponible en: <http://inta.gov.ar/documentos/aplicacion-eficiente-de-fitosanitarios.-plaguicidas-quimicos-composicion-y-formulaciones-etiquetado-clasificacion-toxicologica-residuos-y-metodos-de-aplicacion>.
- CIFA, 2017. Laboratorio Sanidad Vegetal. [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2020]. Disponible en: https://www.cifacantabria.org/cifa.php?Id_categoria=3&Id_seccion=9.
- COCUZZA, G.E.M., ALBERTO, U., HERNÁNDEZ-SUÁREZ, E., SIVERIO, F., DI SILVESTRO, S., TENA, A. y RAPISARDA, C., 2017. A review on Trioza erytrae (African citrus psyllid), now in mainland Europe, and its potential risk as vector of huanglongbing (HLB) in citrus. *Journal of Pest Science*, vol. 90, no. 1, pp. 1-17. ISSN 16124758. DOI 10.1007/s10340-016-0804-1.
- COZ, A., LLANO, T., CIFRIÁN, E., VIGURI, J., MAICAN, E. y SIXTA, H., 2016. Physico-chemical alternatives in lignocellulosic materials in relation to the kind of component for fermenting purposes. *Materials*, vol. 9, no. 7. ISSN 19961944. DOI 10.3390/MA9070574.
- DEMOGRÁFICO, M. para la T.E. y el R., 2014. Sector agrícola y ganadero. [en línea]. [Consulta: 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/mitigacion-politicas-y-medidas/agricola.aspx>.
- EEA, 2018. The circular economy and the bioeconomy: Partners in sustainability. *European Environment Agency*, vol. 8.
- EPPO, 2009. *Xylophilus ampelinus*. *EPPO Bulletin*, vol. 39, no. 3, pp. 403-412. ISSN 02508052. DOI 10.1111/j.1365-2338.2009.02328.x.
- EPPO, 2013a. PM 7/110 (1) *Xanthomonas* spp. (*Xanthomonas euvesicatoria*, *Xanthomonas gardneri*, *Xanthomonas perforans*, *Xanthomonas vesicatoria*) causing bacterial spot of tomato and sweet pepper. *EPPO Bulletin*, vol. 43, no. 1, pp. 7-20. ISSN 02508052. DOI 10.1111/epp.12018.
- EPPO, 2013b. PM 7/115 (1) *Drosophila suzukii*. *EPPO Bulletin*, vol. 43, no. 3, pp. 417-424. ISSN 02508052. DOI 10.1111/epp.12059.
- EPPO, 2014. PM 7/120 (1) *Pseudomonas syringae* pv. *actinidiae*. *EPPO Bulletin*, vol. 44, no. 3, pp. 360-375. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12171.

