

# UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

ESCOLA TÈCNICA SUPERIOR D'ENGINYERIA  
AGRONÒMICA I DEL MEDI NATURAL



## **Seguimiento epidemiológico de *Puccinia porri* en una parcela de ajo en la campaña de cultivo 2017**

TRABAJO FIN DE MÁSTER EN INGENIERÍA AGRONÓMICA

ALUMNO/A:

JOSÉ CARLOS GONZÁLEZ PLANELLS

TUTOR/A:

JOSEP ARMENGOL FORTÍ

CO-TUTOR/CO-TUTORA:

MÓNICA BERBEGAL MARTÍNEZ

*Curso Académico: 2017/2018*

VALENCIA, 29/01/2018



## **Seguimiento epidemiológico de *Puccinia porri* en una parcela de ajo en la campaña de cultivo 2017.**

### **RESUMEN:**

La roya del ajo (*Puccinia porri*), es la enfermedad de las hojas que más daño provoca en este cultivo. El hongo sobrevive como uredosporas o teliosporas. Las uredosporas son la forma más importante de supervivencia de las royas y pueden ser arrastradas por el viento a grandes distancias. La información sobre la epidemiología de este hongo en España es escasa y no se conocen las condiciones ambientales óptimas para su diseminación y la infección de las plantas. En este trabajo se ha realizado el seguimiento epidemiológico de la roya del ajo en una parcela comercial con riego por aspersión de pívot giratorio localizada en La Roda (Albacete) durante la campaña de cultivo 2017. En esta parcela se instaló un capturador volumétrico de esporas modelo Burkard, que estuvo funcionando las 24 horas del día durante todo el período de estudio, con el objetivo de relacionar las capturas de esporas en el aire con las condiciones ambientales. Se capturaron uredosporas de *P. porri* en el aire durante todo el período de estudio desde el 10 de marzo de 2017 hasta el 19 de junio de 2017. Además, durante el período de estudio, se detectaron dos momentos de concentración máxima de uredosporas de *P. porri* en el aire en los meses de abril y mayo, correspondiendo con dos ciclos de infección potencial, que coincidieron con períodos de temperaturas medias cercanas al óptimo para la esporulación del hongo (15-22 °C) y un mínimo de alrededor de 6 horas de agua libre. Sin embargo, no se produjo un tercer ciclo de infección cuando las temperaturas medias fueron superiores a las señaladas anteriormente. Finalmente, en el seguimiento de las uredosporas de *P. porri* por hora y mes, en función de las condiciones ambientales, se observó que en general, los valores máximos de captura de uredosporas correspondían con las horas del día donde menor es el número de días en el mes con presencia de agua libre.

Palabras clave: Ajo, epidemiología, *Puccinia porri*, roya

Alumno/a: José Carlos González Planells

Prof.D. /Prof.Dña.: Josep Armengol Fortí

Prof.D. /Prof.Dña: Mónica Berbegal Martínez

Localidad: Valencia, Enero de 2018

# **Epidemiological monitoring of *Puccinia porri* in a garlic cultivation plot during the 2017 growing season**

## **ABSTRACT:**

The garlic rust (*Puccinia porri*), is the disease of the leaves that causes more damage in this crop. The fungus survives as uredospores or teliospores. Uredospores are the most important form of rust survival and can be carried away by wind at great distances. Information on the epidemiology of this fungus in Spain is scarce and the optimal environmental conditions for its spread and infection of the plants are not known. In this work, the epidemiological monitoring of garlic rust was carried out in a commercial plot with sprinkler irrigation located in La Roda (Albacete) during the 2017 growing season. In this plot, a Burkard spore volumetric collector was installed. It was working 24 hours a day during the entire study period, with the aim of relating the spore capture in the air to environmental conditions. Uredospores of *P. porri* were captured in the air during the entire study period from March 10, 2017 to June 19, 2017. In addition, during the study period, two moments of maximum concentration of uredospores of *P. porri* in the air were detected in the months of April and May, corresponding with two cycles of potential infection, which coincided with periods of average temperatures close to optimum for the sporulation of the fungus (15-22 °C) and a minimum of about 6 hours of free water. However, there was no a third cycle of infection when average temperatures were higher than those indicated above. Finally, in the monitoring of the uredospores of *P. porri* by hour and month depending on the environmental conditions, it was observed that in general, the maximum uredospore capture values corresponded to the hours of the day where the number of days in the month with the presence of free water was lower.

Keywords: Epidemiology, garlic, *Puccinia porri*, rust

Student: José Carlos González Planells

Prof.M. /Prof.Ms.: Josep Armengol Fortí

Prof.M. /Prof.Ms: Mónica Berbegal Martínez

Location: Valencia, January of 2017

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto es el resultado del esfuerzo conjunto de todos los que formamos parte del grupo de trabajo. Por ello, agradezco a Josep Armengol toda su dedicación y paciencia, así como todos los conocimientos que me ha aportado para aprender y mejorar, tanto en el ámbito académico como personal. Por otro lado, quiero agradecer a Mónica Berbegal por toda la ayuda y el apoyo que me ha dado en el presente trabajo, así como a toda la Unidad de Patología Vegetal del Departamento de Ecosistemas Agroforestales de la Universidad Politécnica de Valencia.

A mis padres y familia quienes a lo largo de toda mi vida han apoyado y motivado mi formación académica, creyendo en mí en todo momento. También agradecer a Natalia toda su ayuda y apoyo, los cuales me ayudaron en más de una ocasión a continuar. Y por último a mi segunda familia nacida en la Universidad, gracias por todos estos años increíbles a vuestro lado y por hacer de la universidad un segundo hogar.

“El universo es  
cambio, nuestra vida es lo que nuestros pensamientos hacen de ella”

I	<b>INTRODUCCIÓN</b>	1
1.1	EL CULTIVO DEL AJO	1
1.1.1	ORIGEN, ENCUADRE TAXONÓMICO Y DESCRIPCIÓN BOTÁNICA	1
1.1.2	FISIOLOGÍA DEL CRECIMIENTO	2
1.1.2.1	ROTURA DE LA LATENCIA	2
1.1.2.2	INFLUENCIA DEL FRIO EN EL DESARROLLO DE LA PLANTA DEL AJO	3
1.1.2.3	BULBERIZACIÓN	3
1.1.2.4	EMISIONES DE ESCAPOS FLORALES	4
1.2	MATERIAL VEGETAL	4
1.3	MULTIPLICACIÓN, PREPARACIÓN DEL TERRENO Y PLANTACIÓN	6
1.3.1	MULTIPLICACIÓN	6
1.3.2	PREPARACIÓN DEL TERRENO	6
1.3.3	PLANTACIÓN	7
1.4	EXIGENCIA EN CLIMA Y SUELO	7
1.5	FERTILIZACIÓN	8
1.6	RECOLECCIÓN Y CONSERVACIÓN	8
1.6.1	RECOLECCIÓN	8
1.6.2	CONSERVACIÓN	9
1.7	ECONOMÍA DEL AJO	9

1.8	ENFERMEDADES FÚNGICAS DEL AJO	10
1.9	ROYA DE LOS <i>ALLIUM</i>	11
1.9.1	ROYA DEL AJO ( <i>PUCCINIA PORRI</i> )	12
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>15</b>
2.1	OBJETIVOS	15
<b>3</b>	<b>MATERIAL Y MÉTODOS</b>	<b>16</b>
3.1	PARCELA EXPERIMENTALE Y PERÍODO DE ESTUDIO	16
3.2	CONCENTRACIÓN DE UREDOSPORAS	16
3.3	DATOS METEOROLÓGICOS	19
<b>4</b>	<b>RESULTADOS Y DISCUSIÓN</b>	<b>20</b>
4.1	SEGUIMIENTO DE LAS UREDOSPORAS DE <i>P. PORRI</i> A LO LARGO DE TODO EL PERÍODO DE ESTUDIO Y SU RELACIÓN CON LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS	20
4.2	SEGUIMIENTO DE LAS UREDOSPORAS DE <i>P. PORRI</i> POR HORA Y MES EN FUNCIÓN DE LAS CONDICIONES CLIMÁTICAS	28
<b>5</b>	<b>CONCLUSIONES</b>	<b>35</b>
5.1	CONCLUSIONES	35
<b>6</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	<b>36</b>
6.1	BIBLIOGRAFÍA	36

<b>Figura 1</b>	Capturador de esporas Burkard (izquierda) y estación meteorológica Watchdog (derecha).	19
<b>Figura 2</b>	Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m <sup>3</sup> , junto con los valores de temperatura media diaria expresados en °C.	25
<b>Figura 3</b>	Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m <sup>3</sup> , junto con los valores del número horas de agua libre.	25
<b>Figura 4</b>	Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m <sup>3</sup> , junto con los valores diarios de precipitación y/o riego por aspersión expresados en mm.	26
<b>Figura 5</b>	Porcentaje acumulado de uredosporas de <i>P. porri</i> capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores medios diarios de temperatura expresados en °C.	26
<b>Figura 6</b>	Porcentaje acumulado de uredosporas de <i>P. porri</i> capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores del número horas de agua libre.	27
<b>Figura 7</b>	Porcentaje acumulado de uredosporas de <i>P. porri</i> capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores diarios de precipitación expresados en mm.	27
<b>Figura 8</b>	Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de marzo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.	31
<b>Figura 9</b>	Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de abril, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.	32
<b>Figura 10</b>	Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de mayo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.	33
<b>Figura 11</b>	Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de marzo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.	34

## **I. INTRODUCCIÓN**

# **I. INTRODUCCIÓN:**

## **1.1. El cultivo del ajo.**

### **1.1.1. Origen, encuadre taxonómico y descripción botánica.**

El origen del cultivo del ajo se ubica principalmente en el centro y oeste de Asia. Su clasificación botánica es (Catalán *et al.*,2013):

**Clase:** Monocotiledónea.

**Orden:** Liliforme.

**Familia:** Amaryllidaceae (Liliaceas).

**Género:** *Allium*.

**Especie:** *Sativum*.

**Nombre científico:** *Allium sativum* L.

**Nombre común:** Ajo.

El ajo, es una planta bianual, vivaz y resistente al frío. Posee raíces numerosas y blancas, fasciculadas y poco profundas. En cuanto al tallo, éste está representado por una masa aplastada, denominada disco, tratándose de una masa cónica, la cual, forma un callo duro a medida que va alcanzando la madurez (García, 1998; Maroto y Baixauli, 2017).

En cuanto al bulbo, éste está formado por una serie de unidades elementales o elementos individuales denominados dientes y recubiertos externamente por hojas exteriores estériles. Cada unidad elemental, es el resultado de la coalescencia de dos hojas, una protectora que se remata externamente en una vaina hueca y otra que es una vaina engrosada en la que se acumulan las reservas de la planta. En función del cultivo, una cabeza de ajo puede englobar entre 8 hasta 14 dientes (Carrera *et al.*, 2005).

