



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior  
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

Diseño de una estrategia de monitorización de la incidencia  
de Cotonet en el cultivo de Caqui en Valencia, usando  
imágenes de satélite

Trabajo Fin de Grado

Grado en Ingeniería Agroalimentaria y del Medio Rural

AUTOR/A: Debón Zanón, Alejandro Javier

Tutor/a: San Bautista Primo, Alberto

Cotutor/a externo: Arizo García, Patricia

CURSO ACADÉMICO: 2023/2024

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

*ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIERÍA AGRONÓMICA Y DEL MEDIO  
NATURAL*

*GRADO UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA AGROALIMENTARIA Y DEL MEDIO  
RURAL.*



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica  
y del Medio Natural

## **DISEÑO DE UNA ESTRATEGIA DE MONITORIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE COTONET EN EL CULTIVO DE CAQUI EN VALENCIA, USANDO IMÁGENES SATÉLITE.**

**TRABAJO FIN DE GRADO**

Curso académico 2023 / 2024

Valencia, 26 de mayo de 2023

**AUTOR: Alejandro Javier Debón Zanón.**

**TUTOR: Alberto San Bautista Primo.**

## **TÍTULO: APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN PARA LA MONITORIZACIÓN DE LA INCIDENCIA DE PSEUDOCIDOS EN CAMPOS DE CAQUI EN LA PROVINCIA DE VALENCIA.**

**RESUMEN:** Debido a la necesidad de cambios en los modelos productivos hacia una agricultura más productiva y sostenible, la teledetección se ha convertido en una de las tecnologías más prometedoras capaz de implementar o modificar positivamente técnicas en los cultivos. En el cultivo del caqui se han realizado escasos trabajos que relacionen los datos de satélite con el manejo y monitorización de plagas. En este trabajo se presenta una estrategia de monitorización de la plaga *Pseudococcus* spp. realizada mediante teledetección con datos de Sentinel-2. Para ello, se ha reunido un parcelario con una superficie total de 72 ha, clasificando las parcelas según la incidencia de la plaga en afectadas o no afectadas y realizando el estudio de la incidencia de la plaga desde el año 2019 a 2022. Además, se ha analizado la evolución temporal de las reflectancias superficiales de Sentinel-2 en las bandas del Rojo, NIR, el índice NDVI y la ratio B8/B4 con resolución espacial de 10 m, comparando por afección de la plaga a nivel de parcelas y años. En este estudio se pueden separar las parcelas afectadas y no afectadas según las diferencias en las reflectancias, y de acuerdo con la dinámica Rojo-NIR. Con este estudio se propone un protocolo para identificar y separar parcelas afectadas por *Cotonet* en el cultivo de caqui. Cabe destacar el NIR, como indicador crítico en la definición de la estrategia a seguir para el seguimiento de la incidencia de la plaga.

**PALABRAS CLAVE:** teledetección, plagas, caqui, agricultura de precisión.

# **TÍTOL: DISSENY D'UNA ESTRATÈGIA DE MONITORATGE DE LA INCIDÈNCIA DE COTONET EN EL CULTIU DE CAQUI A VALÈNCIA, USANT IMATGES SATÈL·LIT.**

**RESUM:** A causa de la necessitat de canvis en els models productius cap a una agricultura més productiva i sostenible, la teledetecció s'ha convertit en una de les tecnologies més prometedores capaç d'implementar o modificar positivament tècniques en els cultius. En el cultiu del caqui s'han fet escassos treballs que relacionen les dades de satèl·lit amb el maneig i monitoratge de plagues. En este treball es presenta una estratègia de monitoratge de la plaga *Pseudococcus* spp. realitzada mitjançant teledetecció amb dades de Sentinel-2. Per a això, s'ha reunit un parcel·lari amb una superfície total de 72 ha, classificant les parcel·les segons la incidència de la plaga en afectades o no afectades i realitzant l'estudi de la incidència de la plaga des de l'any 2019 a 2022. A més, s'ha analitzat l'evolució temporal de les reflectàncies superficials de Sentinel-2 en les bandes del Roig, NIR, l'índex NDVI i la ràtio B8/B4 amb resolució espacial de 10 m, comparant per afecció de la plaga a nivell de parcel·les i anys. En este estudi es puc separar les parcel·les afectades i no afectades segons les diferències en les reflectàncies, i d'acord amb la dinàmica Rojo-NIR. Amb este estudi es proposa un protocol per a identificar i separar parcel·les afectades per *Cotonet* en el cultiu de caqui. Cal destacar el NIR, com a indicador crític en la definició de l'estratègia a seguir per al seguiment de la incidència de la plaga.

**PARAULES CLAU:** teledetecció, plagues, caqui, agricultura de precisió.

# **TITLE: DESIGN OF A STRATEGY FOR MONITORING THE INCIDENCE OF COTONET IN THE PERSIMMON CROP IN VALENCIA USING SATELLITE IMAGES.**

**ABSTRACT:** Due to the need for changes in production models towards a more productive and sustainable agriculture, remote sensing has become one of the most promising technologies capable of implementing or positively modifying crop techniques. In persimmon cultivation, little work has been done to link satellite data with pest management and monitoring. This paper presents a monitoring strategy for the pest *Pseudococcus* spp. using remote sensing with Sentinel-2 data. For this purpose, a parcel of land with a total area of 72 ha has been collected, classifying the plots according to the incidence of the pest as affected or unaffected and carrying out the study of the incidence of the pest from 2019 to 2022. In addition, the temporal evolution of Sentinel-2 surface reflectances in the Red and NIR bands, the NDVI index and the B8/B4 ratio were analysed with a spatial resolution of 10 m, comparing by pest incidence at plot and year level. In this study, affected and unaffected plots can be separated according to differences in reflectance, and according to Red-NIR dynamics. This study proposes a protocol to identify and separate plots affected by *Cotonet* in persimmon. It is worth highlighting the NIR as a critical indicator in the definition of the strategy to be followed to monitor the incidence of the pest.

**KEY WORDS:** remote sensing, pests, persimmon, precision agriculture.

# ÍNDICE

<b>1</b>	<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>1</b>
1.1	Importancia del sector productor de caqui en España y en la Comunidad Valenciana.....	1
1.2	Pseudococcidos en caqui.....	3
1.3	Estrategias de control de <i>Cotonet</i> en el cultivo de caqui. ....	6
1.4	Aplicación de la teledetección en agricultura.....	9
1.5	El monitoreo de plagas mediante el uso de la teledetección. ....	10
1.6	Objetivos.....	11
<b>2</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS</b> .....	<b>13</b>
2.1	Área de estudio.....	13
2.2	Adquisición datos de campo.....	13
2.3	Análisis estadístico.....	14
2.4	Software utilizado.....	14
2.5	Datos de satélite. ....	15
<b>3</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b> .....	<b>17</b>
3.1	Caracterización agronómica de la respuesta espectral del cultivo.....	17
3.1.1	<i>Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del rojo</i> .....	17
3.1.2	<i>Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del NIR</i> .....	18
3.1.3	<i>Serie temporal del índice de vegetación NDVI</i> .....	19
3.1.4	<i>Promedio mensual de las series temporales de las bandas del rojo y NIR e índice NDVI</i> .....	20
3.2	Monitorización de la incidencia de <i>Cotonet</i> en parcelas afectadas y no afectadas. Evolución de bandas electromagnéticas e índices de vegetación durante el ciclo de cultivo.....	21
3.3	Estudio de la firma espectral en parcelas afectadas y no afectadas.....	26
3.4	Análisis comparativo de las medias en las bandas e índices de vegetación entre parcelas afectadas y no afectadas.....	28
3.5	Validación del modelo propuesto para la monitorización de la plaga.....	30
3.6	Establecimiento de un protocolo para la clasificación de las parcelas afectadas por la plaga.....	31
<b>4</b>	<b>CONCLUSIONES</b> .....	<b>34</b>
<b>5</b>	<b>BIBLOGRAFÍA</b> .....	<b>35</b>

# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Distribución de la superficie de cultivo de caqui por comunidades autónomas en España (MAPA, 2022). .....	1
Figura 2. Evolución de la superficie de cultivo de caqui en la Comunidad Valenciana desde 2002-2002 (MAPA, 2022). .....	2
Figura 3. Evolución de la producción y de las pérdidas de caqui en la Comunidad Valenciana desde 2016-2022 (MAPA, 2022). .....	3
Figura 4. Hembra adulta de <i>Pseudococcus longispinus</i> (IVIA, 2022). .....	4
Figura 5. Hembra adulta de <i>Planococcus citri</i> (IVIA, 2022). .....	4
Figura 6. Hembra adulta de <i>Pseudococcus viburni</i> (IVIA, 2022). .....	5
Figura 7. Daños del <i>Cotonet</i> en frutos. ....	6
Figura 8. Daños del <i>Cotonet</i> en árboles. ....	6
Figura 9. <i>Anagyrus pseudococci</i> (IVIA, 2022). .....	7
Figura 10. <i>Leptomastix dactylopii</i> (IVIA, 2022). .....	7
Figura 11. Larva de <i>Cryptolaemus</i> (IVIA, 2022). .....	8
Figura 12. Adultos de <i>Cryptolaemus</i> (IVIA, 2022). .....	8
Figura 13. Detalle de la ubicación de la zona de estudio. ....	13
Figura 14. Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del Rojo desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas. ....	17
Figura 15. Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del NIR desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas. ....	18
Figura 16. Serie temporal de la reflectancia del índice NDVI desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas. ....	19
Figura 17. Promedio mensual de las reflectancias espectrales de las bandas del rojo y NIR; e índice NDVI para los meses de marzo a octubre en parcelas no afectadas. ....	20
Figura 18. Comparación de la evolución de la reflectancia de B4 y B8 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020. ....	21
Figura 19. Comparación de la evolución de las reflectancias de B4 y B8 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2021 y 2022. ....	22
Figura 20. Comparación de la evolución del NDVI y ratio B8/B4 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020. ....	24
Figura 21. Comparación de la evolución NDVI y ratio B8/B4 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020. ....	25
Figura 22. Firma espectral del día 14 de junio de 2021. ....	26
Figura 23. Firma espectral del día 19 de julio de 2021. ....	27
Figura 24. Firma espectral del día 28 de agosto de 2021. ....	27
Figura 25. Dinámica Rojo-NIR del año 2019. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año. ....	32

Figura 26. Dinámica Rojo-NIR del año 2020. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.....	32
Figura 27. Dinámica Rojo-NIR del año 2021. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.....	33
Figura 28. Dinámica Rojo-NIR del año 2022. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.....	33

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Relación de enemigos naturales parasitoides de <i>Cotonet</i> (IVIA, 2022).....	7
Tabla 2. Relación del número de parcelas estudiadas por termino municipal y superficie (afectadas y no afectadas).....	15
Tabla 3. Longitud de onda y resolución espectral en las bandas espectrales registradas por Sentinel-2.....	16
Tabla 4. Días sin nubes registrados desde 2019 hasta 2022.....	16
Tabla 5. Análisis comparativo de medias de la banda B4 entre parcelas afectadas y no afectadas.....	28
Tabla 6. Análisis comparativo de medias de la banda B8 entre parcelas afectadas y no afectadas.....	29
Tabla 7. Análisis comparativo de medias del índice NDVI entre parcelas afectadas y no afectadas.....	29
Tabla 8. Análisis comparativo de medias del ratio B8/B4 entre parcelas afectadas y no afectadas.....	30

## Relación del trabajo con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la agenda 2030 al Trabajo de Final de Grado.

	Alto	Medio	Bajo	No procede
ODS 1. Fin de la pobreza			<b>X</b>	
ODS 2. Hambre cero		<b>X</b>		
ODS 3. Salud y bienestar		<b>X</b>		
ODS 4. Educación de calidad			<b>X</b>	
ODS 5. Igualdad de género				<b>X</b>
ODS 6. Agua limpia y saneamiento				<b>X</b>
ODS 7. Energía asequible y no contaminante				<b>X</b>
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico	<b>X</b>			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras		<b>X</b>		
ODS 10. Reducción de las desigualdades				<b>X</b>
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles		<b>X</b>		
ODS 12. Producción y consumo responsables	<b>X</b>			
ODS 13, Acción por el clima			<b>X</b>	
ODS 14. Vida submarina				<b>X</b>
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres			<b>X</b>	
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas				<b>X</b>
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos		<b>X</b>		

Promover el crecimiento económico inclusivo y sostenible, el empleo y el trabajo decente es importante para todos ya que diversas crisis amenazan gravemente la economía mundial. Se ha producido un incremento de la productividad laboral y un descenso de la tasa de desempleo a escala mundial. No obstante, es necesario seguir avanzando para mejorar las oportunidades de empleo, especialmente entre jóvenes, reducir el empleo informal, promover entornos de trabajo seguros y protegidos y mejorar el acceso a los servicios financieros para garantizar un crecimiento económico sostenido e inclusivo. La investigación e innovación en la agricultura es de vital importancia pues es necesario trabajar para construir economías dinámicas y sostenibles, basándose en la innovación de estrategias que permitan mejorar la calidad de trabajo.

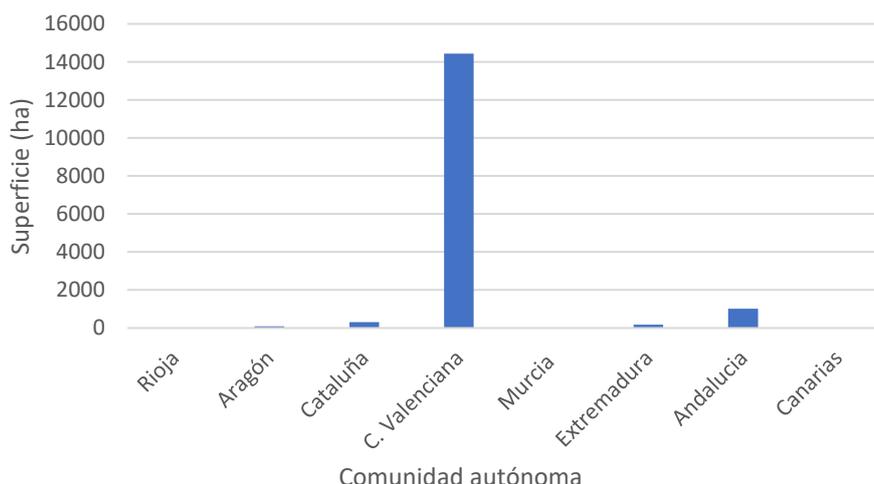
Garantizar modalidades de consumo y producción sostenibles, algo fundamental para sostener los medios de subsistencia de las generaciones actuales y futuras. En caso de que la población mundial alcance los 9800 millones de personas en 2050, se podría necesitar el equivalente a casi tres planetas para proporcionar los recursos naturales necesarios para mantener los estilos de vida actuales. Se están produciendo cambios prometedores en las empresas, como la tendencia al aumento de la elaboración de informes de sostenibilidad, lo que demuestra un mayor nivel de compromiso y concienciación sobre la necesidad de dar prioridad a las prácticas sostenibles en todos los sectores empresariales. A las empresas les conviene encontrar nuevas soluciones que permitan modelos de consumo y producción sostenibles. Es necesario conocer más a fondo las repercusiones medioambientales y sociales que tienen ciertos productos y servicios, tanto en lo que respecta a su ciclo de vida como al modo en que se ven alterados por su uso en diferentes estilos de vida. Las soluciones innovadoras y de diseño facilitan e inspiran a las personas a adoptar estilos de vida más sostenibles, lo que reduce su impacto y mejora su bienestar. Por todo ello innovar en sistemas de monitorización de plagas que permitan maximizar rendimientos es importante desde el punto de vista de la sostenibilidad y concienciación sobre la necesidad de dar prioridad a las prácticas sostenibles en todos los sectores empresariales.

# 1 INTRODUCCIÓN

## 1.1 Importancia del sector productor de caqui en España y en la Comunidad Valenciana.

El caqui o kaki (*Diospyros kaki*) es un frutal caducifolio de la familia de las *Ebenáceas*, originario de China, donde se inició su cultivo, junto a Japón y Corea en el siglo VIII. En el siglo XIX se extendió a Occidente desde EE. UU., y después a Italia, Francia y España (Malagón, 2020).

