

TRABAJO FIN DE MASTER

SISTEMA AUTOMÁTICO DE DETECCIÓN TEMPRANA DE AFECCIONES EN VIÑEDO: MILDIO Y OIDIO

Autor: Maialen Ausin Martin

Director: Marcos Rodrigues Mimbreno

**Máster Universitario en
Tecnologías de la información geográfica para la ordenación del
territorio: sistemas de información geográfica y teledetección**

Diciembre de 2014



**Universidad
Zaragoza**

**Departamento de Geografía
y Ordenación del Territorio**



Resumen

En la actualidad, la viticultura se está viendo transformada debido a las exigencias crecientes del mercado, dando lugar a un sistema de producción no convencional. Esto ha impulsado a los agricultores en la búsqueda de un producto de calidad, siendo necesario el control de las grandes enfermedades que afectan los viñedos: Mildiu y Oidio. De esta necesidad, nace la modelización de las enfermedades para mejorar su prevención evitando así pérdidas cuantiosas en las cosechas. En este trabajo se analizan ambas enfermedades y se proponen dos modelos de prevención para el Mildiu y el Oidio en la Vid, basados en la espacialización de su desarrollo. Los resultados se presentan en un visualizador diseñado para ser un futuro sistema de alerta agrícola.

Palabras Clave: *Viticultura, enfermedad, Mildiu, Oidio, prevención, sistema de alerta agrícola, Zaragoza.*

Abstract

Currently, due to the increasing market demands, viticulture is being transformed leading to an unconventional production system. This has prompted the farmers to seek for a valuable product by controlling major diseases that affect vineyards such as Downy and Powdery Mildew. As a result, disease modeling has become a necessity for prevention, thus avoiding large losses in harvest. In this work both diseases are analyzed and two models of prevention are proposed, based on the spatialization of disease progression. The results are presented on a dedicated viewer, designed to become an agricultural alert system in the future.

Key Words: *viticulture, disease, Downy Mildew, Powdery Mildew, prevention, agricultural alert system, Zaragoza.*

Índice

1.	Introducción.....	pág. 1
1.1.	Importancia de la calidad de la vid	pág. 2
1.2.	SGS-map y la herramienta vintios	pág. 2
2.	Área de estudio	pág. 3
3.	Objetivos	pág. 4
4.	Enfermedades en la vid	pág. 4
4.1.	Enfermedades en la vid y los SIG	pág. 4
4.2.	Mildiu.....	pág. 5
4.2.1.	Sintomatología.....	pág. 5
4.2.2.	Biología.....	pág. 6
4.2.3.	Periodos de sensibilidad	pág. 7
4.2.4.	Estrategias de lucha	pág. 7
4.3.	Oidio.....	pág. 10
4.3.1.	Sintomatología.....	pág. 10
4.3.2.	Biología.....	pág. 11
4.3.3.	Periodos de sensibilidad	pág. 12
4.3.4.	Estrategias de lucha	pág. 13
5.	Automatización en R	pág. 14
5.1.	Mildiu.....	pág. 14
5.2.	Oidio.....	pág. 18
5.3.	Gráficos de crecimiento.....	pág. 20
6.	Visualizador	pág. 22
7.	Consideraciones finales.....	pág. 32
8.	Conclusiones y trabajo futuro	pág. 33

Índice de figuras

Figura 1: Localización geográfica de Labastida	pág. 3
Figura 2: Localización geográfica de Zaragoza.....	pág. 4
Figura 3: Síntoma inicial en el haz de la hoja	pág. 5
Figura 4: Fructificación del hongo en el envés	pág. 5
Figura 5: Mosaico en la vid	pág. 5
Figura 6: Mildiu larvado.....	pág. 6
Figura 7: Ciclo biológico del hongo <i>Plasmopara vitícola</i>	pág. 7
Figura 8: Hojas amarillentas y posterior contorsión.....	pág. 10
Figura 9: Sintomatología en el sarmiento	pág. 11
Figura 10: Racimos recubiertos por polvillo grisáceo	pág. 11
Figura 11: Granos rajados	pág. 11
Figura 12: Ciclo biológico del hongo <i>Uncinula necator</i> Burr	pág. 12
Figura 13: Bucle que anida todos los bucles.....	pág. 15
Figura 14: Ploteado del resultado aplicando la simbología para un crecimiento acumulado de 9 días, mildiu.....	pág. 16
Figura 15: Ploteado del resultado aplicando la simbología a escala local para un crecimiento acumulado de un mes. Situación hipotética.....	pág. 17
Figura 16: Diagrama de flujo del modelo de mildiu.	pág. 17
Figura 17: Ploteado del resultado aplicando la simbología para un crecimiento acumulado de 9 días, oidio	pág. 19
Figura 18: Diagrama de flujo del modelo de Oidio.	pág. 20
Figura 19: script del gráfico de crecimiento de Mildiu en mayo, para la estación de Hueta.	pág. 20
Figura 20: Gráfico de crecimiento de Mildiu para las dos estaciones.....	pág. 21
Figura 21: Gráfico de crecimiento de Oidio para las dos estaciones.....	pág. 22
Figura 22: Capas base del visualizador (Aragón, provincias y estaciones meteorológicas).	pág. 23
Figura 23: Viñedos de la provincia de Zaragoza junto con las estaciones meteorológicas	pág. 23
Figura 24: Visualización de la información contenida de las capas de Aragón, Provincias y estaciones meteorológicas	pág. 24
Figura 25: Primer zoom disponible del catastro	pág. 25
Figura 26: Segundo nivel de zoom en la zona de Cariñena y longares	pág. 25
Figura 27: Tercer nivel de en la zona de Cariñena y longares.....	pág. 26
Figura 28: Zoom de la ortofoto y el catastro en la zona de Cariñena	pág. 26
Figura 29: Zoom de la ortofoto y el catastro en la zona de Cariñena a nivel parcelario ...	pág. 27
Figura 30: Zoom de la ortofoto y el catastro a unos viñedos de Cariñena	pág. 27
Figura 31: Crecimiento de mildiu al tercer día del inicio del modelo	pág. 28
Figura 32: Crecimiento de mildiu al séptimo día del inicio del modelo.....	pág. 29
Figura 33: Crecimiento de mildiu al noveno día del inicio del modelo	pág. 29
Figura 34: Índice de Oidio 3 días después de inicio del modelo.....	pág. 30
Figura 35: Índice de Oidio 7 días después de inicio del modelo.....	pág. 30
Figura 36: Índice de Oidio 9 días después de inicio del modelo.....	pág. 31
Figura 37: Zoom mediante el cual se aprecia que parcelas están en riesgo	pág. 31
Figura 38: Simbología aplicada en arcGIS	pág. 32
Figura 39: Error en la visualización de los <i>raster</i>	pág. 33

Índice de tablas

Tabla 1: Porcentaje de crecimiento de Mildiu desarrollada por Goidanich	pág. 9
Tabla 2: Tabla desarrollada por M.A. Sall.....	pág. 14
Tabla 3: Resultado tras aplicar el primer bucle	pág. 15
Tabla 4: Resultado tras aplicar los bucles de la temperatura y la humedad	pág. 15
Tabla 5: Tabla a utilizar en la interpolación para la prevención de mildiu para un crecimiento acumulado de 9 días.	pág. 16
Tabla 6: Coordenadas a buscar en la tabla base	pág. 18
Tabla 7: Tabla a utilizar en la interpolación para la prevención del Oidio para un crecimiento acumulado de 9 días	pág. 18
Tabla 8: Estaciones utilizadas en la interpolación.....	pág. 24
Tabla 9: Rampa de colores utilizada.....	pág. 28

Índice de anexos

Anexo 1: Cronograma de las prácticas	pág. 1
Anexo 2: Script crecimiento de mildiu	pág. 2
Anexo 3: Script Índice de Oídio	pág. 8
Anexo 4: Diagrama de flujo del modelo de mildiu	pág. 14
Anexo 5: Diagrama de flujo del modelo de oídio.....	pág. 15
Anexo 6: Script gráfico de crecimiento	pág. 16
Anexo 7: Mapas de crecimiento de mildiu e Índice de Oídio, Zaragoza	pág. 17
Anexo 8: Zoom a parcelas de crecimiento acumulado de mildiu en 9 días	pág. 23
Anexo 9: Metadatos de los <i>shapes</i> finales.....	pág. 24

1. introducción

La viticultura se ha caracterizado históricamente por obtener un producto de alta calidad. Esto ha sido posible gracias a una serie de factores: selección de zonas edafoclimáticas adecuadas, el patrimonio vitícola y varietal existente y obviamente, por el trabajo del viticultor en la gestión del día a día de los viñedos.

No obstante, las exigencias crecientes del mercado así como la normativa cada vez más rigurosa, están dando lugar a sistemas de producción alternativos al convencional adoptando técnicas de producción sostenibles y eficaces. En este contexto de innovación aparece el término de agricultura de precisión.

La agricultura de precisión se puede definir como concepto agronómico de gestión de parcelas agrícolas, basado en la existencia de una importante variabilidad espacial a nivel de campo. Requiere del uso de varias herramientas tecnológicas dentro de las cuales destacan, los Sistemas de Posicionamiento Global (GPS), sensores remotos, imágenes aéreas y/o satelitales junto con Sistemas de Información Geográfico (SIG) para estimar, evaluar y entender dichas variaciones (Villalobos et al., 2009).

Por tanto, para la agricultura de precisión, los sistemas de información geográfica (SIG) se configuran como herramientas de potencial utilidad, ya que permiten la recolección, almacenamiento, análisis y procesamiento de información georreferenciada, en este caso de un campo o cultivo definido.

Tradicionalmente, las prácticas vitícolas se han realizado en los viñedos de una manera uniforme, aplicando la misma intensidad en operaciones como la poda, la fertilización, los tratamientos fitosanitarios, el riego etc., independientemente de la ubicación exacta dentro del viñedo (Arnó et al., 2009).

Durante la última década, el desarrollo de sensores y monitores de rendimiento, así como la disponibilidad de imágenes de satélite de alta resolución espacial (entre 1.85-3.2m/pixel) y/o de imágenes adquiridas desde avionetas con cámaras multispectrales (0.2-0.5m/pixel), han puesto en manifiesto que puede existir una gran variabilidad intraparcularia. Esta variabilidad repercute en la calidad de la uva y en la rentabilidad de la bodega siendo por tanto, la identificación y la caracterización de dicha variabilidad, su interpretación así como la posibilidad del manejo diferencial de dicha variabilidad principal objetivo de la Viticultura de Precisión (VP) (Urretavizcaya et al., 2014)

Tanto los SIG como la teledetección son una fuente de información valiosa para la gestión del viñedo. No sólo permiten el almacenamiento de una elevada cantidad de datos adquiridos en campo y de sensores remotos, sino que también permiten relacionar la información, aumentar el conocimiento sobre el comportamiento del cultivo, y ver la evolución temporal de diferentes variables de interés relacionadas con el desarrollo de la viña como vigor vegetativo, LAI, enfermedades, malas hierbas...(Casterad et al.,2006)

Concretamente, los SIG permiten gestionar la información de la parcela seleccionada, realizar consultas rápidas sobre la información de la base de datos y representar gráficamente estos datos espaciales mediante cartografía descriptiva. Esto permite crear mapas temáticos que reflejen los aspectos más relevantes del viñedo como el tipo de uva de cada parcela, superficie, régimen hídrico o marco de plantación. Son además, una poderosa herramienta para estudiar la distribución de una determinada enfermedad en el viñedo y predecir el riesgo de presencia de la misma; así mismo, se consideran excelentes aliados para la focalización de acciones de prevención y control. De hecho, actualmente, las líneas de investigación para el desarrollo y la mejora en la agricultura de precisión para la gestión de los viñedos están orientadas a la realización de mapas de alta resolución (2m) para las zonas vitícolas que permitan el seguimiento de la aplicación de pesticidas, evaluación de costes y georreferenciación de cada cepa.

Así pues, el objetivo final de este tipo de agricultura es obtener un cultivo de mayor calidad a la vez que se maximiza su producción, adelantándose a posibles plagas, efectos meteorológicos adversos (heladas, granizo...) y otros contratiempos que suponen un gasto en recursos y empleo de productos químicos a priori evitables.

De hecho, según Rodríguez et al., (2003), el futuro para la gestión de los viñedos está en la generación de cartografía accesible por Internet, con actualización diaria para aviso de plagas y enfermedades, recomendaciones para programar la vendimia...

1.1. Importancia de la calidad de la vid

Las bodegas buscan obtener el reconocimiento y certificación de distintivos de calidad agroalimentaria siendo para ello imprescindible obtener productos de calidad. La calidad del vino depende en un 50% de la calidad del fruto a la entrada en bodega, siendo por tanto de gran importancia todas las labores y procesos que se realizan en el viñedo. Además, la correcta conjugación de todos los elementos variables del entorno de un viñedo como son el suelo, los nutrientes, el agua, la luz... se traducen a su vez en un producto de elevada calidad.

Destacar que el concepto de calidad no sólo engloba las características físico-químicas y organolépticas de un producto, sino que incluye aquellos aspectos productivos, ambientales y de seguridad alimentaria de salud que permiten garantizar la bondad de todo el proceso productivo (Diputación foral de Vizcaya, 2005).

Uno de los factores que más influyen en la calidad de la vid es la problemática de los tratamientos fitosanitarios. Actualmente, las líneas de acción van dirigidas a: conseguir minimizar la dosis aplicada por unidad de superficie, mejorando la distribución sobre el cultivo que queremos proteger, minimizar los niveles de residuos químicos sobre la vid entre otros y reducir los costes del cultivo, entre otros.

1.2. SGSmap y la herramienta Vintios

SGSmap Ingenieros consultores es una empresa fundada en 1993 con el objetivo de proporcionar servicios profesionales de alto valor añadido en el ámbito de las Tecnologías de la información referenciada al Territorio. Cuenta con una elevada capacidad técnica así como experiencia en el desarrollo de soluciones basadas en la gestión de la información geo-referenciada.

La actividad de SGSmap se organiza en torno a tres ejes de negocio:

- Servicios Públicos y Administración (SPA). Servicios en el ámbito de la planificación y gestión del territorio a Servicios Públicos de servicios básicos (agua, gas...) cuya actividad se relacione con la gestión urbanística y de recursos
- Vitivinícola (VintiOS). Soluciones y servicios para la gestión de los viñedos
- Inteligencia Geográfica del Mercado (IGM). Productos de software, de información y servicios especializados para organizar y analizar la información desde un enfoque geográfico concebidas principalmente como herramientas de ayuda a toma de decisión y en menor medida como sistemas operacionales para la automatización de procesos internos.

Las posibilidades que los SIG ofrecen son todavía poco conocidas por la mayoría de los agricultores. El elevado coste inicial en software y equipos informáticos así como la necesidad de un conocimiento previo por parte del usuario constituyen una limitación para que el agricultor considere estas técnicas como una herramienta más de gestión en su actividad del día a día. Por ello, la información ha de ofrecerse en un soporte fácil y rápido de manera que un usuario no iniciado en SIG pueda manejar fácilmente. (Casterad et al, 2006).

La herramienta Vintios desarrollada por SGS map, constituye un gran avance en este aspecto ya que se trata de una herramienta de manejo básico que permite, gracias a su aplicación de movilidad desarrollada para tablets, guiarse por el viñedo sin ningún tipo de conexión de datos a internet e identificar puntos de interés, introducir observaciones geolocalizadas, adjuntar descripciones o incluso fotografías o imágenes. Además, permite recoger datos geolocalizados de forma manual dentro del viñedo para posteriormente al sincronizar los datos, se genere en la aplicación web el mapa de análisis (Ruiz y Otegi, 2014).

Esta herramienta cuenta con varios módulos que permiten gestionar el viñedo (definir parcelas catastrales, asignar datos...), realizar un seguimiento de los trabajos y observaciones (estimación de cos-

tes, realización del cuaderno de campo), llevar un control sobre los productos fitosanitarios utilizados y realizar análisis y mapas de variabilidad.

Este último módulo permite generar mapas de variabilidad sobre enfermedades, estado fenológico, condiciones climáticas ... Además, gracias a la captura de datos proporcionada bien por el módulo de movilidad o por la sensorica del viñedo, se generan mapas a partir de la interpolación de dichos datos. De esta manera, se puede conocer el estado intra-parcelario de ciertas variables como el grado de azúcar o el porcentaje de infección de una enfermedad.

2. AREA DE ESTUDIO Y CONSIDERACIONES PRELIMINARES

Inicialmente, el área de estudio se situó en las Bodegas Aragonesas de Fuendejalón, provincia de Zaragoza. Concretamente, pertenece a la comarca del Campo de Borja y se encuentra a 66km de Zaragoza. No obstante, las bodegas no disponen de datos meteorológicos y las estaciones meteorológicas que registra los datos necesarios para llevar a cabo este estudio están demasiado lejos de dichas bodegas.