Las hojas del ajo son ligeramente acanaladas, casi macizas, siendo sus partes inferiores las que constituyen el bulbo (Maroto, 2002)

La yema terminal del disco, dependiendo de las variedades, puede generar el escapo o tallo floral carnoso, en cuyo ápice se localiza la inflorescencia en forma de umbela (García, 1998). El escapo puede medir de 40 a más de 100 cm de largo y puede llegar a alcanzar de 10 a 12 mm de diámetro en su zona central, siendo más grueso en la zona basal y más fino en la apical (Catalán *et al.*, 2013).

La subida a flor puede producirse al segundo año del cultivo. La inflorescencia es una umbela, con flores monoclamídeas poco numerosas, con seis tépalos, seis estambres y un ovario plurilocular, del que surge un estilo filiforme rematado por un estigma. Es una especie que raramente florece en climas templados (Maroto y Baixauli, 2017).

En cuanto al fruto, éste es una cápsula que contiene 1 o 2 semillas por compartimento, pero difícilmente forma semillas. Las flores rara vez dan lugar a frutos y a verdaderas semillas viables, ya que, en términos generales, el genotipo al que pertenecen la mayoría de los ajos cultivados son estériles (Catalán *et al.*, 2013; Maroto y Baixauli, 2017).

### **1.1.2. Fisiología del crecimiento.**

#### **1.1.2.1. Rotura de la latencia.**

La germinación del bulbo del ajo, no se da con rapidez, ya que sufre un período de latencia variable en función de la variedad y la temperatura de conservación. La latencia puede romperse, al someterse los bulbos a temperaturas cercanas a los 7 °C. Temperaturas mayores de 18 °C o temperaturas cercanas a 0 °C, prolongan el estado de latencia (Maroto, 2002; Maroto y Baixauli, 2017).

Una vez que la latencia se ha roto y el diente ha iniciado la brotación, sólo es posible evitar la irrupción del germen con tratamientos térmicos a baja temperatura (-3 °C a -5 °C). No obstante, esta paralización sólo es temporal, debido a que una vez recuperadas las condiciones ambientales normales la brotación sigue su curso (García, 1998).

### **1.1.2.2. Influencia del frío en el desarrollo de la planta del ajo.**

La planta de ajo necesita soportar una cierta cantidad de horas frío, para diferenciar las yemas axilares en dientes y formar el bulbo, bien en el terreno o bien mediante otras técnicas. En general, se considera que el intervalo entre 5 y 10 °C es el óptimo para generar plantas capaces de desarrollar bulbos. En cuanto al tiempo necesario para que el proceso tenga lugar, dependerá fundamentalmente de la variedad, pudiendo durar incluso entre uno y varios meses (García, 1998).

Técnicas como la aplicación de frío de forma artificial, consiguen acelerar la brotación y reducir el ciclo de cultivo, obteniéndose brotaciones uniformes, pero observándose que a temperaturas inferiores a los 5-7 °C, la planta no desarrolla bulbos normales, dándose una calidad comercial mínima (García, 1998).

Una vez se ha producido la brotación, el ajo es capaz de resistir temperaturas inferiores a -10 °C, no afectando éstas decisivamente al cultivo. La sintomatología causada por heladas repetidas se manifiesta en un decaimiento y amarillamiento general, recuperándose una vez que se normalizan las temperaturas (García, 1998).

Por otra parte, para conseguir un crecimiento vigoroso de las plantas de ajo es necesario que las temperaturas nocturnas sean inferiores a 16 °C. El cero vegetativo del ajo está en torno a los 0 °C y la aparición de cada nueva hoja requiere una integral térmica aproximada de 110 grados /día (Maroto y Baixauli, 2017).

### **1.1.2.3. Bulberización.**

El término de bulberización, hace referencia al proceso de activación de la planta de ajo para iniciar la génesis del bulbo. El proceso lleva consigo la hipertrofia de las yemas axilares de las hojas y la degeneración de las vainas foliares de la base para formar las túnicas de protección (García, 1998).

En la formación de los bulbos, se requiere de un fotoperiodo largo y un régimen térmico medio del orden de 18-20 °C. En condiciones de día corto

(menos de 11 horas de luz) y temperaturas bajas (10-15 °C), las plantas permanecen verdes y no forman bulbos (Maroto, 2002). Es por ello, que la duración mínima del fotoperiodo admitida es de 11 horas de luz, considerando que la duración mínima del día debe ser de 15 horas, aunque existen variedades con exigencias de fotoperiodo inferiores a 12 horas (García, 1998).

#### **1.1.2.4. Emisiones de escapos florales.**

El escapo floral, se genera a partir de la yema terminal del disco basal. Esta estructura no aparece en todas las variedades cultivadas de ajos, sino que en algunas aborta o es sustituido por una hoja transformada (cilíndrica), que enmascara un escapo muy corto coronado por un grupo de dientes más pequeños, por lo que en apariencia el bulbo es doble.

Al tratarse de una planta bianual, en condiciones de su hábitat natural, florece al segundo año aprovechando las reservas nutritivas acumuladas en el bulbo. En nuestras zonas de cultivo, y fundamentalmente con ecotipos autóctonos, la emisión de escapos se realiza en el primer año. La combinación de días largos con temperaturas inferiores a 18 °C estimula la aparición de escapos florales. Por otro lado, la aplicación de bajas temperaturas durante el almacenamiento o una exposición prolongada a 7 °C durante la fase de crecimiento vegetativo máximo, provocan la activación de las yemas axilares de las hojas y emita escapos florales durante el cultivo (García, 1998).

## **1.2. Material vegetal.**

Existen principalmente dos grupos varietales de ajos (Maroto y Baixauli, 2017):

- ❖ *Ajos blancos*: Rústicos, de buena productividad y conservación. Suelen consumirse secos.
- ❖ *Ajos rosados*: Poseen las túnicas envolventes de color rojizo. No se conservan muy bien, por lo que se suelen consumir más precozmente que los anteriores.

Entre los principales cultivares tradicionales en España pueden citarse (Maroto y Baixauli, 2017):

- *Ajo blanco común*, de dientes blancos y cobertura plateada.
- *Fino de Chinchón*, ajo blanco.
- *Pardo Rocambola o Murciano*, de carne amarillenta y picante.
- *Amarillo de Salamanca*.
- *Ajo Canario*, de gran tamaño.
- *Rojo de Provenza*, parecido al ajo *Murciano*.
- *Ajo Redondo del Lemosín*. Puede originar cabezas muy grandes.
- *Rosa temprano*, variedad más precoz que el ajo común.
- *Ajo Morado de las Pedroñeras*.
- *Morado de Banyoles*, precoz y de cabezas grandes.

Hay cultivares que adaptan mejor su ciclo a plantaciones otoñales, que suelen formar bulbos gruesos, con un número escaso de dientes y que presentan dificultades para su conservación, mientras que hay otros llamados alternativos, de plantación primaveral, que suelen formar bulbos más pequeños, con un mayor número de dientes y con mejores aptitudes para la conservación (Maroto y Baixauli, 2017).

Entre los cultivares mejorados sanitariamente, cultivados en España, que suelen dar rendimientos superiores a los obtenidos con los cultivares tradicionales pueden citarse: ‘Cardos’, ‘Cristo’, ‘Sabadrome’, ‘Americano’, ‘Vigor Supremo’ (de bulbo blanco); ‘Mulvico’, ‘Moraun’, ‘Imam’, etc (Maroto y Baixauli, 2017).

Hay, por tanto, cultivos que adaptan mejor su ciclo a plantaciones otoñales, que suelen formar bulbos gruesos, con un número escaso de dientes y que presentan dificultades para su conservación, mientras que hay cultivos llamados alternativos, de plantación primaveral, que suelen formar bulbos más pequeños, con un mayor número de dientes y con mejores aptitudes para su conservación (Maroto, 2002).

### **1.3. Multiplicación, preparación del terreno y plantación.**

#### **1.3.1. Multiplicación.**

En climas fríos, la multiplicación suele hacerse en el mes de marzo. En Andalucía suele plantarse en octubre, mientras que en Valencia se planta entre diciembre y enero. No obstante, la fecha de plantación no influye únicamente la zona de cultivo, sino que también se ve influenciada por la variedad, tal y como se ha mostrado anteriormente.

En cuanto a su multiplicación, se realiza a partir de los dientes, siendo por tanto una multiplicación clonal (Maroto, 2002).

#### **1.3.2. Preparación del terreno.**

La planta del ajo enraíza, casi completamente, por encima de los 30 cm. por lo que no requiere de una preparación especial para el lecho de plantación. Las características del suelo definirán el tipo de labor profunda. El uso de subsoladores está muy extendido en terrenos donde existe abundancia de caliza pulverizada provocando una compactación en el suelo (García, 1998).

Una vez realizada la labor de profundidad, es necesario refinar el terreno, esta labor sirve de forma complementaria para enterrar el abonado de fondo e incorporar los productos fitosanitarios que se consideren oportunos, además de herbicidas de pre-emergencia (García, 1998).

Por último, se realiza un pase de rulo ligero para allanar la superficie. No obstante, en cultivos en caballones, las labores de marcado se sustituyen por el acaballonado utilizando cultivadores para este fin (García, 1998).

Una vez preparado el terreno, el siguiente paso previo a la plantación, consiste en el desgranado del ajo de forma mecánica, mediante rodillos de compresión a contragiro. La alimentación puede ser por caída libre, y en este caso, los rodillos se colocan por pares en un bastidor vertical. La distancia entre ellos va disminuyendo de forma progresiva. Las principales desventajas del desgranado mecánico son: dalos mecánicos en las túnicas de los dientes y la falta de selección sanitaria. Mientras que, como ventaja principal, es su coste mínimo (García, 1998).

### **1.3.3. Plantación.**

La plantación suele realizarse en surcos equidistantes 0,40-0,60 m, sobre los cuales se colocan dos líneas de ajos cada 10-15 cm. En términos generales, puede decirse que en la mayor parte de las regiones españolas el marco de plantación medio es de 50 x 15 cm (Maroto y Baixauli, 2017).

Encontramos tres tipos de plantación que pueden ser utilizadas en el cultivo el ajo (García, 1998):

- ❖ Plantación manual del ajo.
- ❖ Plantación mixta del ajo.
- ❖ Plantación mecánica del ajo.

En el caso de realizar la plantación del tipo mecánico, los dientes de ajo deben estar muy bien calibrados, para conseguir una adecuada uniformidad. Por otro lado, dependiendo de la disposición de los dientes, se ven afectado los rendimientos (Maroto y Baixauli, 2017).

### **1.4. Exigencia en clima y suelo.**

Como se ha mencionado anteriormente, el ajo es una planta rústica, por tanto, soporta el frío, pero se desarrolla mejor en climas templados, adaptándose adecuadamente a la climatología mediterránea (Carrera et al., 2005). Crece vigorosamente con temperaturas comprendidas entre 8 y 20 °C, debiendo ser las temperaturas nocturnas inferiores a 16 °C (Maroto y Baixauli, 2017).

Durante la fase de reposo vegetativo, la planta del ajo puede llegar a soportar incluso temperaturas de hasta – 10 °C, manifestando sólo un leve decaimiento. Sin embargo, una vez movilizada la planta, esta se hiela a partir de los – 5 °C (García, 1998).