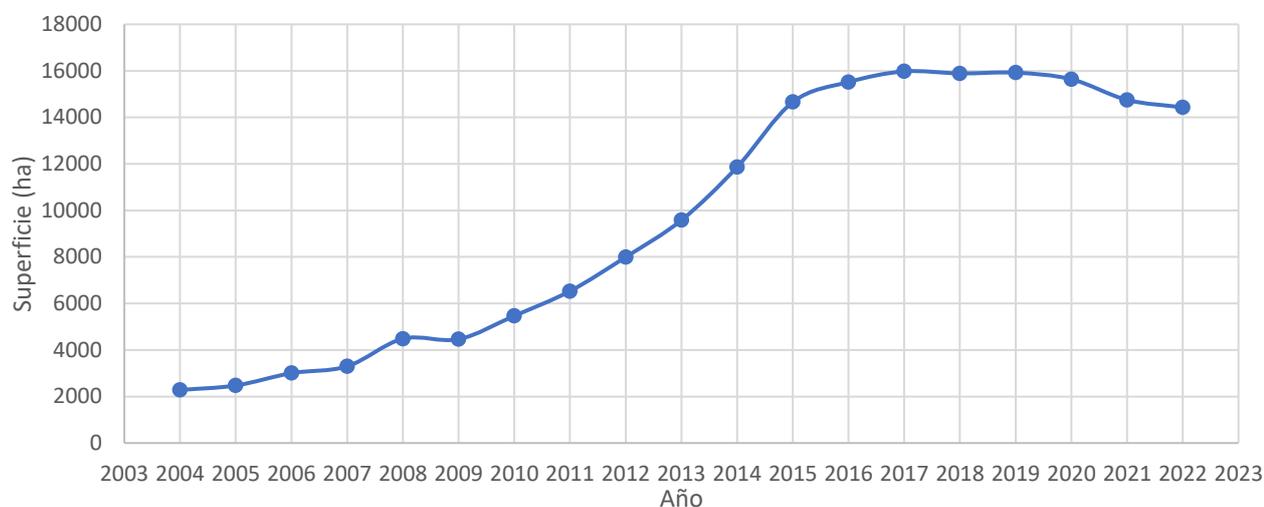
Actualmente España se sitúa como primer productor europeo con 16.045 hectáreas (MAPA, 2022). La superficie de cultivo de caqui en España, como se muestra en la figura 1, se localiza principalmente en la Comunidad Valenciana con 14.430 ha, que representan el 89,93% de la producción total, seguida de Andalucía con 1.017 ha.



**Figura 1. Distribución de la superficie de cultivo de caqui por comunidades autónomas en España (MAPA, 2022).**

Del análisis de la evolución de la superficie de cultivo de caqui en los últimos 20 años, aproximadamente (Figura 2), se constata que el máximo de superficie cultivada de caqui se alcanzó en 2019 con 15.922 ha, y que en los tres últimos años se ha producido un descenso significativo, año tras año, de 1.492 ha, que representa una reducción de 9,37% (MAPA, 2022). La menor superficie cultivada en 2022, respecto a 2019, podría ser debido a una pérdida de rentabilidad del cultivo, como consecuencia de mayores costes de producción (por el incremento de precios en las materias primas en 2022 y 2023), menores precios percibidos por los agricultores en 2020 y 2021, una reducción sensible de los rendimientos en 2022 (incluido también 2023), y una mayor incidencia de plagas importantes en el cultivo como la mosca blanca o el *Cotonet*, especialmente a partir de 2019. El caqui fue conocido como «oro rojo» por los elevados rendimientos económicos generados a los agricultores, coyuntura que provocó un aumento

significativo de la superficie de cultivo desde 2009 hasta 2017, incrementándose la superficie cultivada de forma exponencial, como se observa en la siguiente figura 2.

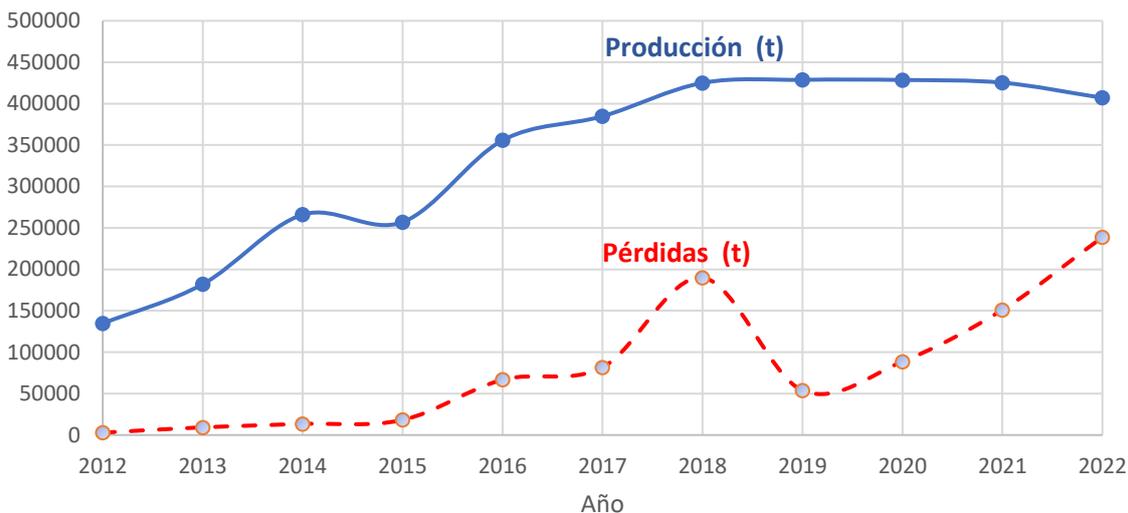


**Figura 2. Evolución de la superficie de cultivo de caqui en la Comunidad Valenciana desde 2002-2022 (MAPA, 2022).**

La variedad de caqui dominante en la Comunidad Valenciana es “Rojo Brillante”, que puede representar más del 99% de la superficie cultivada, debido fundamentalmente a la excelente calidad de la fruta, tanto en su color y forma, como en sus cualidades organolépticas. Otras variedades de interés en la Comunidad Valenciana son “Tone Wase” y “Maxim”, si bien su importancia es mucho menor, debido, bien al solape en la comercialización de “Tone Wase” y la variedad dominante, o bien por los problemas de calidad de la fruta en “Maxim”. Desde los inicios del cultivo de caqui en este siglo, el interés por la introducción de nuevas variedades ha sido creciente, si bien las iniciativas planteadas no se consolidaron en los mercados. La mayor parte de la producción se comercializa eliminando la astringencia de los frutos, siendo muy reducido el mercado de frutos madurados de forma natural.

La variedad “Rojo Brillante” es una variedad local que se originó de forma natural, por mutación espontánea a mediados de los años cincuenta, a partir de una variedad local llamada “Cristalino”, cultivada en la comarca de la Ribera Alta; y desataca por ser vigorosa, de porte semi erecto y con sólo flores femeninas (IVIA, 2016).

Por otro lado, del análisis de la evolución de la producción de caqui en la Comunidad Valenciana en los últimos 10 años (Figura 3) se constata que el año en el que se alcanzó una mayor producción de caqui en la Comunidad fue en el año 2019 con 428.774 t y que en los últimos 3 años se ha producido una reducción de la producción, año tras año, de 7229,6 t, que representa una reducción anual del 3,6% (MAPA, 2022). Esta reducción de la producción se puede deber a diversas causas, el descenso de la superficie de caqui cultivada, factores meteorológicos adversos o la presencia de plagas y enfermedades las cuales afecten a la producción de este cultivo. Respecto al análisis de la evolución de las pérdidas de producción de caqui en la Comunidad Valenciana se constata que en el año 2022 se alcanzó la cifra más elevada de pérdidas con 238.889 t, suponiendo un aumento de 400,8% respecto al año 2019. La mayor parte de estas pérdidas fueron debidas a la presencia de la plaga ‘*Cotonet*’.



**Figura 3. Evolución de la producción y de las pérdidas de caqui en la Comunidad Valenciana desde 2016-2022 (GVA, 2022).**

En relación con la reducción de la producción en la Comunidad Valenciana, la Asociación Española del Kaki (AEkaki) establece que las pérdidas derivadas del cotonet en el año 2021 en la Comunidad Valenciana fueron entre 70.000 y 80.000 toneladas a causa de los ataques récord del cotonet, lo que representó una disminución del 20-25% de la producción inicialmente prevista, que se situaba en torno a las 360.000 toneladas. Además, cuantificaron en un 30% el incremento medio de los costes entre campo y almacén: los gastos en campo aumentaron en unos cinco céntimos por kilo en concepto de nuevos tratamientos y en 14 céntimos por kilo desde el campo hasta la salida del de la central hortofrutícola. Esta situación insostenible en términos de viabilidad ya ha provocado casos de agricultores que han decidido abandonar el cultivo por este año al menos.

## 1.2 Pseudococcidos en caqui.

El término *Cotonet* hace referencia a una plaga del cultivo de caqui causada por diferentes especies de la familia *Pseudococcidae* (conocidos como cóccidos). La especie más importante dentro esta familia como plaga del caqui es *Pseudococcus longispinus*, predominante en los campos de cultivo de la Comunidad Valenciana. A continuación, como especie en orden de importancia en esta plaga, se encuentran *Planococcus citri* y de *Pseudococcus viburni*. Finalmente, la especie *Delottococcus aberiae*, importante en el cultivo de cítricos, no se detecta de forma significativa en el cultivo de caqui (IVIA, 2022).

El *Pseudococcus longispinus* o también nombrado vulgarmente cochinilla de cola larga es natural de las regiones tropicales y subtropicales, pero actualmente se ha propagado por todo el mundo. En cuanto a su descripción entomológica cabe recalcar que las hembras adultas presentan un cuerpo ovalado con una cubierta de polvo ceroso. Ocasionalmente presenta una franja longitudinal en el dorso, más o menos ancha, muy tenue de color gris. Las hembras adultas miden 2-4 mm de largo y poseen filamentos marginales finos y tan largos como la mitad del ancho del cuerpo, a excepción de los filamentos caudales que pueden ser tanto o más largos que su cuerpo (Figura 4).

En cuanto al ciclo de vida, la reproducción de *Pseudococcus longispinus* puede ser sexual o asexual, siendo esta última la práctica más habitual. A diferencia de otras cochinillas, *Pseudococcus longispinus* no produce un ovisaco, sino que las hembras paren sus crías vivas, depositando larvas en primer estadio, que llevan primero debajo del cuerpo en una red de finos hilos cerosos. Las hembras producen 100-200 ninfas en el plazo de 2 a 3 semanas. En verano, el ciclo de vida tarda unas 6 semanas en completarse, mientras que en invierno dura 12 semanas.



Figura 4. Hembra adulta de *Pseudococcus longispinus* (IVIA, 2022).

*Planococcus citri*, también llamado cochinilla algodonosa, es cosmopolita y tienen numerosas y variadas plantas hospedantes. En cuanto a su descripción entomológica cabe señalar que las hembras adultas tienen una forma ovalada, son blandas y están cubiertas por un material ceroso fino. Normalmente suele observarse una raya longitudinal de color grisáceo oscuro a lo largo del cuerpo. Las hembras adultas miden 2.5-4 mm de largo y se diferencian de otras cochinillas porque disponen de 18 pares de filamentos cerosos relativamente cortos a lo largo del borde del cuerpo y dos filamentos más largos en la cola (Figura 5). Estos filamentos nunca son más largos que el 20% del cuerpo.

En cuanto al ciclo de vida, una hembra fertilizada pone varios cientos de huevos en un ovisaco largo y algodonoso, formado por hilos cerosos blancos. Después de poner los huevos, la hembra se arruga y muere. Las ninfas del primer estadio evolucionan del huevo. Estas ninfas son muy activas en su búsqueda de nuevos lugares para alimentarse y son capaces de recorrer una distancia considerable encima de la planta. Las ninfas macho se sujetan a la planta, mientras que las hembras permanecen móviles durante todo su desarrollo. Después del segundo estadio, la ninfa macho forma una prepupa de color marrón oscuro que se transforma rápidamente en una pupa, dentro de un capullo algodonoso blanco. Las hembras cambian poco de forma y pasan por un segundo estadio y un tercero, después de lo cual son sexualmente maduras. Poco después de convertirse en adultas, las hembras empiezan a liberar una feromona sexual para atraer a los machos. La duración del ciclo de vida depende de la temperatura; dura 90 días a 18°C y 30 días a 30°C.



Figura 5. Hembra adulta de *Planococcus citri* (IVIA, 2022).

Finalmente, el *Pseudococcus viburni*, también llamado vulgarmente cochinilla harinosa, es originaria de Sudamérica, pero actualmente está presente en muchas regiones del mundo con un clima templado. Tiene un aspecto muy similar a la cochinilla algodonosa (*Planococcus citri*), pero su cuerpo está cubierto con una capa más gruesa de cera, los filamentos alrededor del cuerpo son más largos (20-50% del tamaño del cuerpo) y los dos filamentos caudales siempre son claramente más largos que los otros (Figura 6).

En cuanto al ciclo biológico cabe destacar que las hembras adultas depositan los huevos en una masa pegajosa y esponjosa de hebras de cera, denominada ovisaco. La hembra muere tras haber depositado todos sus huevos. Las ninfas de primer estadio son de color marrón amarillento, todavía no están cubiertas de cera. Las ninfas de segundo estadio son más oscuras y menos activas, fijan sobre la hoja y empiezan a segregar cera, mudando a un tercer estadio y después a la hembra adulta.



**Figura 6. Hembra adulta de *Pseudococcus viburni* (IVIA, 2022).**

En lo referente a los daños sobre los cultivos, los pseudococcidos causan daños a los cultivos de forma general en distintas maneras (Koppert, 2023):

- Las ninfas y las hembras extraen la savia de la planta, dificultando el crecimiento y provocando malformaciones o amarillamiento de las hojas, seguido a veces de la defoliación. El efecto general es una disminución de la fotosíntesis y, por consiguiente, de la cosecha. Las flores y los frutos suelen caerse, aunque estos últimos en menor medida en el caso del caqui, permaneciendo en el árbol en estado sobremaduro (coloración roja intensa).
- La savia es rica en azúcares, pero pobre en proteínas. Para poder ingerir la cantidad adecuada de proteína, las cochinillas deben comer grandes cantidades de savia, eliminando el exceso de azúcar a modo de melaza. En esta melaza suelen crecer hongos (negrilla) los cuales además de provocar una disminución de la tasa fotosintética, machan frutos despreciándolos comercialmente.
- La secreción blanca y cerosa de las cochinillas disminuye el valor ornamental de las plantas afectadas. Los frutos y flores también resultan afectados, impidiendo su comercialización.

En el caso concreto del cultivo del caqui, los principales daños son el debilitamiento de la planta por tomar directamente los azúcares y proteínas de la planta, y la excreción una gran cantidad de melaza y la posterior aparición de negrilla, que ensucia el fruto y limita la capacidad fotosintética de la planta. La elevada exigencia de los mercados donde va destinada la mayor parte de la producción de caqui hace que los frutos afectados sean considerados destruidos o no comerciales, debido tanto a los daños estéticos como a las cuarentenas establecidas en ciertos países para algunas especies de pseudococcidos. (IVIA, 2022).



Figura 7. Daños del *Cotonet* en frutos.



Figura 8. Daños del *Cotonet* en árboles.

### 1.3 Estrategias de control de *Cotonet* en el cultivo de caqui.

Los pseudocóccidos son especies que se multiplican en el suelo o bajo la corteza de los árboles y que migran a la parte aérea durante la brotación o fructificación, lo que dificulta el control mediante insecticidas de contacto y, además, mantienen una relación muy estrecha con las hormigas, lo que dificulta enormemente su control.