Por ello, se planteo cambiar el área de estudio a las bodegas Solagüen. Estas bodegas se sitúan en Labastida (Rioja Alavesa, Figura 1). La sub-zona de la Rioja Alavesa se caracteriza y diferencia del resto de Rioja por la composición de sus suelos, por la orientación y altitud de los viñedos y por su clima. Al estar situados en la zona más noroccidental, recibe influencia de varios climas: Continental, atlántico y mediterráneo. Esto significa que el invierno es frío (reducción de plagas), las brisas son suaves (buena aireación) y en verano las temperaturas son moderadas (maduración gradual).

Estas bodegas disponen de viñedos a más de 500 metros de altitud, dando lugar a zonas muy aireadas y saludables para la uva. Las viñas están orientadas al sur, lo que les permite obtener un nivel de insolación adecuado. Además, tienen una ligera pendiente, lo que evita que se acumule agua en las parcelas, así como el exceso de nutrientes.

Cabe destacar que estas bodegas cuentan con dos estaciones meteorológicas en su propia plantación, que registran datos de temperatura, humedad y viento cada hora, entre otros. Si bien es cierto que estas bodegas no tienen problema con Mildiu pero si con Oidio, se han utilizado los datos proporcionados por la misma para implementar los modelos de seguimiento de ambas enfermedades.



Figura 1: Localización geográfica de Labastida.

No obstante, por motivos que se detallarán más adelante, hay un segundo área de estudio que será la que finalmente se utilizará para desarrollar los modelos y mostrar tanto los resultados finales como la utilidad de este proyecto: la provincia de Zaragoza (Figura 2).



Figura 2: Localización geográfica de Zaragoza.

3. OBJETIVOS

El presente trabajo tiene como objeto plasmar las actividades formativas realizadas en la empresa SGS map (se adjunta cronograma, ver anexo 1).

El objetivo perseguido con este trabajo es modelar la predicción de dos enfermedades típicas del viñedo: Mildiu y Oidio. La empresa pretende integrar ambos modelos en la herramienta vintiOS para poder predecir con antelación suficiente la infección del viñedo pudiendo así actuar y evitar el desarrollo de los hongos causantes de estas enfermedades. Por tanto, el objetivo principal consiste en obtener mapas de predicción de Mildiu y Oidio mediante la automatización del proceso de modelización del avance de estas enfermedades en R.

Esta implementación pretende evitar el uso excesivo de fitosanitarios y/o pérdidas en la cosecha que se dan en la actualidad.

4. ENFERMEDADES EN LA VID

4.1. Enfermedades y los SIG

Los SIG ofrecen infinidad de posibilidades a la hora de obtener información interesante acerca de la gestión del viñedo. Una de las aplicaciones que puede ser de gran utilidad es la asociada con la salud de la vid. En muchas ocasiones, dependiendo de las condiciones meteorológicas del año, un viñedo, sólo por estar sano, ya es un buen viñedo; y el agricultor que tiene un viñedo sano tiene una mayor probabilidad de vender la uva a mejor precio que aquel que ha sido víctima de las inclemencias meteorológicas. Sin embargo, la obtención y posterior tratamiento de cierta información, puede en algunas ocasiones ahorrar algún disgusto.

El mildiu es una de las peores enfermedades de la vid aunque efectuando los tratamientos adecuados en el momento adecuado es controlable. Para ello, es de vital importancia conocer el estado de desarrollo del hongo causante de la enfermedad y así poder elegir el producto y el momento de aplicación.

Existen modelos de predicción que estudian la evolución del hongo con el fin de prever las infecciones. Estos modelos utilizan factores meteorológicos como la temperatura, la lluvia y la humedad relativa. A partir de estos datos, obtenidos de estaciones meteorológicas, se pueden obtener mapas de infección de mildiu muy útiles.

Las estaciones de Avisos Agrícolas llevan años asesorando a viticultores acerca de cuándo atacar la enfermedad. No obstante, los avances tecnológicos permiten hoy en día disponer de estaciones más sencillas a un coste razonable posibilitando una monitorización más exhaustiva del proceso de infección del que dichas estaciones son capaces de ofrecer. Los mapas obtenidos a partir de estos datos,

deben ayudar al técnico a tomar las decisiones acerca del producto a utilizar y del momento a tratar para evitar daños mayores en el cultivo y reducir el número de tratamientos al mínimo indispensable.

4.2. Mildiu

El mildiu es una enfermedad fúngica producida por un hongo ficomicetes llamado *Plasmopara viticola*. Se trata de una enfermedad muy conocida por los viticultores debido a los graves daños que ocasiona en el viñedo si las condiciones climáticas le son favorables afectando a todos los órganos verdes de la vid y llegando a causar pérdidas de hasta el 50% de la cosecha. No obstante, actualmente el riesgo de pérdidas está disminuyendo ya que existe un mejor conocimiento de su biología, mejores productos sistémicos y penetrantes, y mejor preparación por parte de los propios viticultores.

4.2.1. Sintomatología

Afecta a todos los órganos verdes de la cepa. En el haz de las hojas aparecen unas manchas oleosas (ver Figura 3), que se corresponden en el envés con una pelusilla blanca (ver Figura 4), que constituye la fructificación asexual del hongo. Al final del ciclo vegetativo, estas manchas adquieren forma de mosaico ya que se da un crecimiento interno del micelio que queda limitado por los nervios de las hojas (ver Figura 5).



Figura 3: Síntoma inicial en el haz de la hoja

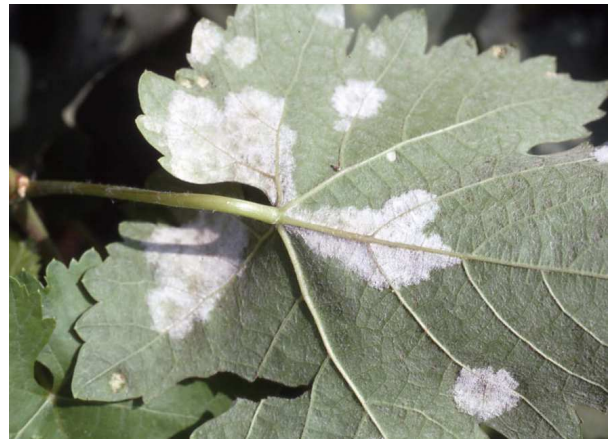


Figura 4: Fructificación del hongo en el envés.



Figura 5: Mosaico en la vid

En los racimos, el periodo de floración-cuajado es el más peligroso. Cuando se aproxima la floración, el hongo actúa curvando los racimos infectados en forma de S, secando los botones florales y oscureciendo el raquis o raspajo. Si además, el tiempo es húmedo, se recubre de una pelusilla blanca ocurriendo lo mismo en flores y granos recién cuajados.

Cuando los granos superan el tamaño de un guisante, las bayas de los racimos afectados se oscurecen y se arrugan hasta su desecación obteniendo la denominación de “mildiu larvado” (ver Figura 6).



Figura 6: Mildiu larvado

4.2.2. Biología

Es un hongo endoparásito (ocupa los espacios intercelulares de los tejidos) que pasa el invierno en forma de oospora en los restos vegetales del suelo (por este motivo es importante eliminar los restos de la poda). Estas oosporas maduran en el invierno en función de las temperaturas y de las precipitaciones, considerándose como favorables a su maduración los inviernos suaves y lluviosos mientras que los periodos secos son desfavorables.

Su ciclo biológico se desarrolla en 4 fases: fase de contaminación, fase de incubación, fase de esporulación y fase de propagación.

En primavera, al darse ciertas condiciones ambientales (terreno con humedad suficiente, temperaturas superiores a 12°C y 1-2 días de precipitaciones de al menos 10mm) comienza la germinación de los conidios que contienen las zoosporas móviles. Estas se depositarán sobre los órganos verdes de las cepas y penetrarán en el interior de las hojas a través de las estomas, produciéndose la contaminación primaria.

En la fase de incubación el micelio se extiende hasta culminar su desarrollo, momento en el que aparecen las manchas aceitosas en el haz de las hojas y la fructificación blanquecina en el envés de las mimas. La aparición de estos síntomas externos puede tardar entre 4 y 21 días desde el momento de la infección primaria en función de la humedad relativa y la temperatura.

En la fase de esporulación, se produce la fructificación asexual en la cual los conidióforos producen los conidios necesarios para la propagación del hongo durante el periodo vegetativo del cultivo.

En la fase de propagación, los conidios son transportados por la lluvia o el viento a nuevas hojas no infectadas, donde si las condiciones son necesarias puede dar lugar a contaminaciones secundarias. La presencia de más de dos horas de agua de rocío es suficiente para que se den estas contaminaciones; en esta ocasión la distribución será más local pero podrán extenderse en los sucesivos ciclos. Las condiciones óptimas de propagación son las lluvias nocturnas o al amanecer, con temperaturas entre 20 y 25°C. (Barrios, G. y Reyes, J., 2004). (Ver Figura 7).

A continuación, se muestra una figura que muestra el ciclo biológico:

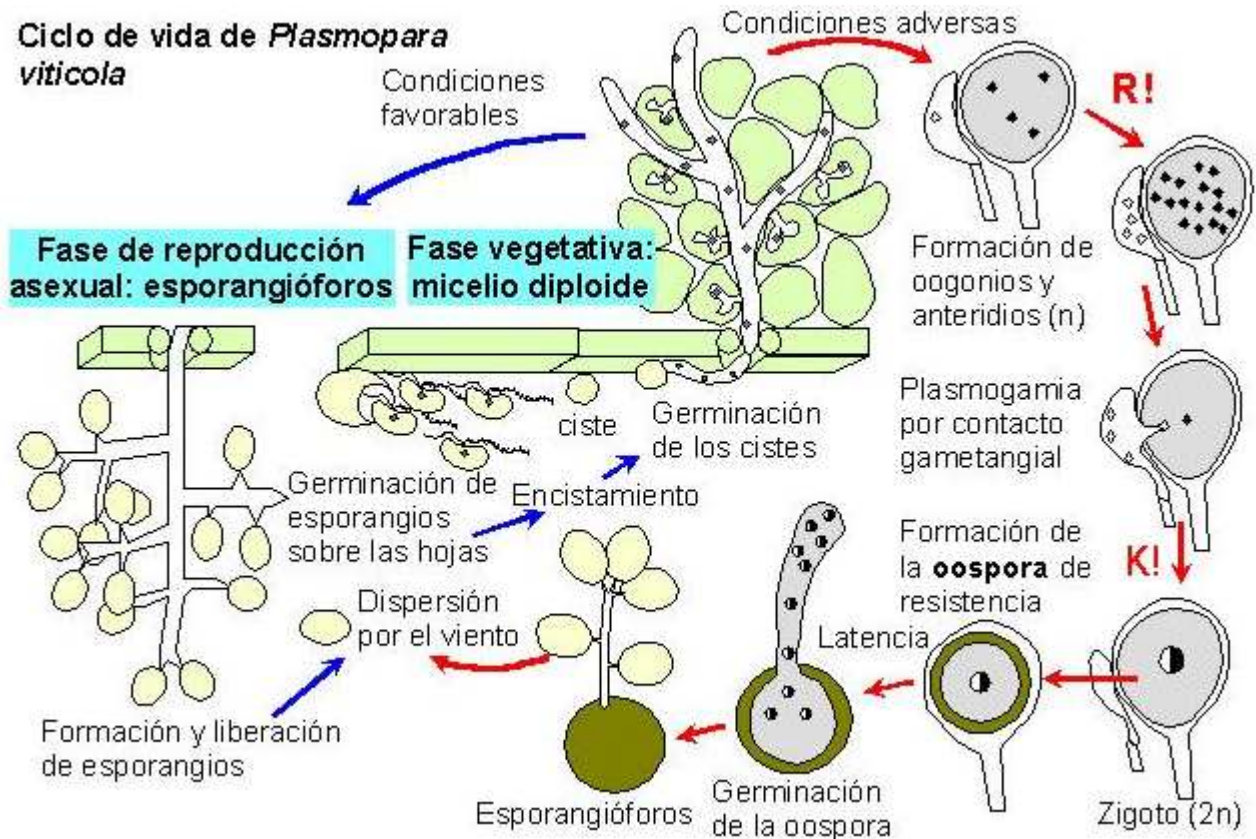


Figura 7: Ciclo biológico del hongo *Plasmopara viticola*

4.2.3. Periodos de sensibilidad y condiciones necesarias para la contaminación

La vegetación de la viña es sensible desde que la brotación llega aproximadamente a los 10cm hasta el final del ciclo vegetativo, alcanzando su sensibilidad máxima durante el periodo de mayor crecimiento y mínima, cuando éste se interrumpe. Si al final del verano se dan lluvias o existe una humedad alta, se pueden dar ataques tardíos que provoquen cierta defoliación y favorezcan la contaminación para el año siguiente.

En lo que al racimo se refiere, su sensibilidad comienza desde su formación hasta que las bayas alcanzan el tamaño de un guisante. A partir de ahí, la sensibilidad va disminuyendo hasta alcanzar su mínimo cuando se llega al envero.

Para que se produzca una contaminación primaria es necesario que las oosporas estén maduras, que los brotes de la vid tengan unos 10cm, que exista lluvia superior a 10mm en 1 o 2 días y temperaturas superiores a los 12°C. A su vez, para que se dé la contaminación secundaria es necesaria la presencia de conidios y agua líquida (lluvia o humectación de las hojas superiores a las 2 horas).

Asimismo, no se da la maduración de las oosporas y la diseminación de las conidios si no hay humedad (procedente de la lluvia o del rocío). La temperatura también es un factor limitante para el desarrollo del hongo; temperaturas inferiores a 12°C impiden la maduración de las oosporas y las superiores a 30°C inhiben el poder germinativo de las conidios. Obviamente, el fuerte viento favorece la diseminación. Destacar, que el laboreo del terreno en proximidades a la floración puede facilitar el ataque del hongo. (Gonzalez, V., 2014).

4.2.4. Estrategias de lucha

Tradicionalmente, las estrategias de lucha contra el mildiu se han basado en los tratamientos preventivos mediante un calendario preestablecido sin demasiado criterio técnico e intensificando los tratamientos cuando las primaveras eran más lluviosas. Este sistema implica efectuar un número mínimo de tratamientos, que suelen ser excesivos y no siempre en el momento en que son más efectivos.

No obstante, existen modelos basados en el seguimiento de las condiciones ambientales que condicionan la contaminación que intentan predecir la evolución del hongo haciendo más fácil la lucha contra el mismo.

Estos modelos cubren distintos momentos del ciclo biológico del hongo caracterizando la maduración de las esporas de invierno, el inicio de las infecciones secundarias y la duración del periodo de incubación.

En este trabajo se va a utilizar un modelo basado en la duración del periodo de incubación, el modelo de Goidanich.

Este modelo es el modelo basado en el periodo de incubación que más se utiliza y por tanto, el utilizado mayoritariamente por las Estaciones de Avisos Agrícolas en forma de Lucha dirigida. Este modelo permite conocer el momento en el que se producirá la fructificación asexual, momento perfecto para tratar la vid con productos de contacto que impidan la germinación de zoosporas. De esta manera, se han podido reducir el uso de fitosanitarios al indispensable.

Normalmente, el viticultor no tiene medios para saber el momento oportuno de tratamiento debiéndose guiar por las indicaciones de Avisos Agrícolas más cercana, la cual debe dar el aviso cuando el hongo haya alcanzado un 70-80% de desarrollo. De esta manera, se asegura que el viticultor tenga en su poder el aviso antes de cumplirse el 100% del desarrollo. (Lopez, R. et al., 2009).

Una vez se ha confirmado la primera infección (es vital el seguimiento por parte del viticultor para la detección de las primeras manchas), se puede seguir la evolución del hongo mediante el conocimiento de la temperatura media (T_m), la humedad relativa media (H_m) y la cantidad de lluvia. Goidanich desarrolló una tabla de evolución diaria de la infección en función de los parámetros citados. De esta manera, por cada temperatura, se fija un crecimiento diario del hongo según la Humedad relativa media sea alta o baja (Barrios, G. y Reyes, J., 2004). Goidanich define que la humedad relativa media alta es la que se produce en los días nublados con diferencia térmica baja, a la vez que expresa como Humedad relativa media baja la que se produce en los días serenos con diferencia térmica alta (Barrios, G. y Reyes, J., 2004).

Por tanto, para la utilización de este modelo es indispensable utilizar la tabla predefinida por Goidanich en la que por cada temperatura media hay dos columnas que reflejan el porcentaje diario de desarrollo: una cuando la humedad relativa media es inferior al 75% y otra cuando la humedad relativa media es superior al 75%. De esta manera, se obtienen dos valores de desarrollo diario para cada temperatura.

La valoración del crecimiento diario se da a partir del día siguiente de cuando se produce una lluvia de 10 o más milímetros. En función de la temperatura y la humedad relativa registrada, la tabla proporciona un porcentaje de desarrollo que se va sumando cada día hasta alcanzar el valor de 100. Cuando se alcanza este valor, según la teoría el que el periodo de incubación termina, la contaminación del hongo se evidencia por la aparición de las manchas de aceite y se produce la fructificación asexual de manera que se inicia nuevamente el proceso (Barrios, G. y Reyes, J., 2004).