En cuanto a suelos, se adapta bien a cualquier tipo de terreno, siempre y cuando no sea ni muy húmedo ni muy pesado. Tolera moderadamente la acidez, considerándose permisiva con la salinidad, se ha visto que existen distintos grados de susceptibilidad varietal. Se desarrolla mejor en suelos medios o ligeros, sin exceso en contenido de caliza o excesivamente arenosos o arcillosos (Maroto y Baixauli, 2017; Carrera *et al.*, 2005).

## **1.5. Fertilización.**

Se señala que para una producción de 10-14 t/ha las extracciones de cultivo son las siguientes: 111-182 kg de N, 43-174 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> y 80-415 kg de K<sub>2</sub>O, junto con 66 kg de calcio y 15 kg de azufre. Para cultivares de otoño, con rendimientos de 6-7 Tn/ha, se señalan las siguientes extracciones por hectárea: 150 kg N, 35 kg de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, 150 kg de K<sub>2</sub>O, 120 kg de CaO, 15 kg de MgO y 120 kg de SO<sub>3</sub> (Maroto y Baixauli, 2017).

El abonado nitrogenado debe ser moderado, pues de lo contrario induce un desarrollo excesivo de las hojas en detrimento de los bulbos. El aporte en cobertera de nitrógeno debe ser precoz. El resto de los fertilizantes se aporta de fondo junto con la labor profunda (Maroto y Baixauli, 2017).

Para rendimientos de 9-10 t/ha en Castilla-La Mancha con el cultivar 'Morado de las Pedroñeras' se recomienda una aportación de 100 kg de N, de la que al menos el 50 % debe aportarse en cobertera. No es conveniente añadir estiércol de forma inmediata antes del cultivo. Por otro lado, puede resultar conveniente la adición de azufre en el abonado de fondo. El ajo puede resultar sensible a las carencias de cinc o boro (Maroto y Baixauli, 2017).

## **1.6. Recolección y conservación.**

### **1.6.1. Recolección.**

La determinación de la madurez del bulbo del ajo se realiza en base al estado de las hojas terminales de la planta, considerándose que cuando la vegetación se seca en más de un 90 %, el bulbo está presto para ser recogido. La fase de maduración finaliza, cuando las hojas terminales comienzan a secarse y pierden el porte erecto. Otro índice de madurez considerado es cuando los dientes comienzan a separarse entre sí en el interior del bulbo (García, 1998).

En cuanto a la recolección, ésta suele hacerse a mediados de junio cuando el ajo es plantado en otoño y para aquellas plantaciones más tardías en julio. Los rendimientos que se obtienen pueden variar entre 6-12 t/ha de ajos secos. En Castilla-La Mancha se considera una producción normal de 10-12 t/ha de ajos en rama, equivalente a 5-6 t/ha de cabezas. En climatologías en las que los ajos no pueden recolectarse suficientemente secos, bien se deja que los

bulbos se sequen al sol unos días, bien se recurre al secado forzado de los mismos (Maroto y Baixauli, 2017).

Por último, la recolección de los bulbos del ajo se realiza, en su mayor parte con sistemas mixtos, apoyándose en la recogida manual con sistemas de corte y extracción mecánicos (García, 1998).

### **1.6.2. Conservación.**

Para la conservación, es un requisito imprescindible que el ajo esté lo suficientemente seco. Durante la conservación, pueden resistir sin problemas temperaturas inferiores a 10 °C bajo cero. El ajo seco se conserva de 0 a -1,5 °C y 70-75 % de humedad, pudiendo durar su almacenamiento en estas condiciones entre 6-8 meses. Por otro lado, en los bulbos destinados a la plantación, las temperaturas óptimas de conservación suelen oscilar entre 15-20 °C en los meses previos a su plantación (Maroto y Baixauli, 2017).

### **1.7. Economía del ajo.**

La producción mundial de ajo asciende a una cantidad de 24,939 millones de toneladas, correspondiéndose a: 88,3 % a Asia, 4,8 % Europa, 1 % América, 2,7 % África y 0 % Oceanía. A nivel mundial, España se encuentra entre los 10 países con mayor producción de ajo, situándose en el puesto noveno en dicho ranking. Como principal productor a nivel mundial del cultivo del ajo, se sitúa China con una participación del 82,26 % de la producción total (FAOSTAT, 2014).

Dentro en la Unión Europea, España se sitúa como la principal productora de ajo, como segunda mayor productora se encuentra Rumanía seguida de Italia y Francia (FAOSTAT, 2014 y MAPAMA, 2016).

La producción de ajo en España asciende a una cantidad de 209.795 t, presentando una superficie de cultivo de 24.317 ha (MAPAMA, 2016).

Por otro lado, el 12 % de la superficie cultivada de ajo corresponde a secano, siendo equivalente a 3.012 ha, mientras que el 88 % de la superficie restante, equivaldría a cultivo en regadío, siendo equivalente a un total de 21.305 ha. En cuanto a los rendimientos obtenidos, hablamos de 2.508 kg/ha para los

cultivos en secano y unas 9.492 kg/ha para los cultivos de ajo establecidos en regadío (MAPAMA, 2016).

En cuanto a las principales comunidades productoras de ajo, Castilla-La Mancha se situaría como la principal zona productora con una superficie de 15.836 ha, representando el 65 % de la superficie total y con una producción de 112.343 t. Seguida de Castilla-La Mancha, encontraríamos Andalucía, con una superficie de cultivo de 4.930 ha y una producción equivalente a 56.887 t (MAPAMA, 2016).

Dentro de Castilla-La Mancha, las principales provincias productoras son: Albacete con una superficie de 6.842 ha y una producción de 67.052 t, seguida de Ciudad Real con una superficie de 3.630 ha y una producción de 25.410 t y por último Cuenca con una superficie de 5.100 ha y una producción de 17.000 t. En cuanto a Andalucía, Córdoba se situaría como la principal provincia productora, representando una superficie de 2072 ha de cultivo y una producción equivalente a 25.613 t (MAPAMA, 2016).

### **1.8. Enfermedades fúngicas del ajo.**

Las enfermedades fúngicas con mayor incidencia en el cultivo del ajo son:

- ❖ ***Sclerotium cepivorum* Berk:** Se trata de uno de los principales hongos que afecta género *Allium*, siendo capaz de destruir las raíces, los discos de la base de las vainas foliares y los bulbos en proceso de crecimiento. Los daños aparecen en tres estadios: Inmediatamente después de la plantación, donde se aprecia amarillamiento y reblandecimiento de las primeras hojas; entre el principio de la bulbificación y la cosecha, las hojas se tornan lacias y se secan prematuramente. En el interior del bulbo, se observa podredumbre en tejidos de las vainas foliarles y en los dientes; y en conservación (Messiaen *et al.*, 1995).

- ❖ ***Helminthosporium allii* Camp:** o Negroo de los bulbos de ajo, provoca el ennegrecimiento de las túnicas externas a partir de la base. Este ennegrecimiento alcanza gran importancia y puede ser difícil de combatir si se tarda demasiado (Messiaen et al., 1995).
- ❖ ***Fusarium oxysporum:*** Los daños provocados son, el amarilleo progresivo de las hojas, comenzando por el vértice, oscurecimiento de los tejidos del disco, oscurecimiento de las raíces y podredumbre en la base del bulbo (Messiaen et al., 1995).
- ❖ **Otros:***Botrytis allii* Munn, *Penicillium* sp, *Aspergillus* sp, etc., que pueden atacar no solo en fase de cultivo, sino también durante el almacenamiento.

### 1.9. Roya de los *Allium*.

Al ser la roya del ajo el objeto de estudio del presente trabajo, se realiza la descripción de dicha enfermedad en un apartado aparte.

En general, las royas varían entre cultivos y variedades (Howard y Krishna, 1995), presentando tres características comunes (Llácer *et al.*, 2000):

1. En su ciclo de vida pasan por hasta cinco estados con esporas morfológicamente distintas: espermacios, eciosporas, uredosporas, teliosporas y basidiosporas.
2. Muchas especies (heteroicas) necesitan dos grupos de plantas distintas para completar su ciclo de vida, aunque otras (autoicas) lo hacen sobre un solo grupo de plantas.
3. La gama de hospedantes de cada especie suele ser reducida y selectiva.

Las especies de roya se distinguen sobre todo en base a las uredosporas y en la gama de hospedantes. Por otro lado, no todas las royas presentan el ciclo completo, la fase en la que se producen las teliosporas es la única esencial para la reproducción sexual. Es por ello, que reciben el nombre de royas macrocíclicas aquellas que presentan los cinco tipos de esporas y royas microcíclicas las que sólo presentan teliosporas y basidiosporas (Llácer *et al.*, 2000).

En climas suaves, muchas royas pueden perpetuarse repitiendo ciclos de uredosporas sobre los cultivos, sobre plantas adventicias o sobre hospedantes alternativos. Las royas pueden sobrevivir la estación desfavorable en forma de esporas de resistencia (teliosporas) o en forma de micelio. Las eciosporas y uredosporas pueden ser transportadas a grandes distancias, principalmente por el viento, aunque también pueden ser transportadas por otros agentes (Llácer *et al.*, 2000).

En cuanto a su sintomatología y diagnóstico, las royas atacan a la parte aérea de las plantas, principalmente a hojas y tallos, en ocasiones a los frutos y órganos florales. Los síntomas son caracterizados por lesiones, generalmente locales, en la que se rompe la epidermis y aparecen masas pulverulentas de esporas. Estas lesiones suelen oscurecerse al final de su ciclo debido a la producción de teliosporas. La etapa ecídica, puede ocasionar otros síntomas, como agallas, hinchamiento, o incluso escobas de brujas (Llácer *et al.*, 2000).

Las royas debilitan y matan a las plantas, pero con mayor frecuencia hacen que disminuya el crecimiento, que se incremente la tasa respiratoria, y que disminuya la translocación de fotosintatos (Llácer *et al.*, 2000).

#### **1.9.1. Ruya del ajo (*Puccinia porri*).**

La ruya del ajo es la enfermedad de las hojas que más daño provoca en este cultivo. Se identifica por las costras en forma circular-ovalada de 1 a 3 mm de largo y color anaranjado que aparecen sobre la superficie de las hojas. Cuando la infección es alta, la hoja amarillea y casi toda la superficie se cubre de un polvillo anaranjado. En fases avanzadas, las costras anaranjadas adquieren un color negruzco o marrón oscuro, siendo más patente en hojas secas (Tascón y Perera, 2013).

Las uredosporas de *P. porri* aparecen de forma abundante sobre las hojas, haciendo estallar la epidermis. Las teleosporas son muy abundantes al final de la vegetación en el ajo (Messiaen *et al.*, 1995).

La ruya del ajo causa estragos principalmente durante las primaveras mediterráneas, generalmente a lo largo de los dos meses que preceden a la

cosecha. Las pérdidas de rendimiento pueden ser evaluadas en un 20 % para un ataque caracterizado (Messiaen *et al.*, 1995).