- EPPO, 2016. PM 7/42 (3) *Clavibacter michiganensis* subsp. *michiganensis*. *EPPO Bulletin*, vol. 46, no. 2, pp. 202-225. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12302.
- EPPO, 2017. PM 7/40 (4) *Globodera rostochiensis* and *Globodera pallida*. *EPPO Bulletin*, vol. 47, no. 2, pp. 174-197. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12391.
- EPPO, 2018a. PM 7/21 (2) *Ralstonia solanacearum*, *R. pseudosolanacearum* and *R. syzygii* (*Ralstonia solanacearum* species complex). *EPPO Bulletin*, vol. 48, no. 1, pp. 32-63. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12454.
- EPPO, 2018b. PM 7/24 (3) *Xylella fastidiosa*. *EPPO Bulletin*, vol. 48, no. 2, pp. 175-218. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12469.
- EPPO, 2020a. Información. [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.eppo.int/>.
- EPPO, 2020b. PM 7/18 (3) *Monilinia fructicola*. *EPPO Bulletin*, vol. 50, no. 1, pp. 5-18. ISSN 13652338. DOI 10.1111/epp.12609.
- ESPAÑA, S., 2018. Mosca blanca en tomate. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.syngenta.es/cultivos/tomate/plagas/mosca-blanca-en-tomate>.
- FAO, 2020. FAOSTAT. *Food and Agriculture Organization of the United Nations* [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <http://www.fao.org/faostat/en/#data>.
- FERNÁNDEZ, C., 2020. Agricultura ecológica versus agricultura convencional. [en línea]. 2020. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.bioecoactual.com/2020/10/12/agricultura-ecologica-versus-agricultura-convencional/>.
- G. GARCÍA, S. GUTIÉRREZ, O.F., 2010. Tuta Absoluta.pdf. . S.l.:
- GENERALITAT DE CATALUNYA, 2011. El cultivo ecológico de herbáceos de secano. , vol. 16, pp. 12.
- GORGAS GARCÍA, J., CARDIEL LÓPEZ, N. y ZAMORANO CALVO, J., 2009. *Estadística básica para estudiantes*. S.l.: s.n.
- GRACIA, C., EZQUERRA, J., PLA, E., VAYREDA, J., REGNERI, S.M. y SANZ, M.J., 2005. 9 . IMPACTOS SOBRE EL SECTOR FORESTAL. *Impactos del cambio climático en España*, pp. 399-436.
- GUERENSTEIN, P.G. y HILDEBRAND, J.G., 2008. Roles and effects of environmental carbon dioxide in insect life. *Annual Review of Entomology*, vol. 53, pp. 161-178. ISSN 00664170. DOI 10.1146/annurev.ento.53.103106.093402.
- INNOVAGRI, 2015. Parasitismo de la polilla del olivo. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.innovagri.es/investigacion-desarrollo-inovacion/parasitismo-en-la-polilla-del-olivo.html>.
- INSST, 2021. ¿Cómo se clasifican los productos fitosanitarios? *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo* [en línea]. Disponible en: <https://www.insst.es/-/como-se-clasifican-los-productos-fitosanitario-1>.
- INSTITUTO GEOGRÁFICO NACIONAL, 2019. Capítulo 4 Clima y Agua. *Atlas Nacional de España*,
- JACQUES, M.A., DURAND, K., ORGEUR, G., BALIDAS, S., FRICOT, C., BONNEAU, S., QUILLÉVÉRÉ, A., AUDUSSEAU, C., OLIVIER, V., GRIMAULT, V. y MATHIS, R., 2012. Phylogenetic analysis and polyphasic characterization of *clavibacter michiganensis* strains isolated from tomato seeds reveal that

- nonpathogenic strains are distinct from *C. michiganensis* subsp. *michiganensis*. *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 78, no. 23, pp. 8388-8402. ISSN 00992240. DOI 10.1128/AEM.02158-12.
- JAUHARI, N., MISHRA, R. y THAKUR, H., 2015. Natural Fibre Reinforced Composite Laminates - A Review. *Materials Today: Proceedings* [en línea], vol. 2, no. 4-5, pp. 2868-2877. ISSN 22147853. DOI 10.1016/j.matpr.2015.07.304. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.1016/j.matpr.2015.07.304>.
- JUNTA DE ANDALUCÍA, C. de agricultura y pesca., 2011. *El olivar ecológico*. S.l.: s.n.
- LOMAS ESTEBAN, M.J., URBANO RODRÍGUEZ, C., MERINO TORRENS, J.M. y CAMARERO ESTELA, L.M., 2001. Valorización de la Biomasa en el País Vasco. , pp. 89.
- MANAGEMENT, B. sustainable crop, 2018. Trips. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.biobestgroup.com/es/biobest/plagas-y-enfermedades/trips-4994/>.
- MANAGEMENT, B. sustainable crop, 2020. Pulgones. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.biobestgroup.com/es/biobest/plagas-y-enfermedades/pulgones-4958/>.
- MARINO, M. de M.A.Y.M.R. y, 2009. Identificación de Oportunidades en el Turismo Forestal. Caracterización del Espacio Forestal en España. *Territorio Forestal Turísticamente Ordenado*. [en línea], pp. 221. Disponible en: http://asefoga.org/descargas/Espacio_forestal_Espanha.pdf.
- MENG, L. y LI, B., 2005. Effects of elevated carbon dioxide on insect-plant interactions. *Chinese Journal of Ecology*, vol. 24, no. 2, pp. 200-205. ISSN 10004890.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, A. y M.A., 2013. Resultados técnico-económicos de cultivos leñosos. *ECREA*, pp. 1-27.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, P. y A., 2000. Cultivos herbáceos e industriales. [en línea]. [Consulta: 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/producciones-agricolas/cultivos-herbaceos/>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, P. y A., 2014. Polilla del olivo, Prays, Punxó - Prays oleae. *Guía de Gestión Integrada de Plagas en Olivar*. S.l.:
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, P. y A., 2019. Xylella Fastidiosa. [en línea]. [Consulta: 12 febrero 2020]. Disponible en: <https://www.mapa.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/organismos-nocivos/xylella-fastidiosa/default.aspx>.
- MINISTERIO DE AGRICULTURA, P. y A., 2020. Sanidad Vegetal. .
- OF, C., EUROPEAN, T.H.E., FROM, C., COMMISSION, T.H.E., THE, T.O. y PARLIAMENT, E., 2007. *Communication from the commission to the council and the European parliament*. 2007. S.l.: s.n.
- OXFORD, U. of, 2019. Our World in Data. [en línea]. [Consulta: 1 febrero 2021]. Disponible en: <https://ourworldindata.org/co2/country/spain?country=~ESP#per-capita-how-much-co2-does-the-average-person-emit>.
- PHYTOMA, 2017. OIDIO (*Podosphaera aphanis*). ,
- PRADO, M.M., 2011. Los enemigos naturales de los pulgones. *Gobierno del principado de Asturias*.
- RODRÍGUEZ, A., PÉREZ-LÓPEZ, D., CENTENO, A. y RUIZ-RAMOS, M., 2020. Viability of temperate fruit tree varieties in Spain under climate change according to chilling accumulation. *Agricultural Systems* [en