A continuación se presenta la tabla propuesta por Goidanich en la cual queda reflejado el tanto por ciento diario de desarrollo del mildiu.

Tabla 1: Porcentaje de crecimiento de Mildiu desarrollada por Goidanich. Por cada 0,25°C hay un valor de crecimiento en función de la humedad.

T media (°C)		% diario desarrollo Hm<75%	% diario desarrollo Hm>75%
12,		0,00	5.25
	25	4.40	5.75
	50	4.70	6.20
	75	5	6.70
13,		5.30	7.10
	25	5.70	7.70
	50	6	8
	75	6.30	8.50
14,		6.6	9
	25	6.8	9.40
	50	7.10	9.70
	75	7.30	10.20
15,		7.60	10.60
	25	7.80	10.80
	50	8.10	11.10
	75	8.30	11.30
16,		8.50	11.70
	25	9	12
	50	9.30	12.50
	75	9.60	12.90
17,		10	12.25
	25	10.30	16.60
	50	10.50	14.30
	75	10.75	14.75
18,		11.10	15.30
	25	11.48	15.20
	50	11.70	16
	75	12.10	16.30

T media (°C)		% diario desarrollo Hm<75%	% diario desarrollo Hm>75%
19,		12.50	16.60
	25	12.90	17.50
	50	13.40	18.30
	75	13.70	19.30
20,		14.20	20
	25	14.50	20.50
	50	14.80	21
	75	15	21.51
21,		15.30	22.20
	25	15.70	22.20
	50	16	22.20
	75	16.30	22.20
22,		16.60	22.20
	25	17	22.60
	50	17.30	23.50
	75	17.70	24.40
23,		18.10	25
	25	18.10	25
	50	18.10	25
	75	18.10	25
24,		18.10	25
	25	17.70	24.30
	50	17.30	23.60
	75	16.60	23.20
25,		16.60	22.20
Nota: A partir de 25°C el desarrollo es constante			

Para asegurar el éxito de este modelo es necesario disponer de una red de estaciones meteorológicas, suficientemente extensa. Además, es importante localizar las primeras manchas de mildiu siendo por tanto, imprescindible la colaboración de los viticultores.

Cabe destacar, que en función de la bibliografía que se tome como referencia, la tabla de Goidanich varía ligeramente. En este caso, la tabla de Goidanich utilizada ha sido la proporcionada por la empresa SGSmaps

4.3. Oidio

El Oidio es una enfermedad fúngica producida por el hongo *Uncinula necator* Burr que ataca a todos los órganos de la vid. A esta enfermedad se le conoce también por nombres como polvo, polvillo, ceniza... El proceso infeccioso del Oidio evoluciona a lo largo de las distintas estaciones del año, atravesando en cada una de ellas una diferente. La pérdida de la cosecha, si no se toman las medidas de prevención oportunas puede ser total y, en el mejor de los casos, puede llegar a afectar hasta el 60% en el peso de los racimos.

4.3.1. Sintomatología

Cuando una viña está infectada por el Oidio, sus hojas aparecen crispadas, algo amarillentas y cubiertas de un polvillo gris blanquecino. Normalmente, las hojas comienzan con un moteado clorótico (manchas cloróticas circulares de uno a dos cm de bordes difusos), evoluciona a bronceado y las contorsiona (ver Figura 8). Si el ataque es intenso, la superficie del órgano puede cubrirse con el hongo, presentando el polvillo blanco-grisáceo mencionado anteriormente. Este polvillo puede aparecer tanto en el haz como en el envés. Además, algunas veces, en el comienzo del ataque, en el haz se observan manchas oleosas, que suelen ser más pequeñas que las de Mildiu y no muestran la pelusilla blanca típica de esa enfermedad, apreciándose, en cambio, punteaduras pardas (IMIDRA, 2012).



Figura 8: Hojas con color amarillento y posterior contorsionamiento de las mismas. Autor: Jose Luis Perez Marín.

En los sarmientos aparecen manchas diversas de color verde oscuro, que se van transformando a tonos achocolatados según van creciendo hasta presentar un color ennegrecido cuando el brote se endurece (ver Figura 9).

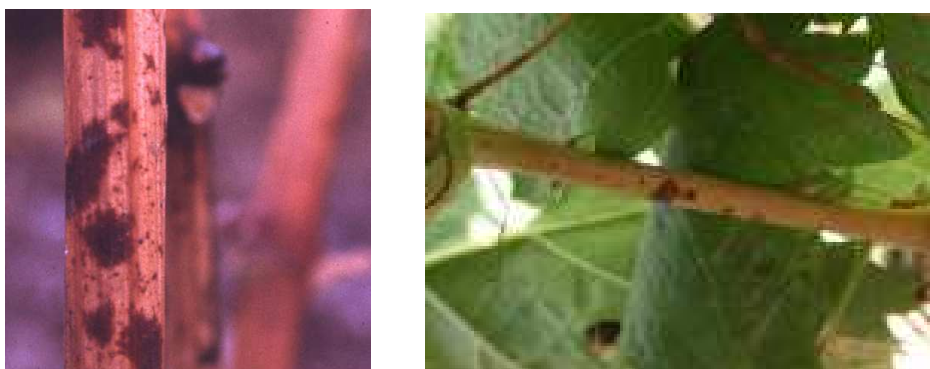


Figura 9: Sintomatología en el sarmiento. Autor: IMIDRA

Los daños más importantes que causa esta enfermedad se localizan en los racimos, recubriéndose del polvillo grisáceo mencionado con anterioridad (ver Figura 10). Los ataques fuertes provocan una disminución de la elasticidad pero tanto la semilla como la pulpa siguen creciendo, lo que normalmente se traduce en un agrietamiento de la piel e incluso se lleguen a rajarse algunos granos (ver Figura 11). Esto conlleva a que además de los daños directos tanto en cantidad como en calidad de la cosecha, se favorezca la penetración de otros organismos como el del hongo *Botrytis cinerea Pers.* (IMIDRA, 2012).



Figura 10: racimos recubiertos por el polvillo

grisáceo. Autor: Jose Luis Perez Marín.



Figura 11: granos rajados. Autor: Jose Luis Perez

Marín.

4.3.2. Biología

Esta enfermedad se produce en invierno, al fundirse los micelios masculinos y femeninos, sobre las hojas muertas de la vid. Una vez fundidos, producen unos refugios seguros donde resguardarse durante todo el invierno. De esta manera es como se forman las esporas sexuales, que salen del huevo al brotar la viña en primavera y se dispersan gracias al viento, aterrizando sobre las hojas nuevas, jóvenes y sanas. Estas esporas se adhieren y perforan la piel de la hoja mediante unos órganos llamados haustorios, introduciendo un tubo chupador en la célula parasitada. Así, se inicia el consumo de alimento y se asienta la infección. El filtro blanquecino empieza a extenderse sobre el haz de la hoja, extendiendo la infección al resto de las células, cuyos jugos son absorbidos a través de los haustorios. Simultáneamente, se inicia una producción masiva de esporas, de hasta 20.000 por cm^2 . (Perez, J.J, 2012).

Las nuevas esporas propagan la infección sobre otras hojas sanas, y provocan una expansión explosiva de la misma. (Ver Figura 12).

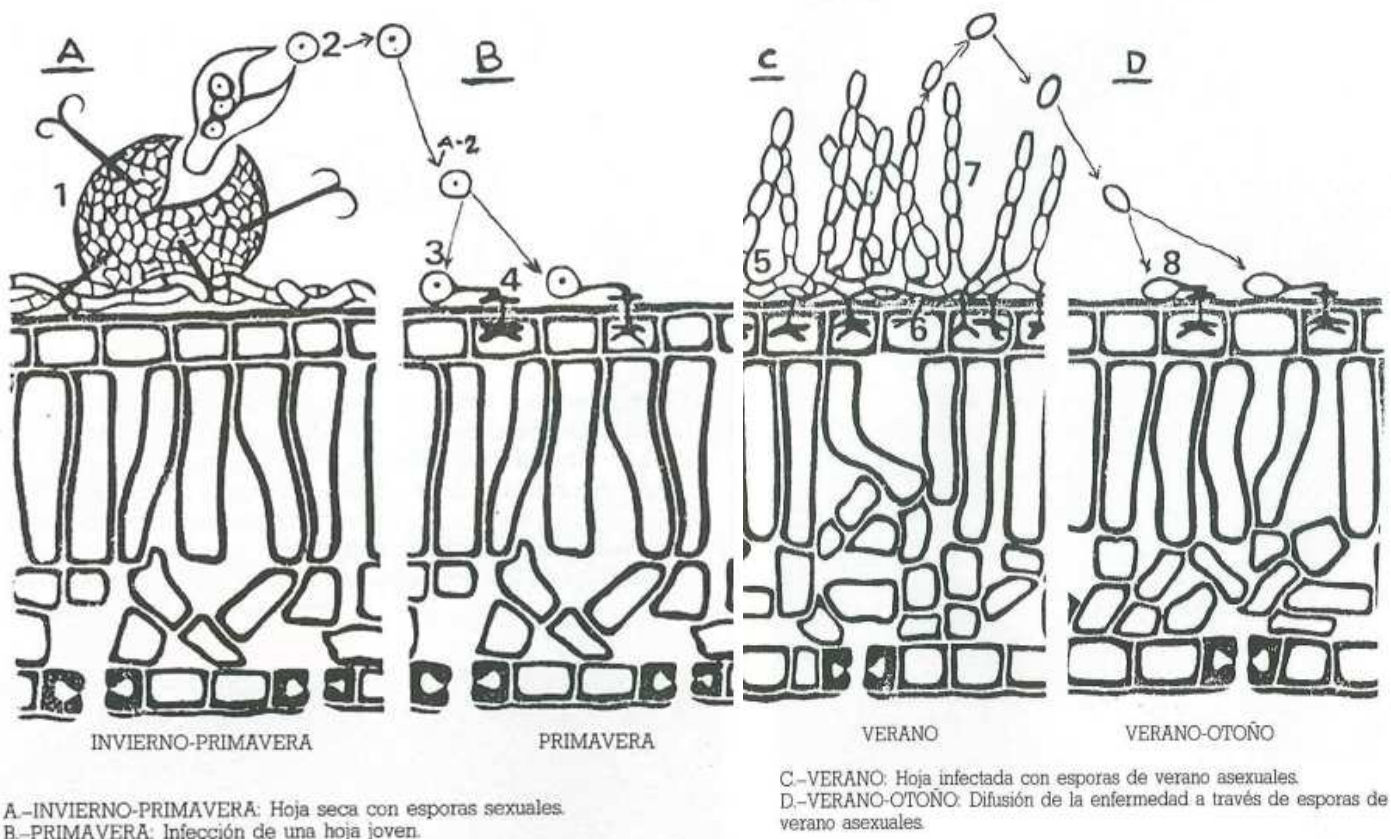


Figura 12: Ciclo Biológico del hongo *Uncinula necator* Burr

4.3.3. Periodos de sensibilidad y condiciones necesarias para la contaminación

La vegetación de la viña es sensible al Oidio en todo su ciclo, alcanzando su sensibilidad máxima durante el desde la floración hasta el cierre del racimo.

Son muchos los factores externos que condicionan el desarrollo de la enfermedad: la temperatura, la humedad, y en menor medida la insolación. Entre todos ellos, la temperatura es el factor más influyente: alrededor de los 15°C comienza a ser favorable para el desarrollo de la enfermedad, alcanzando el óptimo entre los 25 y 28°C, deteniendo su desarrollo a los 35°C y resultando letales temperaturas superiores a 40°C (IMIDRA, 2012).

La humedad ambiental es también muy importante ya que influye en el desarrollo de la enfermedad; con humedades relativas altas, las conidias germinan, al contrario que el mildiú, ya que las lluvias abundantes frenan su desarrollo.

Mencionar, que existe una susceptibilidad fenológica: los pámpanos serán más susceptibles cuando sean verdes; las hojas jóvenes serán las más susceptibles y esta susceptibilidad empieza a decrecer cuando la hoja tiene más de 20 días; las bayas son susceptibles desde su prefloración hasta que alcanza el tamaño de un guisante. A partir de ahí, comienza a decrecer hasta ser tolerante después del envero, por la imposibilidad del hongo de penetrar por la cantidad de azúcar acumulada en las bayas.

Por tanto, el desarrollo de esta enfermedad se favorece con climas secos y temperaturas moderadamente altas. La presencia de agua libre no predispone el ataque de oidio. La mayor germinación de esporas (conidias) se produce entre 15 y 20°C. Temperaturas mayores a 30°C y menores a 6°C limitan considerablemente el desarrollo de la enfermedad. (IMIDRA, 2012).

4.3.4. Estrategias de lucha

Para un adecuado control del oidio mediante tratamiento, hay dos momentos oportunos: al comienzo de la floración con los productos líquidos y en plena floración si se emplea azufre espolvoreado (ya que éste favorece el cuajado) o cuando los granos tienen el tamaño de un guisante.

Además, es necesario tener en cuenta que si entre la brotación y la floración hay ataque de oidio, hay que realizar un tratamiento de manera inmediata. A parte de eso, en aquellas parcelas que por propia experiencia se sepa que son sensibles al oidio, hay que realizar un tratamiento cuando la uva tiene tamaño de garbanzo.

En la actualidad, el medio de lucha más eficaz es el químico. Las fechas aproximadas para su aplicación pueden ser: cuando la longitud del sarmiento sea entre 10 y 20 cm, cuando la floración este terminando, cuando el grano tenga el tamaño de un garbanzo o cuando el 10-15% del racimo esté enverado.

Por norma general, primero se aplica un producto sistémico con el objetivo de paralizar o no dejar entrar la enfermedad. Las siguientes aplicaciones pueden realizarse con sistémicos o con azufres, según el problema. Cabe destacar, que si estas aplicaciones se hacen de manera adecuada, el Oidio no debería ser un problema. Eso sí, si el año anterior se ha tenido problemas con esta enfermedad, es necesario el uso de químicos el año siguiente.

A diferencia del mildiu, esta enfermedad se puede combatir una vez que aparece ya que se trata de una enfermedad de desarrollo externo. Esto conlleva a un uso desmesurado de fitosanitarios que menguan los beneficios de los agricultores. Por ello, en las últimas décadas se han iniciado investigaciones de modelos predictivos del oidio que puedan prevenir la infección de esta enfermedad o que puedan averiguar el día hasta el cual las parcelas estén libres de poder ser contaminadas.

En la actualidad, son dos los modelos utilizados para cubrir los mencionados objetivos: el modelo de D.Gubler basado en el índice de riesgo basado a su vez en la temperatura con un rango entre 0 y 100, y el modelo de M.A. Sall, basado en la utilización de las temperaturas máximas y mínimas diarias.

Si bien es cierto que entre los dos modelos, el más utilizado y sobre el cual existe más bibliografía es el de Gubler, en este trabajo se va a desarrollar el modelo de M.A.Sall debido a la similitud con el modelo predictivo del mildiu.

Este modelo se basa en el supuesto de que el crecimiento del tejido huésped y la meteorización de azufre son las dos razones principales por las que el azufre se debe volver a aplicar en los viñedos. Los índices de Oidio se calculan a partir de las temperaturas máxima y mínima diaria.

Por tanto, se utiliza una tabla predefinida que cruza las temperaturas mínimas con las máximas diarias, estableciendo unos valores de oidio en función de las mismas. La tabla se utiliza para estimar los días que debe cubrir una aplicación azufre según los valores diarios, considerando la cobertura hasta que el Índice de Oidio sume 1. Una vez se hayan aplicado fitosanitarios, se da un reinicio del modelo hasta que vuelva a indicar la ausencia de cubrimiento.

A continuación, se presenta la tabla predefinida por M.A. Sall:

Tabla 2: Tabla desarrollada por M.A. Sall.

T ^a min. diaria	T ^a max. Diaria								
	13.0-15.5	15.5-18.0	18.0-21.0	21.0-24.0	24.0-26.5	26.5-29.5	29.5-32.0	32.0-35.0	35.0-38.0
4.5-7.0	0.083	0.083	0.083	0.083	0.083	0.077	0.067	0.067	0.056
7.0-10.0	0.083	0.083	0.083	0.083	0.091	0.083	0.077	0.067	0.059
10.0-13.0	0.083	0.083	0.083	0.083	0.1	0.083	0.083	0.077	0.063
13.0-15.5	0.083	0.083	0.083	0.091	0.111	0.1	0.091	0.083	0.077
15.5-18.5		0.083	0.083	0.111	0.111	0.111	0.1	0.091	0.077
18.5-21-0			0.1	0.143	0.143	0.125	0.125	0.1	0.091
21.0-24.0				0.143	0.167	0.143	0.125	0.111	0.091
24.0-26.5					0.143	0.125	0.091	0.083	0.067
26.5-29.5						0.091	0.077	0.059	
29.5-32.0							0.59	0.059	

5. AUTOMATIZACIÓN EN R

El objetivo de la automatización de los modelos de predicción de mildiu y oidio en R es obtener una *shape* final de las parcelas del viñedo con un atributo que refleje el porcentaje de crecimiento e índice de oído sucesivamente. De esta manera, se podrá aplicar una simbología para caracterizar la aparición y grado de evolución de ambas enfermedades.