El óptimo de desarrollo de *P. porri* se sitúa alrededor de los 18 °C, con una incubación de unos veinte días. En condiciones mediterráneas puede darse el caso de dos ciclos de contaminación. El primero tiene lugar a temperaturas frecuentemente inferiores a 18 °C (Messiaen *et al.*, 1995).

El hongo sobrevive como uredosporas o teliosporas. Las uredosporas son la forma más importante de supervivencia de las royas y pueden ser arrastradas por el viento a grandes distancias (Howard y Krishna, 1995). No obstante, el hongo puede estar siempre presente a bajos niveles en plantas espontáneas, ya que *P. porri* infecta a 20 especies del género *Allium* (Koike *et al.*, 2001).

La enfermedad ocurre con mayor frecuencia bajo condiciones de alta humedad y tras una lluvia, con agua libre en el ambiente. Las uredosporas necesitan al menos cuatro horas de 97 % de humedad relativa para germinar e infectar. La infección con mayor eficacia ocurre con un 100 % de humedad relativa y unas temperaturas que oscilan entre 10 – 15 °C. Temperaturas por encima de 22-24 °C o inferiores a 10 °C inhiben la infección. La enfermedad se agrava en plantas estresadas, entendiéndose como éstas, aquellas que se encuentran en una situación con un exceso de abonado de nitrógeno, sequía o exceso de agua (Howard y Krishna, 1995). Por tanto, el ambiente donde se dan condiciones favorables para el desarrollo de la enfermedad sucede en primavera, donde se obtienen temperaturas que en el intervalo de 10-18 °C y humedades elevadas, así como temperaturas moderadas después de lluvias intensas, y es por ello que aparece a lo largo de los últimos meses del cultivo (Tascón y Perera, 2013).

La germinación e infección se desarrolla de manera significativa bajo las condiciones simultáneas de tres factores, el número de horas de agua libre, la temperatura y la precipitación. En cuanto al número de horas de agua libre, al menos ha de ser de 6 horas, una temperatura de aire de 6 a 20 grados, junto con una velocidad del viento de hasta 1 m/s y precipitaciones iguales o superiores a 8 mm durante el proceso de germinación e infección (Furuya *et al.*, 20019)

Por otro lado, cuando el ataque de roya se produce cuando el bulbo ya está formado carece, entonces, de importancia. Ataques más precoces pueden llegar a desecar las hojas, aceleran la maduración y disminuyen los rendimientos (García, 1998).

En cuanto al ciclo de patogénesis, éste comienza en el momento de la dispersión de las uredosporas, siendo éstas dispersadas principalmente por el viento. Una vez se produce el contacto con la planta, se inicia la prepenetración y, si las condiciones son favorables, entendiéndose como favorable, temperaturas óptimas que oscilen entre 15-22 °C junto con agua libre (rocío), se produce la penetración en la planta.

Tras la penetración, tiene lugar la infección, la duración desde que se produce la infección a la aparición de la enfermedad, transcurren entre 7-10 días, si las condiciones ambientales son favorables. Durante la enfermedad, se están produciendo por cada uredio, un total de 3000 esporas/día. Dicho proceso dura cerca de 20 días.

Una vez llegada a esta fase, si las condiciones ambientales son favorables, se da una segunda contaminación, produciéndose un ciclo secundario.

En cuanto al control, podemos encontrar (Tascón y Perera, 2013):

❖ **Control cultural** (Howard y Krishna, 1995):

- Rotaciones de cultivo evitando cultivos que pertenezcan a la misma familia botánica, como son las cebollas, puerros y cebolletas.
- No plantar juntos en la misma parcela cebollas, puerros o ajos.
- Control de malas hierbas, sobre todo de las que pertenecen a la misma familia botánica como la cebolleta y el ajo silvestres.
- Utilizar semillas sanas.

❖ **Control químico.** Aplicaciones de tratamientos preventivos y/o curativos como: Azoxistrobin, Mancozeb, Difenconazol, Fluopyram 20 % + Tebuconazol 20 %, Clortalonil 50 % y Piraclostrobin 6.7 % + Boscalida 26.7 % y Tebuconazol. (MAPAMA. 2018).

## **II. OBJETIVOS**

## 2.1. OBJETIVOS

En este trabajo se pretende realizar el seguimiento epidemiológico de la roya del ajo (*Puccinia porri*) en una parcela comercial con riego por aspersión de pivot giratorio localizada en La Roda (Albacete) durante la campaña de cultivo 2017. En esta parcela se instalará un capturador volumétrico de esporas modelo Burkard, que estará funcionando las 24 horas del día durante todo el período de estudio, con el objetivo de relacionar las capturas de uredosporas de esta roya en el aire con las condiciones ambientales.

### **III. MATERIAL Y MÉTODOS**

### **3. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1. Parcela experimental y período de estudio.**

El seguimiento para el cultivo del ajo se realizó en una parcela comercial con riego por aspersión de pívot giratorio-localizada en La Roda(Albacete), sembrada con ajo del ecotipo morado la segunda semana de febrero de 2017. En esta parcela se delimitó una zona experimental de 100 m<sup>2</sup> en la que no se realizaron tratamientos fungicidas durante el ciclo de cultivo. El período de estudio comprendió desde el 10 de marzo de 2017 hasta una semana antes de la recolección, el 19 de junio de 2017.

#### **3.2. Concentraciones de uredosporas en el aire.**

Para el seguimiento de la concentración de uredosporas de roya en el aire se utilizó un captador volumétrico modelo Burkard (Burkard Scientific Ltd., U.K.) (Figura 1), que fue instalado dentro de la zona experimental de la parcela de ajo. El captador Burkard estuvo funcionando las 24 horas del día durante todo el período de estudio.

El captador Burkard tiene en la parte inferior un motor que a través de un eje genera un movimiento a un disco, que expulsa el aire que hay por encima del mismo, creando el vacío en un recipiente localizado en la parte superior. Con este mecanismo se produce una succión horizontal de aire a través de un orificio que se encuentra a 1 m sobre el nivel del suelo, con un caudal de aire absorbido de 10 l /min. Este aire succionado desde el exterior hace que todas aquellas partículas suspendidas en el mismo impacten sobre un tambor giratorio que se encuentra en el interior del recipiente y que gira con una velocidad constante de 2 mm / h. Sobre este tambor se pone una cinta de plástico Melinex ®, fijada en los extremos con cinta adhesiva, que es donde se quedan pegadas todas aquellas partículas en suspensión del aire succionado. Previamente, esta cinta de plástico ha sido recubierta con una fina capa de silicona (Lanzoni S.R.L., Bolonia, Italia). Cada semana se debía retirar el tambor y cambiar la cinta para volver a repetir el proceso.

Cada cinta que se retiraba del capturador era dividida en 7 partes de 48 mm de longitud, con lo que cada uno de los fragmentos correspondía a cada uno de los 7 días de la semana en la que el capturador Burkard estaba funcionando. Previamente a montar cada fragmento correspondiente en el portaobjetos, se añadía una fina capa de glicerogelatina (100 ml de glicerogelatina contenían: 7,5 g de gelatina, 50 ml de glicerina, 42 ml de agua). Para contabilizar las uredosporas se utilizó un microscopio, observando cada uno de los fragmentos diarios de cinta, que se dividieron en 24 franjas transversales con un ancho de 2 mm. Por tanto, cada una de las franjas correspondía a cada una de las 24 horas del día.

Cada una de las preparaciones realizadas se examinó al microscopio realizando cuatro barridos horizontales, en la que posteriormente se realizó una extrapolación mediante un coeficiente determinado de la forma que se explica a continuación:

- Cada cinta correspondiente a una semana tiene un ancho de 14 mm y una longitud de 336 mm, por lo que un día tendrá  $336 / 7 = 48$  mm.
- En la cinta impacta un caudal de 10 litros de aire por minuto, por tanto, en una hora  $10 \times 60 = 600$  litros de aire, que son **0,6 m<sup>3</sup>**.
- Si en cada día se hacen cuatro barridos horizontales con una anchura de banda de 0,425 mm y con una longitud diaria de 48 mm, el área observada es:

$$48 \text{ mm} \times 0,425 \text{ mm} \times 4 = \mathbf{81,6 \text{ mm}^2}.$$

- El ancho de la cinta es de 14 mm y la longitud de cada día es de 48 mm, por lo que el área total por día será de  $14 \text{ mm} \times 48 \text{ mm} = \mathbf{672 \text{ mm}^2}$ .
- La relación existente entre el área total y el área observada en cada día es de:

$$672 \text{ mm}^2 / 81,6 \text{ mm}^2 = \mathbf{8,235}$$

La superficie observada en cada uno de los días es 1 / 8,235 del total del área del día.

Anteriormente se ha calculado que en una hora se succionan 0,6 m<sup>3</sup> de aire, por lo que las uredosporas capturadas corresponden a este volumen de aire. Pero queremos expresar los datos en 1 m<sup>3</sup> de aire, por lo que tendremos que calcular el factor de conversión:

$$8,235 / 0,6 = \mathbf{13,725 \text{ es el factor de conversión}}$$

- Para calcular la cantidad de uredosporas por cada m<sup>3</sup> de aire y hora a partir de los conteos obtenidos en los cuatro barridos tendremos que:

$$\mathbf{13,725 \times (\text{número de uredosporas obtenidos en el conteo})}$$

- Si se tiene en cuenta que la población total a muestrear es la superficie total que se ha muestreado en la preparación, se puede obtener el valor de fiabilidad y el error estimado aplicando la fórmula de estimación del tamaño de la muestra (Domínguez et al., 1992):

$$n = \frac{Z^2 p q N}{e^2(N-1) + Z^2 p q}$$

Siendo: **Z**: Valores de z según el nivel de significación

**p y q**: Probabilidad (0,5 para la menos favorable)

**e**: Error absoluto del muestreo

**N**: tamaño de la población

**n**: tamaño de la muestra

Para una significación del 95 %  $Z^2 p q = 1,96^2 \times 0,5 \times 0,5 = 0,9604$ ; luego  $e = 0,04$ ; por tanto,  $e^2 = \mathbf{0,0016}$ . Siendo éste un error aceptable para el trabajo que se ha de realizar.

### 3.3. Datos meteorológicos.

En la zona experimental de la parcela de estudio se instaló una estación meteorológica modelo Watchdog (Watchdog® 450, Spectrum Technologies, Inc., Plainfield, IL, USA) cerca de donde estaba ubicado el capturador Burkard (Figura 1). Esta estación meteorológica registraba cada hora una lectura de la precipitación y/o riego acumulado (mm), temperatura en °C ( $T^a$ ), la humedad relativa en % (HR) y la presencia de agua libre. Estos datos eran almacenados y recuperados con un ordenador portátil cada semana, para posteriormente ser procesados en el laboratorio.



**Figura 1:** Capturador de esporas Burkard (izquierda) y estación meteorológica Watchdog (derecha).

#### **IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## 4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Seguimiento de las uredosporas de *P. porri* a lo largo de todo el período de estudio y su relación con las condiciones ambientales.