- línea], vol. 186, no. October 2020, pp. 102961. ISSN 0308521X. DOI 10.1016/j.agsy.2020.102961.
Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2020.102961>.
- SAINZ-BADILLOS, M.Q., SAU, F.S., PICAZZO, a I. y CONNOR, D.J., 2005. 10. Impactos Sobre El Sector Agrario. *Impactos del cambio climático en España*, pp. 437-468.
- SEMINIS, 2017. Qué son los trips y cómo manejarlos. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.seminis.mx/blog-que-son-los-trips-y-como-manejarlos/>.
- SINGH, A.A; AFRIN, S.; KARIM, Z., 2017. Green composites: Versatile Material for Future. *Green biocomposites Design and Applications*. S.l.: Springer International Publishing AG, pp. 29-44.
- SOMBKE, A., HARZSCH, S. y HANSSON, B.S., 2011. Organization of deutocerebral neuropils and olfactory behavior in the centipede *Scutigera coleoptrata* (Linnaeus, 1758) (Myriapoda: Chilopoda). *Chemical Senses*, vol. 36, no. 1, pp. 43-61. ISSN 0379864X. DOI 10.1093/chemse/bjq096.
- SYSTEMS, K. biological, 2019. Mosca blanca, bemisia tabaci. [en línea]. [Consulta: 2 febrero 2021]. Disponible en: <https://www.koppert.es/retos/moscas-blancas/mosca-blanca/>.
- TTE. JAVIER JARAÍZ CORRALES, 2019. *Comportamiento de variedades de vid resistentes a enfermedades fúngicas en la comarca del Somontano*. S.l.: s.n.
- VALLEJO, V., DÍAZ-FIERROS, F. y DE LA ROSA, D., 2005. 8. Impactos Sobre Los Recursos Edáficos. *Impactos del cambio climático en España*, pp. 355-398.
- WHITTAKER, J.B., 1999. Impacts and responses at population level of herbivorous insects to elevated CO2. *European Journal of Entomology* [en línea], vol. 96, no. 2, pp. 149-156. ISSN 18028829. Disponible en: https://www.eje.cz/artkey/eje-199902-0008_Impacts_and_responses_at_population_level_of_herbivorous_insects_to_elevated_CO2.ph
p.
- ZWET, V. Der, 2013. PM 7/20 (1) *Erwinia amylovora*. *EPPO Bulletin*, vol. 43, no. 1, pp. 21-45. ISSN 02508052. DOI 10.1111/epp.12019.

ANEXO.

Principales plagas presentes en España.

Las plagas que afectan a los cultivos pueden afectar a los mismos de diferentes formas. Hay insectos chupadores, que se alimentan de la sabia de las hojas, otros que ponen sus huevos en los frutos, destruyéndolos desde el interior, y otros que simplemente propagan otras enfermedades al alimentarse de diferentes plantas o la madera de éstas. Las plagas se corresponden con insectos, desde insectos de pequeño tamaño como trips o pulgones, pasando por mosquitos, cochinillas, larvas o escarabajos más grandes. Algunas de las plagas más comunes están representadas esquemáticamente en la Figura 30, junto con las principales especies vegetales a las que afectan.