Para obtener el mencionado *shape*, es necesario interpolar los datos puntuales (registrados en las estaciones meteorológicas) a la superficie de estudio. Este paso se ha realizado aplicando una interpolación de tipo inverso a la distancia o Inverse Distance Weighting (IDW).

Así, la automatización ha consistido en dos grandes partes: parte estadística y parte SIG. Si bien es cierto que para cada modelo existe una parte estadística ligeramente diferente, ambos modelos tienen una parte en común: el cálculo del IDW.

Por otra parte, el modelo a desarrollar debe cumplir una serie de requisitos que garanticen su operatividad. A este respecto, el modelo permite evaluar diariamente la evolución de ambas enfermedades al estar diseñado para poder incorporar la información de entrada requerida (variables meteorológicas) y actualizar automáticamente el resultado.

Los códigos de mildiu y oidio se adjuntan desarrollados en el anexo 2 y 3 respectivamente.

5.1. Mildiu

El modelo de Mildiu necesita como datos de partida la temperatura media y la humedad relativa diaria. Como se ha dicho en el apartado 4.2.3, en función de la temperatura media y de si la humedad relativa registrada es superior o inferior al 75%, Goidanich asigna un porcentaje de crecimiento. Por tanto, es necesario crear un modelo que recorra tanto los datos como la tabla Goidanich y asigne los porcentajes de crecimiento en función de los datos entrantes.

Recordar que la tabla Goidanich tiene la siguiente estructura: Una columna que contiene la temperatura (12°C, 12.25°C, 12.5°C...) y dos columnas que contienen el porcentaje de crecimiento de mildiu para humedades inferiores y superiores al 75%. Obviamente, no siempre la temperatura registrada por las estaciones meteorológicas coincidirá con los valores de referencia de la tabla de crecimiento. En esos casos, como es lógico, se elegirá la fila que contenga la temperatura que más se le acerque. Es decir, si la temperatura registrada es de 12.1°C, la fila elegida será la de 12°C. Por el contrario, si la temperatura registrada es de 12.23°C, la fila elegida será la de 12.25°C.

Para ello, se ha creado un bucle que compara la diferencia existente entre los datos de partida y la tabla base y en función de si la diferencia con la fila anterior es menor o mayor, se selecciona una fila. Estas filas se irán almacenando en una tabla de manera que, obtendremos una tabla que contiene la

temperatura y la humedad diaria registrada por cada estación meteorológica y el porcentaje de crecimiento de mildiu para cuando la humedad sea superior e inferior al 75% (ver Tabla 3).

Tabla 3: Resultado tras aplicar el primer bucle

Tmedia (°C)	Hm (%)	menor75 (%)	mayor75 (%)
16.72	53.83	9.6	12.9
13.97	55.09	6.6	9
15.35	51.13	7.8	10.8
15.17	45.69	7.8	10.8

El siguiente paso sería elegir el porcentaje de crecimiento de mildiu en función de la humedad. Para ello, se ha procedido a construir un segundo bucle. Este bucle se ha limitado a leer la segunda columna de la tabla: si el valor registrado es inferior a 75, se ha copiado el valor contenido en la tercera columna en una quinta columna; si el valor es superior a 75, se ha copiado el valor contenido en la cuarta columna (ver Tabla 4).

Tabla 4: Resultado tras aplicar los bucles de la temperatura y la humedad

Tmedia (°C)	Hm (%)	menor75 (%)	mayor75 (%)	crecimiento%
16.72	53.83	9.6	12.9	9.6
13.97	55.09	6.6	9	6.6
15.35	51.13	7.8	10.8	7.8
15.17	76.69	7.8	10.8	10.8

Para calcular el IDW es necesario obtener el porcentaje acumulado de crecimiento. Por tanto, se ha construido un tercer bucle para su cálculo que consiste únicamente en la suma de la columna cinco.

Como se quiere repetir todo el proceso mencionado para cada una de las estaciones, es necesario anidar todos los bucles para realizar todo el proceso. Además, para que el script lo haga de manera automática, al inicio del script se han listado todos los archivos que van a actuar como datos de partida, en este caso, todos los archivos cuyos nombres terminen en datos (ver Figura 13). Además, como en algunas estaciones no se disponía de datos para algún día, se ha añadido un bucle que para en esos casos añade un cero.

```

lista <- list.files(pattern="*datos.csv")
for (i in 1:length(lista)){
  datos <- read.table(lista[i], header=TRUE, sep=";")
  { .....
  .....
  }
}

```

Figura 13: Bucle que anida todos los bucles

Una vez resueltos los problemas del proceso de selección del porcentaje de crecimiento, se ha procedido a desarrollar la parte de análisis con base espacial. En este punto del script ha sido necesaria la instalación de varios paquetes para incorporar en R funciones para manipulación explícita de datos espaciales..

Para poder realizar la interpolación es necesario disponer de una tabla que contenga como mínimo los siguientes datos: coordenadas de la estación meteorológica y la variable a interpolar (valor acumulado de crecimiento de mildiu).

La extracción de las coordenadas de las estaciones se ha realizado a partir del *shape* de las estaciones (puntos). Además, junto con cada par de coordenadas se ha añadido el nombre de cada estación

obteniendo el siguiente resultado, así como el dato de porcentaje acumulado calculado anteriormente para cada estación (ver Tabla 5).

Tabla 5: Tabla a utilizar en la interpolación para la prevención de mildiu para un crecimiento acumulado de 9 días.

ESTACIÓN	X	Y	CRECIMIENTO (%)
Almonacid de la sierra	639491	4590290	92.8
Belchite	690604	4580150	92.6
Boquiñeni	645315	4633850	91.6
Borja	623871	4634770	83.65
Calatayud	615873	4579970	86.2
Caspe	745204	4576640	103.3

A continuación, se ha establecido la extensión del área de trabajo para la implementación operativa del modelo, que va a ser la provincia de Zaragoza, y la resolución espacial del producto resultante. Ésta última se ha ido ajustando según se ha ido probando el script hasta finalmente, establecer una resolución de 250m.

Seguidamente, se ha calculado el IDW. Los parámetros utilizados para su cálculo han sido los establecidos por la empresa SGSmap. Acto seguido, se ha recortado el *raster* utilizando la provincia de Zaragoza como máscara.

Por último, para disponer del porcentaje de crecimiento de cada parcela en el archivo *shape*, se ha procedido a extraer la media del *raster* resultante del IDW. La media se ha añadido a cada parcela del *shape* y se ha *ploteado* el resultado en R estableciendo una paleta de colores predeterminada que va de verde a rojo (ver Figura 14).

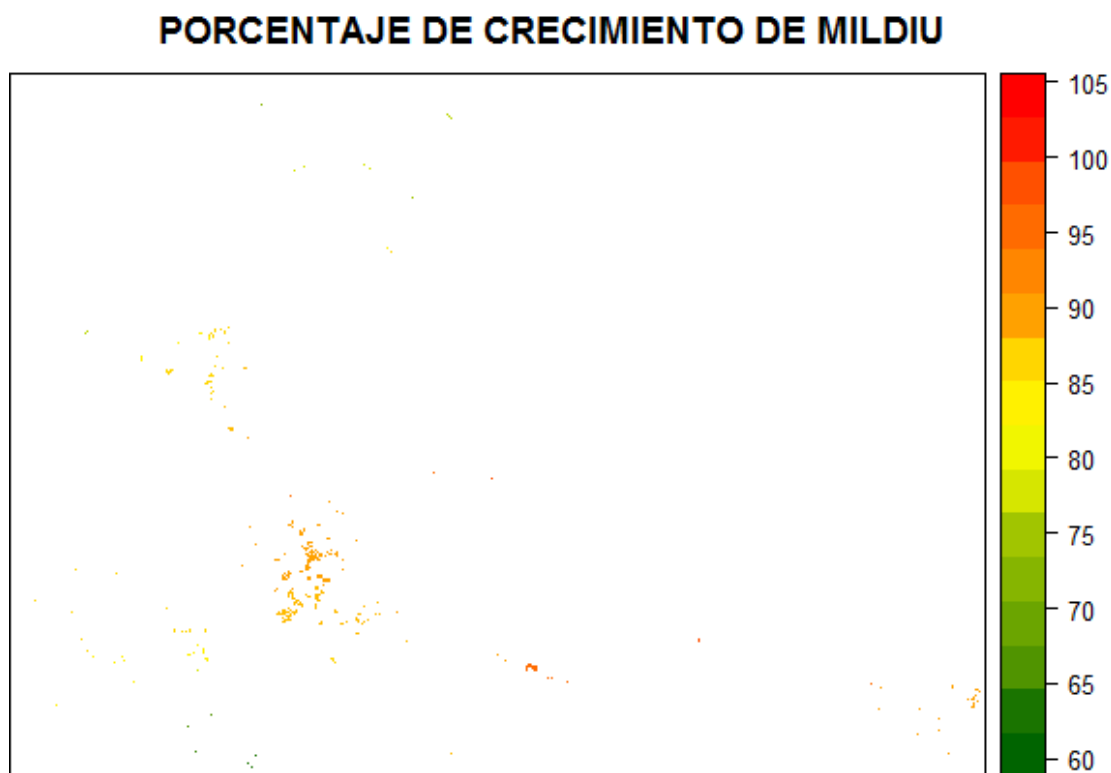


Figura 14: Ploteado del resultado aplicando la simbología para un crecimiento acumulado de 9 días.

Destacar, que para la zona de estudio final, (provincia de Zaragoza), se consigue un mapa ilegible en R debido a la escala de trabajo. Este *ploteado* se ha preparado para que la empresa lo pueda aplicar a escala local y poder volcarlo en un futuro, a su aplicación web. A continuación, se muestra un ejemplo a escala local para que se pueda apreciar su utilidad (ver Figura 15).

PORCENTAJE DE CRECIMIENTO DE MILDIU

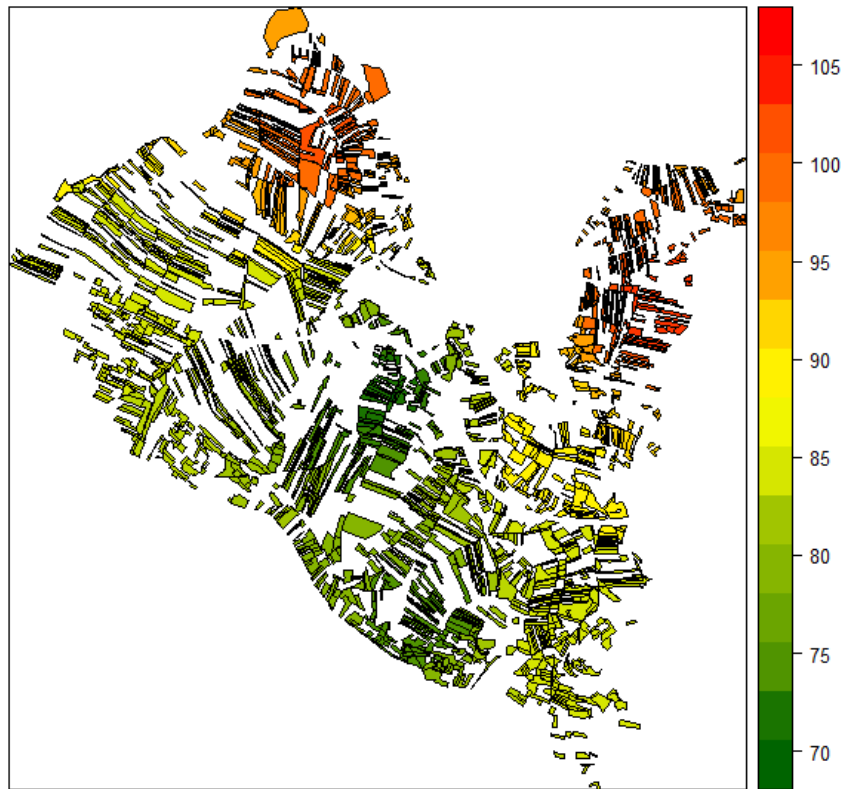


Figura 15: Ploteado del resultado aplicando la simbología a escala local para un crecimiento acumulado de un mes. Situación hipotética.

El color rojo indicaría un crecimiento de mildiu del 100%. Para poder prevenir la enfermedad de manera eficaz, se deberían de aplicar fitosanitarios cuando el crecimiento alcance el 80% aproximadamente, siempre ajustable por el propio agricultor.

A continuación se adjunta un esquema que resume el procedimiento descrito (ver Figura 16 y/o anexo 3).

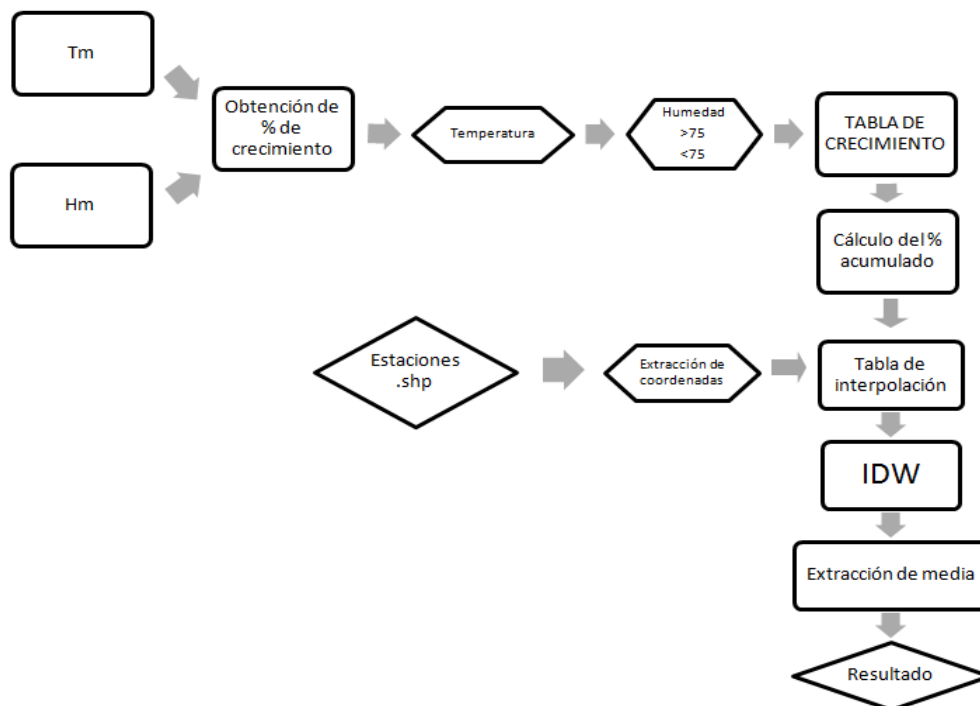


Figura 16: diagrama de flujo del modelo de mildiu

5.2. Oidio

El modelo del Oidio necesita como datos de partida las temperaturas mínimas y máximas diarias. En este caso, para hacer más simple el modelo, se ha procedido a desglosar la tabla de Oidio en la que se basa el modelo, obteniendo dos archivos con una única columna cada uno: temperatura máxima y temperatura mínima. De esta manera, se han construido dos bucles y cada uno recorrerá uno de esos archivos.

El objetivo de ambos bucles es detectar la ubicación o coordenadas de los datos. Es decir, para el caso de temperatura máxima, el objetivo es coger el primer dato de temperatura y recorrer el archivo de única columna de temperatura máxima buscando su ubicación. Por ejemplo, si en la estación de Almonacid de la Sierra se ha registrado una temperatura máxima de 22.35°C, se recorre el archivo de temperaturas máximas base, en busca del valor de temperatura que más se acerque a ese valor. Una vez encontrado, se guarda su coordenada (por ejemplo, fila 4).

Se realiza lo mismo con las temperaturas mínimas. Cabe destacar que ambos bucles son prácticamente iguales, siendo la única diferencia la columna de datos que recorren cada vez: para las temperaturas máximas, recorrerá la columna de datos número 1 y para las temperaturas mínimas, la columna número 2.

Como resultado se obtienen dos archivos con una columna cada uno, que se juntan obteniendo un único archivo de dos columnas que te indican la posición, en la tabla base, del valor del índice de oidio que interesa (ver Tabla 6).

Tabla 6: Coordenadas a buscar en la tabla base

T.max	T.min
4	3
3	3
4	2

A continuación, se ha creado otro bucle que se va a encargar de recorrer las coordenadas y encontrar su ubicación en la tabla base. Cuando encuentre esas coordenadas, almacenará el valor del índice de oidio en un objeto.