El desarrollo de *P. porri*, viene marcado principalmente por la combinación simultánea de tres factores, temperatura media diaria, horas de agua libre y precipitación media diaria.

La Figura 2, muestra los valores registrados de uredosporas diarias por m<sup>3</sup> de aire, junto con los valores de temperatura media diaria expresados en °C.

Durante el período de estudio, se detectó una concentración máxima de uredosporas de *P. porri* en el aire en dos momentos concretos, del día 12/04/2017 al 19/04/2017 y del día 07/05/2017 al 15/05/2017. Los dos máximos recogidos, corresponden a dos ciclos de infección potencial. Tal y como se mencionó anteriormente, *P. porri* es capaz de generar dos ciclos de producción de esporas bajo condiciones mediterráneas, donde el primer ciclo frecuentemente suele darse a temperaturas inferiores a los 18 °C (Messiaen et al., 1995).

Como se puede apreciar en la Figura 2, durante el intervalo de los días 11/03/2017 al 26/03/2017, donde la temperatura medía fue inferior a los 10 °C, se produjo una captura muy reducida de esporas en el aire. Al poseer *P. porri* un rango de temperaturas óptimo entre 15-22 °C para el desarrollo de la enfermedad, y teniendo como temperatura óptima 18 °C (Tascón y Perera, 2013), la roya no fue capaz de iniciar de forma relevante su desarrollo

Conforme la temperatura media diaria fue aumentando paulatinamente, se pudo apreciar un aumento de capturas de uredosporas en las cintas del capturador Burkard, hasta alcanzar el primer máximo de uredosporas, entre el 12/04/2017 al 19/04/2017.

Tras la primera generación, tal y como se observa en la Figura 2, la temperatura media diaria continuó ascendiendo ligeramente, oscilando entre los valores de 10 a 18 °C. Dicho rango de temperatura coincide con el óptimo para el desarrollo de una segunda generación de *P. porri*. Ésta tuvo lugar tras la

primera liberación masiva de esporas,y se prolongó hasta la segunda liberación masiva de esporas, detectada en las fechas del 07/05/2017 al 15/05/2017.

El desarrollo del ciclo de la enfermedad causada por *P. porri* en condiciones óptimas, oscila en torno a los 27 días. Siendo la duración del período de incubación desde la infección de las plantas de ajo, de aproximadamente 7-10 días (Tascón y Perera, 2013). A partir de dicho momento, se irán produciendo uredios hasta producirse la liberación de esporas.

Acabada la segunda generación de la enfermedad, las temperaturas medias diarias fueron incrementándose por encima de los 18°C de manera paulatina. A partir de dicha temperatura, y en especial por encima de los 22-24 °C, se produce una inhibición en la germinación de uredosporas de *P. porri*, por lo que ya no se observó una tercera contaminación. Tal y como se puede apreciar en la Figura 2, donde la liberación de esporas fue decreciendo conforme las temperaturas iban aumentando por encima de los 18-20 °C.

La Figura 3, muestra los valores registrados de uredosporas diarias por m<sup>3</sup>, junto con los valores de número horas de agua libre.

Como se puede apreciar en la Figura 3, por lo general, los valores registrados del número de horas de agua libre durante el período de estudio fueron superiores a 6 h. Este factor,es de vital importancia para el desarrollo de la enfermedad. Tal como se mencionó anteriormente en la descripción del patógeno, la enfermedad se desarrolla con mayor frecuencia con la combinación simultánea de tres factores, un rango de temperaturas concreto, un número específico de mm de precipitación durante dicho periodo y un mínimo de horas de agua libre en la superficie del cultivo (Furuya *et al.*, 2009). Se ha observado, que durante el proceso de germinación e infección de uredosporas de *P. porri*, es necesario un mínimo de alrededor de 6 horas de agua libre (Furuya *et al.*, 2009).

En la Figura 3 se puede observar que, en los días pertenecientes al mes de marzo, los valores de agua libre registrados sobrepasaban en su mayoría el valor indicado como mínimo para el inicio de la germinación e infección. Pero, al tratarse de una combinación de tres variables, aun siendo suficiente el número

de horas de agua libre, la enfermedad no pudo progresar de manera importante, debido a que tal y como se ha mencionado en la Figura 2, las temperaturas en dicho mes no se correspondían con el óptimo de la enfermedad.

Una vez iniciado el mes de abril, el número de horas de agua libre continuó siendo superior a las 6 h, por lo que, junto con el incremento de la temperatura comentado anteriormente, la enfermedad desarrolló su primera generación. De igual modo, ocurrió en el mes de mayo en el que tuvo lugar la segunda generación.

Respecto al mes de junio, se puede observar, que de igual manera que en marzo, el número de horas de agua libre continuaba siendo, por lo general, superior al mínimo de horas de agua libre indicado en la bibliografía, no obstante, las temperaturas en dicho mes fueron superiores a las óptimas, por lo que las uredosporas fueron incapaces de germinar y, por tanto, incapaces de infectar y llevar a cabo un tercer ciclo de producción de uredosporas.

La Figura 4, muestra los valores registrados de uredosporas diarias por m<sup>3</sup>, junto con los valores diarios de precipitación y/o riego por aspersion expresados en mm.

Como se ha comentado con anterioridad, el tercer factor necesario para darse el desarrollo del ciclo de la enfermedad, que entra en simultaneidad con los dos factores comentados en la Figura 2 y Figura 3, es la precipitación mínima. Para darse un ciclo de contaminación, se ha determinado que *P. porri*, requiere de precipitaciones diarias superiores a 8 mm durante la infección (Furuya *et al.*, 2009).

Tal y como se puede observar en la Figura 4, por lo general se supera la mayoría de mm mínimos necesarios para proceder a la infección por parte de las uredosporas de *P. porri*. No obstante, se puede apreciar que, en el mes de marzo, en las fechas comprendidas entre los días 13/03/2017 y 14/03/2017, los mm de precipitación y/o agua de aspersion recogidos son superiores a 8 mm, pero el patógeno es incapaz de iniciar un ciclo de contaminación, debido a que entra en conflicto con una de las variables restantes mencionadas con anterioridad, ya que una de ellas, no resulta ser la óptima.

Conforme nos acercamos a abril, se observa que para la fecha 01/04/2017, se recoge una cantidad superior a 8 mm de precipitación y/o aspersión, momento en donde, tanto las temperaturas y las horas de agua libre, sí que eran adecuadas para que se produzca el primer ciclo de contaminación, y por tanto un primer momento de presencia de uredosporas relevante.

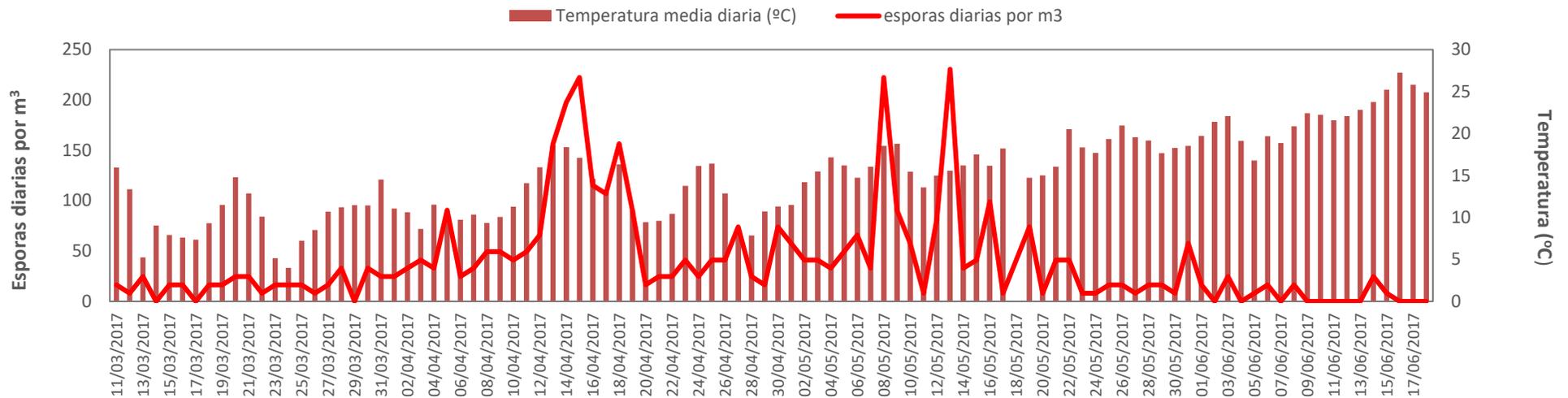
Una vez finalizado el primer ciclo de contaminación, y tras una primera liberación masiva de uredosporas, se observa que para la fecha 22/04/2017, se vuelve a cumplir con los requisitos mínimos de precipitación y/o agua de aspersión indicados para el desarrollo de la enfermedad, produciéndose de nuevo una segunda producción de uredosporas.

En la Figura 4 se puede observar que a partir de mayo se siguen cumpliendo los requisitos mínimos de precipitación y/o agua de aspersión, como para proceder de nuevo a una tercera infección, no obstante, y al igual que ocurría con el número de horas de agua libre, la temperatura en dicho periodo de estudio empezó a superar la óptima para darse la germinación de las uredosporas, por lo que *P. porri* fue incapaz de completar con éxito un tercer ciclo de contaminación.

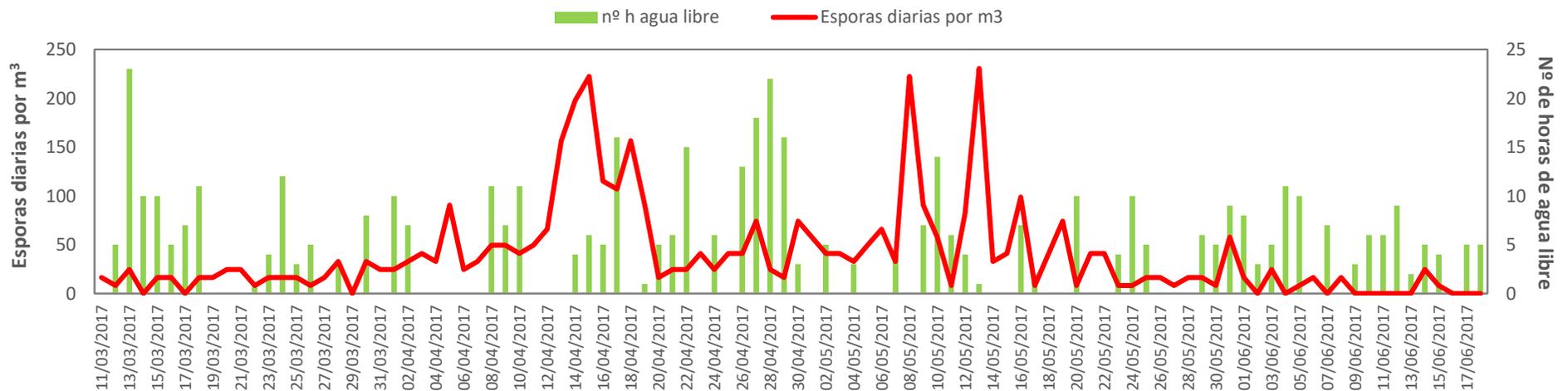
La Figura 5, muestra el porcentaje acumulado de uredosporas de *P. porri* recogidas, junto con los valores medios diarios de temperatura en °C para todo el periodo de estudio. La Figura 6, muestra el mismo porcentaje acumulado con el número horas de agua libre registrado durante el período de estudio y, la Figura 7, muestra el porcentaje acumulado de uredosporas recogidas de *P. porri*, junto con los valores diarios de precipitación expresados en mm durante todo el periodo de estudio.

