

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
COLEGIO DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS**



TESIS

**“INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN
LA PRESENCIA DEL MILDIU *Peronospora destructor*
EN CEBOLLA EN EL VALLE DE CULIACÁN, SINALOA”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS
AGROPECUARIAS
PRESENTA:**

JESÚS ENRIQUE CRUZ BOJÓRQUEZ

**DIRECTOR DE TESIS: DR. GUADALUPE ALFONSO LÓPEZ URQUÍDEZ
CO-DIRECTOR DE TESIS: DR. CARLOS ALFONSO LÓPEZ ORONA**

CULIACÁN, SINALOA, NOVIEMBRE DE 2022

Esta Tesis titulada “INFLUENCIA DE LA TEMPERATURA Y HUMEDAD RELATIVA EN LA PRESENCIA DEL MILDIU *Peronospora destructor* EN CEBOLLA EN EL VALLE DE CULIACÁN, SINALOA” fue realizada por el **C. Jesús Enrique Cruz Bojórquez**, bajo la dirección del Consejo Particular que se indica, ha sido **Aprobada** por el mismo y **Aceptada** como Requisito Parcial para obtener el Título de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROPECUARIAS

CONSEJO PARTICULAR

Director: _____

Dr. Guadalupe Alfonso López Urquídez

Co-Director: _____

Dr. Carlos Alfonso López Orona

Asesora: _____

Dra. Mitzi Dayanira Estrada Acosta

Asesor: _____

M.C. José Armando Carrillo Fasio

Asesor: _____

Dr. Felipe Ayala Tafoya

Culiacán, Sinaloa, noviembre de 2022



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de Culiacán, Sinaloa el día 01 del mes noviembre del año 2022, el (la) que suscribe Jesús Enrique Cruz Bojórquez alumno (a) del Programa de Maestría en Ciencias Agropecuarias con número de cuenta 9818361-3, de la Unidad Académica Facultad de Agronomía, manifiesta que es autor (a) intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección de Dr. Guadalupe Alfonso López Urquidez y cede los derechos del trabajo titulado “Influencia de la temperatura y humedad relativa en la presencia del mildiu *Peronospora destructor* en cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa.”, a la Universidad Autónoma de Sinaloa para su difusión, con fines académicos y de investigación por medios impresos y digitales.

La Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México) protege el contenido de la presente tesis. Los usuarios de la información contenida en ella deberán citar obligatoriamente la tesis como fuente, dónde la obtuvo y mencionar al autor intelectual. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



Jesús Enrique Cruz Bojórquez
Nombre completo y firma



Dirección General de Bibliotecas



U n i v e r s i d a d A u t ó n o m a d e S i n a l o a

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No ComercialCompartir Igual, 4.0 Internacional.



AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Autónoma de Sinaloa, por haberme permitido realizar mis estudios de posgrado en sus aulas, por haberme cobijado en su seno en estos momentos difíciles que se viven en el mundo y por ser el Alma Mater de los sinaloenses, muy agradecido por esta oportunidad.

A la Facultad de Agronomía, porque además de formarme como profesionista y docente, es el pilar y sostén fundamental de mi familia; así mismo, por ser una institución tan noble que arropa a sus estudiantes y los prepara para enfrentar los retos del mañana.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por el apoyo brindado al ser considerado como becario, lo que redundó en un beneficio importante para culminar mis estudios de maestría.

Al **Dr. Guadalupe Alfonso López Urquídez**, por haberme aceptado como tutorado y por esa paciencia que tuvo con un servidor para darme los consejos necesarios y terminar de mejor manera esta etapa de mi vida: Dr. Urquídez, es un privilegio trabajar con usted y mi más sincero reconocimiento por ese apoyo que le brinda a sus asesorados.

Al **Dr. Carlos Alfonso López Orona, Dra. Mitzi Dayanira Estrada Acosta, MC. José Armando Carrillo Fasio y Dr. Felipe Ayala Tafoya**, por su comprensión y ayuda brindada para sacar adelante este gran proyecto; creo que hubiera sido difícil llegar hasta el final del camino si no se hubiera contado con su valiosísimo apoyo, a todos gracias por su comprensión.

A todos los que hicieron posibles la terminación de este gran proyecto, solo les digo, Muchas Gracias.

DEDICATORIA

Quiero dedicar de manera muy especial este trabajo a dos personas a quienes admiro y quiero mucho; mis papás, **Jacobo Enrique Cruz Ortega y Sonia Edelmira Bojórquez Camacho**, son un ejemplo a seguir y seguro están orgullosos de la culminación de una meta más en mi vida; gracias padres, por apoyarme tanto.

Dedico muy especialmente la culminación de este trabajo para mi esposa, **Teresita de Jesús Leal Bon**, por ser el pilar fundamental en mi vida; como no quererte amor si me has dado lo más hermoso de la vida; mis hijos; además, porque siempre hemos estado junto venciendo los obstáculos que se nos han presentado en el transcurso de los años.