Seguidamente se procede a calcular el índice acumulado mediante otro bucle y el resultado se almacena en una nueva tabla.

Al igual que con la enfermedad de mildiu, el proceso mencionado se tiene que incluir en un gran bucle para que se repita para todas las estaciones. No sin antes, listar todos los archivos que van a actuar como datos de partida. Del mismo modo, se ha añadido un bucle para que en caso de haber falta de datos, los huecos se sustituyan por ceros.

Una vez resueltos los problemas estadísticos, se ha comenzado con la parte de SIG. Esta parte es común para ambas enfermedades. Por tanto, se extraen las coordenadas de las estaciones meteorológicas a partir del shape y se crea una tabla útil para poder realizar la interpolación. La tabla dispondrá de los siguientes datos: nombre de la estación, coordenadas y la variable a interpolar (valor acumulado de índice de oidio) (ver Tabla 7). En este caso también, el método de interpolación utilizado va a ser el IDW.

Tabla 7: Tabla a utilizar en la interpolación para la prevención del Oidio para un crecimiento acumulado de 9 días.

ESTACION	X	Y	I.O
Almonacid de la sierra	639491	4590290	0.818
Belchite	690604	4580150	0.675
Boquiñeni	645315	4633850	0.786
Borja	623871	4634770	0.692
Calatayud	615873	4579970	0.592

Al tratarse de la misma área de estudio para ambas enfermedades, la extensión de trabajo también va a ser la provincia de Zaragoza y la resolución de 250. Para disponer del índice de oidio en el archivo shape se ha extraído la media del raster resultante del IDW y se ha plotado el resultado (ver figura 17). Al igual que se ha mencionado para la enfermedad de mildiu, el resultado que se obtiene es ilegible en R a esa escala. Este plotado también, se ha preparado como único objetivo de facilitar a la empresa una visualización previa del mapa de prevención de oidio a escala local y posibilitar la actualización en su aplicación web.

PORCENTAJE DE CRECIMIENTO DE OIDIO

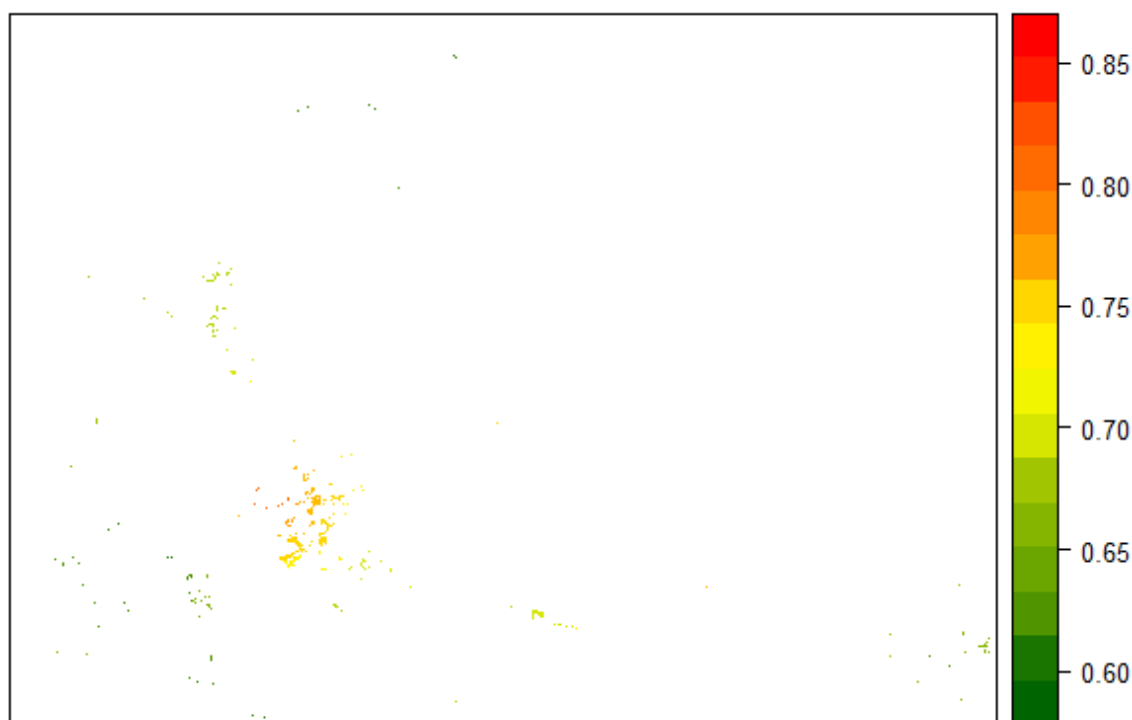


Figura 17: Ploteado del resultado aplicando la simbología para un crecimiento acumulado de 9 días.

A pesar de que para esta enfermedad no se disponga de datos suficientes a escala local, mencionar que el color rojo indicaría que las parcelas necesitan ser tratadas con algún fitosanitario mientras que las de color verde se encuentran todavía sanas. A pesar de ello, cuando el índice de oidio alcanza el 0.7 se aconseja tratar la parcela a modo preventivo.

Si se quisieran tener datos a escala local para cualquiera de las dos enfermedades, sólo bastaría abrir el shape final que contiene el crecimiento de la enfermedad por parcela (IDW recortado con las parcelas que interesan). De esta manera, se sabría la parcela exacta en riesgo.

A continuación se muestra un esquema resumen del procedimiento descrito anteriormente (ver Figura 18 y/o anexo 4).

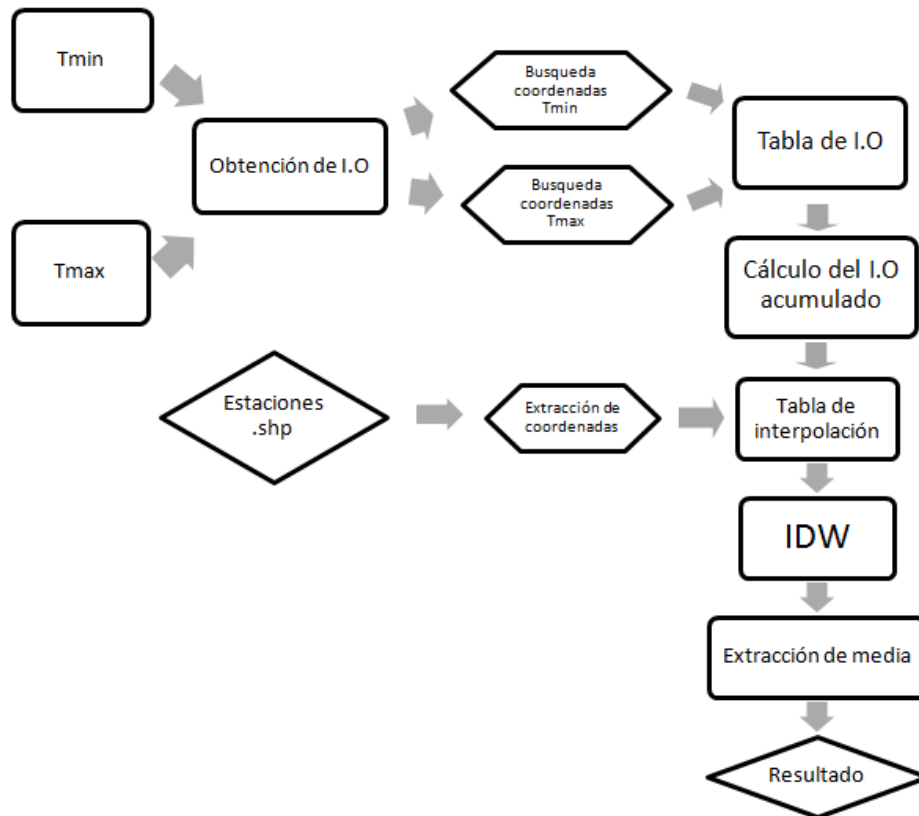


Figura 18: diagrama de flujo del modelo de Oidio

5.3. Gráficos de crecimiento

La empresa solicitó que se aplicasen los modelos a los datos de Bodegas Solagüen. Sin embargo, estas bodegas sólo disponen de dos estaciones meteorológicas en sus viñedos y las estaciones meteorológicas de la red estatal no están lo suficientemente cerca para que sus datos sean interpolables a la superficie del viñedo.

Eso unido al interés por demostrar la validez de los modelos como sistema de alerta agrícola a nivel provincial, ha motivado el aplicar los modelos a una escala más reducida eligiendo como área de estudio la provincia de Zaragoza. Se ha escogido esta provincia ya que es una de las que más accesibles tiene los datos meteorológicos vía la oficina del regante (<http://servicios.aragon.es/oresa/>).

No obstante, para cubrir la necesidad demandada por la empresa, se ha procedido a mostrar un gráfico de crecimiento de mildiu y oidio en el mes de mayo de 2014 para las dos estaciones de las que se disponen de datos: Hueta y Montebuenana.

Para ello, se ha añadido una parte al script de ambos modelos cuando termina la parte estadística (ver Figura 19 y anexo 4). Tras generar un objeto que aloja los días del mes, se ha procedido a unir en un único archivo los valores de crecimiento acumulado y días del mes. Por último, se ha generado un gráfico que cumple con los requisitos básicos de la presentación de un gráfico: nombre de ambos ejes y título.

```

dias<-1:31
crecimiento<-cbind(dias,acumulado)
colnames(crecimiento)=c("Dias","crecimiento")
write.table(crecimiento,"tabla_crecimiento.csv",row.names=FALSE,sep=";",dec=".")
plot(crecimiento, xlab="Días", ylab="Crecimiento", main="Crecimiento de Mildiu,Hueta")
  
```

Figura 19: script del gráfico de crecimiento de Mildiu en mayo, para la estación de Hueta.

Se ha seguido el mismo procedimiento para ambas estaciones para Mildiu y para Hueta obteniendo como resultado los siguientes gráficos de crecimiento: Figuras 20 y 21.

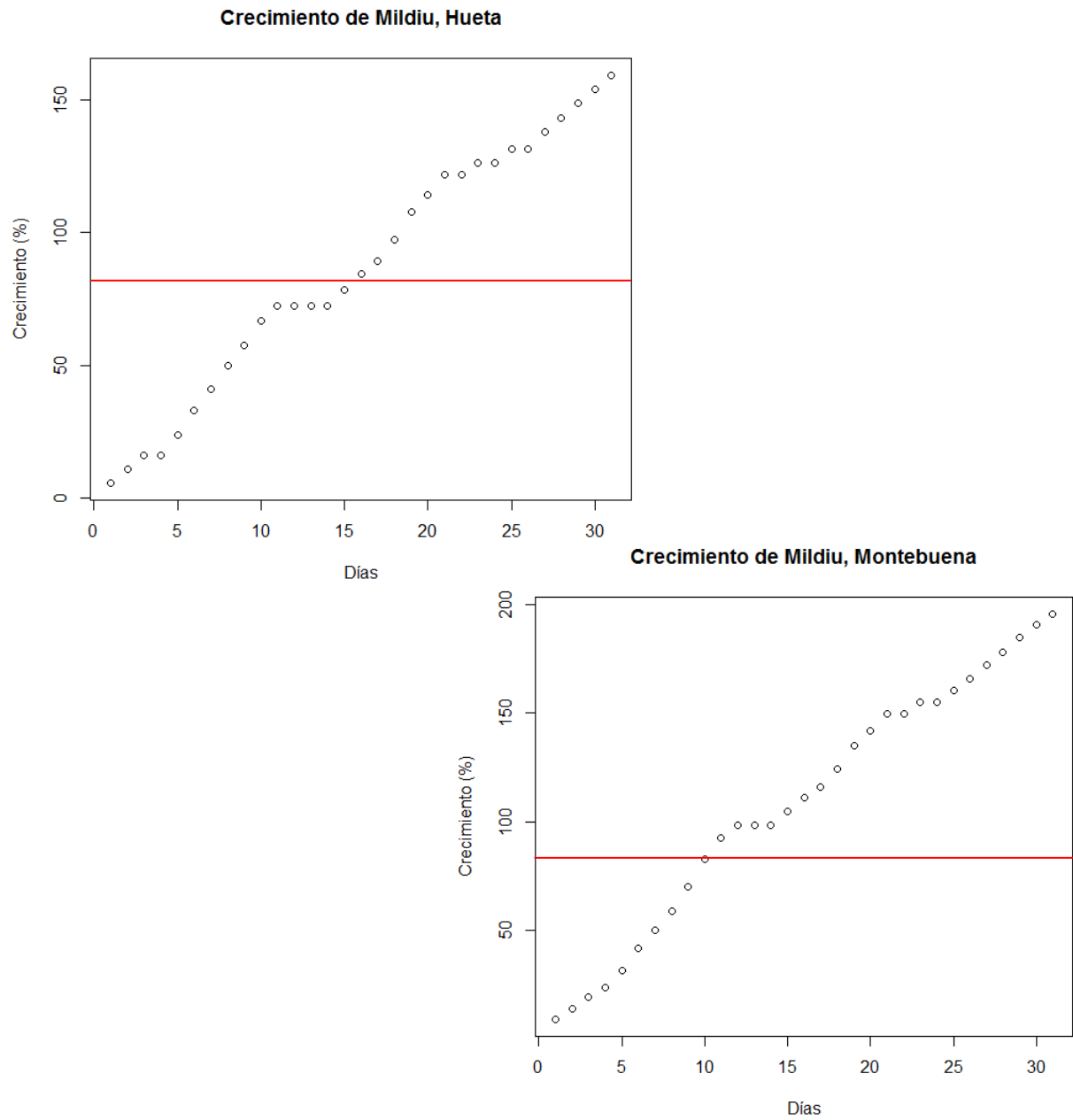


Figura 20: Gráfico de crecimiento de Mildiu para las dos estaciones. La línea roja indica umbral crítico para el tratamiento preventivo.

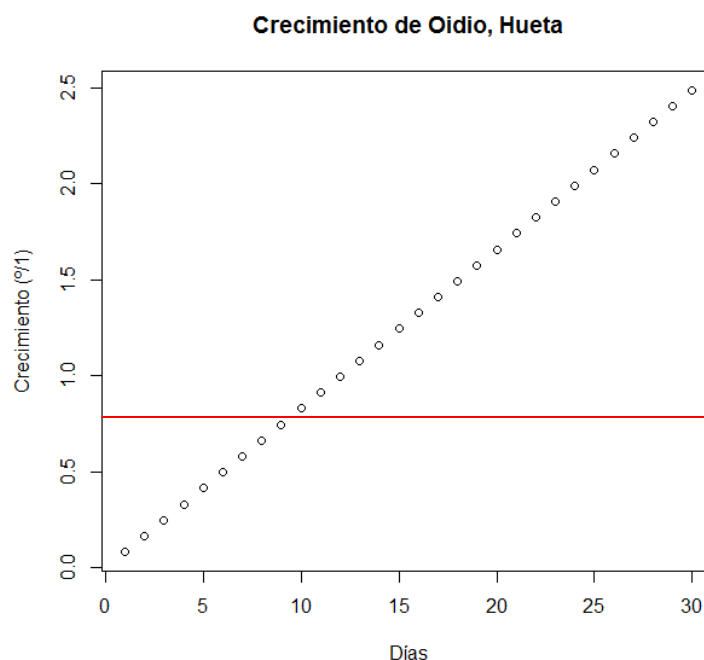
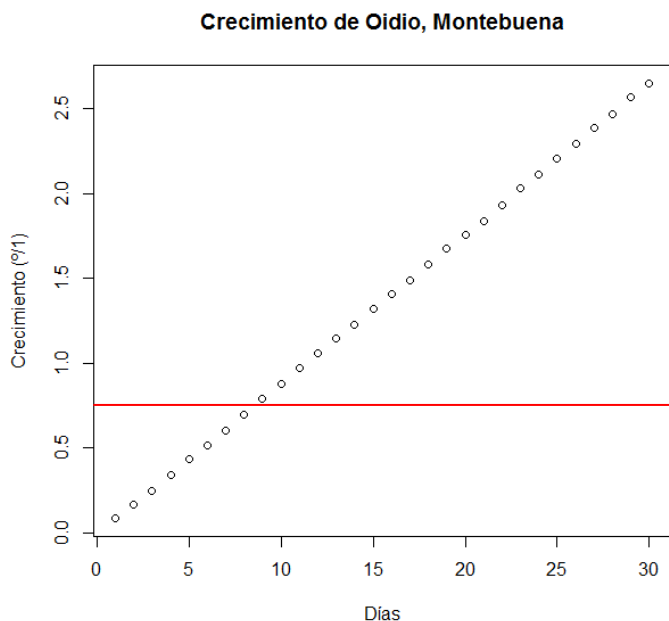


Figura 21: Gráfico de crecimiento de Oidio para las dos estaciones. La línea roja indica umbral crítico para el tratamiento preventivo.

Los gráficos muestran una clara diferencia en el crecimiento entre ambas especies: el oidio crece de una manera totalmente lineal (ver Figura 21) mientras que el Oidio, no tanto (ver Figura 20).