Tal y como se puede apreciar en estas figuras, se puede observar una tendencia creciente en la concentración de uredosporas, especialmente conforme las temperaturas van incrementándose, desde el mes de marzo. La línea toma un incremento progresivo en un momento concreto del estudio, el 05/04/2017, coincidiendo con una estabilización de las temperaturas medias diarias en torno a los 10 °C. Desde este día, el porcentaje acumulado de esporas va incrementándose conforme la temperatura va siendo superior a los 10 °C.

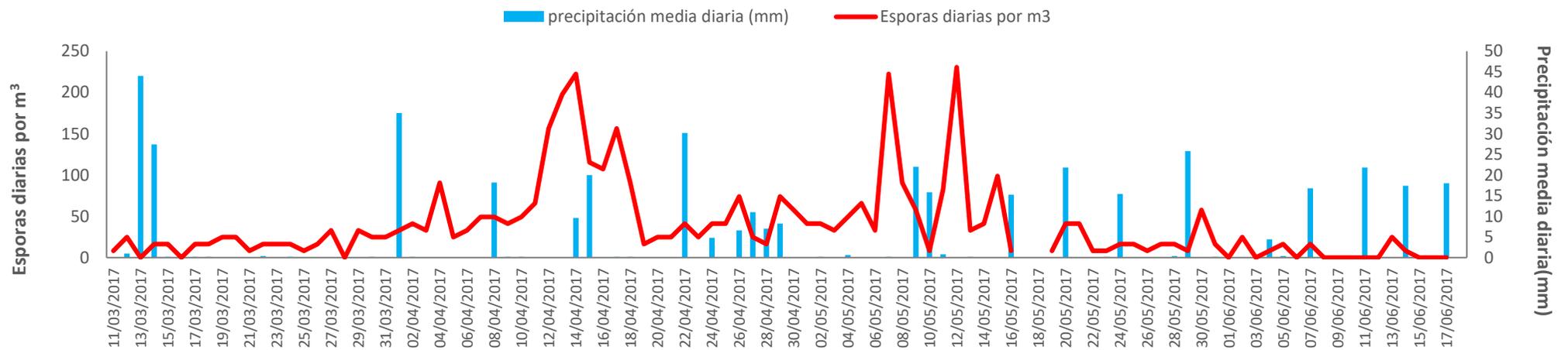
Al final del período de estudio se puede ver que el incremento en el porcentaje acumulado de esporas comienza a estabilizarse, dando lugar a una línea recta en la Figura. Dicha tendencia se corresponde con el aumento de las temperaturas medias por encima de las temperaturas óptimas de desarrollo para el ciclo de *P. porri*, por lo que se produce un cese de la liberación de uredosporas del patógeno, ya que este, ha sido incapaz de volver a generar una tercera generación.



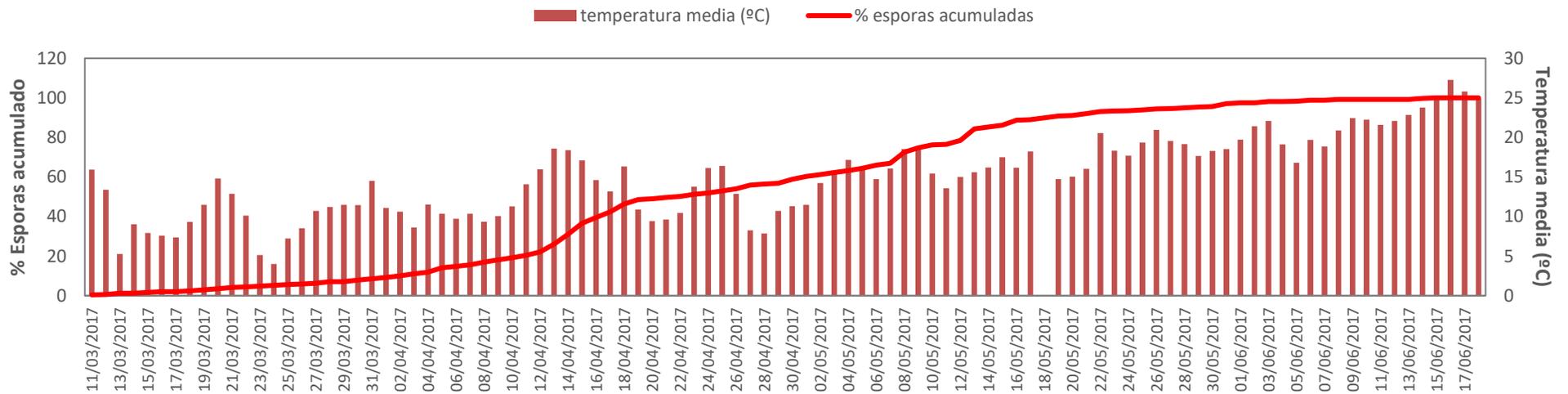
**Figura 2:** Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m<sup>3</sup>, junto con los valores de temperatura media diaria expresados en °C.



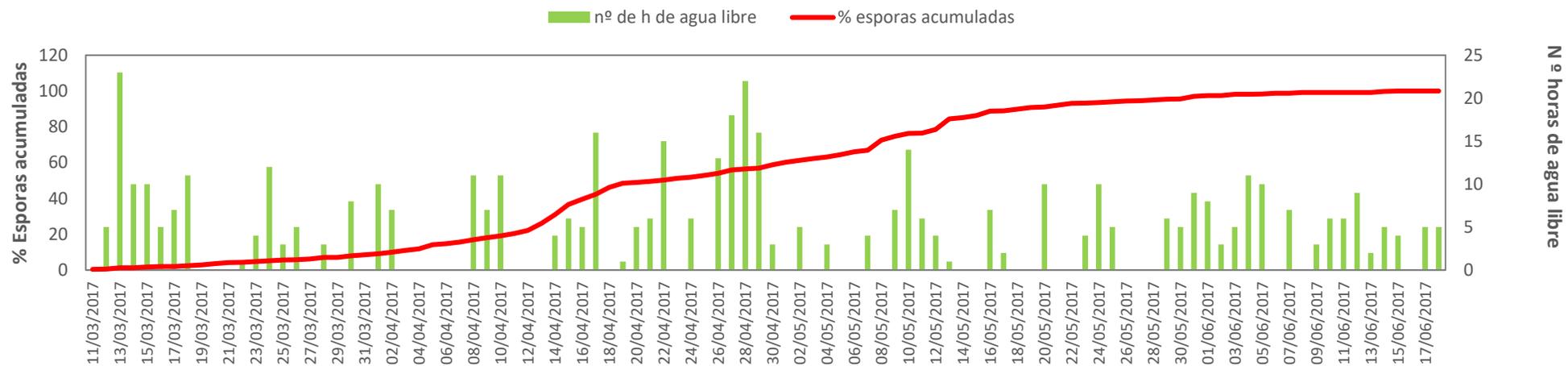
**Figura 3:** Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m<sup>3</sup>, junto con los valores del número horas de agua libre.



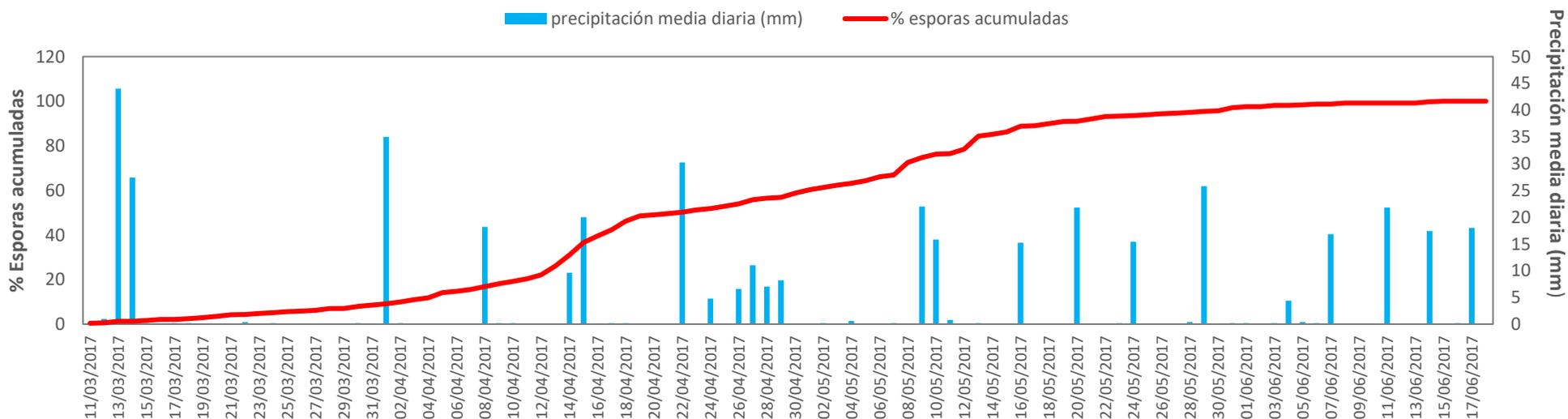
**Figura 4:** Valores registrados durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17) de uredosporas diarias por m<sup>3</sup>, junto con los valores diarios de precipitación y/o riego por aspersión expresados en mm.



**Figura 5:** Porcentaje acumulado de uredosporas de *P. porri* capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores medios diarios de temperatura expresados en °C.



**Figura 6:** Porcentaje acumulado de uredosporas de *P. porri* capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores del número horas de agua libre.



**Figura 7:** Porcentaje acumulado de uredosporas de *P. porri* capturadas durante el período de estudio (del 10/03/17 al 19/06/17), junto con los valores diarios de precipitación expresados en mm.

#### **4.2. Seguimiento de las uredosporas de *P. porri* por hora y mes en función de las condiciones ambientales.**

Para la realización del presente apartado, se representó para cada mes el número total de esporas capturado en cada hora, durante todas las horas del día, y para todos los días del mes que pertenecen al periodo del estudio, obteniendo así el número de esporas total para cada hora. Por tanto, en las Figuras se muestra la evolución de la temperatura media a lo largo de las horas del día, junto con el número de días del mes con presencia de agua libre en cada hora y el número total de esporas capturadas para cada hora del día.

En la Figura 8, se representa el número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de marzo, junto con la media horaria de la temperatura media y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.