Hasta el año 2020, el control del *Cotonet* en caqui se realizaba principalmente de forma química, mediante insecticidas fosforados (clorpirifos y metilclorpirifos) no sistémicos con acción por contacto, estomacal y respiratoria. A partir de febrero de 2020, la Comisión Europea consideró, que estas sustancias suponían un riesgo potencial grave para la salud de las personas y prohibió su uso y la comercialización de fruta con residuos de estas materias activas. A partir de 2023, las sustancias activas autorizadas en el cultivo de caqui son azadiractina, sulfoxaflor y spirotetramat, además de los aceites minerales. Algunas de estas sustancias quedarán pendientes de renovación en 2024, por la administración comunitaria. De no renovar algunas de estas materias activas, la dificultad en el control de *Cotonet* en caqui se agravará, si no se autorizan nuevas sustancias activas. En algunas explotaciones de caqui, se han utilizado los aceites vegetales para el control de estos insectos, si bien el efecto fitotóxico que producen es elevado en condiciones de un manejo inadecuado.

Actualmente, el control de la plaga mediante estas sustancias químicas no está resultando efectivo y no alcanzan un absoluto control de la plaga. Sin entrar en los motivos de la dificultad sobre el control de la plaga, es conocido el elevado número de tratamientos químicos realizados por algunos agricultores que elevan de una forma evidente los costes de producción, cuestionando de este modo el margen de beneficios en algunas explotaciones. Por tanto, resulta necesario encontrar sistemas alternativos al control de esta plaga, por cuestiones de viabilidad económica.

En cuanto al control biológico los principales parasitoides de *Planococcus citri* son los encártidos *Anagrus pseudococci* y *Leptomastix dactylopii*. Este último parasitoide también lo es de *Pseudococcus viburni*. El primero de ellos es un endoparasitoide solitario nativo del mediterráneo que parasita preferiblemente a las hembras jóvenes

(sin huevos); mientras que, *Leptomastix dactylopii* es un *endoparasitoide* solitario introducido desde Brasil que parasita preferiblemente a las hembras que ya han puesto huevos. En la tabla 1 pueden encontrarse una relación amplia de enemigos naturales que parasitan el *Cotonet*.



Figura 9. *Anagyrus pseudococci* (IVIA, 2022).



Figura 10. *Leptomastix dactylopii* (IVIA, 2022).

Tabla 1. Relación de enemigos naturales parasitoides de *Cotonet* (IVIA, 2022).

Parasitoide	<i>P. citri</i>	<i>P. viburni</i>	<i>P. longispinus</i>
<i>Chartocerus conjugalis</i>	✓		
<i>Leptomastoidea abnormalis</i>	✓		
<i>Cryptanusia comperei</i>	✓		✓
<i>Tetracnemoidea peregrina</i>			✓
<i>Anagyrus pseudococci</i>	✓		
<i>Anagyrus near pseudococci</i>	✓	✓	
<i>Anagyrus fusciventris</i>			✓
<i>Leptomastix dactylopii</i>	✓	✓	
<i>Coccidoxenoides perminatus</i>	✓		
<i>Acerophagus sp</i>		✓	

En cuanto a los principales depredadores, la principal especie es el coccinélido *Cryptoleamus montrouzieri*. Las hembras de *Cryptoleamus montrouzieri* ponen los huevos en el ovisaco del *Cotonet*, y al eclosionar las larvas se alimentan de los huevos y ninfas del *Cotonet*. Las larvas de *Cryptoleamus montrouzieri* se parecen a los adultos del *Cotonet* porque están recubiertas por filamentos blancos. Sin embargo, se pueden diferenciar porque los filamentos son mucho más largos, y además sus movimientos son mucho más rápidos y ágiles. *Cryptoleamus montrouzieri* es originario de Australia. En España se realizan crías y sueltas masivas en primavera, porque *Cryptoleamus montrouzieri* no tolera las temperaturas invernales del mediterráneo. Además, es muy sensible a los tratamientos químicos. Es recomendable realizar sueltas del depredador *Cryptoleamus montrouzieri* a principios de primavera. Estas sueltas se pueden complementar con la suelta de los parasitoides *Anagyrus pseudococci* y *Leptomastix dactylopii* en junio (IVIA, 2022). La estrategia, una vez identificada la especie de *Cotonet*, es hacer sueltas de *Anagyrus* y, posteriormente, de *Cryptoleamus*. Se hace de esta

manera porque el *Cryptolaemus* tarda unos 25 – 47 días en completar el ciclo según condiciones de temperatura y humedad relativa. Por tanto, las primeras poblaciones de *Cotonet* pueden controlarse con *Anagyrus* y las siguientes con *Cryptolaemus* a medida que va instalándose.



Figura 11. Larva de *Cryptolaemus* (IVIA, 2022).



Figura 12. Adultos de *Cryptolaemus* (IVIA, 2022).

José Malagón (2020), establece que las estrategias de control deben basarse en la integración de métodos culturales, biológicos y químicos mediante la aplicación de insecticidas autorizados.

El primer método de control debe ser cultural, no realizando plantaciones mal aireadas, con marcos muy reducidos o con podas inadecuadas donde los daños pueden ser mayores. En este sentido, el diseño de la plantación en hileras de árboles a doble cordón (tresbolillo) para intensificar el cultivo, reduciendo notablemente el marco de plantación, no es aconsejable porque puede conllevar en el futuro un incremento de la incidencia de plagas y enfermedades en el cultivo, al reducir la necesaria aireación e insolación del arbolado y la eficacia de los tratamientos fitosanitarios, por la dificultad de mojar bien toda la copa del árbol. Como método de control biológico pueden realizarse sueltas inoculativas en primavera del coccinélido depredador *Cryptolaemus montrouzieri* para controlar los primeros focos y evitar la implantación de la plaga en la parcela. Este insecto útil tiene el inconveniente de que no pasa bien el invierno en nuestra zona debido al frío y hay que realizar las sueltas todos los años. También es muy sensible a los tratamientos fitosanitarios, pero en el cultivo del caqui éstos son escasos lo que favorecería su implantación. Las hormigas pueden dificultar la acción de *Cryptolaemus montrouzieri* en el control de la plaga.

En caso de tener que realizar tratamientos químicos, dadas las limitaciones de registro de productos fitosanitarios que tiene este cultivo, podría realizarse, en primer lugar una aplicación de aceite mineral parafínico en invierno, después de la poda, aunque su eficacia se ha mostrado limitada hasta la fecha. Algunos autores, en el estado australiano de Queensland, han establecido el umbral de tratamiento en el 5% de los frutos atacados. Este nivel de plaga podría servir como orientativo para realizar el tratamiento químico; en cuyo caso, debería aplicarse antes de que la plaga se refugie bajo los sépalos, a mediados de mayo, porque si se realizan más tarde, en septiembre, su eficacia disminuye notablemente (Malagón & Monzó, 2024).

Se podría indicar que el control químico no es un sistema de control factible o totalmente efectivo, en estos momentos, por la escasa relación de materias activas posibles para esta plaga, y la dificultad de realizar un seguimiento estrecho de la evolución de los estadios de mayor sensibilidad a la plaga. Por este motivo, se propone una combinación del control químico y el control biológico (incluyendo la suelta de los enemigos naturales de la plaga y el establecimiento de prácticas culturales que ayuden al establecimiento de los insectos útiles, como es la cubierta vegetal). La importancia de estos sistemas de

control alternativos, con carácter integrado, resultan necesarios para dar continuidad al cultivo en los próximos años, de lo contrario el escenario en este cultivo no tendrá argumentos suficientes para garantizar su viabilidad económica. La situación actual es crítica para este cultivo, y posiblemente en estos momentos se podría indicar que se encuentra en un punto de inflexión (sin definir su tendencia futura).

Para facilitar estas nuevas propuestas en el control integrado de las plagas, resulta necesario introducir un seguimiento mediante el establecimiento de sistemas de monitoreo en campo y por medio de sensores remotos, que ayuden a determinar el instante de aparición de los estados fenológicos sensibles y de mayor incidencia. De este modo, se podrán proponer nuevas estrategias de control integrado o adaptar las ya existentes en base a la información recopilada. Ambos sistemas de monitoreo (inspección en campo y por sensores remotos) no son incompatibles, y se puede considerar que son complementarios.

Una de las nuevas herramientas que se está introduciendo en los sistemas agrícolas es la teledetección. La aplicación de la teledetección al control de plagas o enfermedades permite evaluar sus efectos sobre los cultivos de una forma remota; y, sobre todo, anticipar su aparición y su propagación en las explotaciones agrícolas. De este modo, será factible prevenir el impacto que las plagas pueden tener sobre los cultivos, evitar el incremento de su población y su expansión de forma descontrolada (MAPA, 2020). De forma colateral, será posible anticipar las variaciones drásticas de la producción, y también, las posibles pérdidas de la calidad de los frutos comerciales. Estos problemas, como se ha evidenciado anteriormente, han supuesto un daño considerable al cultivo de la provincia de la Valencia, con la consiguiente pérdida de los volúmenes de comercialización sufrida por las empresas exportadoras, además de la pérdida de rentabilidad en los agricultores. Todo ello se está traduciendo en un abandono continuo de la actividad agrícola por parte de empresas y agricultores en el ámbito del cultivo del caqui.

## **1.4 Aplicación de la teledetección en agricultura.**

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados posteriormente para obtener información interpretable de la Tierra.

El primer satélite de observación de la Tierra fue lanzado al espacio por EE. UU. en el año 1972, iniciándose entonces las técnicas de Teledetección, poco utilizadas hasta hace unos años debido al alto coste que suponía trabajar con imágenes de satélite. Hoy en día, gracias a la disponibilidad de imágenes y al desarrollo de nuevas tecnologías, son cada vez más las empresas y organismos públicos que incorporan el uso sistemático de imágenes en sus distintos proyectos, ya que pueden resultar muy ventajosas para un gran número de aplicaciones (MTMA, 2023).

El despliegue de satélites de observación de la Tierra, como el programa europeo Sentinel, permite contemplar el seguimiento de la vegetación. La recurrencia de las imágenes proporcionadas en promedio cada 5 días, junto con una precisión de píxel del orden de 20 m, permite, por ejemplo, un seguimiento preciso de la fenología. El principal problema sigue siendo por el momento la gestión de la nebulosidad y las nubes que oscurecen la superficie terrestre y por tanto la posibilidad de utilizar las bandas

espectrales del dominio visible mediante los habituales índices de vegetación (CNPF, 2023).

Actualmente, la misión satelital Sentinel-2 del programa Copernicus de la Unión Europea lanzada en 2015, proporciona datos de reflectancia en las bandas espectrales de mayor aplicación para la Agronomía. La disponibilidad de esta información, junto con su gratuidad, ha despertado un creciente interés por parte del sector agroalimentario español en la utilización de estos datos, pero sobre todo en la posibilidad de aplicar esta información en el manejo agronómico de los sistemas agrícolas (ESA, 2015), especialmente, en el monitoreo de los cultivos vía satélite

Sentinel-2 está formado por una pareja de satélites 2A y 2B en órbita polar también para proporcionar imágenes ópticas (multiespectrales) de alta resolución que permitirán monitorizar la vegetación entre otros estudios. Los dos satélites de la serie Sentinel 2 captan varias capas de la misma imagen. Su sensor multiespectral es capaz de recoger información en 13 bandas del espectro electromagnético con una alta resolución espacial (10 m) y temporal (5 días).

Dentro de las bandas proporcionadas por el satélite, en principio en agricultura las que nos interesan son las del Infrarrojo cercano, el rojo, el rojo cercano y el verde. El azul también es interesante para las composiciones RGB que nos dan el color real de la imagen y porque en algunos índices como el EVI (Enhanced Vegetation Index), la banda del azul también se utiliza (Angulo, 2017).

Las plantas, para llevar a cabo sus funciones, necesitan energía derivada de la fotosíntesis; y por ello, están adaptadas para absorber la radiación solar en un rango de 400 nm a 700 nm lo que conforma la región fotosintéticamente activa (conocida con el acrónimo en inglés PAR). A partir de los 700 nm se entra en la región del infrarrojo cercano NIR (Near Infrared Reflectance), siendo la radiación mayormente reflejada y transmitida, y siendo reducida a la mínima expresión la absorción. En esta región la clorofila ya no realiza ninguna influencia sobre la absorción de la luz.

La complejidad de obtener en el pasado valores robustos de reflectancia en cada una de las bandas electromagnéticas de medida, motivó el diseño de los Índices de Vegetación. Estos índices consisten en ecuaciones matemáticas donde se relacionan las reflectancias de distintas bandas electromagnéticas entre sí. Hoy en día, pese a que las nuevas misiones han mejorado la calidad de sus medidas, siguen siendo ampliamente utilizados dada su sencilla interpretación.

Uno de los índices más importantes fue el DVI (Difference Vegetation Index), determinado por la diferencia entre la región del NIR (Near Infrared Reflectance) y del Rojo. Si se calcula de forma normalizada se convierte en un índice normalizado llamado NDVI (Normalized Difference Vegetation Index).

## **1.5 El monitoreo de plagas mediante el uso de la teledetección.**

Hoy en día, gracias al evidente desarrollo tecnológico, se están pudiendo crear protocolos y sistemas compactos para controlar enfermedades de cultivos en explotaciones agrícolas. Esta tecnología permite detectar, evaluar y diagnosticar al instante enfermedades, plagas y daños en las plantas para una mejor gestión de los cultivos.

Mediante la utilización de sensores remotos, la detección, registro y análisis de las alteraciones ocurridas en el comportamiento espectral de la cobertura vegetal, permiten caracterizar y evaluar el estado nutricional y fitosanitario de las plantas, detectando incidencias de plagas y enfermedades e inferir posibles carencias nutricionales. Iedo Bezerra (1999) establece en uno de sus trabajos que el estudio de la reflectancia en la región del infrarrojo cercano permite detectar eficazmente el inicio de daños al producirse cambios en el comportamiento espectral de las plantas. Esta aplicación permite una detección más temprana de los daños, pues el ataque de enfermedades o plagas puede ser detectado incluso antes de que la planta presente síntomas visuales de deterioro.

Se puede estimar el vigor vegetativo de los cultivos a partir de índices de vegetación (IV) y capas topográficas, lo cual permite resaltar aquellas áreas donde las plantas gozan de una alta actividad fotosintética (Modica, 2020). Se ha establecido diferentes IV para cultivos determinados, entre ellos está el índice, Green Chlorophyll Index (GCI). Esta técnica demuestra el potencial para rastrear remotamente el estado fisiológico de los cultivos (Gitelson, 2005). Sánchez y Arguijo (2018) en su investigación referente a la detección de plagas en el cultivo de café en el estado de Veracruz, México, tuvieron el objetivo de detectar plagas y enfermedades en los cultivos mediante el uso de imágenes multispectrales del satélite Landsat8. Utilizaron 6 diferentes bandas para superponerlas entre sí y formar índices para guiarse, siendo el índice NDVI el que resaltó en el monitoreo. Concluyeron que los resultados obtenidos fueron los esperados, ya que, encontraron las plagas y enfermedades previstas en el monitoreo tradicional.

Se reportan estudios con diseños experimentales en el campo de la agricultura de precisión, donde utilizando un vehículo aéreo no tripulado, se obtuvo información a nivel submétrico del orden de 10 centímetros de píxel (Rokhmana, 2015). Esta resolución espacial es ideal para el seguimiento y monitoreo de la salud de las plantas (Rokhmana, 2015). Además, investigaciones recientes arrojan resultados donde identifican la calidad de las hojas en un cultivo, detectando hongos, y áreas infectadas mediante levantamientos topográficos, basado en el reconocimiento de patrones espectrales. Principalmente mediante la recolección de fotografías, que son tomadas por UAVs (Nakshimi, 2020).

Valls (2021) propuso un protocolo para monitorear la plaga *Delotococcus aberiae* en campos de cítricos en la provincia de Castellón mediante imágenes del satélite Sentinel-2. Constató una evolución positiva de las reflectancias en el rojo (B4) y el NIR (B8) desde principios hasta mediados de año, y una respuesta contraria desde mediados hasta finales de años. Además, el índice NDVI presentó un comportamiento contrario a la reflectancia de las bandas B4 y B8. En su trabajo también realizó un análisis neuronal permitiendo clasificar píxeles afectados por *Delotococcus aberiae* en un 92,3%, utilizando el modelo con la reflectancia a 20 m de resolución en todos los rangos posibles menos las bandas en el SWIR.