En el Oidio, el momento de intervención llegaría una vez alcanzado el 0.7 por ciento para ambas estaciones. En el Oidio, una vez alcanzado el 80%.

6. VISUALIZADOR

La idea del visualizador nace del interés por mostrar que los modelos generados pueden actuar como sistema de alerta agrícola así como para mostrar de una manera más detallada la utilidad del presente trabajo.

El visualizador consta de varias capas de información: Aragón y sus provincias, estaciones meteorológicas utilizadas, parcelas de viñedo y capas raster de evolución de mildiu y oidio para diferente número de días. Además, se ha añadido la capa del catastro como servicio WMS y una ortofotografía

PNOA. Todas las capas están en el siguiente sistema de referencia: *ETRS89 (European Terrestrial Reference System 1989)*

El procedimiento seguido a la hora de realizar el visualizador ha sido muy similar para todas las capas:

Las capas *shape* y *raster* se han abierto con el programa QGIS y tras haber establecido la simbología antigua, se han exportado a *mapserver*, es decir, a un fichero *mapfile*. Este fichero ha sido abierto con el programa *Notepad++* y se ha obtenido la información de todas las capas (o *layers*) a introducir en el visualizador. Esta información se ha añadido a fichero *mapfile* de *mapserver* y tras varios ajustes se han podido visualizar las capas (ver Figura 22).



Figura 22: Capas base del visualizador (Aragón, provincias y estaciones meteorológicas).

A continuación se muestran los viñedos que se han tenido en cuenta en este trabajo (ver Figura 23).

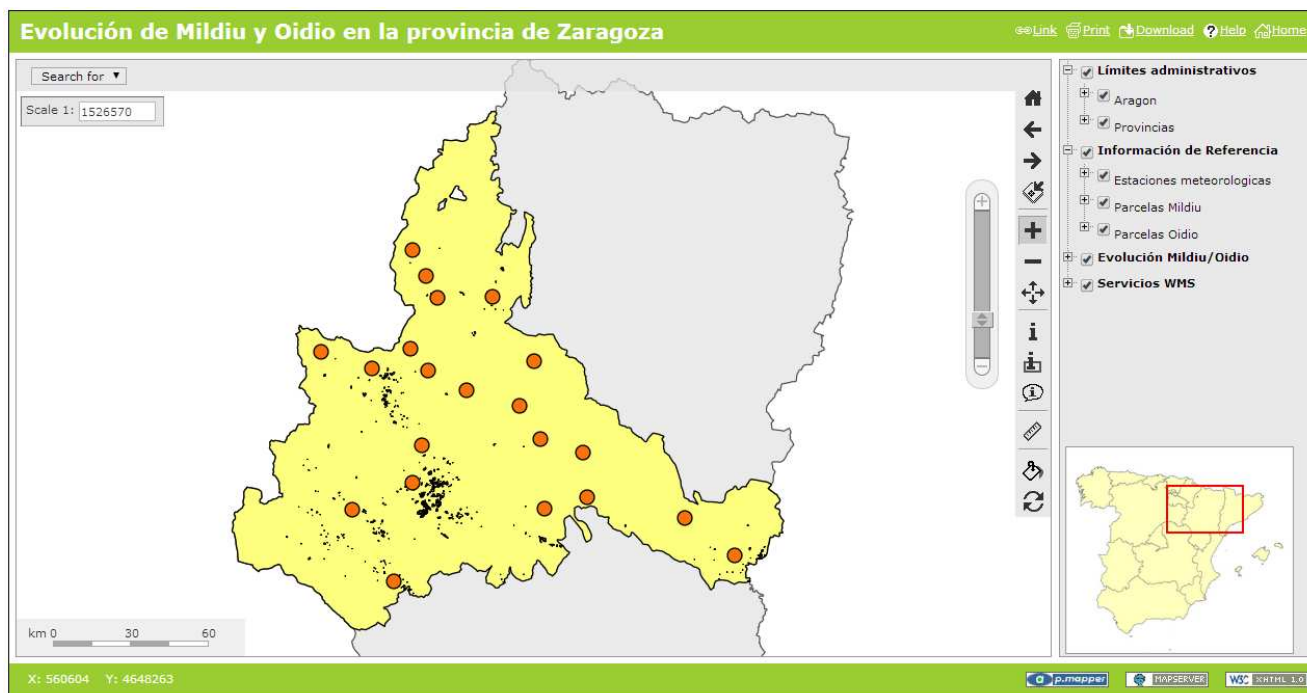


Figura 23: Viñedos de la provincia de Zaragoza junto con las estaciones meteorológicas.

Destacar que tanto la capa de Aragón, como la de las provincias se han obtenido del SITAR. Las estaciones meteorológicas se han obtenido a partir de la oficina del regante de Aragón. Se ha creado un fichero .csv que aloja todas las estaciones (ver Tabla 8) y posteriormente, se ha procedido a su transformación a *shape* de puntos (XY data).

Tabla8: Estaciones utilizadas en la interpolación.

ESTACIÓN	X	Y
Almonacid de la sierra	639491	4590290
Belchite	690604	4580150
Boquiñeni	645315	4633850
Borja	623871	4634770
Calatayud	615873	4579970
Caspe	745204	4576640
Daroca	632270	4551950
Ejea de los caballeros	649166	4662200
El Bayo	644635	4670770
Epila	643204	4604930
Fabara	764603	4562190
Luna	670687	4662470
Montañana	681037	4620270
Osera de Ebro	705486	4602200
Pastriz	689157	4607210
Quinto	707465	4584840
Sádaba	639427	4680840
Santa Engracia	638436	4642380
Tarazona	604000	4641230
Torres de Berrellén	660516	4626320
Zuera	686631	4637720

Como se puede apreciar en la Figura 24, los *shapes* tienen información visible en el visualizador. De esta manera, seleccionando cualquier estación meteorológica se puede saber su nombre y sus coordenadas.

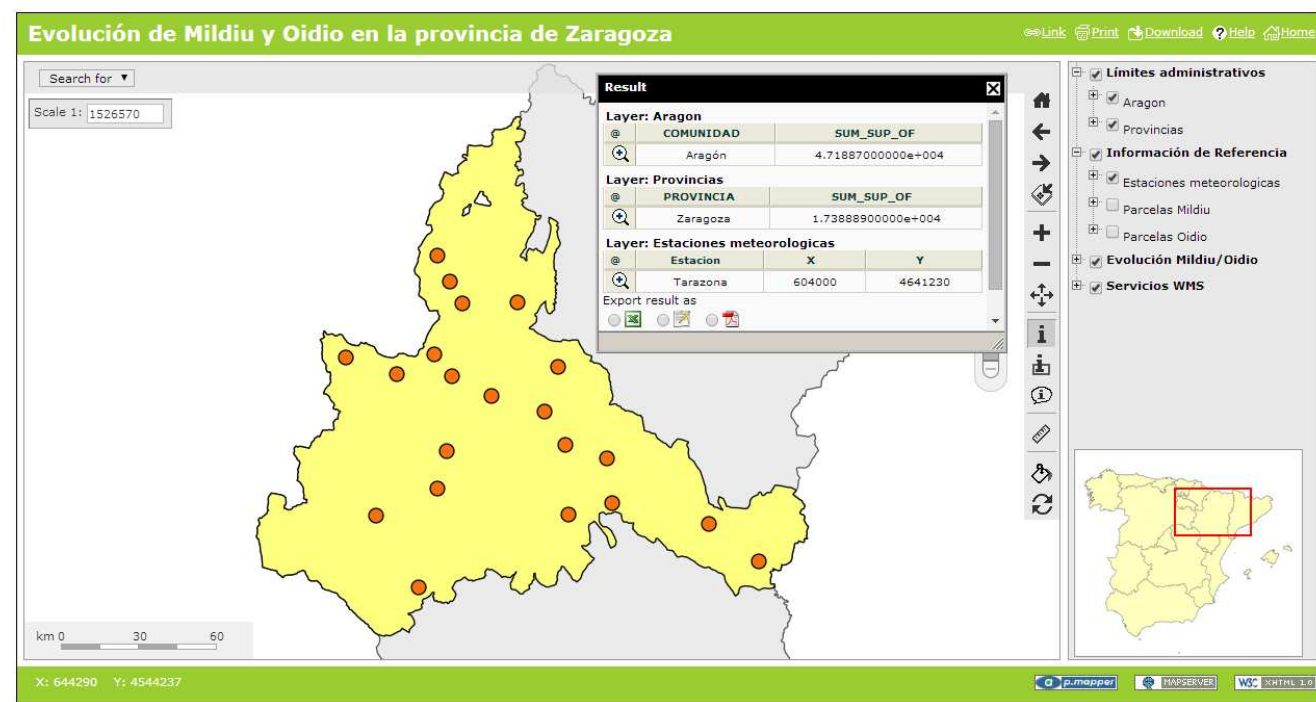


Figura 24: Visualización de la información contenida de las capas de Aragón, Provincias y estaciones meteorológicas.

Con la capa WMS se ha seguido un procedimiento ligeramente diferente. Desde el propio QGIS se ha procedido a añadir una capa WMS. Se ha buscado la capa del catastro de España que menos errores daba y tras su conexión se ha conseguido visualizarla en QGIS. A continuación, del mismo modo que con el resto de las capas, se ha exportado a *mapserver* y tras añadirlo al fichero *mapfile*, se ha conseguido visualizar (ver Figura 25).

El catastro dispone de varios niveles de zoom: según se aumenta va apareciendo diferente información hasta llegar prácticamente a un nivel parcelario (ver Figuras 26 y 27).



Figura 25: Primer zoom disponible del catastro.



Figura 26: Segundo nivel de zoom en la zona de Cariñena y longares.

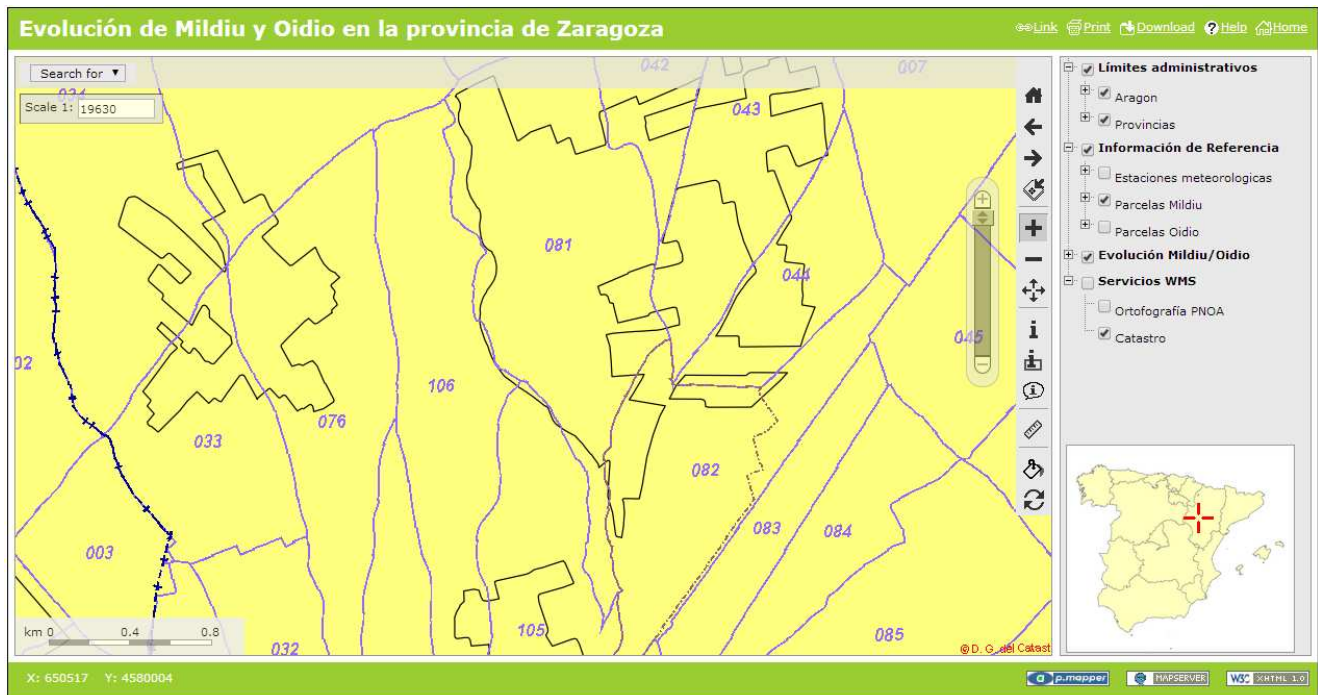


Figura 27: Tercer nivel de en la zona de Cariñena y longares.

Para cargar la ortofoto se ha seguido exactamente el mismo proceso que para el catastro.

A continuación se muestra la ortofoto junto con la capa del catastro para la misma zona en diferentes niveles de zoom (ver Figuras 28, 29 y 30).



Figura 28: Zoom de la ortofoto y el catastro en la zona de Cariñena.



Figura 29: Zoom de la ortofoto y el catastro en la zona de Cariñena a nivel parcelario.

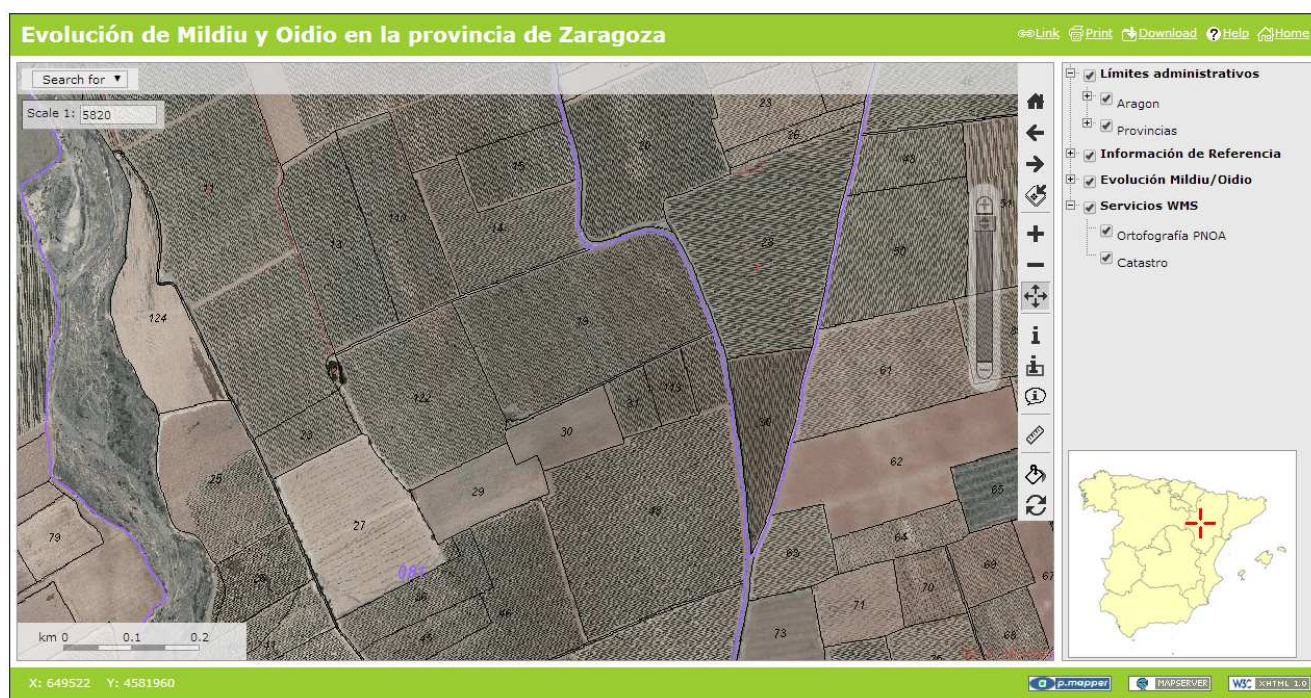









Figura 30: Zoom de la ortofoto y el catastro a unos viñedos de Cariñena

Como se ha dicho al inicio de este apartado, el objetivo de este visualizador es mostrar una aplicación posible de estos modelos. Este visualizador está pensado para que se actualice diariamente a partir de un aporte de datos diarios de temperatura media, temperatura máxima, temperatura mínima y humedad. No obstante debido a la imposibilidad de mostrar el avance de ambas enfermedades en un solo día se ha procedido a hacer un simulacro de las dos enfermedades. Es decir, se han cogido los datos acumulados de 3, 7 y 9 días para mildiú y 7, 9 y 12 días para oidio. El motivo por el cual se han escogido esa cantidad de días ha sido que para los datos que se han conseguido, en esa cantidad de días ambas enfermedades muestran crecimiento máximo.