Pulgón (*Aphididae*). Esta familia de insectos presenta diferentes especies, pero de manera general se trata de una plaga muy común en diferentes cultivos, debido a que se reproducen de manera muy rápida, además de que una sola hembra puede producir hasta 100 descendientes (Management 2020) Están presentes en vid, naranjo, cereales, algodón o tabaco entre otras, ya que es un problema común en muchos tipos de plantas. En cuanto a su forma de actuar, generalmente se alimentan de las hojas, obteniendo nutrientes a partir de ellas y con ello debilitando las plantas. Al realizar la digestión, excretan azúcar, de modo que la hoja queda impregnada y esto impide la correcta función de la fotosíntesis. Al tratarse de insectos chupadores pueden transmitir enfermedades al transportarlas de planta en planta (Prado 2011)

Trips (*Thysanoptera*). Para observar estos pequeños insectos es necesario el uso de lupas. Al igual que los pulgones, estos insectos se alimentan de las hojas, creando cicatrices en ellas y deformaciones en su crecimiento. Los frutos también se pueden ver afectados por ellos, ya que los deterioran, y pueden intervenir de forma negativa en la polinización, ya que dañan las flores, causando graves daños en la producción (Management 2018). Algunos de los cultivos que se ven afectados por estos insectos son la vid, el naranjo, tomate, cebolla o sandía entre otros. Otros de los grandes riesgos que provocan, es la transmisión de enfermedades actuando como vector de transmisión. Uno de los más comunes en España es la propagación del Virus del bronceado del tomate (TSWV), que provoca manchas en las hojas o enanismo en las plantas (Seminis 2017)

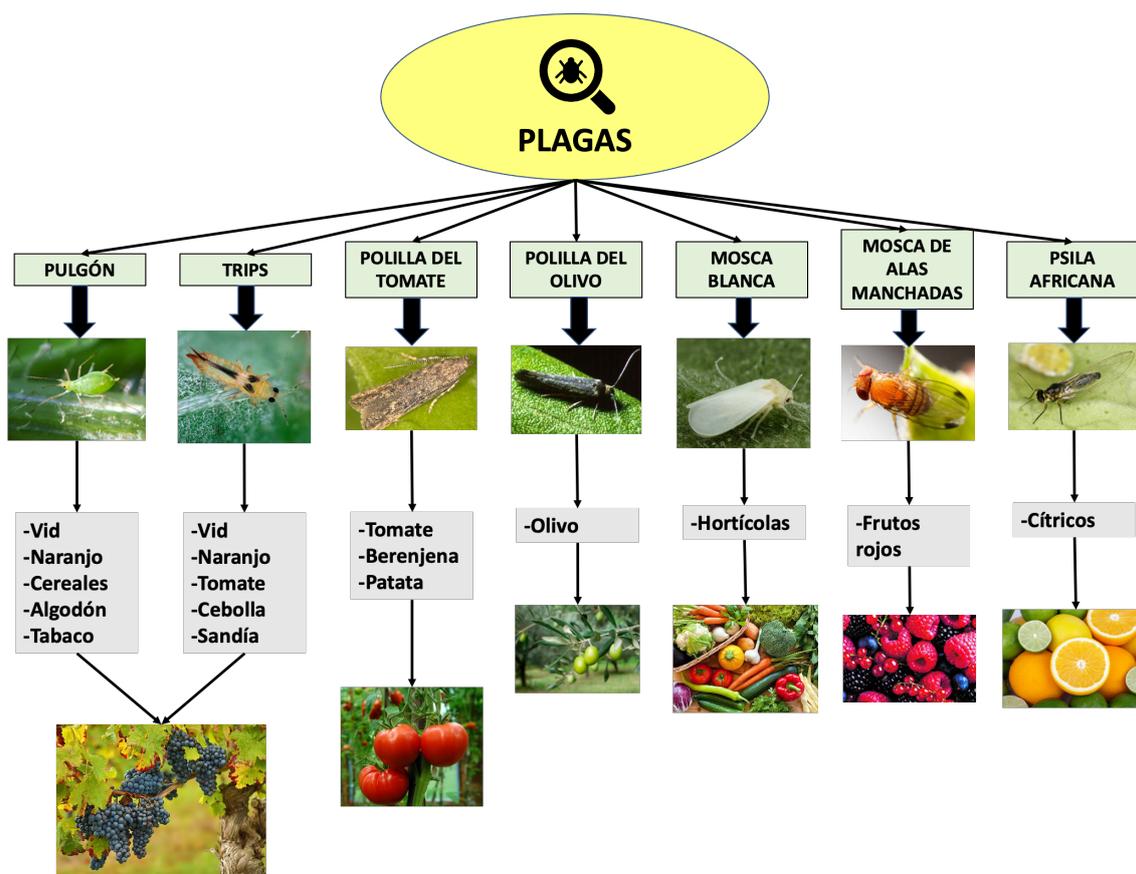


Figura 30. Esquema de las principales plagas y los cultivos a los que atacan (elaboración propia).