## 1.6 Objetivos.

Mediante el uso de la teledetección, es posible realizar un estudio de las bandas espectrales y los índices de vegetación para proponer una estrategia de monitoreo de la incidencia de plagas importantes en el caqui, como el *Cotonet*, previniendo su expansión e impacto negativo en la agricultura. El uso de estas herramientas digitales y la importancia económica de esta plaga justifica la realización del presente trabajo, que

tiene como principal objetivo poder llegar a diferenciar parcelas de caqui afectadas por *Cotonet* de parcelas no afectadas en el cultivo de caqui, utilizando la teledetección como herramienta. Para ello, será necesario establecer un protocolo para el seguimiento de la plaga de *Cotonet* en caqui y el monitoreo de su incidencia en la provincia de Valencia. Como objetivos más específicos a desarrollar en este trabajo, cabe señalar los siguientes:

- Estudio de la firma espectral del cultivo de caqui de la provincia de Valencia, obtenida a partir de los registros recogidos por los sensores remotos instalados en Sentinel 2.
- Comparación de la evolución de las bandas espectrales registradas por los sensores remotos y los índices de vegetación de las parcelas afectadas y no afectadas por *Cotonet*, durante todo el ciclo fenológico.
- Modelización de la respuesta espectral registrada en las parcelas afectadas y no afectadas por la plaga, a partir de las relaciones entre bandas e índices de vegetación.
- Establecimiento de un protocolo para la clasificación de las parcelas afectadas por la plaga y para la detección precoz de la aparición de los daños en el cultivo.

## 2 MATERIALES Y MÉTODOS.

### 2.1 Área de estudio.

El estudio se ha realizado en la Comunidad Valenciana (España) concretamente en la provincia de Valencia, en diversas parcelas de municipios de las comarcas de la Ribera Alta y Ribera Baja. Cabe recalcar que el estudio se ha realizado desde 2019 hasta 2022.



Figura 13. Detalle de la ubicación de la zona de estudio.

### 2.2 Adquisición datos de campo.

Las parcelas estudiadas en el presente trabajo se han seleccionado teniendo en cuenta el grado de afectación de la plaga. Este dato se ha obtenido mediante el estudio de la afectación de la plaga en cada una de las parcelas seleccionadas.

En el parcelario utilizado para la monitorización se han eliminado las parcelas con una superficie menor a 0,2 ha, debido a que tras la realización de la selección de los píxeles útiles (*buffer*) en cada parcela, únicamente presentaban 1 píxel (1 dato). La selección

de un *buffer* a 5 m de los lindes de la parcela se basó en la obtención de una mayor precisión, descartando así píxeles de los bordes de los caminos o cualquier zona que no fuera cultivo, con el objetivo que la precisión en los resultados fuera la más alta posible.

La clasificación de las parcelas según el grado de afectación (afectadas y no afectadas) se realizó en función de su nivel de incidencia por la plaga: parcelas afectadas con más del 25% de frutos afectados y parcelas no afectadas con menos del 25% de frutos afectados. La superficie analizada fue de 72,2 ha: 50,3 ha correspondieron a parcelas no afectadas y 21,9 ha a parcelas afectadas. En cuanto a los píxeles, se ha de destacar que cada uno abarcó una superficie de 10 m<sup>2</sup> por lo que se obtiene un 71% de píxeles de parcelas no afectadas y un 29% de píxeles de parcelas afectadas. El parcelario final constó de 94 parcelas repartidas en 22 municipios de la Comunidad Valenciana, de las cuales 61 parcelas correspondieron a parcelas no afectadas y 33 a parcelas afectadas por la plaga. La relación de parcelas estudiadas por término municipal y su extensión se muestran en la tabla 2.

### **2.3 Análisis estadístico.**

A partir de estos datos se representó gráficamente la evolución de la reflectancia en las bandas estudiadas y del NDVI durante todo el ciclo de cultivo. En las fechas consideradas críticas por la mayor incidencia de la plaga se realizó un análisis de la varianza para estudiar la influencia estadística de la afectación de la plaga. La separación de medias entre las parcelas afectadas y no afectadas se realizó mediante el test estadístico de mínima diferencia significativa (LSD,  $p < 0,05$ ).

Para determinar la influencia estadística del factor año se ha realizado un análisis de la varianza factorial entre el año y la afectación por la plaga desde marzo a octubre, con los valores medios de cada mes. Las diferencias estadísticas entre los valores medios de los factores analizados se calcularon por medio del test estadístico LSD ( $p < 0,05$ ).

### **2.4 Software utilizado.**

El procesado de las imágenes de satélite, así como la validación cruzada se ha realizado con el programa QGIS 3.10.14. Los modelos matemáticos y el análisis estadístico se han obtenido con el programa StatGraphics Centurion XVII (v.17.2.00). El visor EO Browser de la Agencia Espacial Europea (ESA) se ha utilizado para identificar las fechas sin nubes.

**Tabla 2. Relación del número de parcelas estudiadas por termino municipal y superficie (afectadas y no afectadas).**

Término municipal	Número de parcelas		Superficie (ha)	
	Afectadas	No afectadas	Afectadas	No afectadas
Alginet	11	3	5,862	1,243
Puebla del Duc	0	6	0	3,394
Benimodo	0	3	0	3,732
Gabarda	0	1	0	2,183
Guadasuar	2	0	1,057	0
Alfarp	0	13	0	11,925
Real	0	1	0	0,436
Alcudia	7	0	4,506	0
Beniatjar	0	4	0	1,428
Catadau	0	9	0	6,441
Benigánim	0	9	0	3,898
Silla	0	3	0	1,531
Llombay	0	2	0	0,804
Benifayó	2	1	1,735	0,860
Algemesí	1	0	1,199	0
Benifairó de la Valldigna	0	1	0	1,465
Játiva	1	3	0,410	2,976
Cuatretonda	0	1	0	0,580
Alzira	3	1	2,833	7,4
Villanueva de Castellón	3	0	1,637	0
Alcántara del Júcar	2	0	2,354	0
Llosa de Ranes	1	0	0,271	0
<b>TOTAL PARCELAS</b>	<b>33</b>	<b>61</b>	<b>21,9</b>	<b>50,3</b>

## 2.5 Datos de satélite.

Para la realización de este trabajo se han utilizado imágenes de satélite obtenidas por el Multi-Spectral Instrument (MSI) a bordo de la constelación Sentinel-2A/B. Sentinel-2 captura imágenes de la superficie terrestre en 13 bandas espectrales, con una resolución temporal de 5 días, de las cuales se han considerado, en este estudio, las correspondientes a la resolución espacial de 10 m y 20 m. Se ha usado el tile T30TYK, seleccionándose las fechas sin nubes (más del 80% de la superficie con ausencia de

nubes). El producto descargado ha sido el 2A (imagen corregida atmosféricamente). La tabla 3 muestra las características principales de las bandas de Sentinel-2 analizadas en el estudio, mientras que la tabla 4 presenta el número de días sin presencia de nubes por año, considerados en el estudio.

**Tabla 3. Longitud de onda y resolución espectral en las bandas espectrales registradas por Sentinel-2.**

Nombre de la banda	Longitud de onda central (nm)	Resolución espacial (m)
B2-Azul	490	10-20
B3-Verde	560	10-20
B4-Rojo	665	10-20
B5-Vegetation Red Edge 1	705	20
B6-Vegetation Red Edge 2	740	20
B7-Vegetation Red Edge 3	783	20
B8-NIR	842	10-20
B8A-NIR 2	865	20
B11-SWIR 1	1610	20
B12-SWIR 2	2190	20

**Tabla 4. Días sin nubes registrados desde 2019 hasta 2022.**

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
2019	5	2	2	2	1	3	3	4	1	1	1	2
2020	3	3	1	0	2	1	1	2	2	2	1	3
2021	2	1	1	1	0	2	1	1	0	0	2	2
2022	1	1	1	1	1	3	5	3	0	1	2	2

Para el procesado de datos, se obtuvieron mapas de imágenes satelitales con una resolución espacial de 10m.

Para la realización del estudio de cada parcela, se ha realizado una matriz de datos, registrado el valor de la reflectancia de cada una de las bandas analizadas en cada píxel. Además de los valores de reflectancia se ha calculado, el índice de vegetación NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), calculado como el valor normalizado de la diferencia entre la reflectancia en B8 y B4; y la ratio B8/B4.

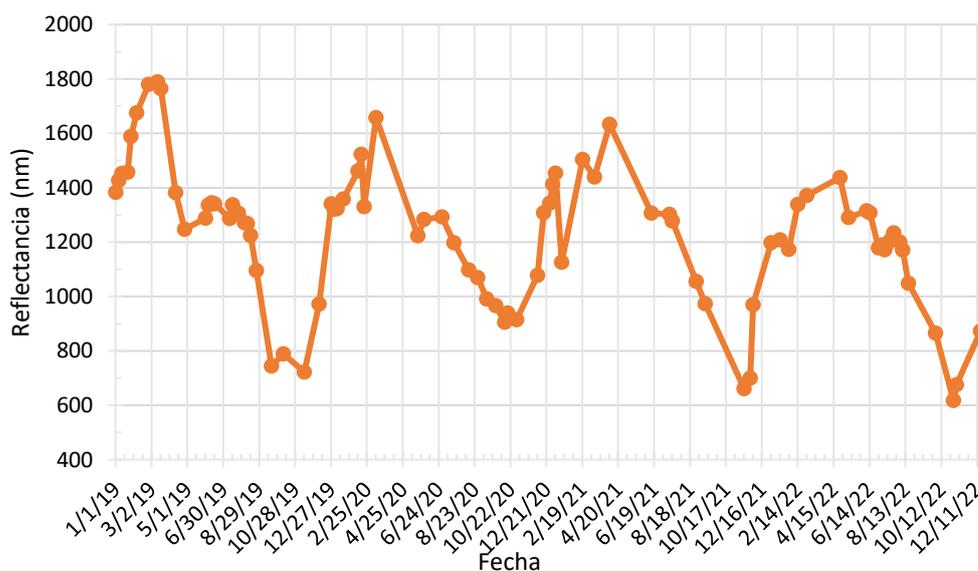
## 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.

### 3.1 Caracterización agronómica de la respuesta espectral del cultivo.

Con el fin de poder analizar e interpretar los datos adquiridos por los sensores remotos, fue necesario realizar medidas radiométricas en el laboratorio o en el campo. A partir de dichas medidas es posible determinar la relación entre esas curvas de referencia, que son las firmas espectrales, y las características del objeto observado (Pinilla, 1995). En este apartado se estudiará la firma espectral de las principales bandas estudiadas, Rojo y NIR, y el índice de vegetación NDVI, en las parcelas no afectadas por *Cotonet*, utilizando una resolución espacial de 10 m.

#### 3.1.1 Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del rojo.

En primer lugar, se estudió la reflectancia en la banda espectral del Rojo en las parcelas no afectadas por *Cotonet*. En la figura 14 se muestra su serie temporal desde 2019 hasta 2022.



**Figura 14. Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del Rojo desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas.**

En la figura 14 se observó que en los últimos meses de cada año el cultivo experimenta un incremento de reflectancia en la banda del rojo, debido a que se trata de un cultivo caducifolio y en esta época del año pierde sus hojas (perdida del color verde en la planta); y a partir de mediados de marzo – inicio de abril la reflectancia en esta banda disminuyó por el inicio de la brotación (presencia del color verde en la planta). Este fenómeno sucedió en todos los años estudiados. Si bien se manifestó una variabilidad intermensual, puesto que la máxima reflectancia se alcanzó en marzo para 2019 y 2020, mientras en 2021 y 2022 fue en abril.

Por lo observado, dicha banda espectral presentó un comportamiento monótono, alcanzando máximos a principios de primavera y mínimos a finales del otoño. Para justificar el descenso de la reflectancia del rojo habría que centrarse en la primera brotación, que tiene lugar en abril para la variedad Rojo Brillante y para la zona de estudio. Este comportamiento del cultivo podría justificar el incremento en la banda del rojo ya que las bandas espectrales visible (Rojo) e infrarrojo cercano (NIR), que están estrechamente relacionadas con las características vegetativas y productivas del cultivo (Delgado, Pajares, & Rullán, 2015). En las hojas de plantas sanas, la abundancia de pigmentos de clorofila tiene un papel importante en la absorción de longitudes de onda del azul y el rojo, y en la tasa de fotosíntesis en toda la región de radiación fotosintéticamente activa (Solberg, 2007). Esto explicaría la menor absorción de radiación sobre todo en el PAR (Rojo visible) en la brotación primaveral, dando lugar a hojas, las cuales presentarán su máxima tasa fotosintética a medida que se desarrolla el fruto. Así, el descenso de la radiación reflejada en la banda del rojo coincide con el crecimiento del fruto, presentando la mínima reflectancia en las fechas próximas a la cosecha.

Una planta está bajo estrés cuando hay un cambio en el estado sanitario del follaje. Bajo tales condiciones, las plantas aumentan su reflectancia en las porciones del verde y rojo y es por ese motivo que las hojas se vuelven amarillas o cloróticas. Este hecho ha llevado a sugerir que la parte del visible es el indicador de reflectancia más consistente del estrés de la planta (Carter 1996; Jensen 2005) y puede explicar los picos o variaciones de los valores de la reflectancia el rojo a lo largo el ciclo productivo.

### 3.1.2 Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del NIR.

En segundo lugar, se estudió la reflectancia en la banda espectral del NIR en las parcelas no afectadas por *Cotonet*. En la figura 15 se muestra su serie temporal desde 2019 hasta 2022.

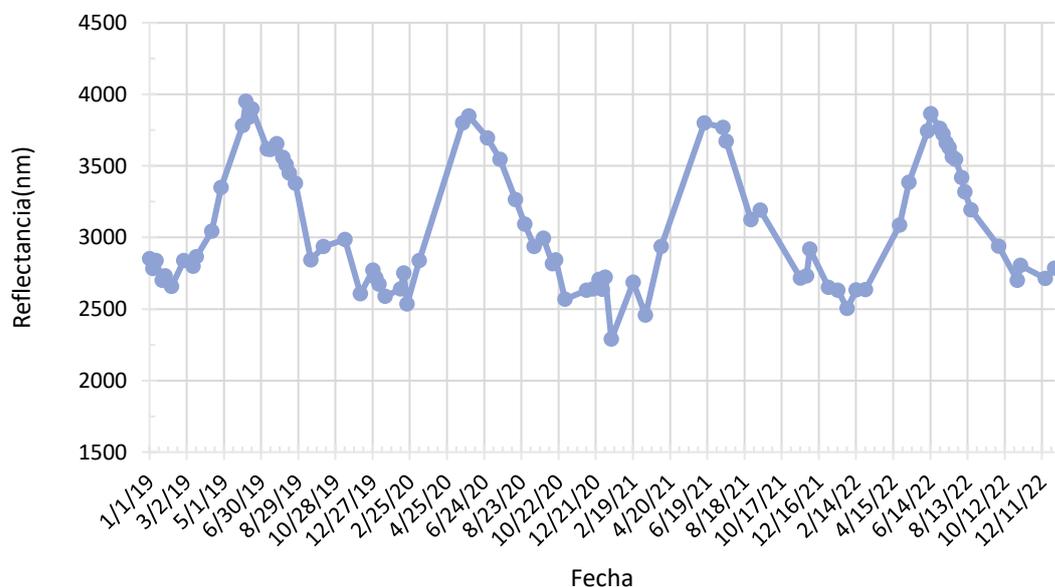


Figura 15. Serie temporal de la reflectancia en la banda espectral del NIR desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas.

En la figura 15 se observó que desde los meses de febrero a abril el cultivo experimentó un incremento de la reflectancia en la banda del NIR, coincidiendo con la brotación primaveral. A partir de junio se constató un descenso de la reflectancia en la banda del NIR, coincidiendo con el inicio de crecimiento del fruto. Este fenómeno sucedió todos los años estudiados.