Para ambas enfermedades se ha escogido una graduación de colores que va de verde a rojo (ver Tabla 9). Aunque inicialmente se pensó en utilizar una paleta de color diferente para cada enfermedad,

se ha determinado que esta es la más indicada para mostrar riesgo de infección. Además, es la que permite observar de una manera más clara los cambios.

Tabla 9: Rampa de colores utilizada.

COLOR	RGB	Crecimiento (%)
	0 128 70	0-20
	60 128 0	20-40
	253 253 121	40-60
	250 180 0	60-70
	110 60 20	70-80
	130 60 20	80-90
	130 0 0	90-100

En el caso de mildiu, se puede observar que en el tercer día del mes de mayo el crecimiento de mildiu es mínimo aunque si se puede observar que la zona que más problemas va a dar es la parte centro este de Zaragoza ya que se aprecian colores amarillentos (ver Figura 31).

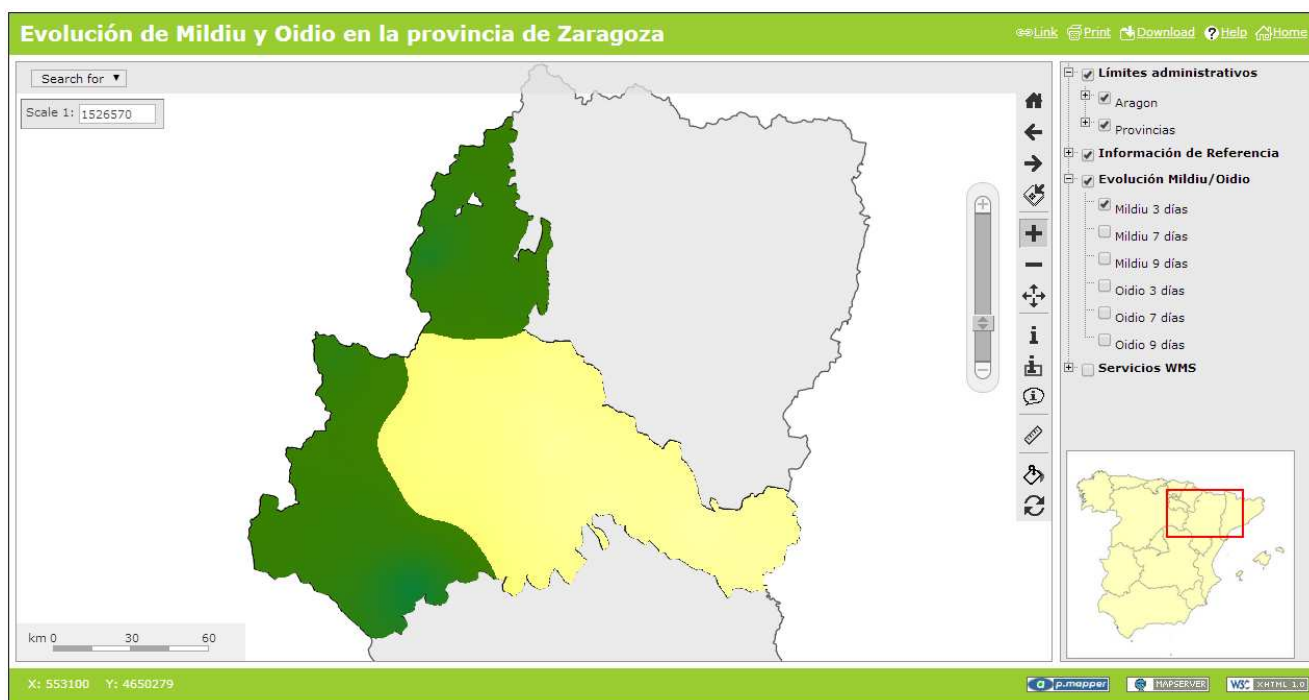


Figura 31: Crecimiento de mildiu al tercer día del inicio del modelo.

Al séptimo día, se confirma la tendencia clara de mayor crecimiento de mildiu de la zona centro este de Zaragoza (ver Figura 32). Las zonas delimitadas por color marrón necesitarían una intervención urgente de fitosanitarios ya que corresponden a un 80%-90% de crecimiento.

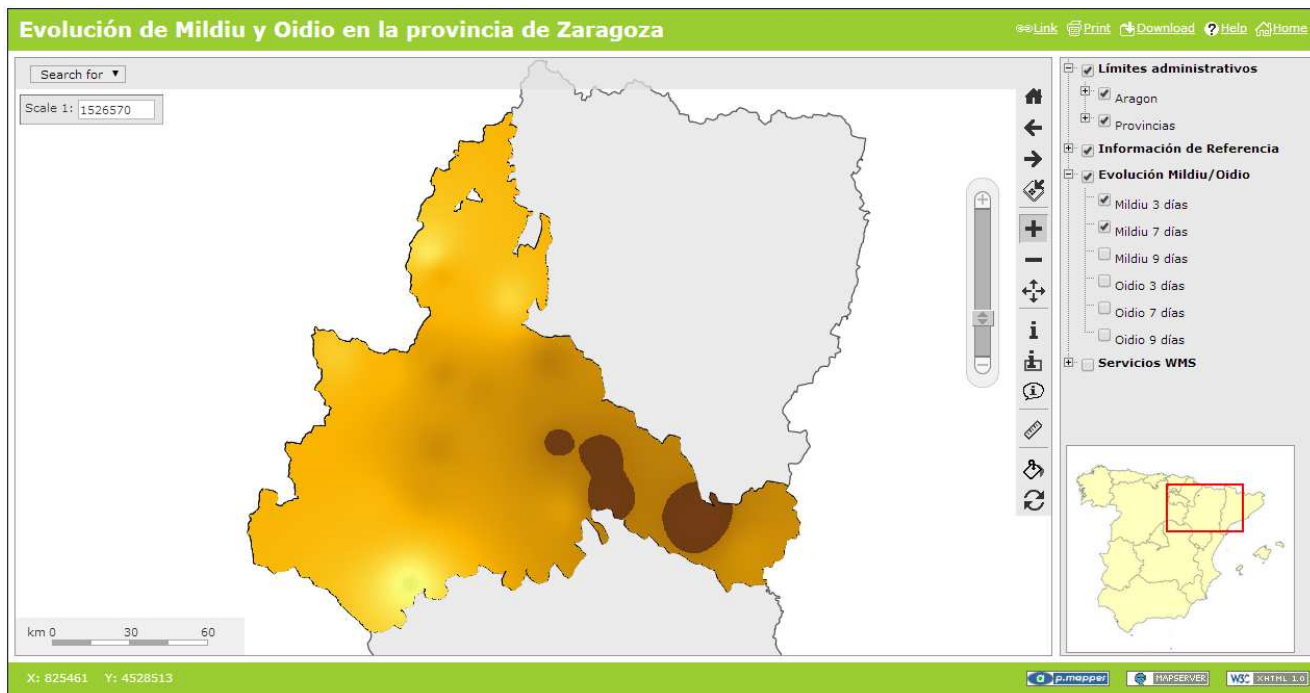


Figura 32: Crecimiento de mildiu al séptimo día del inicio del modelo.

Como se observa en la figura 33, pasados los nueve días, prácticamente toda la provincia tendría un crecimiento del 90-100% de mildiu, salvo en aquellos lugares en los que en la figura 32 no se apreciaba riesgo (color amarillo claro en la figura 32, color naranja en la figura 33).

Para las zonas de color rojo, la intervención ya sería tardía y habría pocas posibilidades de conseguir evitar daños en la cosecha. No obstante, recordar, que este es un sistema que se actualizaría diariamente y precisamente este visualizador estaría para evitar dichas situaciones críticas.

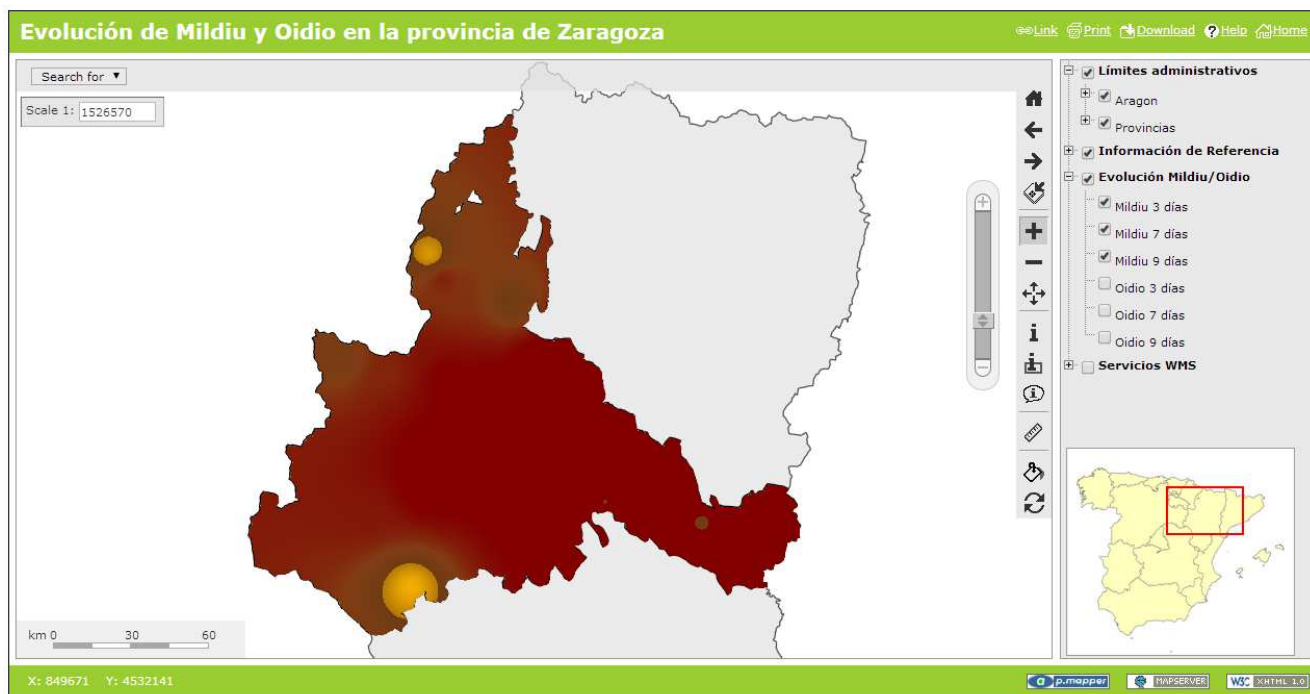


Figura 33: Crecimiento de mildiu al noveno día del inicio del modelo.

En el caso de Oidio, con los datos de los que se dispone se prevé una posible intervención entre los 9-12 días ya que es entonces cuando el índice de oidio alcanzará el 0.7-0.8%/1.

Como se puede observar en la figura 34, en los primeros tres días no se da un crecimiento notorio ya que los valores del I.O rondan el 3%. Existen pequeñas zonas (amarillo fuerte) con un I.O del 4%.

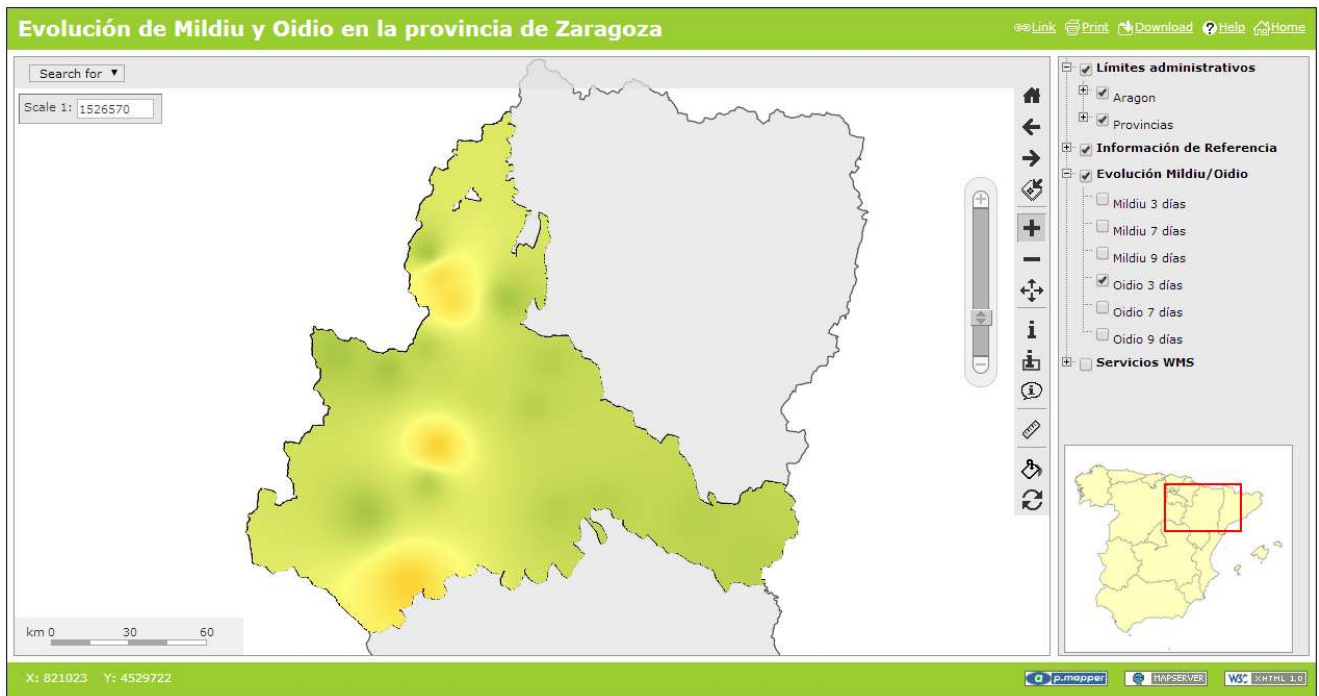


Figura 34: Índice de Oidio 3 días después de inicio del modelo.

Como se puede observar en la figura 35, en la primera semana el crecimiento alcanza el 0.6 en pequeñas zonas (marrón oscuro) si bien es cierto que en el suroeste de la provincia se aprecia un menor despunte (color amarillo blancuzco).

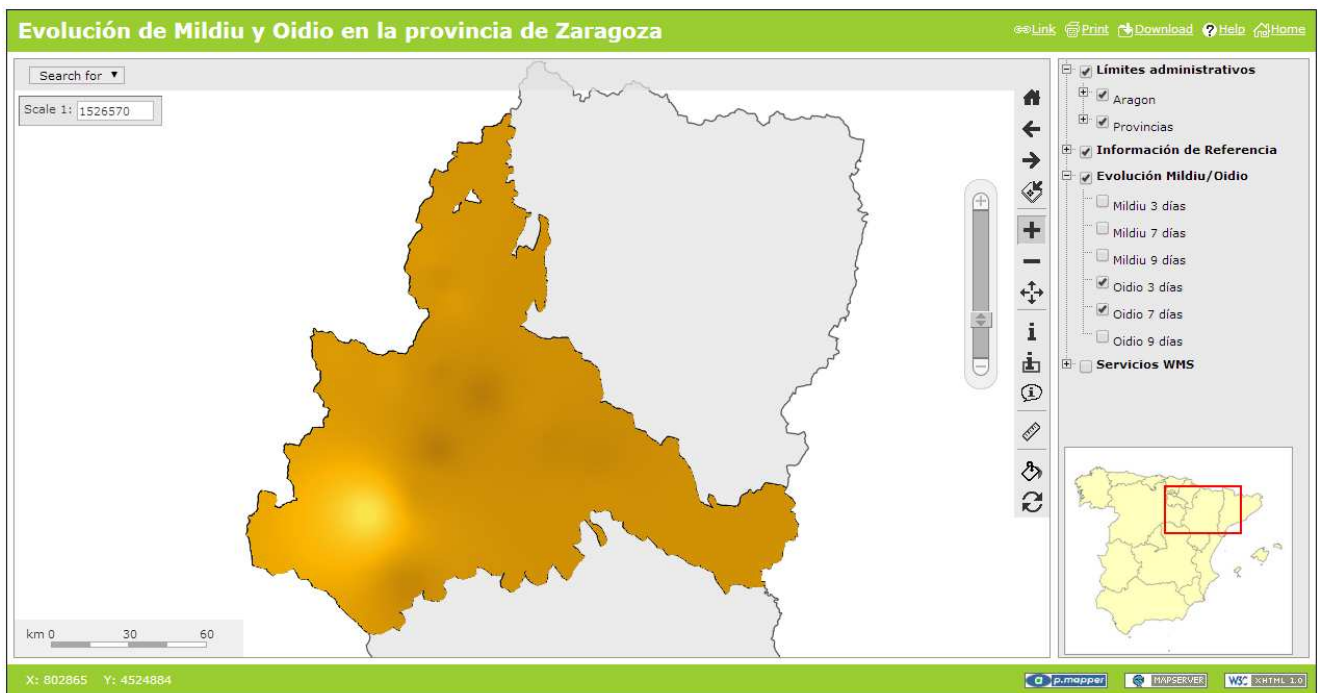


Figura 35: Índice de Oidio 7 días después de inicio del modelo.