Polilla del tomate (*Tuta absoluta meyrick*). Esta polilla se detectó como plaga por primera vez en España en el año 2017 en la Comunidad Valenciana. Como su nombre indica, afecta principalmente al cultivo de tomate, aunque también puede afectar a otras como la patata, la berenjena o algunas plantas silvestres. Los daños se dan cuando se encuentra en estado larvario, ya que se sitúan en el interior de las hojas alimentándose de ellas, aunque puede provocar galerías en los frutos (G. García, S. Gutiérrez 2010).

Polilla del olivo (*Prays oleae*). Esta polilla aparece principalmente en la zona mediterránea de España, ya que es donde tiene lugar la mayor parte de cultivo de olivo. Su mayor daño se produce a partir de Septiembre, provocando la caída del fruto y con ello grandes pérdidas económicas (Ministerio de Agricultura 2014). Esta polilla es la causa del mayor uso de insecticidas en el cultivo del olivo, aunque también se utilizan métodos de control biológico, como el uso de depredadores naturales que regulen la presencia de esta plaga (Innovagri 2015).

Mosca blanca (*Bemisia tabaci*; *Trialeurodes vaporariorum*). Se trata de una plaga muy dañina que apareció por primera vez en Grecia en 1889 aunque rápidamente se extendió por gran parte del mundo (Systems 2019). Se caracteriza por afectar a una amplia gama de cultivos, sobre todo hortícolas, al succionar nutrientes de las hojas, además de ser vector transmisor de virus como el del rizado del tomate (TYLCV). Cada hembra puede producir hasta 200 huevos en su ciclo de vida, y es una plaga resistente a varios insecticidas haciendo más dificultoso su control (España 2018).

Drosophila suzukii. También llamada “mosca de las alas manchadas” es una plaga de numerosos frutos pequeños como arándanos, frambuesas o fresas, contribuyendo a un total de 15 familias de plantas hospedantes. La particularidad que presenta esta mosca es que a diferencia de otras moscas del vinagre que atacan a frutos caídos y podridos, las hembras de *D. suzukii* son capaces de poner sus huevos en la fruta madura del árbol, de modo que sus larvas se desarrollan en el interior del fruto haciéndose que se vuelva blando y no comerciable. Esta plaga se propaga muy rápidamente (EPPO, 2013)

Psila africana de los cítricos (*Trioza erytreae*). Ésta plaga se ha encontrado en Galicia y Portugal. Se trata de una plaga de cítricos capaz de transmitir bacterias entre las plantas y presenta un gran problema, ya que su tratamiento químico podría producir el incremento de otras plagas, por lo que su control se hace dificultoso, provocando que se deban extremar las precauciones en cuanto al transporte de la fruta, así como potenciar el uso de enemigos naturales (otros insectos, que no sean patógenos para las plantas y que actúen como depredadores de las plagas). Debido al alto cultivo de cítricos en España, esta enfermedad aparecida en 2014 presenta una gran amenaza (Cocuzza et al. 2017).

Principales enfermedades causadas por bacterias.

Se ha realizado una selección de las bacterias más perjudiciales para los cultivos agrícolas de España. En la Figura 31 se representan de forma esquemática las principales bacterias presentes en España y los principales cultivos que se ven afectados por ellas.

Clavibacter. Este género comprende una especie y 5 subespecies de bacterias patógenas, de las cuales cuatro están reconocidas como organismos de cuarentena debido a que representan una gran amenaza económica. El *Clavibacter michiganensis* es una de las bacterias más importantes en el cultivo de tomate a nivel mundial. Éste

patógeno está incluido en la lista de cuarentena no solo por la amenaza económica que representa, sino por la dificultad para evitar su propagación (Jacques et al. 2012).

Aunque el tomate es el mayor hospedador, también se han registrado afecciones en otras especies como la berenjena, y otras plantas pueden ser simples hospedadoras sin sintomatología, favoreciendo la propagación de la enfermedad. La transmisión se da principalmente mediante semillas, tanto a nivel interno como en su superficie, aunque las plántulas jóvenes también son consideradas propensas a la propagación.

La bacteria causa principalmente una infección sistémica de las plantas, además de síntomas como manchas en las hojas y otras zonas de la planta, aunque estos varían en función de si la planta está cultivada en el campo o en invernaderos (EPPO 2016).