En el mes de marzo, cabe destacar, que la contabilización de esporas por cada hora es algo variable, debido a que *P. porri* no comenzó el desarrollo, y posiblemente, tal y como se indica en el apartado de la introducción del proyecto, las esporas pertenecientes al mes de marzo provengan de otros cultivos asociados, donde *P. porri* puede sobrevivir tras la finalización de la campaña del ajo (Koike *et al.*, 2001).

Se puede apreciar en la Figura 8, que los valores máximos recogidos de esporas contabilizadas para cada hora, corresponden a las horas donde menor es el número de días que tienen agua libre, que coincide a su vez, con las horas del día con mayor temperatura.

En la Figura 9, se muestra el número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de abril, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.

Durante abril, como se ha comentado con anterioridad, se produce el primer ciclo de contaminación durante el período de estudio, por lo que los registros de lectura de uredosporas son más estables.

En la Figura 9, se observa que los valores máximos recogidos del total de esporas para cada hora del día, corresponden a las horas donde menor es el número de días con agua libre. Sin embargo, se puede observar que, a medida que la temperatura media a lo largo de las horas del día disminuye, y su vez aumenta el número de días con agua libre en el ambiente, se produce una reducción de esporas en el aire, obteniendo los valores mínimos en las horas comprendidas entre las 6:00 h a 10:00 h.

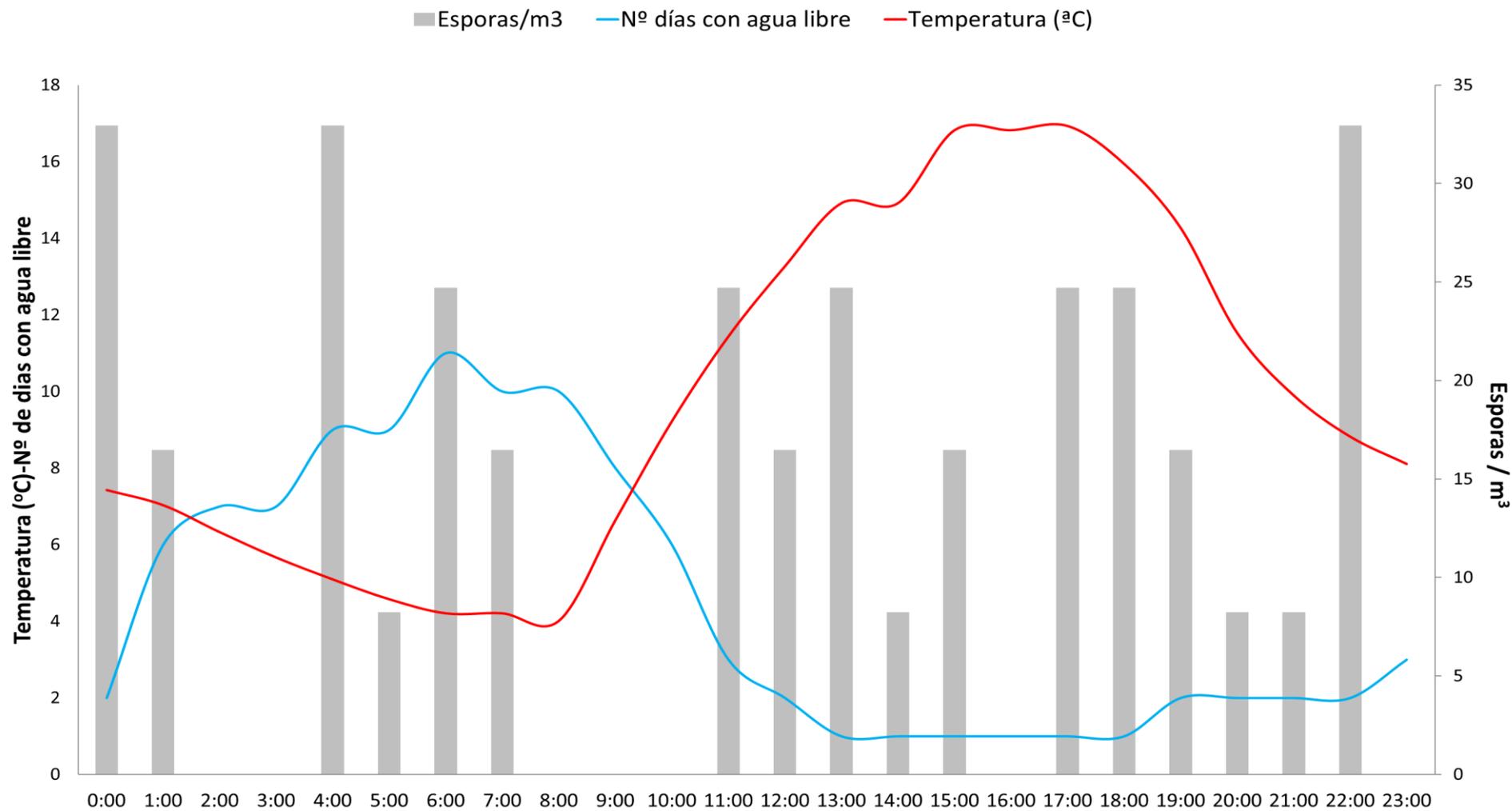
En la Figura 10, se muestra el número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de mayo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.

En mayo se produce el segundo ciclo de máxima producción de uredosporas. De igual modo que en los meses anteriores, se puede observar en la Figura que la tendencia del número de esporas recogido en el ambiente es menor en las horas del día donde mayor número de días presentan agua libre y menor temperatura media se registra, entre las 4:00 h y las 9:00 h de la mañana. Al igual que en los otros meses, el valor máximo de captura se detecta cuando se registra un menor número de días con agua libre, entre las 21:00 h a las 3:00 h.

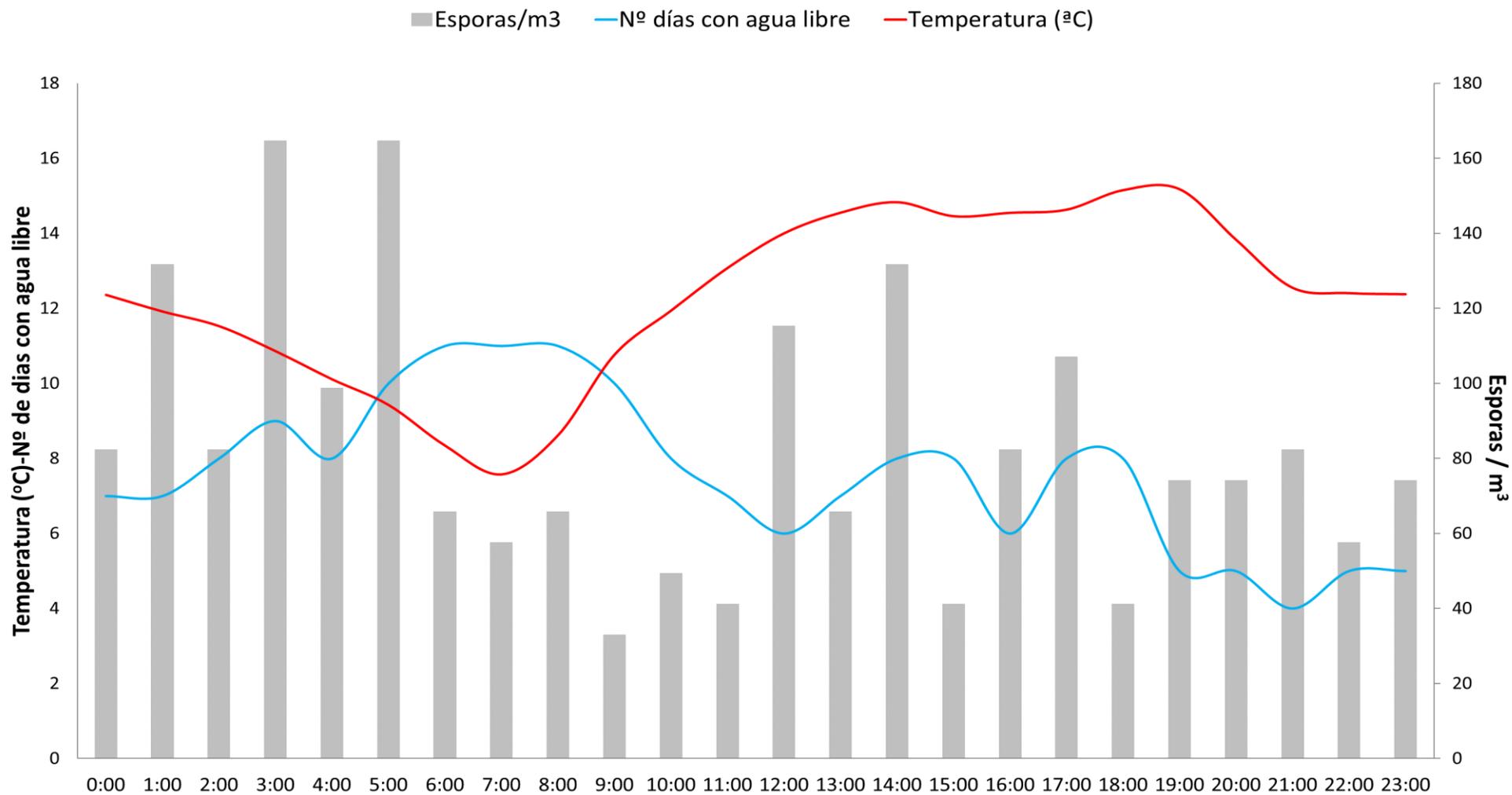
Por último, en la Figura 11, se representa el número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de junio, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.

En junio, como se comentó con anterioridad, no tiene lugar un tercer ciclo de contaminación, por lo que se produce una disminución considerable en el número de uredosporas capturadas a lo largo de este mes.