La banda NIR revela el estado real de la vegetación, debido a la fuerte absorción de la luz visible por parte de la clorofila y de la luz infrarroja media por parte del agua. La mejor región del espectro electromagnético para la observación de la sanidad de los cultivos es siempre el rango del infrarrojo cercano (NIR), entre 0,7 $\mu$ m y 1,3 $\mu$ m. La altísima reflectancia de las hojas de las plantas en esta banda hace que sea muy fácil visualizar cualquier planta sana en una imagen de satélite (Analytic, 2022).

La vegetación saludable refleja la energía solar incidente en el intervalo del NIR del 40 al 60%, la transmite a través de las hojas subyacentes del 40 al 60%, y la absorbe del 5 al 10%. Las razones de la fuerte reflectancia de la energía en el NIR de las copas sanas son, primero su dispersión en las interfaces de aire de las paredes del mesófilo esponjoso, y segundo la reflectancia aditiva de la hoja que ocurre cuando la energía se transmite a través de la hoja y luego puede reflejarse nuevamente a través de las hojas por debajo de ella (Jensen, 2005). En consecuencia, se puede justificar el incremento de NIR constatado en este estudio en los meses de febrero a junio ya que coincide con la brotación primaveral y disminuye con el crecimiento del fruto y la madurez de los brotes.

### 3.1.3 Serie temporal del índice de vegetación NDVI.

En tercer lugar, se estudió la reflectancia del índice NDVI en las parcelas no afectadas por *Cotonet*. En la figura 16 se muestra su serie temporal desde 2019 hasta 2022.

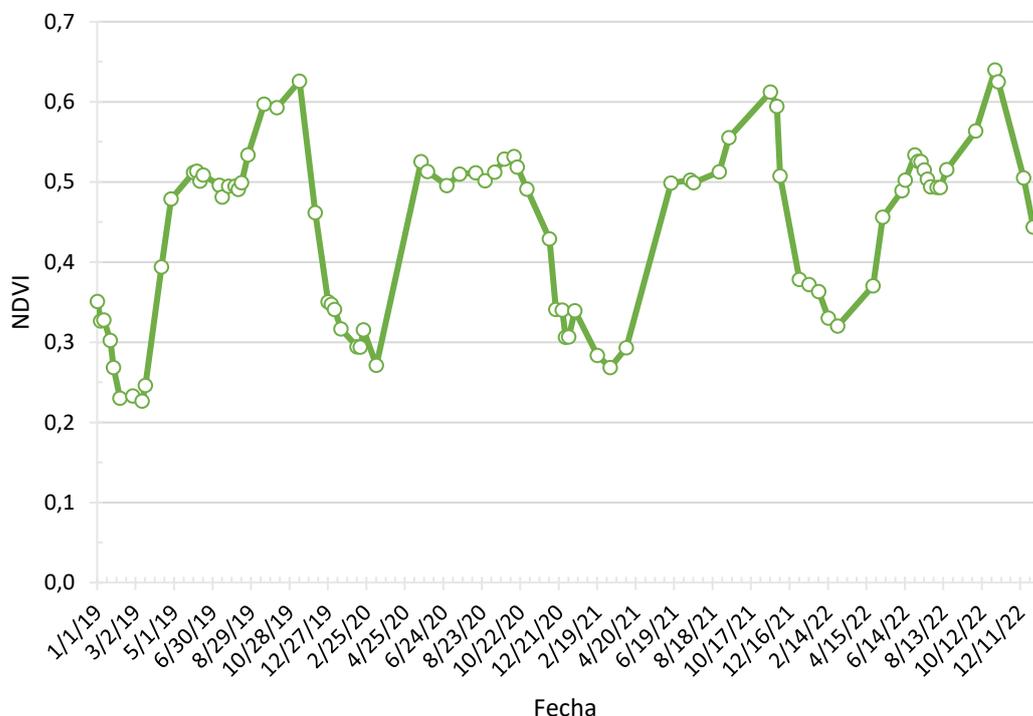


Figura 16. Serie temporal de la reflectancia del índice NDVI desde 2019 hasta 2022, en parcelas no afectadas.

En la figura 16 se observó que desde principios de marzo a principios de noviembre el cultivo experimentó un incremento del índice obtenido al relacionar ambas bandas (B4 y B8), produciéndose este fenómeno en todos los años que se ha realizado el estudio. A principios de noviembre, tras la recolección, pérdida de hojas y entrada en parada invernal, el índice disminuyó hasta que en marzo, con la brotación y el inicio de un nuevo ciclo de cultivo, se incrementó de nuevo. Por tanto, se observó que dicho índice sigue un comportamiento cíclico con un mínimo a finales de invierno-inicio de primavera y un máximo al final del verano/inicio de otoño.

La primera brotación del cultivo se produce en los meses de marzo-abril, pudiéndose considerar que el desarrollo de los brotes coincidió con el inicio del crecimiento del NDVI. Esto se justifica ya que este índice es un indicador directo de la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa (Tucker y Sellers, 1986) y se encuentra fuertemente correlacionada con la productividad primaria neta aérea (Ceroni, Achkar, Gazzano, & Burgeño, 2015). La mejor expresión vegetativa, o el máximo potencial de NDVI, se da en verano y generalmente posterior al envero empieza a modificarse el follaje y ya en el periodo de cosecha comienza a perder hojas (Hernández et al. 2014). De esta forma queda evidenciado que el NDVI presenta valores más elevados cuando se incrementa las brotaciones del cultivo y valores más bajos durante toda la parada invernal, ya que el caqui es un cultivo de hoja caduca y tras la pérdida de las hojas la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa desaparece.

### 3.1.4 Promedio mensual de las series temporales de las bandas del rojo y NIR e índice NDVI.

En la figura 17 se representa el promedio mensual de las reflectancias espectrales, para parcelas no afectadas, de las bandas del rojo y NIR para los meses de marzo a octubre, calculándose el promedio para los cuatro años de datos. De igual manera, se representa también el promedio de NDVI.

En esta figura se muestra la caracterización de la respuesta espectral mensual del cultivo correspondiente al área de estudio. Estos resultados son necesarios para llevar a cabo una correcta evaluación agronómica del efecto del *Cotonet* sobre el caqui.

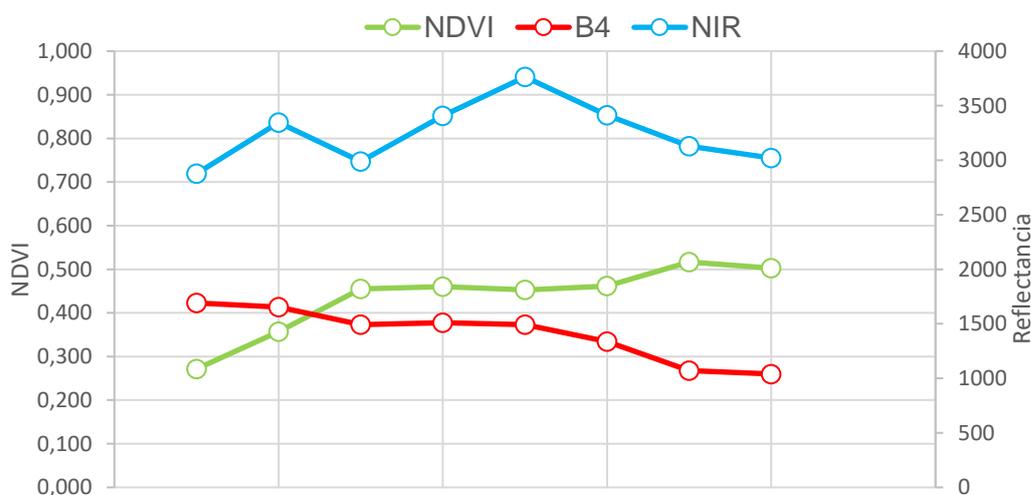


Figura 17. Promedio mensual de las reflectancias espectrales de las bandas del rojo y NIR; e índice NDVI para los meses de marzo a octubre en parcelas no afectadas.

### 3.2 Monitorización de la incidencia de *Cotonet* en parcelas afectadas y no afectadas. Evolución de bandas electromagnéticas e índices de vegetación durante el ciclo de cultivo.

En la figura 18 y 19 se muestra la comparativa de la evolución de las reflectancias entra las parcelas de caqui no afectadas y afectadas por *Cotonet* desde el año 2019 hasta el 2022, en la banda del rojo (B4) y del NIR (B8).

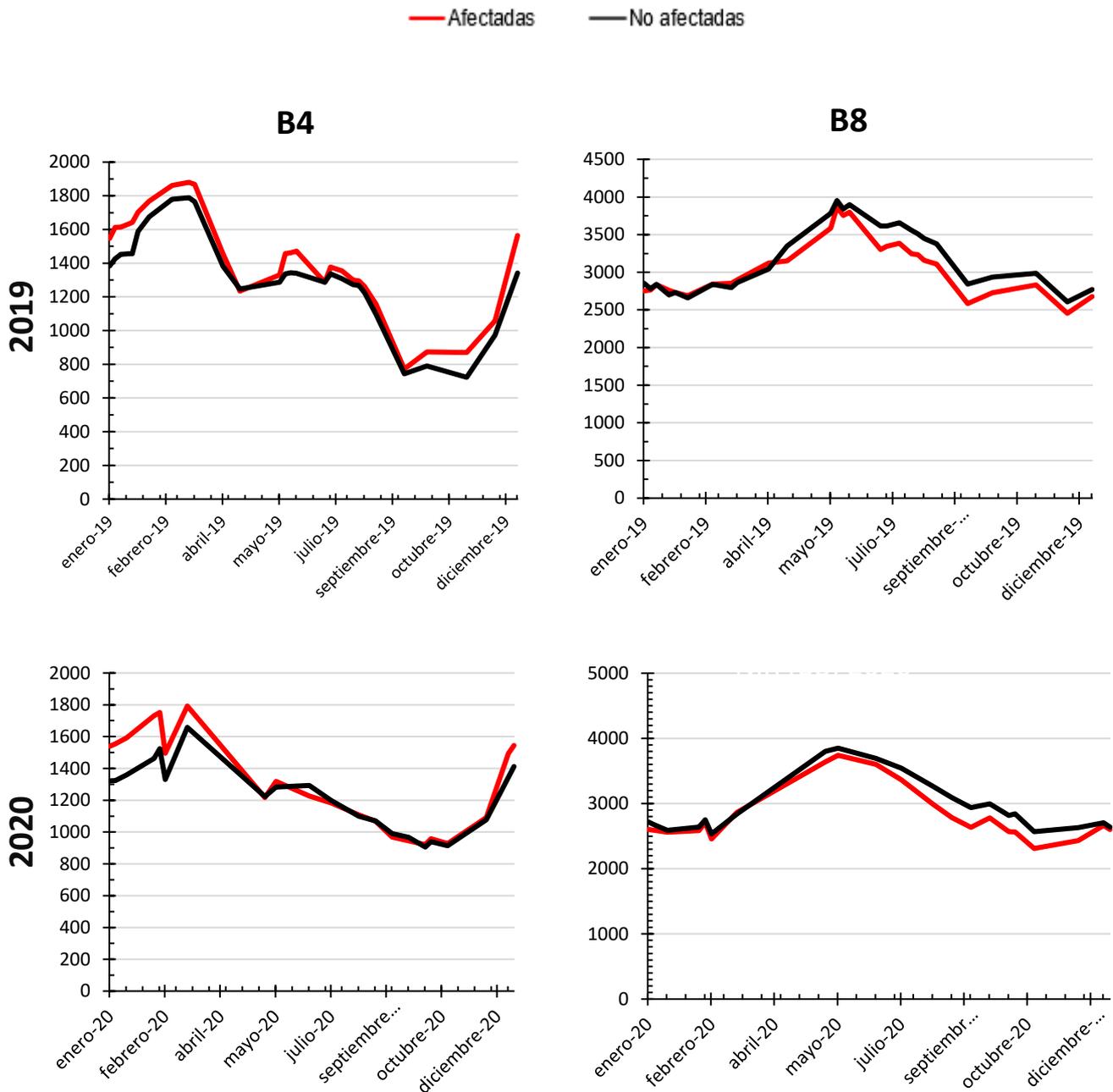
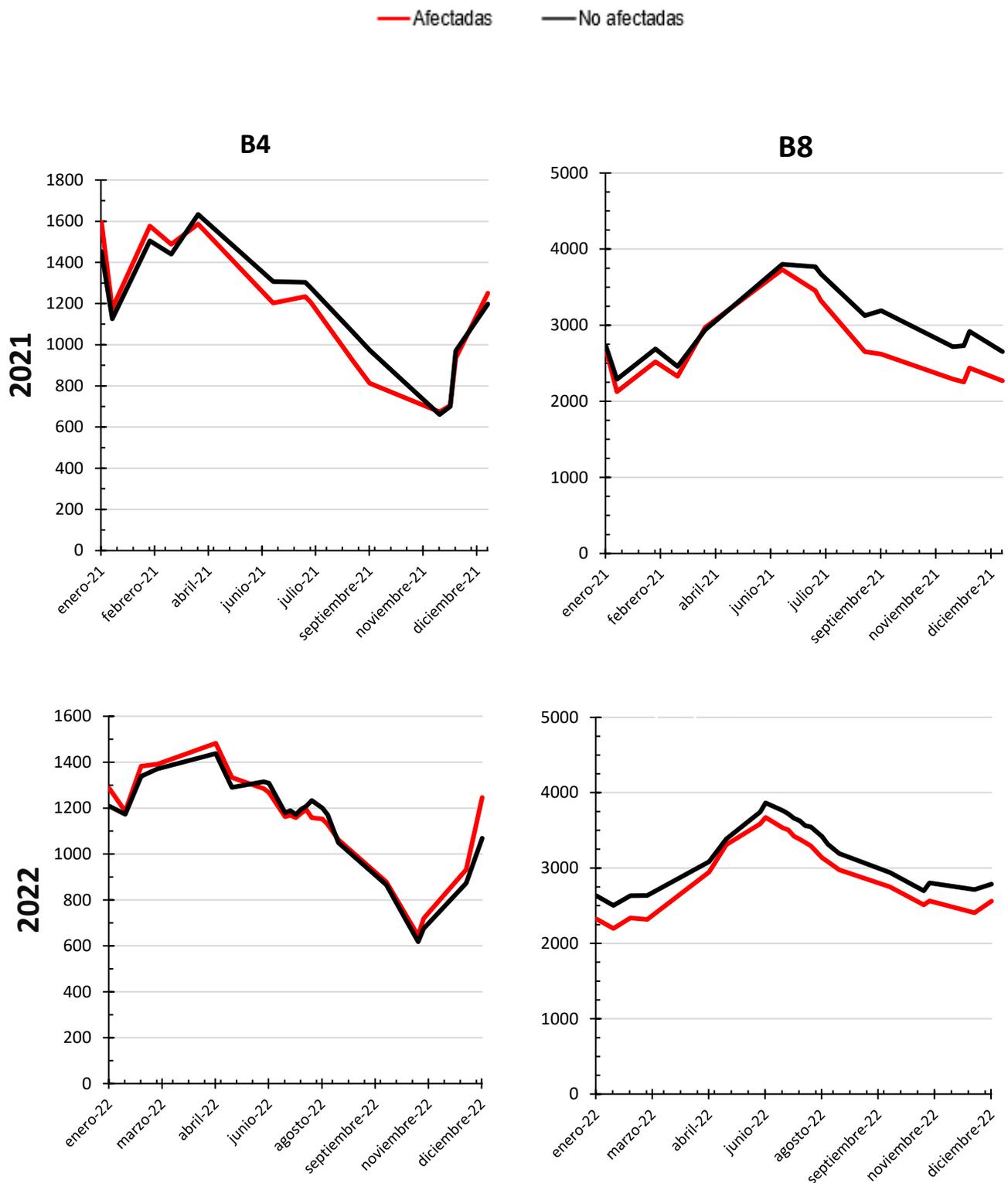


Figura 18. Comparación de la evolución de la reflectancia de B4 y B8 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020.