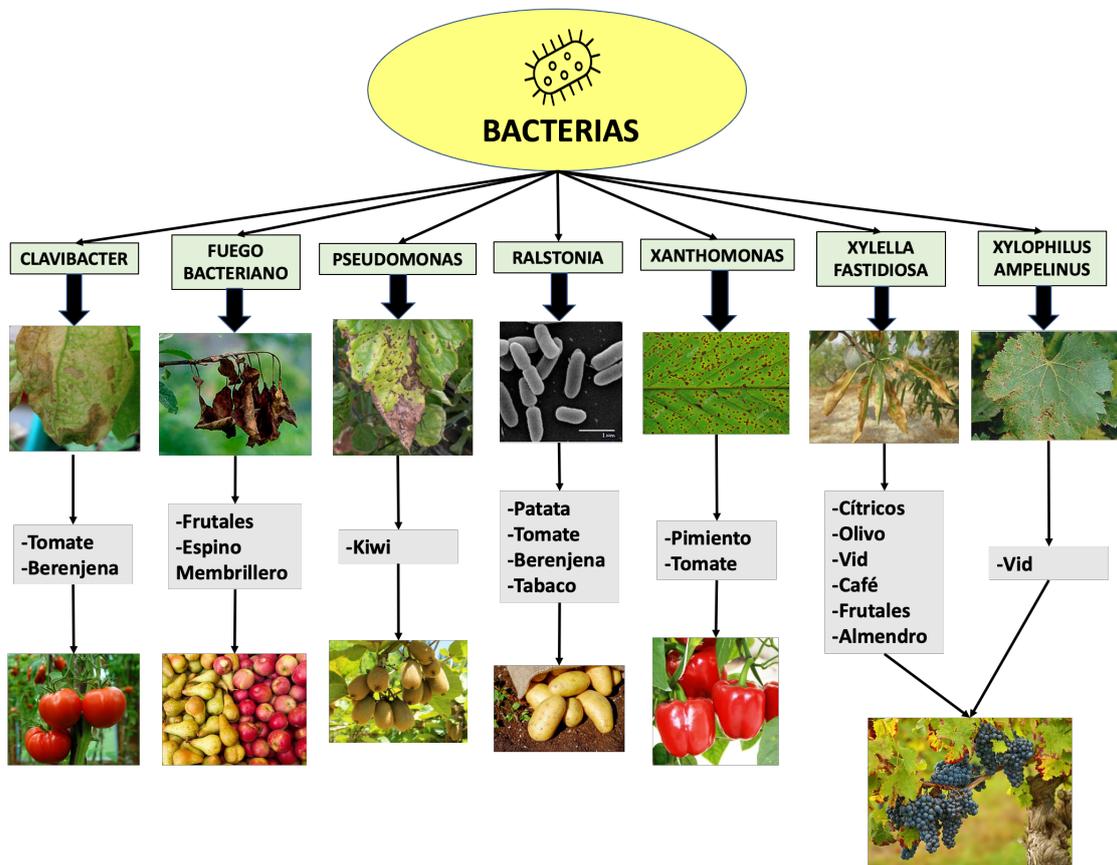


Figura 31. Esquema de las principales bacterias y cultivos a los que afectan (elaboración propia).

Erwinia Amylovora. La enfermedad causada por esta bacteria se conoce coloquialmente como Fuego Bacteriano, ya que la sintomatología que provoca deja el cultivo con la apariencia de haberse quemado. Esta bacteria está considerada como organismo de

cuarentena en la Unión Europea, representando una gran amenaza para la industria de frutas con pepita.

Se incluye en más de 180 especies, siendo los huéspedes económicamente más importantes son peral, manzano, membrillero, níspero japonés, espinos y algunas rosáceas. Su primera aparición en Europa tuvo lugar en 1957 en Reino Unido, estando presente en la actualidad en más de 40 países. En España apareció por primera vez en 2011 en algunas comunidades autónomas.

La aparición de los síntomas suele ir acorde con la floración de la planta en primavera extendiéndose hasta otoño con el desarrollo de chancros. Fenómenos meteorológicos como la lluvia y el viento, así como insectos pueden hacer que se transmita a plantas cercanas. El patógeno aparece inactivo durante el periodo de inactividad del huésped (Zwet 2013).