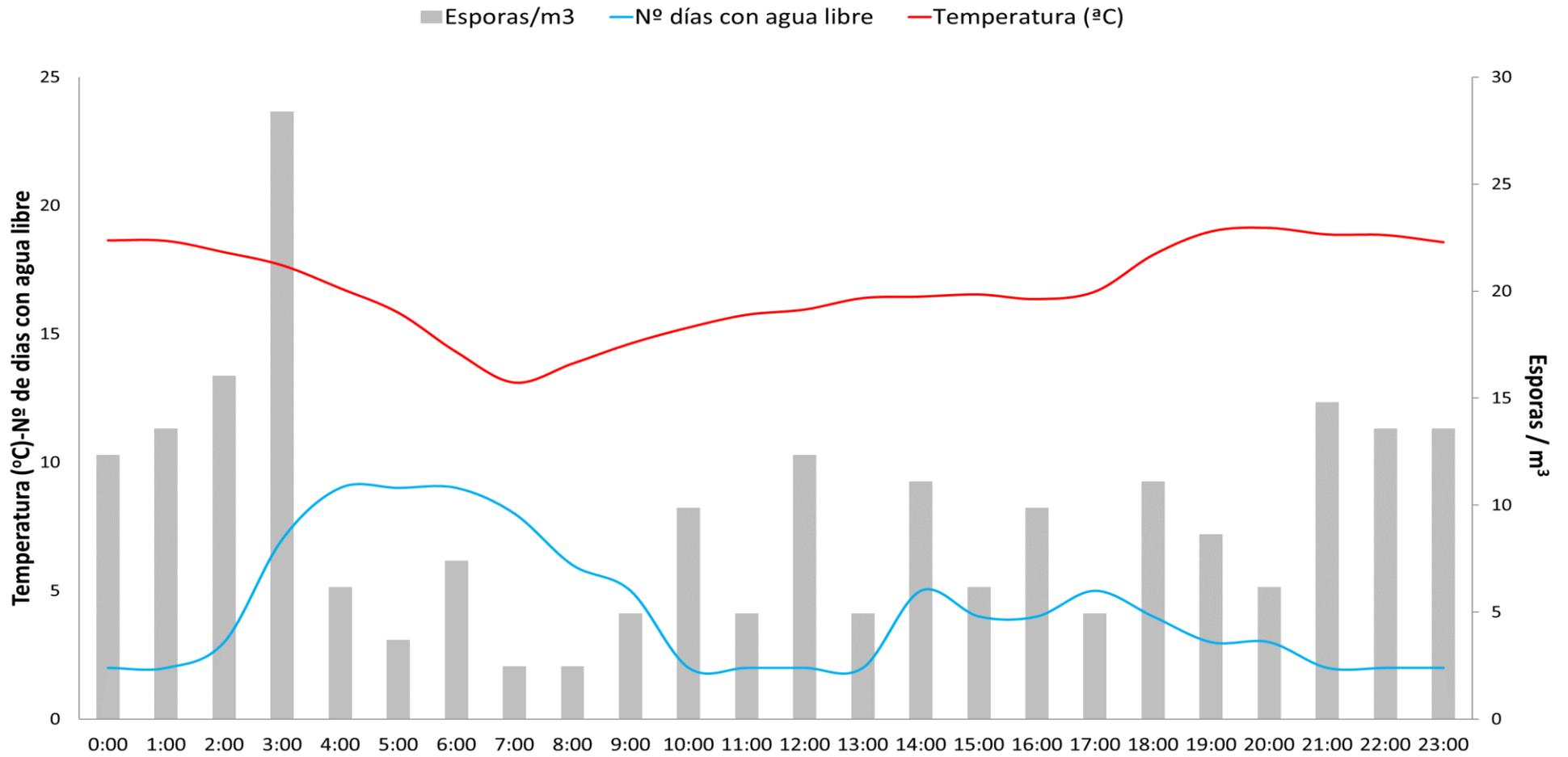
Si observamos la Figura 11, podemos apreciar que, de igual modo que en los casos anteriores, el máximo de esporas capturadas se detectó en las horas donde menor número días con agua libre se registran, entre las 23:00 h hasta las 2:00 h y el mínimo entre las 3:00 h hasta las 9:00 h, coincidiendo con un mayor número días con agua libre.



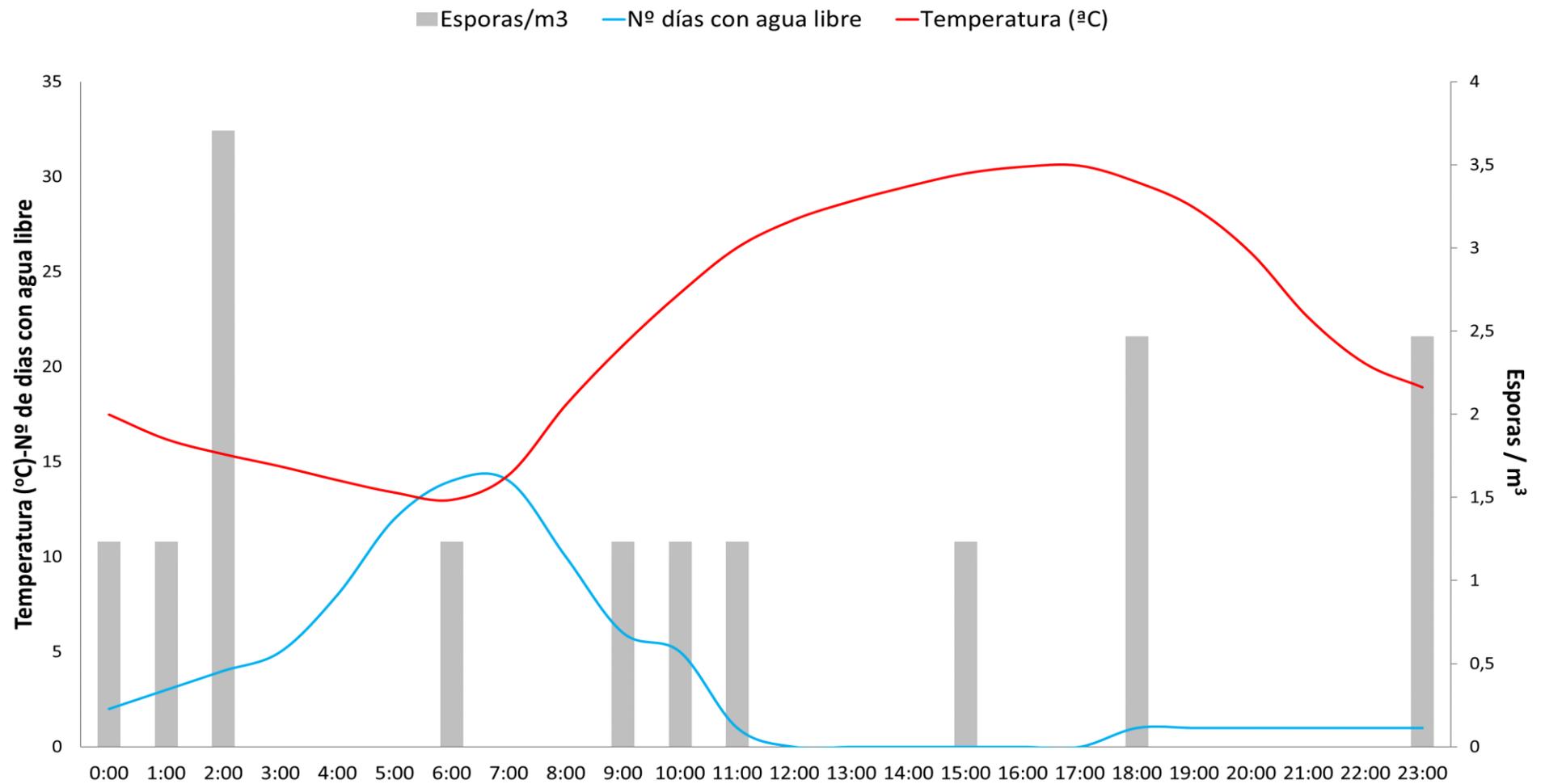
**Figura 8:** Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de marzo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.



**Figura 9:** Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de abril, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.



**Figura 10:** Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de mayo, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.



**Figura 11:** Número total de uredosporas capturadas para cada hora de cada día del mes de junio, junto con la media de la temperatura media horaria y el número de días con presencia de agua libre a cada hora del día.

## **V. CONCLUSIONES**

## 5.1. CONCLUSIONES

En el seguimiento epidemiológico de la roya del ajo (*Puccinia porri*) en una parcela comercial con riego por aspersión localizada en La Roda (Albacete) durante la campaña de cultivo 2017 se han obtenido las siguientes conclusiones:

- Se capturaron uredosporas de *P. porri* en el aire durante todo el período de estudio desde el 10 de marzo de 2017 hasta el 19 de junio de 2017.
- Durante el período de estudio, se detectaron dos momentos de concentración máxima de uredosporas de *P. porri* en el aire en los meses de abril y mayo, correspondiendo con dos ciclos de infección potencial, que coincidieron con períodos de temperaturas medias cercanas al óptimo para la esporulación del hongo (15-22 °C) y un mínimo de alrededor de 6 horas de agua libre. Sin embargo, no se produjo un tercer ciclo de infección cuando las temperaturas medias fueron superiores a las señaladas anteriormente.
- En el seguimiento de las uredosporas de *P. porri* por hora y mes, en función de las condiciones ambientales, se observó que en general, los valores máximos de captura de uredosporas correspondían con las horas del día donde menor es el número de días en el mes con presencia de agua libre.

## **VI. BIBLIOGRAFÍA**

## 6.1. BIBLIOGRAFÍA

Carrera, M, Galán, V. González, F. Hidalgo, L. Maroto, J. Mateo, J. Navarro, J. Puerta, C. Rojo, C y Zaragoza, S. 2005. Prontuario de agricultura. Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. 603 pp. Ediciones Mundi-Prensa.

Catalán, H. Tribaldos, H. y Tribaldos, J. (2013). El ajo, maquinaria y técnicas de cultivo, desde el punto de vista del agricultor. 16 pp. Editorial Agrícola, Madrid, España.

FAOSTAT (2014). Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura. <http://www.fao.org/home/es/>

Furuya, H. takanashi, H. Fuji, S. Nagai, Y. and Naito, H. 2009. Modeling infection of spring onion by *Puccinia allii* in response to temperature and leaf wetness. *Phytopathology* 99: 951-956.

García, C. 1998. El ajo, cultivo y aprovechamiento. 209 pp. Ediciones Mundi-Prensa, Madrid, España.

Gilles, T. and Kennedy, R. 2003. Effects of an interaction between inoculum density and temperature on germination of *Puccinia allii* urediniospores and leek rust progress. *Phytopathology* 93: 413-420.

Howard and Krishna (Eds.), 1995. Compendium of onion and Garlic diseases. 127 pp. The American Phytopathological Society.

Koike, S. and Smith, R. 2001. Characterization and control of garlic rust in California. *Plant Disease* 85: 585-591.

Llácer, G. López, M. Trapero, A. y Bello, A. 2000. Patología Vegetal Tomo II. Sociedad española de fitopatología. 847 pp. Mundi-Prensa.

MAPAMA (2016). Estadísticas Agrarias. Superficies y Producciones Anuales de Cultivo. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.mapama.gob.es/es/estadistica/temas/estadisticas-agrarias/agricultura/superficies-producciones-anuales-cultivos/>

MAPAMA (2018). Registro de Productos Fitosanitarios. Ministerio de Agricultura y Pesca, Alimentación y Medio Ambiente. <http://www.mapama.gob.es/es/agricultura/temas/sanidad-vegetal/productos-fitosanitarios/fitos.asp>

Maroto, J. 2002. Horticultura herbácea especial. 704 pp. Ediciones Mundi-Prensa.

Maroto, J. y Baixauli, C. 2017. Cultivos hortícolas al aire libre. 778 pp. Fundación Caja Mar.

Messiaen, C. Blancard, F. Rouxel, F. y Lafon, R. 1995. Enfermedades de las hortalizas. 576 pp. Mundi-Prensa, Madrid, España.

Miguel, A. 2015. Cultivos hortícolas al aire libre. Cebolla. 332pp. Publicaciones Cajamar. Serie Agricultura.

Tascón, C. y Perera, S. 2013. Roya y Esclerotinia en ajo. AgroCabildo. 8pp. Cabildo de Tenerife.