**Figura 19. Comparación de la evolución de las reflectancias de B4 y B8 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2021 y 2022.**

Respecto a la banda del rojo (B4) se observó diferentes tendencias, en el año 2019 ambas muestras de población presentan un comportamiento similar, aunque las

parcelas afectadas por *Cotonet* emiten una reflectancia mayor que las parcelas sanas. Esta diferencia de reflectancia sobre todo se acentuó a finales de la primavera, fecha coincidente con el inicio de una nueva brotación y de la fase 2 del crecimiento del fruto.

En el año 2020 y 2022 se observaron diferencias respecto a lo ocurrido en el año 2019 en la banda del rojo (B4). En estos años ambas muestras de población presentaron un comportamiento similar pero, las parcelas afectadas por *Cotonet* emitieron una reflectancia mayor desde inicios de otoño, coincidiendo con el fin de ciclo del caqui, hasta principios de mayo, fecha en la cual ya tuvo lugar la primera brotación y se dio el inicio del crecimiento del fruto.

Finalmente en el año 2021 se observaron unas nuevas diferencias en lo ocurrido en la banda del rojo (B4). En este año ambas muestras de poblaciones siguieron presentando un comportamiento similar, de modo que las parcelas afectadas por *Cotonet* presentaron una menor reflectancia que las parcelas no afectadas, de marzo-abril (primera brotación) hasta los meses de octubre-noviembre.

Debido a las diferencias que se observaron estos años en lo referente a la reflectancia de banda del rojo (B4) entre las parcelas no afectadas y afectadas, no fue posible sacar una conclusión clara de cómo afecta en *Cotonet* a esta banda.

Cabe destacar que estas observaciones se pudieron constatar sin llevar a cabo ningún análisis estadístico de comparación de medias para todas las fechas estudiadas, con el propósito de que el gráfico presentado resultase simple y fácil de interpretar. En los apartados siguientes, se introducirá un análisis estadístico con test estadísticos.

En lo referente a la banda del NIR (B8) ocurrió un comportamiento distinto al caso anterior. Las parcelas no afectadas prácticamente se mantuvieron con un nivel de reflectancia mayor durante todo el ciclo de cultivo, repitiéndose para los cuatro años estudiados. Respecto a la evolución anual, desde principios de enero la reflectancia aumentó hasta finales de mayo o inicios de junio, donde alcanzó su máximo valor. A partir de ahí, la reflectancia disminuyó hasta finales de año, donde se alcanzaron los valores mínimos de reflectancia.

De acuerdo con la tendencia en la banda B8, en parcelas sanas y afectadas, se podría indicar que las parcelas no afectadas presentaron una mayor brotación y densidad foliar por los valores de reflectancia más elevados obtenidos en la banda B8.

En lo referente al NDVI, se observó, que el índice presentó valores más elevados en parcelas no afectadas, que en parcelas afectadas por la plaga. Esta diferencia entre los valores fue más escasa durante los meses de marzo-mayo, coincidiendo con la brotación y crecimiento de los brotes. A partir de ese momento la diferencia de valores de NDVI fue aumentado a medida que transcurrió el verano, coincidiendo con el cuajado y crecimiento del fruto, hasta noviembre, donde cayeron las hojas y se inició el fin de ciclo del caqui. Este comportamiento se repitió todos los años estudiados.

El índice NDVI es un indicador directo de la cantidad de biomasa verde fotosintéticamente activa (Ceroni, Achkar, Gazzano, & Burgeño, 2015) por lo que cuantifica la vegetación y la cantidad de biomasa del polígono que estamos monitorizando, midiendo la diferencia entre las bandas espectrales del infrarrojo cercano (que la vegetación refleja fuertemente) y la luz roja (que la vegetación absorbe). Por tanto, la figura 21 y 22 podría indicar que las parcelas no afectadas presentaron un mayor vigor vegetativo que las parcelas afectadas por la plaga, incrementándose esta diferencia a partir de junio hasta la finalización de la fase de maduración del fruto y entrada en parada vegetativa de la planta. Esto indicaría que los daños de esta plaga

no solamente afectan al fruto, sino que se produce un daño generalizado de la parte vegetativa del árbol que afecta a su crecimiento.

En la figura 20 y 21, se muestra la comparativa de la evolución de los valores del índice NDVI y la ratio (B8/B4) entre las parcelas de caqui no afectadas y afectadas por *Cotonet* desde el año 2019 hasta el 2022.

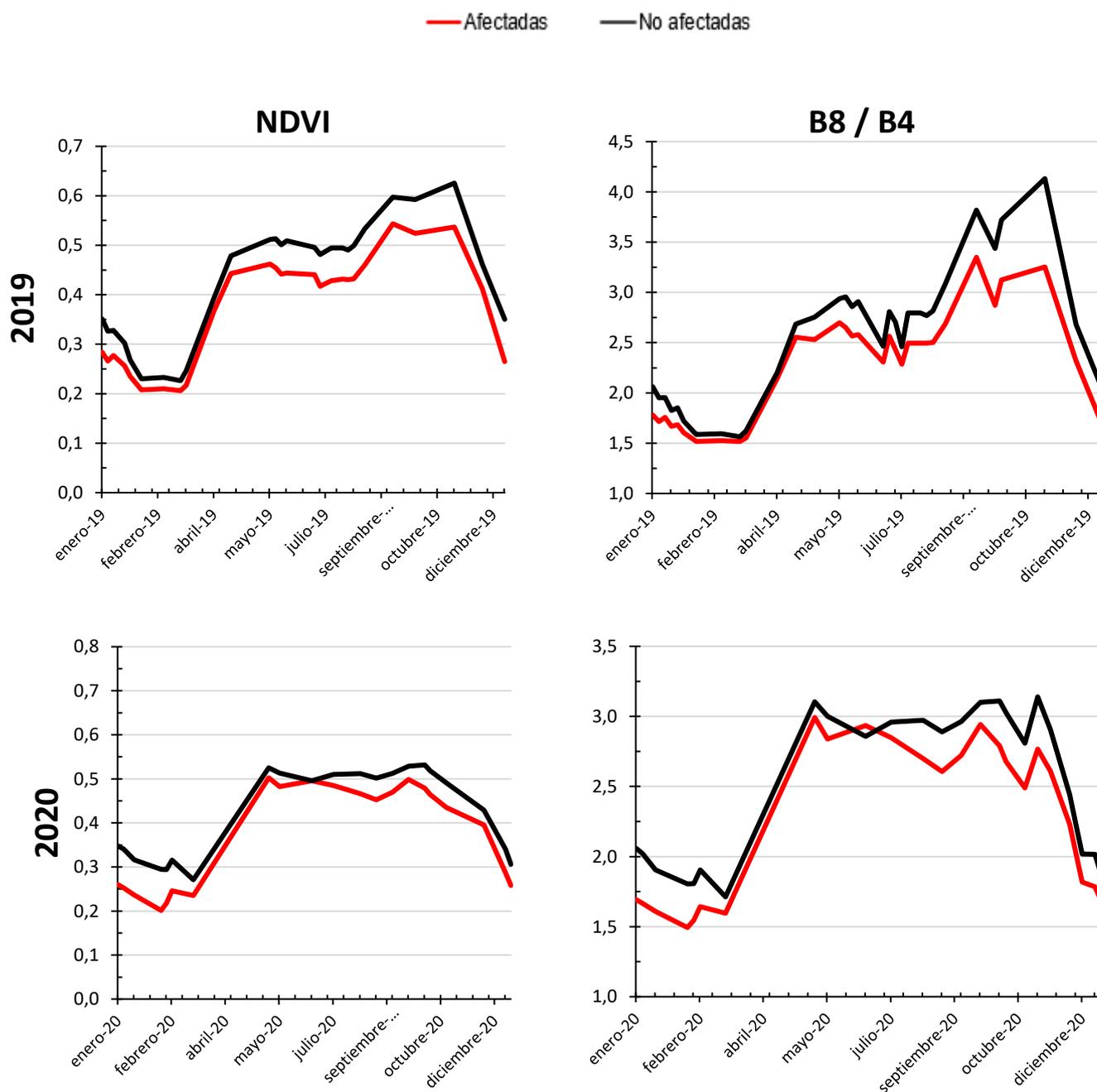
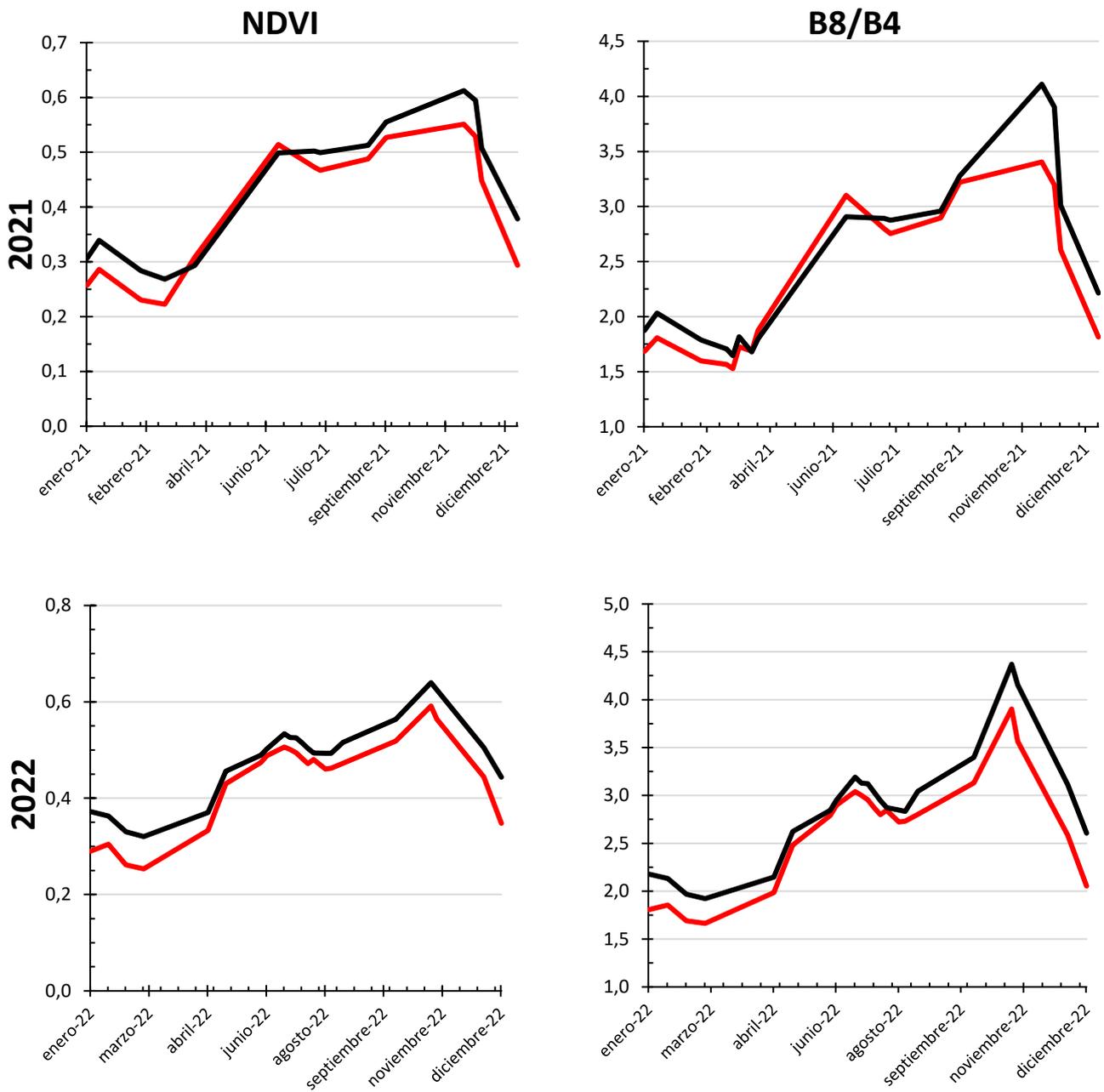


Figura 20. Comparación de la evolución del NDVI y ratio B8/B4 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020.

— Afectadas — No afectadas



**Figura 21. Comparación de la evolución NDVI y la ratio B8/B4 para parcelas afectadas y no afectadas en el año 2019 y 2020.**

El principio básico del NDVI se basa en el hecho de que las capas esponjosas de las hojas reflejan mucha luz en el infrarrojo cercano, en marcado contraste con la mayoría de los objetos no vegetales. Cuando la planta se deshidrata o estresa, la capa esponjosa colapsa y las hojas reflejan menos luz NIR, pero la misma cantidad en el rango visible (Esser, 2002). La combinación matemática de estas dos señales puede ayudar a diferenciar las plantas de lo no vegetal y plantas saludables de plantas enfermas. Las áreas de alto vigor (densidad vegetal) poseen una mayor reflectancia en el infrarrojo cercano y una menor reflectancia en el rojo, debido a que poseen un mayor índice NDVI. Finalmente en cuanto a la ratio B8/B4, presentó una evolución muy similar al índice NDVI, si bien las diferencias podrían ser mayores. Las parcelas no afectadas presentaron valores superiores a los de las afectadas, prácticamente en toda su

evolución y durante los cuatro años estudiados. Esta diferencia entre los valores fue escasa durante los meses de marzo-mayo, coincidiendo con la brotación y crecimiento de los brotes. Los valores aumentaron paulatinamente desde el mes de enero hasta noviembre, coincidiendo con la caída de hojas, fin del ciclo vegetativo y entrada en latencia invernal. Esta diferencia entre los valores fue más escasa durante los meses de marzo-mayo, coincidiendo con la brotación y crecimiento de los brotes.

Teniendo en cuenta la tendencia anual de los valores del índice NDVI y de la ratio B8/B4, tanto en parcelas afectadas y no afectadas, se podría indicar que las parcelas no afectadas presentaron una mayor brotación, densidad foliar y vigor, factores que podrían afectar positivamente a la producción.

### 3.3 Estudio de la firma espectral en parcelas afectadas y no afectadas.

Siguiendo con la monitorización de la incidencia de la plaga se ha obtenido la firma espectral en tres fechas consideradas clave para el estudio de la detección de la incidencia de la plaga (14 de junio, 19 de julio y 28 de agosto). No se constataron diferencias estadísticamente significativas en la reflectancia registrada en las diez bandas estudiadas durante el 14 de junio. Las diferencias estadísticamente significativas aparecieron el 28 de agosto especialmente en las bandas B5, B6, B7, B8 y B11. Estos resultados son coincidentes con lo obtenido en la monitorización de la incidencia de la plaga durante todo el año indicando que las plantas afectadas muestran una menor reflectancia en el infrarrojo cercano, debido a la menor cubierta vegetal que muestran las plantas afectadas por *Cotonet*. Los datos registrados el 19 de julio en la firma espectral fueron intermedios entre el 14 de junio y el 28 de agosto. Del estudio de la firma espectral en fechas tempranas a la aparición de los daños ocasionados por la plaga no pueden obtenerse resultados claros que permitan detectar tempranamente su incidencia.

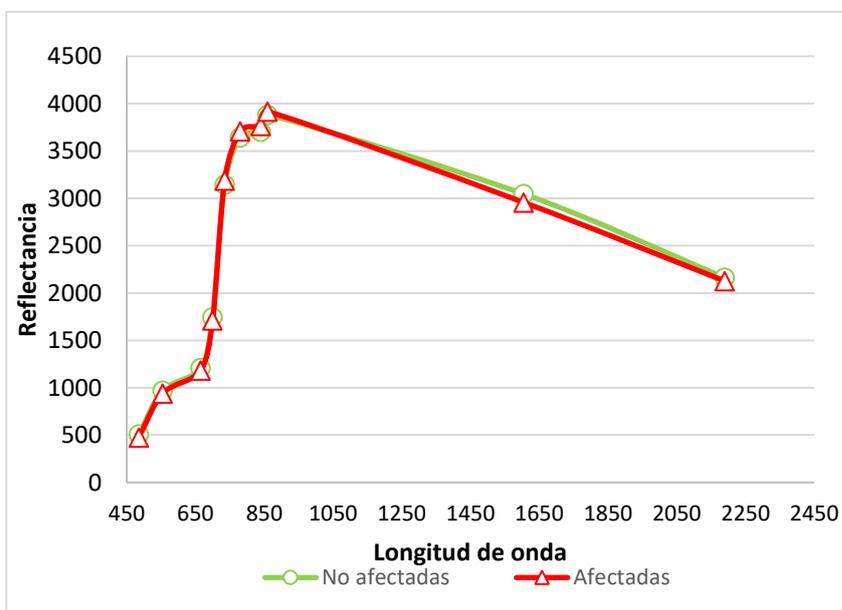


Figura 22. Firma espectral del día 14 de junio de 2021.