Pseudomonas syringae pv. *actinidiae*. Esta bacteria Gram Negativa es considerada la causante de la enfermedad más dañina en el cultivo del kiwi. Originaria de Japón en 1989, ya está extendida por gran parte de Europa además de Nueva Zelanda, Australia y Corea.

En cuanto a la sintomatología, se observan particularmente en tronco, hojas, flores y frutos, aunque también se presentan daños a nivel interno. Los frutos afectados se quedan poco desarrollados y deformes, por lo que su comercialización es inviable (EPPO 2014).

Ralstonia solanacearum. Se trata de una bacteria de gran importancia debido entre otras cosas a la variedad de hospedantes, entre los cuales, los más importantes son patata, tomate, berenjena, plátano, tabaco y varias plantas ornamentales.

Su temperatura de crecimiento óptima ronda los 27 °C causando marchitamiento. Puede encontrarse de forma latente a grandes altitudes, en los trópicos y en áreas subtropicales templadas. Los síntomas pueden variar en función del hospedante, pero principalmente consiste en el marchitamiento de la planta, comenzando con el amarilleo de hojas y tallos (EPPO, 2018).

Xanthomonas. Estas bacterias tienen como principales hospedadores el pimiento y tomate. Dentro del género *Xanthomonas* hay una compleja clasificación de variantes por lo que nos centramos en ellas de forma general.

Estas bacterias se han extendido de forma internacional mediante la contaminación de lotes de semillas, aunque la propagación también puede producirse con el movimiento de plantas jóvenes. La sintomatología detectada en la planta suele corresponderse con manchas en las hojas y necrosis en los tallos, aunque también puede detectarse en el fruto, por ejemplo, en los tomates en forma de ampollas y manchas marrones (EPPO, 2013) .

Xylella fastidiosa. Esta bacteria Gram Negativa se multiplica dentro de los vasos de las plantas hasta taponarlos, causando una sintomatología similar a la carencia de agua o nutrientes, aunque puede presentar síntomas diferentes en función del hospedante que la contenga. Su temperatura óptima de desarrollo se encuentra entre los 26 y los 28 °C (Ministerio de Agricultura 2019).

Aunque como se ha mencionado anteriormente, la sintomatología varía según el hospedante, los síntomas más comunes son quemaduras en las hojas, marchitamiento del follaje, defoliación o enanismo, pudiendo las infecciones más graves causar la muerte de la planta. Entre los numerosos hospedantes de esta bacteria destacan el almendro, arándanos, cítricos, café, olivo, vid, otros frutales como melocotonero o ciruelo y otras plantas ornamentales, por lo que es una gran amenaza en España, habiendo causado grandes daños desde su aparición en 2015 (EPPO, 2018) .

Xylophilus ampelinus. Esta bacteria afecta únicamente al cultivo de la Vid. Este patógeno pasa el invierno en los tejidos vegetales, haciendo que los esquejes y el material de poda contaminado sean un medio importante de inoculación.

Se trata de una enfermedad que está **relacionada de forma muy estrecha con la climatología**, y sus síntomas pueden desaparecer durante largos periodos de tiempo y reaparecer cuando las condiciones son mas favorables. En España es conocida como “necrosis bacteriana”, también esta presente en otros países como Grecia, Francia, Italia, Moldavia, Eslovenia y Sudáfrica. En cuanto a la sintomatología, puede variar. Se puede dar un crecimiento atrofiado de los brotes, grietas a lo largo de las ramas, decoloraciones y necrosis (EPPO 2009).

Principales enfermedades causadas por hongos.

Se ha realizado una selección los hongos que producen mayores pérdidas en España en los cultivos de interés, representados en la Figura 32 de forma esquemática con algunos de los síntomas y las especies principales a las que afectan cada uno de ellos.

Monilia fructicola. Este hongo afecta a los frutos de hueso, aunque puede afectar a otros frutales como manzano y peral. Puede causar daños graves en cultivos completos, matar las flores o pudrir los frutos maduros, aunque también ataca a brotes y ramas. Se trata de un hongo **muy relacionado con el clima**, provocando diferentes síntomas en función de el. Los daños en las flores se producen en climas húmedos con temperaturas entre 20-25 °C durante el día y noches frescas. La podredumbre de los frutos se da con altas temperaturas y humedad. Este patógeno lleva mucho tiempo presente en Europa, pero su origen es japonés.

En cuanto a la sintomatología mas característica, los frutos afectados que permanecen en el árbol se secan y se arrugan, denominándose momias cuando llegan a ese estado (EPPO 2020b).