Nueve días después el escenario cambia completamente (ver Figura 36). En toda la provincia se aprecia una necesidad de intervención, observándose una necesidad más real incluso ya tardía en la zona centro (manchas marrón-rojizas). Las zonas de color marrón están en el límite de intervención aunque no se asegura que sea exitosa ya que para el Oidio, se aconseja actuar en torno al 0.6-0.7^o/1.

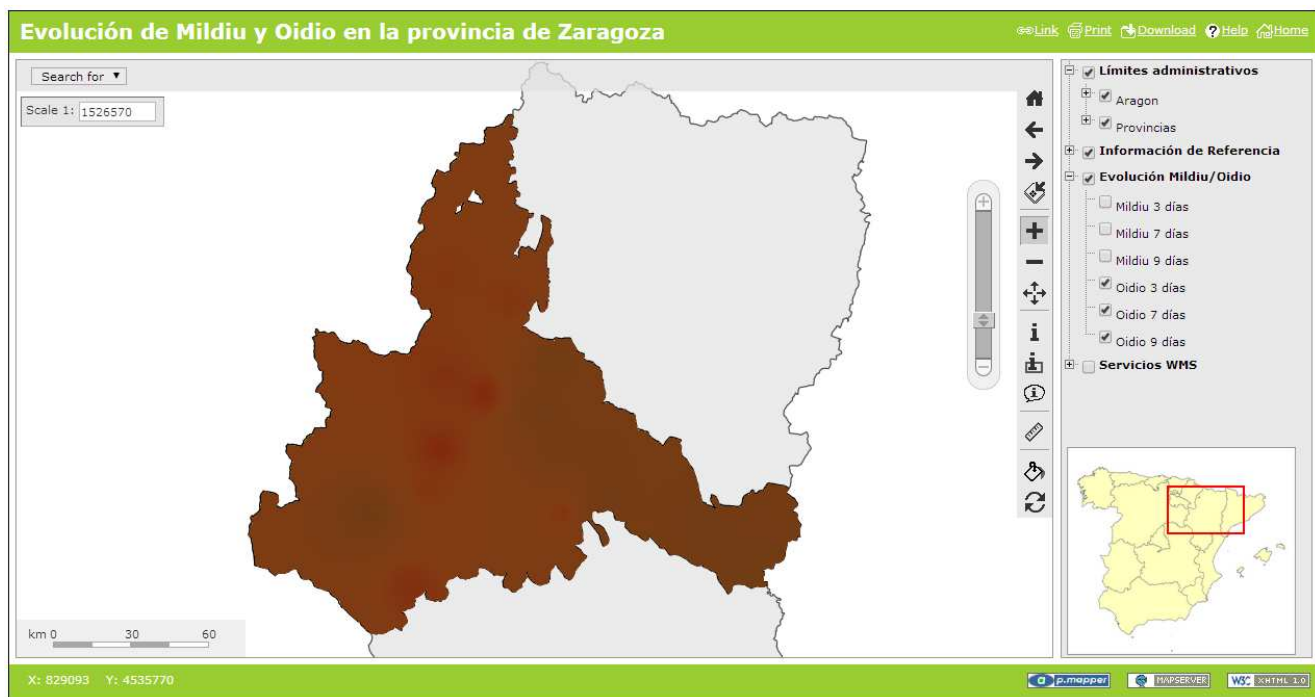


Figura 36: Índice de Oidio 9 días después de inicio del modelo

Cuando el Índice de Oidio alcanza el 1, los cultivos dejan de estar cubiertos por los fitosanitarios y por tanto se encuentran en pleno riesgo de ser contaminados. Una vez se hayan aplicado los fitosanitarios correspondientes, el modelo se resetea y vuelve a empezar.

Además del visualizador, se han querido añadir los mapas formados por el IDW (ver anexo 5). Para ello, se ha utilizado arcGIS. La diferencia entre los colores se debe a que para la creación de los mapas, arcGIS utiliza un realce gaussiano mientras que mapserver utiliza realce lineal de mínimo a máximo.

A nivel visualizador, se puede también superponer la capa de parcelas con relleno transparente a cada uno de los IDW y al hacer zoom, averiguar si una determinada parcela está o no en riesgo (Ver figura 37). Es más, si utilizas el botón de información, pinchando sobre una parcela puedes saber el valor de crecimiento de mildiu (ver Figura 37).



Figura 37: Zoom mediante el cual se aprecia que parcelas están en riesgo.

Por último, recordar que por cada vez que se ejecuta el script (una vez al día) se genera una capa de parcelas que contiene el valor de crecimiento acumulado hasta ese día de cada parcela. Esto permite saber a escala local y con mayor exactitud si la parcela de un determinado agricultor se encuentra o no en riesgo ya que se ha extraído el valor medio. De hecho, si se abre el *shape* con cualquier programa SIG, al aplicar una simbología graduada de verde a rojo, se podría averiguar la parcela en riesgo visualmente (Ver Figura 38 y/o anexo 6).

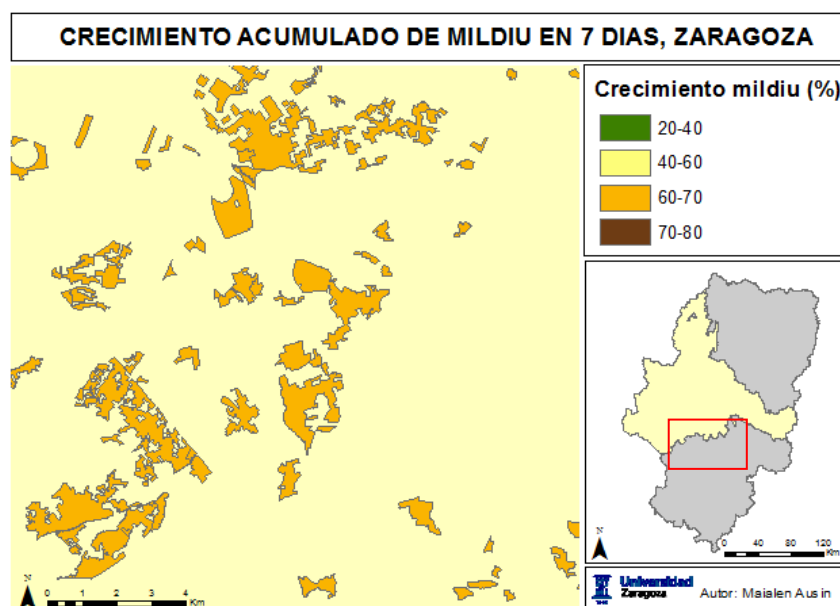


Figura 38: Simbología aplicada en arcGIS

El visualizador que acaba de ser descrito se puede encontrar en la siguiente URL: http://155.210.62.105/mildiu/map_default.phtml

Por último, se han creado los metadatos de las dos capas shapes finales que contienen el porcentaje de crecimiento de mildiu y oidio de cada parcela (ver anexo 9). Además, ambos archivos se pueden encontrar en las siguientes URL: 155.210.62.105/Parcelas_mildiu.html; 155.210.62.105/Parcelas_oidio.html

7. CONSIDERACIONES FINALES

Durante el desarrollo de este trabajo han surgido diversas complicaciones que ha obligado a replantear algunos aspectos del mismo. El problema principal ha sido la falta de datos adecuados para el desarrollo operativo del algoritmo para modelar la evolución de las enfermedades. Al tratarse de unas fechas complicadas las bodegas no estaban suficientemente disponibles como para recopilar los datos necesarios y/o participar en la búsqueda de la mejor solución posible a la ausencia de datos. Por ello, parte del modelo, particularmente al inicio del mismo, se ha desarrollado con datos no reales.

Posteriormente, la empresa consiguió los datos reales de una de las bodegas que trabaja con ellos, Bodegas Solagüen (Labastida) y sugirió no sólo adaptar el modelo de mildiu a los nuevos datos sino generar un script para una enfermedad por la cual las bodegas se estaban viendo afectadas: Oidio. Para que la generación de este script fuera factible en el tiempo, junto con la empresa se ha optado por modelar esta enfermedad con un modelo muy similar al de Mildiu aunque no exista demasiada bibliografía al respecto, por lo que, si bien el algoritmo desarrolla es completamente funcional y está preparado para trabajar con datos reales, los resultados del modelo deben tomarse como valores orientativos e ilustrativos del método desarrollado dada la carencia de respaldo bibliográfico acerca de los valores de crecimientos reportados.

Además, los datos proporcionados por Bodegas Solagüen, correspondientes a dos estaciones ubicadas dentro de su propia plantación, (Hueta y Montebuenas), han tenido que ser depurados y agregados, al tratarse de datos horarios de 3 meses de la campaña de 2014 (marzo, abril y mayo). Por otro lado, ante la imposibilidad de aplicar una interpolación debido al número insuficiente de estaciones

meteorológicas, se ha optado por crear salidas gráficas que ilustren el crecimiento de las dos enfermedades en las dos estaciones meteorológicas.

A no ser que la bodega disponga de una mayor cantidad de estaciones meteorológicas distribuidas por la plantación, no es posible obtener resultados espacialmente distribuidos. A pesar de disponer públicamente de los datos de la red meteorológica estatal, esos datos no son aplicables a escala local debido a la lejanía existente en la mayoría de los casos entre la estación y la plantación; existe demasiada variabilidad espacial entre ellas.

Por eso, finalmente de cara a desarrollar el trabajo, se ha concluido que la mejor opción es reducir la escala y utilizar los datos de la red de estaciones meteorológica, en este caso la red de la comunidad de regantes de Aragón.

Otro de los problemas ha sido la elaboración del script. La automatización del proceso completo ha requerido implementar y combinar diversas estructuras de control de flujo que han supuesto una dificultad añadida debido a la complejidad del proceso. La obtención de las parcelas de viñedo de Zaragoza no ha sido tampoco fácil. A escala local, las bodegas disponen de sus propios archivos *shape* pero no hay un archivo *shape* que aúne todas las parcelas de viñedos existentes en la provincia. Por ello, se ha recurrido a SIOSE y al Corine Land Cover (CLC). De estas dos posibilidades, la que mayor número de parcelas de viñedo detecta es la del SIOSE mientras que la de CLC clasifica varias parcelas del SIOSE en una única. Por ello, se ha decidido utilizar la capa de SIOSE. Sin embargo, se es consciente de que la capa de viñedos obtenida del SIOSE no es 100% reflejo de la realidad ya que se sabe de la existencia de algún otro viñedo que probablemente, a esa escala sea imperceptible.

En cuanto al visualizador se refiere, el problema principal ha sido la dificultad a la hora de visualizar las capas raster. A pesar de seguir exactamente el mismo proceso que con las capas restantes, al tener una estructura distinta ha sido complicado lograr una visualización adecuada (ver Figura 39). Sobre todo, la creación de diferentes clases y el añadir los rangos de colores ya que ha requerido el diseño manual de los intervalos de representación y su composición de color RGB.



Figura 39: Error en la visualización de los valores NoData en los *raster*.

8. CONCLUSIONES Y TRABAJO FUTURO

La modelización del crecimiento de enfermedades supone un avance para la agricultura en la actualidad ya que facilita la labor de los agricultores ya sea por evitar un excesivo uso de fitosanitarios y en consecuencia, un desmedido desembolso de dinero así como facilitar la localización de las parcelas infectadas.

La modelización de estas enfermedades tiene como objetivo el desarrollo final de un sistema de alerta agrícola. Se pretende que este sistema, en un futuro emita un comunicado de aviso (vía e-mail) a

aquellos agricultores que tengan sus parcelas dentro de la zona de riesgo, para que éstas sean tratadas, optimizando así la aplicación de los tratamientos fitosanitarios.

El sistema necesitaría una entrada de datos diarios y la ejecución automática del modelo (a través de batch-scripts) en busca del crecimiento de la enfermedad. Con este crecimiento se crearían mapas de riesgo que se irían actualizando día a día. En caso de que una parcela supere el umbral de riesgo especificado, se emitiría una señal de aviso a los propietarios de las parcelas afectadas.

Estos modelos pueden ser ajustados a escala local utilizando por ejemplo, datos históricos de las bodegas. Es decir, si se consiguen registrar los datos necesarios para los modelos así como la ausencia u/o presencia de enfermedad y el momento de los tratamientos durante un ciclo entero, se podría ajustar el modelo consiguiendo un 90-100% de fiabilidad en el mismo.

Además, para ser útil a escala local sería imprescindible la instalación de varias estaciones meteorológicas en la plantación. De hecho, los viticultores cada vez están solicitando más este tipo de instalaciones debido al interés por registrar sus propios datos. Incluso se podría utilizar el modelo para, sabiendo los datos mencionados anteriormente, establecer la ubicación idónea para cada estación. En cualquier caso el modelo está pensado y diseñado para adaptarse a cualquier escala de trabajo.

Estos modelos, unidos a la capacidad integra de los SIG para el almacenamiento de gran cantidad de datos adquiridos en campo y de sensores remotos así como a la capacidad de relacionar información de diferentes fuentes, aumentar el conocimiento sobre el comportamiento del cultivo y ver la evolución temporal de diferentes variables de interés, supone un gran avance en la agricultura.

Todas las líneas de investigación actuales están dirigidas a gestionar el viñedo de manera “externa” promoviendo la agricultura de precisión, evitando costes innecesarios. Por tanto, la implementación de este tipo de sistemas en el ámbito rural va a incidir directamente en la sostenibilidad de las actividades agrícolas y el desarrollo socioeconómico de la zona ya que se va a conseguir una mejora en las prácticas agrícolas que favorecen la calidad final del producto, el ahorro de costes y el menor uso de recursos naturales.

BIBLIOGRAFÍA:

- Arno, J.; Martínez-Casasnovas, JA.; Ribes-Dasi, M.; Rosell, JR. (2009): “*Precision viticulture. Research topics, challenges and opportunities in site-specific vineyard management. Spanish Journal of Agricultural Research*”, 7 (4): 779-90.
- Acevedo, A. (2005): “*Aplicación de técnicas SIG y teledetección para el seguimiento del cultivo en viña*”. Escuela Universitaria Politécnica La Almunia de Doña Godina, Zaragoza. Proyecto fin de carrera N° H.204.00, pp.107.
- Barrios, G.; Reyes, J. (2004): “*Modelización del mildiu en la vid*”. Artículo publicado en la revista Phytoma, núm.164, diciembre 2004.
- Casterad Seral, M.A.; López Lozano, R.; Acevedo Gómez, A. (2006): “*Uso de técnicas SIG y teledetección en el seguimiento del cultivo de viña*”.
- Correa, J.C.; González, N. (2002): “*Gráficos estadísticos con R*”. Posgrado en estadística, Universidad Nacional, Medellín.
- Diputación foral de Vizcaya. Departamento de Agricultura (2005): “*Programa de eficacia de tratamientos fitosanitarios en VID*”, pp.33.
- González, V. (2014): “*Mildiu, Plasmopara vitícola*”. Artículo publicado en www.elcatavinos.com.
- Guisande, C.; Vaamonde, A. (2012): “*Gráficos estadísticos y mapas con R*”, 6-116pp
- Instituto Madrileño de Investigación y Desarrollo Rural, Agrario y Alimentario (IMIDRA) (2012): “*Boletín informativo de mayo: Enfermedades de la Vid*”, *Boletín nº1 de mayo*, Madrid.
- López, R.; Rguez de Acuña, F.; Trujillo, E.; Perera, S. (2009): “*Validación del modelo predictivo de Mildiu Goidanich en viña en cinco comarcas vitícolas de Tenerife.*” Campaña 2009.
- Perez de Obancos, J.J. (2012): “*Cómo combatir el Oidio en la vid*”. Navarra agraria, pp.26.
- Rodríguez Perez, J.R.; Álvarez Taboada, M.F.; Cazón Seco, A.R. (2003): “*Aplicación de los sistemas de información geográfica para la gestión vitícola: Aplicación en la denominación de Origen Bierzo*” (León, España).
- Rodríguez-Silveria, R. (2013): “*Representación espacial y mapas*”. Colección Cuadernos metodológicos, num.50. Centro de Investigaciones Sociológicas (CIS)
- Ruiz, D.; Otegi, A. (2014): “*vintiOS, viticultura de precisión*” VII jornadas de SIG libre, 2014, Girona
- Urretavizcaya, I.; Santesteban, LG.; Tisseyre, B.; Guillaume, S.; Miranda, C.; Royo, JB. (2014): “*Oenological significance of vineyard management zones delineated using early grape sampling*”. *Precision Agriculture*, 15:111-29.
- Villalobos, P.; Manríquez, R.; Acevedo, C.; Ortega, S. (2009): “*Estudio del alcance de la agricultura de precisión en Chile: estado del arte, ámbito de aplicación y perspectivas*”. Departamento de economía agraria en colaboración con el centro de investigación y transferencia en riego y agroclimatología (CITRA), Universidad de Talca, Chile.