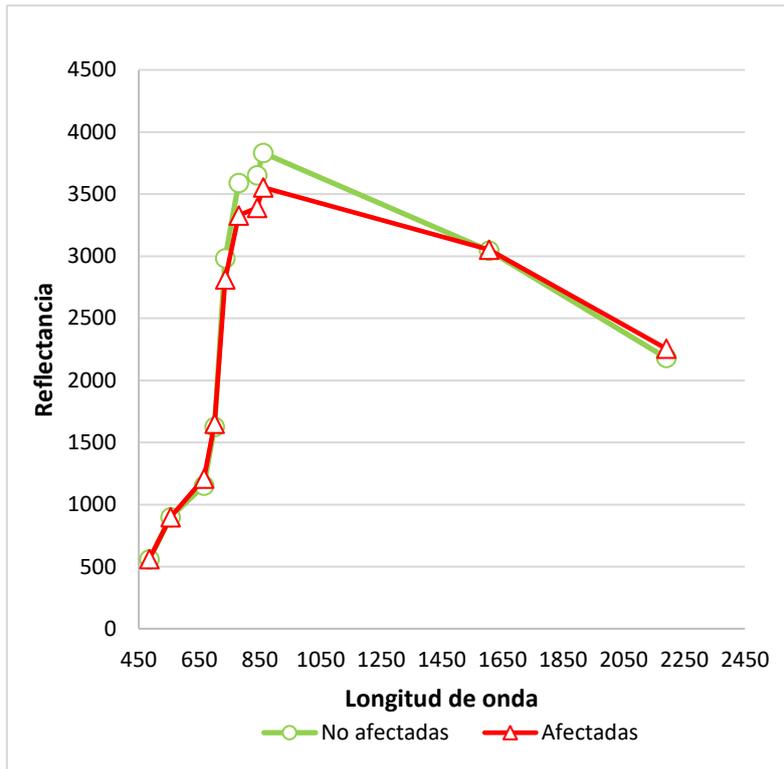


Figura 23. Firma espectral del día 19 de julio de 2021.

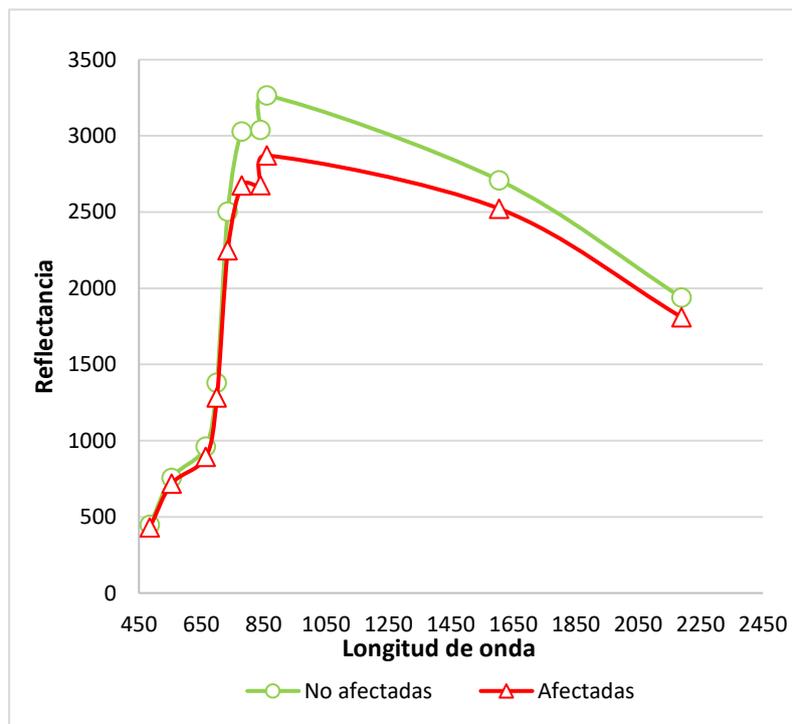


Figura 24. Firma espectral del día 28 de agosto de 2021.

### 3.4 Análisis comparativo de las medias en las bandas e índices de vegetación entre parcelas afectadas y no afectadas.

Para llevar a cabo un análisis más riguroso a nivel estadístico con los resultados obtenidos de la reflectancia, se ha realizado un análisis de la varianza comparando los valores medios mensuales de marzo a octubre de la reflectancia en B4, B8, los valores de NDVI y los valores de la ratio B8/B4 obtenidos durante todo el año en todas las fechas con registro por parte de los sensores instalados en los satélites, eliminado los días nublados para no obtener resultados erróneos en el análisis.

Tabla 5. Análisis comparativo de medias de la banda B4 entre parcelas afectadas y no afectadas.

Factor	B4								
	TOTAL	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Año 2019									
No afectadas	1491	1918	1543	1603	1655	1606	1478	841	1000
Afectadas	1394	1863	1333	1390	1478	1378	1266	766	977
Año 2020									
No afectadas	1290	1714	-	1399	1441	1355	1229	1093	1050
Afectadas	1432	1875	-	1518	1571	1451	1339	1208	1190
Año 2021									
No afectadas	1395	1664	1821	-	1557	1586	1311	1277	-
Afectadas	1231	1527	1573	-	1219	1210	938	839	-
Año 2022									
No afectadas	1287	1468	1595	1473	1491	1420	1329	-	1070
Afectadas	1129	1354	1440	1301	1233	1168	1094	-	843
LSD ( $p < 0,05$ )	170,7	200,6	233,5	233,2	239,3	238,5	238,5	224,2	214,4
ANOVA: Factor									
<i>Cotonet</i>	0,1171	0,4832	0,0036	0,2006	0,0098	0,0022	0,0042	0,0481	0,5647
Año	0,0022	0,0000	0,0084	0,4278	0,0623	0,1602	0,0336	0,0001	0,0882
Año x <i>Cotonet</i>	0,0474	0,1629	0,8594	0,1064	0,0427	0,0475	0,0421	0,0031	0,0655

La Tabla 5 muestra la comparación de medias y el análisis de la varianza de los dos factores estudiados (Año y Afectación de *Cotonet*) para los valores registrados en la banda del Rojo. Se detectó una interacción estadísticamente significativa (e.s.) ( $p < 0,05$ ) para las fechas estudiadas: marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre y todo el ciclo anual del cultivo. Como resultado de la interacción se observó que aparecieron diferencias e.s. ( $p < 0,05$ ) entre las parcelas afectadas y no afectadas para los periodos de junio, julio, agosto, septiembre y el total del ciclo. De acuerdo con estos resultados, se constata que la banda del rojo puede ser un indicador válido para distinguir entre parcelas afectadas y no afectadas por *Cotonet*.

**Tabla 6. Análisis comparativo de medias de la banda B8 entre parcelas afectadas y no afectadas.**

Factor	B8								
	TOTAL	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Año 2019									
No afectadas	3349	3001	3468	3908	4085	3719	3654	2952	3249
Afectadas	3085	2891	3176	3591	3840	3348	3234	2603	2836
Año 2020									
No afectadas	2917	2994	-	3868	3696	3531	3117	2917	2772
Afectadas	3058	3013	-	4104	3971	3736	3282	3128	3018
Año 2021									
No afectadas	3133	2778	3186	-	4032	3908	3377	3520	-
Afectadas	2660	2502	2978	-	3698	3331	2645	2604	-
Año 2022									
No afectadas	3394	2731	3378	3654	4064	3896	3500	-	3036
Afectadas	2959	2324	3009	3349	3608	3406	3050	-	2673
LSD ( $p < 0,05$ )	157,2	199,6	231,9	207,1	200,7	196,6	204,2	191,0	221,2
ANOVA: Factor									
<i>Cotonet</i>	0,00000	0,0002	0,0000	0,0385	0,0003	0,0000	0,0000	0,0000	0,0077
Año	0,00000	0,0000	0,0191	0,0000	0,2522	0,3661	0,0000	0,0001	0,0511
Año x <i>Cotonet</i>	0,00000	0,0212	0,6364	0,0002	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000

**Tabla 7. Análisis comparativo de medias del índice NDVI entre parcelas afectadas y no afectadas.**

Factor	NDVI								
	TOTAL	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre
Año									
2019	0,3937	0,2247	0,4157	0,4465	0,4501	0,4221	0,4519	0,5622	0,5240
2020	0,3880	0,2642	-	0,4803	0,4547	0,4620	0,4491	0,4722	0,4428
2021	0,3867	0,2531	0,2991	-	0,4820	0,4559	0,4718	0,5109	-
2022	0,4572	0,2894	0,3628	0,4413	0,4854	0,4867	0,4713	-	0,5208
Afectación									
No afectadas	0,4168	0,2715	0,3569	0,4547	0,4600	0,4525	0,4614	0,5166	0,5026
Afectadas	0,3960	0,2442	0,3615	0,4574	0,4761	0,4609	0,4607	0,5136	0,4891
ANOVA: Factor									
Año	0,0056	0,7349	0,8481	0,1938	0,5209	0,5209	0,9586	0,8646	0,3941
Afectación	0,0001	0,0000	0,0549	0,0910	0,0062	0,00062	0,5352	0,0003	0,0000
Año x Afectación	0,7137	0,4641	0,9777	0,4978	0,9387	0,9487	0,9487	0,7505	0,1990

La Tabla 6 muestra la comparación de medias y el análisis de la varianza de los dos factores estudiados (Año y Afección de *Cotonet*) para los valores registrados en la banda del NIR. Se detectó una interacción estadísticamente significativa (e.s.) ( $p < 0,05$ ) para

las fechas estudiadas: marzo, abril, mayo, junio, julio, septiembre, octubre y todo el ciclo anual del cultivo. Como resultado de la interacción se observó que aparecieron diferencias e.s. ( $p < 0,05$ ) entre las parcelas afectadas y no afectadas para los periodos de marzo, abril, mayo, junio, julio, agosto, septiembre y el total del ciclo. De acuerdo con estos resultados, se constató que la banda del NIR podría ser un indicador válido para distinguir entre parcelas afectadas y no afectadas por *Cotonet*.

En relación con el índice NDVI (tabla 8) y la ratio B8/B4 (tabla 9), no se constató una influencia estadísticamente significativa desde marzo hasta octubre.

**Tabla 8. Análisis comparativo de medias del ratio B8/B4 entre parcelas afectadas y no afectadas.**

Factor	B8/B4									
	TOTAL	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	
Año										
2019	2,3504	1,5978	2,5871	2,8176	2,8649	2,62325	2,9098	3,9636	3,4767	
2020	2,3330	1,7863	-	3,0290	2,8633	2,95934	2,8426	3,0884	2,9978	
2021	2,2999	1,7333	1,9288	-	2,9857	2,82996	3,0443	3,5811	-	
2022	2,7721	1,8769	2,2028	2,6762	3,0037	3,0348	2,9327	-	3,4713	
Afectación										
No afectadas	2,5184	1,8303	2,2807	2,8654	2,9163	2,8733	3,0061	3,6866	3,4329	
Afectadas	2,3593	1,6668	2,1983	2,8164	2,9425	2,8503	2,8585	3,4021	3,1976	
ANOVA: Factor										
Año	0,0093	0,0054	0,3756	0,6515	0,7870	0,8162	0,2071	0,1536	0,1344	
Afectación	0,0000	0,0080	0,0000	0,0294	0,6086	0,0196	0,6717	0,0018	0,0176	
Año x Afectación	0,8970	0,7544	0,7925	0,5335	0,2600	0,5582	0,5111	0,2585	0,1281	

### 3.5 Validación del modelo propuesto para la monitorización de la plaga.

Por otro lado, los dos últimos gráficos de las Figuras 25, 26, 27 y 28 representan la interacción dinámica Rojo-NIR. Esta relación facilita y ayuda en la comprensión de las variaciones de las bandas B4 y B8, ya que se observan las dos reflectancias en los ejes de coordenadas. Los resultados obtenidos describen un polígono del ciclo del cultivo alcanzando valores muy similares desde enero a finales de diciembre de 2020, indicando el fin de un ciclo y el inicio de otro. Destacó un desfase entre los polígonos descritos por las reflectancias de ambas bandas (B4 y B8) en las parcelas no afectadas y las afectadas por la plaga estudiada, encontrándose mayores diferencias en la reflectancia en el NIR que en el rojo. En los cuatro años se alcanza los máximos de NIR la primera quincena de junio, donde las diferencias entre las parcelas sanas y las afectadas son poco notorias. Sin embargo, empezaron a ser más notables desde la primera quincena de julio hasta el final del ciclo del año 2021 ya se registró una mayor incidencia de la plaga. A partir de esta fecha, las líneas que unen las fechas de registro de los valores de reflectancia se cruzaron, y se constató un mayor deterioro del vigor de

la planta en las parcelas afectadas por *Cotonet*, al disminuir sensiblemente el valor de NIR en las parcelas afectadas, para un mismo día del año.

### **3.6 Establecimiento de un protocolo para la clasificación de las parcelas afectadas por la plaga.**

Gracias a los resultados obtenidos en el estudio cabe la posibilidad de la realización de un protocolo para poder clasificar parcelas afectadas por *Cotonet*. Para establecer estas diferencias se propone tomar como referencia en los valores de reflectancia los obtenidos en las parcelas no afectadas de la base de datos del presente trabajo y por diferencias se compararán con los valores registrados en la parcela que se pretenda clasificar, siguiendo la relación de estudios comparativos propuestos a continuación.

La separación entre parcelas afectadas y no afectadas podría realizarse de acuerdo con el siguiente protocolo:

1. Representación gráfica de la reflectancia en la parcela a clasificar del NIR (B8) y del índice de vegetación RVI, para realizar un estudio comparativo con los valores obtenidos en las parcelas de la base de datos utilizada en este proyecto, mediante separaciones de medias con tests estadísticos.
2. Representación gráfica de la firma espectral en julio y agosto de la parcela a clasificar para realizar un estudio con los valores obtenidos en las parcelas de la base de datos utilizada en este proyecto, mediante separaciones de medias con tests estadísticos.
3. Representar gráficamente la dinámica Rojo-NIR (B4-B8) durante todo el ciclo fenológico del cultivo de la parcela a estudiar para comparar esta dinámica entre los días 150 y 180, con la dinámica obtenida en las parcelas de la base de datos de este proyecto. De este modo, podría ser posible una detección temprana de la incidencia de la plaga durante el mes de junio momento, crítico para iniciar las diferentes estrategias de control de la plaga.