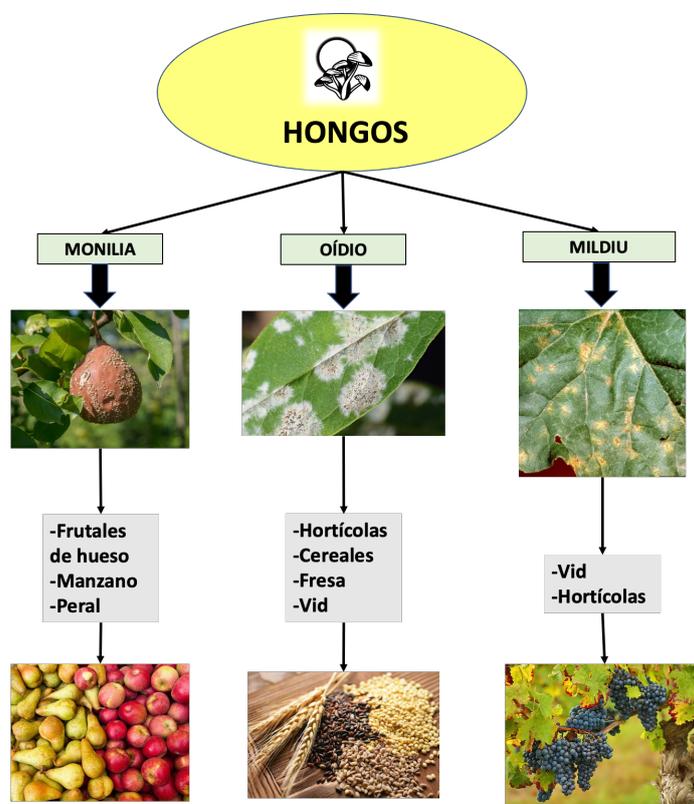


Figura 32. Esquema de los principales hongos y cultivos a los que afectan (elaboración propia).

Oídio (*Podosphaera aphanis*). Se trata de un hongo que ataca a varios tipos de cultivos hortícolas, cereales, fresa o vid. Puede afectar a varias áreas de la planta, tanto hojas, flores y frutos. Se trata de un hongo muy común por lo que existen numerosos fungicidas para su tratamiento (Phytoma 2017). Normalmente este hongo pasa el invierno de forma latente en el interior de la planta, hasta que se dan las condiciones climatológicas óptimas para su proliferación: temperaturas entre 15 y 28 °C. En cuanto a la sintomatología, se caracteriza por la aparición de un polvillo de color ceniza en las hojas (Tte. Javier Jaraíz Corrales 2019).

Mildiu (*peronosporaceae*). Los síntomas de esta enfermedad varían según el tipo de planta que se vea afectada, aunque algunos de los más comunes son manchas y vellosidades en las hojas. Es una de las enfermedades más conocidas por sus grandes daños en el cultivo de la vid donde la enfermedad tiene lugar en tres fases. La primera de ellas es la contaminación, cuando las temperaturas son superiores a 12 °C y al menos 10 mm de precipitación durante 1 o 2 días consecutivos. Una vez la planta está contaminada se da la fase de incubación, que tiene una duración de entre 4 y 21 días. Por último, en la fase de esporulación el hongo fructifica apareciendo los daños visibles en la planta, para lo que son necesarias temperaturas de entre 12 y 30 °C (Tte. Javier Jaraíz Corrales 2019).

Otros patógenos.

Globodera rostochiensis y *Globodera pallida*. Estos dos organismos conocidos como nematodos del quiste de la patata presentan una gran amenaza para esta solanácea. Los nematodos son un tipo de gusano microscópico que pueden llegar a terminar con la vida de una planta o árbol. La vía principal de propagación se produce a través las patatas de siembra infectadas y el movimiento del suelo. Éstos nematodos se alimentan de las raíces, pudiendo producir la muerte de la planta. La sintomatología es muy difícil de detectar, ya que no suelen ser visibles, se puede ver amarilleo en las hojas, aunque generalmente hay que arrancar la planta para ver los síntomas directamente sobre las raíces. Este patógeno afecta al tamaño de los tubérculos lo cual dificulta su comercialización (EPPO, 2017).

A parte de estas especies de nematodos existen otros que afectan a masas forestales u otras plantas. Además, los virus también juegan un papel muy importante en la salud vegetal, pero su control se hace mucho más dificultoso debido a la falta de tratamientos, por lo que la solución suele ser arrancar la planta de raíz, o controlar las plagas que proliferan su expansión.