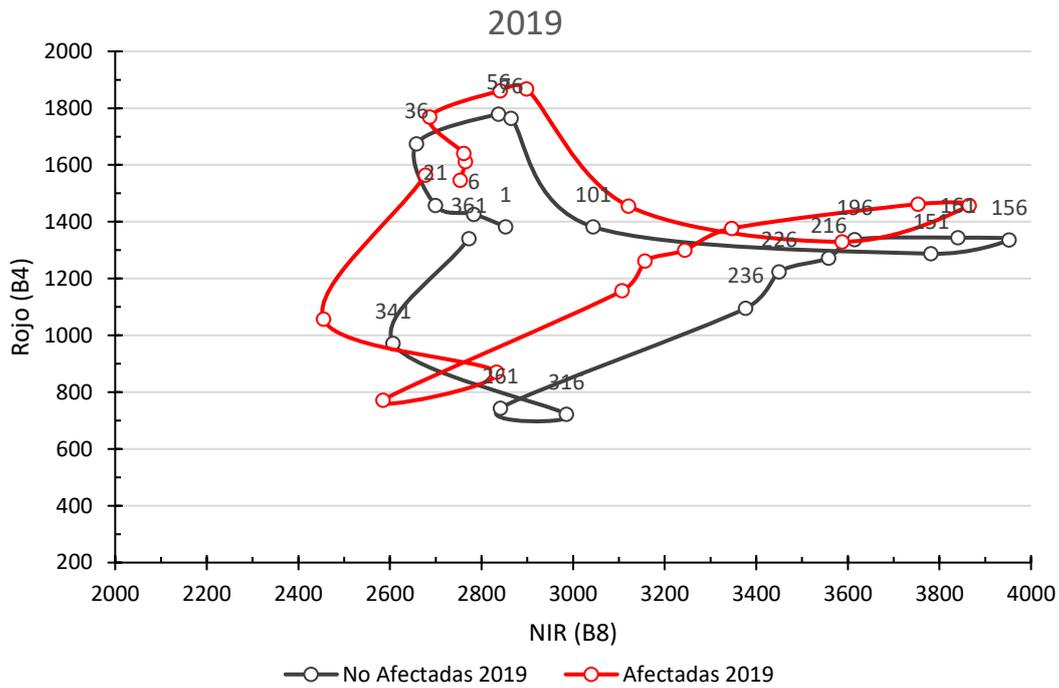


Figura 25. Dinámica Rojo-NIR del año 2019. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.

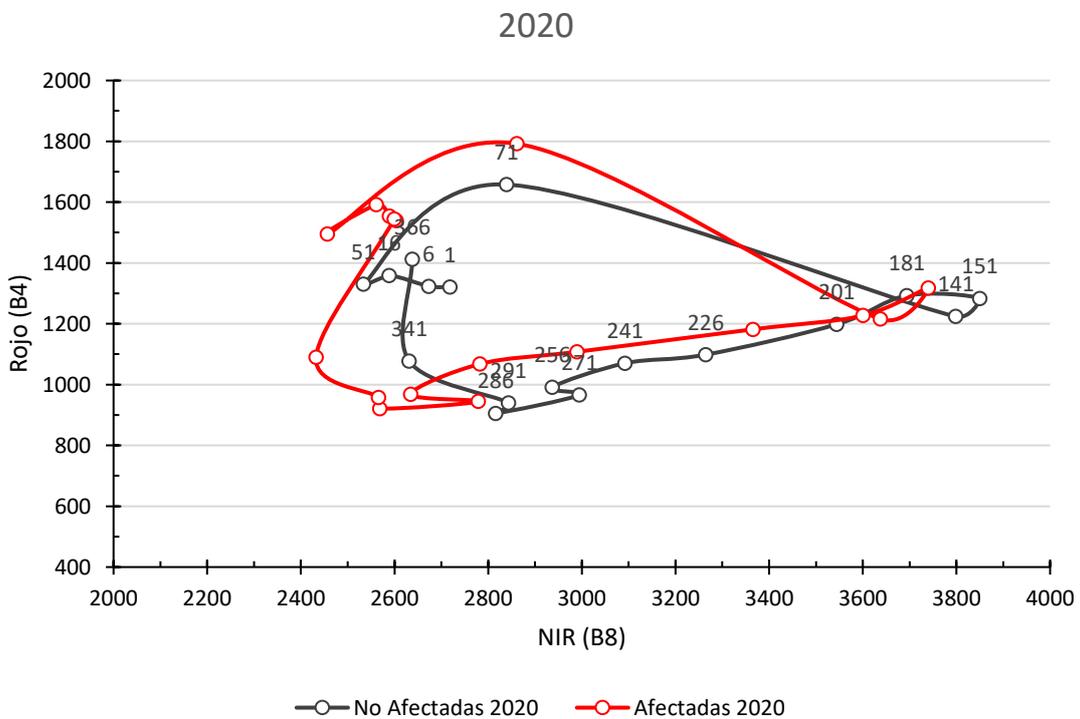
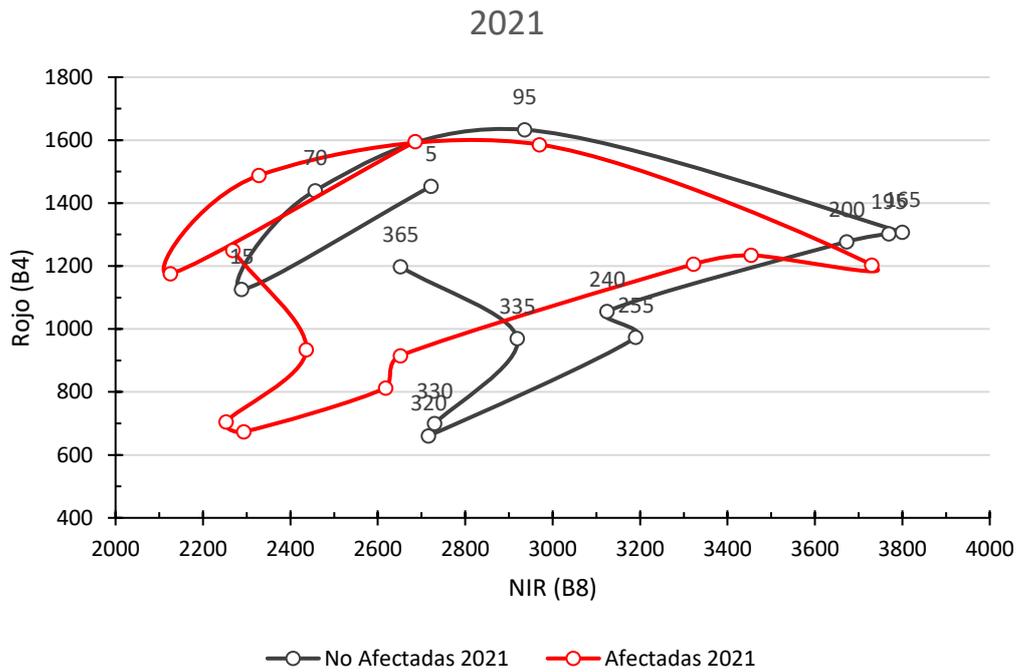
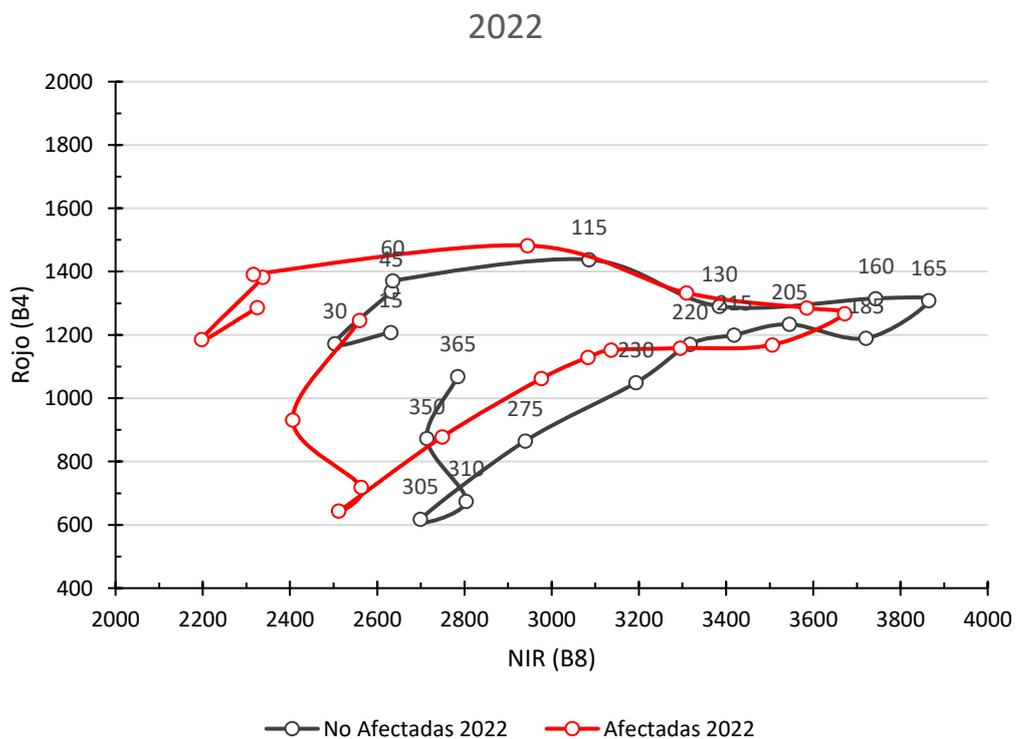


Figura 26. Dinámica Rojo-NIR del año 2020. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.



**Figura 27. Dinámica Rojo-NIR del año 2021. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.**



**Figura 28. Dinámica Rojo-NIR del año 2022. El valor numérico en cada punto indica el día indicado del año.**

## 4 CONCLUSIONES

Como conclusiones generales de este trabajo, podrían destacarse las siguientes:

1. A partir de la firma espectral, se constata una evolución positiva de las reflectancias del NIR, desde principios hasta mediados de año, y una respuesta contraria desde mediados hasta finales del año. El índice NDVI y la ratio B8/B4 muestran una evolución positiva hasta noviembre, donde comienzan a descender. En cuanto a la banda del rojo presenta una evolución positiva hasta marzo y una evolución negativa a partir de este mes, comportamiento diferente al NDVI, NIR y ratio B8/B4.
2. Los valores de reflectancia registrados en las bandas de Rojo y NIR durante los meses de marzo-octubre y en todo el ciclo de cultivo anual se pueden utilizar para separar las parcelas afectadas por *Cotonet* de las no afectadas.
3. La primera quincena de junio se alcanzan los valores máximos de NIR y hay diferencias entre unas parcelas y otras, y 30 días después, la dinámica Rojo-NIR cambia de tendencias mostrando diferencias de comportamiento entre los dos tipos de parcelas. Los datos satelitales registrados en el óptico permiten identificar las parcelas afectadas por *Cotonet* por sus dinámicas claramente diferenciadas.
4. Es posible establecer un protocolo para clasificar parcelas afectadas y no afectadas por *Cotonet*, y para detectar precozmente su incidencia en el cultivo.

## 5 BIBLIOGRAFÍA

- Analitic, E. D. (2022). *Bandas Agrícolas: Análisis Completo De Vegetación Sana*. Obtenido de <https://eos.com/es/make-an-analysis/agriculture-band/>
- Angulo, J. R. (2017). *Sentinel 2 para teledetección en agricultura*. Obtenido de <https://www.agromatica.es/sentinel-2-teledeteccion-agricultura/>.
- Bezerra Za, I., García, R., & Almorox, J. (1999). *Aplicación de sensores remotos en la detección y evaluación de plagas y enfermedades en la vegetación*.
- Carter , G., Cibula, W., & Miller, R. (1996). *Narrow-band reflectance imagery compared with thermal imagery for early detection of plant stress*. Journal of Plant Physiology 148:515-522.
- Delgado, J., Pajares, J., & Rullán, C. (2015). *APLICACIÓN DE LA TELEDETECCIÓN SATELITAL EN EL SEGUIMINETO DE LA DEFOLIACIÓN POR INSECTOS FORESTALES*. págs 20-134.
- Esser , A., Ortega, R., & Santibáñez , O. (2002). *Nuevas Tecnologías para Mejorar la Eficiencia Productiva en Viñas*. Revista Agronomía y forestal, 4-9. Revista Agronomía y forestal. Vol. 1 (15). Centro de Agricultura de Precisión, Universidad de Chile, p. 4-9. Disponible en [http://www.puc.cl/agronomia/c\\_extension/Revista/Ediciones/15/tecnologia.pdf](http://www.puc.cl/agronomia/c_extension/Revista/Ediciones/15/tecnologia.pdf)
- Gitelson, A., Viña, A., Solange, V., & Rundquist, D. (2005). *Remote estimation of canopy chlorophyll content in crops*. Geophysical Research Letters, 32(8). DOI: 10.1029/2005GL022688
- Hernández, C., Escribano , J., & Tarquis, A. (2014). *Comparación del índice de vegetación de diferencia normalizada obtenido a diferentes escalas en pastos de dehesa*. Pastos y PAC 2014-2020, págs. 121-128.
- IVIA. (2016). *El cultivo del caqui*. Obtenido de <https://ivia.gva.es/va/caqui>
- IVIA. (2022). *Gestión Integrada de Plagas y Enfermedades en Caqui*. Obtenido de <http://gipcaqui.ivia.es/>
- Jensen, J. (2005). *Introductory digital image processing: a remote sensing perspective*. 3rd Edition Pearson Education, Inc .
- Koppert. (2023). *Cochinilla algodonosa*. Obtenido de <https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/cochinillas-y-diaspinos/cochinilla-algodonosa/>
- Koppert. (2023). *Cochinilla de cola larga*. Obtenido de <https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/cochinillas-y-diaspinos/cochinilla-de-cola-larga/>
- Koppert. (2023). *Cochinillas y diaspinos*. Obtenido de <https://www.koppert.es/plagas-en-plantas/cochinillas-y-diaspinos/>
- Malagón, J. (2020). *Cultivo del Caqui. Ficha Técnica*. Valencia.
- Malagón, J., & Monzó, J. (2024). Los trips y las cochinillas algodonosas, plagas emergentes en el cultivo del caqui. *Phytoma*, 8. pag 44-51.
- MAPA. (2020). *PLAN DE ACCIÓN DE Delottococcus aberiae (De Lotto)* . pag 32.
- MAPA. (2022). *Encuesta sobre Superficies y Rendimientos Cultivos (ESYRCE)*.
- Ministerio de Transportes, M. y. (2024). *Teledetección*. Obtenido de Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana
- Módica, G., Messina, G., De Luca, G., Fiozzo, V., & Practicó, S. (2020). *Seguimiento del vigor de la vegetación en huertos heterogéneos de cítricos y olivos. Un enfoque*

*multiescala basado en objetos para extraer copas de árboles a partir de imágenes multiespectrales de vehículos aéreos no tripulados.*

DOI:10.1016/j.compag.2020.105500

- Nakshmi, J., Hemanth, K., & Bharath, J. (2020). *Optimizing Quality and Outputs by Improving Variable Rate Prescriptions in Agriculture using UAVs.*
- Paruelo, J., Epstein, H., Lauenroth, W., & Burke, I. (1997). *Estimaciones de ANPP a partir del NDVI para la región de pastizales centrales de los Estados Unidos.* *Ecología*, 78(3), 953-958. [http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658\(1997\)078](http://dx.doi.org/10.1890/0012-9658(1997)078) [0953:AEFNFT]2.0.CO;2
- Pinilla, C. (1995). *Elementos de teledetección.* pags 334.
- Prince, S. (1991). *Un modelo de producción primaria regional para uso con datos satelitales de resolución gruesa.* *Revista internacional Remote Sensing*, 12(6), 1313-1330. <http://dx.doi.org/10.1080/01431169108929728>
- Rokhmana, A. (2015). *The Potential of UAV-based Remote Sensing for Supporting Precision Agriculture in Indonesia.*
- Rullán, C., Delgado, J., & Pajares, J. (2015). *Aplicación de la teledetección satelital en el seguimiento de la defoliación por insectos forestales.* Valladolid.
- Sánchez, A., & Arguijo, S. (2018). *Análisis de imágenes multiespectrales para la detección de cultivos y detección de plagas y enfermedades en la producción de café.*
- Solberg, S., Eklundh, L., Gjertsen, A., Johansson, T., Joyce, S., & Lange, H. (2007). *Testing remote sensing techniques for monitoring large scale insect defoliation.* Conferencia Interacional ForestSat 2007 on Hyperspectral & Advanced sensors, Montpellier (France), November, 5 pp.
- Tucker, C., & Sellers, P. (1986). *Teledetección satelital de producción primaria.* *Revista internacional Remote Sensing*, 1395-1416. <http://dx.doi.org/10.1080/01431168608948944>
- Valls, F., San Bautista, A., Tarrazó, D., & Fita, D. (2022). *Aplicación de la teledetección para la monitorización de la incidencia de la plaga *Delotococcus Aberiae* en campos de cítricos en la provincia de Castellón.* pags 7-44