A mi razón de ser en la vida; mis hijos, Valentina y Carlo Enrique, que hermosa me han hecho la vida, como olvidar esas sonrisas alegres que diariamente me dan el valor y el aplomo para seguir adelante, hay cosas en la vida que nunca se podrán pagar con nada, ustedes son mi razón de vivir y me dan la fortaleza para seguir adelante. Su llegada a este mundo me hizo sentir que fue lo más hermoso que me ha sucedido en la vida.

A mis hermanos, Tania y Luis Yair, porque siempre estemos juntos en las buenas y en las malas, juntos sacaremos adelante este gran amor que nos han inculcado nuestros padres.

Deseo dedicar de manera muy especial a mis suegros, **Lupita y Miguel Ángel** por haberme dado lo más quiero en el mundo; mi esposa.

A mis compañeros de generación y especialmente a **Oscar, Praxedes, Sonia, Alexander, Guadalupe, Daniela, Alfonso, Pablo Carlos y Brenda** por ese apoyo mutuo que mostramos en el transcurso de nuestra vida como estudiantes.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CONTENIDO	PÁGINA
AGRADECIMIENTOS	i
DEDICATORIA	ii
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
RESUMEN	1
ABSTRACT	2
I. INTRODUCCIÓN	3
II. JUSTIFICACIÓN	5
III. HIPÓTESIS	6
IV. OBJETIVOS	7
V. REVISIÓN DE LITERATURA	8
5.1 Origen de la cebolla	8
5.2. Posición taxonómica de la cebolla	8
5.3. Descripción botánica	9
5.3.1. Raíces	9
5.3.2. Hojas	9
5.3.3. Tallos	9
5.3.4. Bulbos	9
5.3.5. Flores, frutos y semillas	10
5.4. Importancia de la cebolla a nivel mundial	10
5.5. Importancia de la cebolla en México	11
5.6. La cebolla como cultivo en Sinaloa	12
5.7. Plagas y enfermedades de cebolla	13
5.7.1. Plagas de cebolla	13
5.7.2. Enfermedades de cebolla	13
5.7.2.1. El mildiu de cebolla	14
5.7.2.1.1. Importancia de <i>Peronospora destructor</i>	14
5.7.2.1.2. Posición taxonómica de <i>Peronospora destructor</i>	15

5.7.2.1.3. Influencia de los factores ambientales en las enfermedades de las plantas	16
5.7.2.1.4. Influencia de los factores ambientales en el mildiu en cebolla	17
VI. MATERIALES Y MÉTODOS	20
6.1. Localización del experimento	20
6.2. Preparación del terreno	20
6.3. Material vegetal usado	20
6.4. Diseño del muestreo	21
6.5. Detección e identificación de la presencia de mildiu en cebolla	22
6.6. Variables de respuesta	23
6.6.1. Relación de la temperatura y humedad relativa con la presencia de mildiu en cebolla	23
6.6.2. Incidencia de la enfermedad	24
6.6.3. Severidad de la enfermedad	24
6.6.4. Sistema de predicción de la enfermedad	25
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	26
7.1. Presencia y diagnóstico de mildiu en cebolla	26
7.2. Efecto de la humedad relativa y la temperatura en la presencia del mildiu en cebolla	28
7.3. Incidencia de la enfermedad	32
7.4. Severidad de la enfermedad	33
VIII. CONCLUSIONES	35
IX. LITERATURA CITADA	36

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro	Título	Página
1	Posición taxonómica actual de la cebolla	8
2	Principales países productores de cebolla a nivel mundial	11
3	Principales diferencias entre los oomicetos y los hongos	15
4	Posición taxonómica de <i>Peronospora destructor</i> causante del mildiu en cebolla	16
5	Datos para determinar el tamaño de muestra.	21
6	Escala para determinar la severidad de la enfermedad causada por mildiu en cebolla.	24
7	Valores de temperatura y humedad relativa de los dos grupos conformados en el dendograma	31

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Título	Página
1	Principales estados productores de cebolla de la República Mexicana durante el ciclo agrícola 2020-2021.	12
2	Marca del terreno, colocación de cinta y cebollín de la variedad Carta Blanca usada en el experimento.	21
3	Monitoreo en el cultivo de cebolla en campo para la detección de mildiu y corroboración en laboratorio.	22
4	Detector de temperatura y humedad relativa y formato de gráfica emitido de los registros de estas condiciones ambientales en el experimento.	23
5	Daños en follaje de cebolla (A, B, C), esporangios y esporangióforos de <i>Peronospora destructor</i> (D).	26
6	Esporangióforos y esporangios típicos de <i>Peronospora destructor</i> .	27
7	Tendencia de la temperatura máxima, mínima y humedad relativa mínima registrados durante el desarrollo de la cebolla	29
8	Dendograma de clasificación de las semanas evaluadas de acuerdo con la temperatura y humedad relativa	30
9	Promedio de incidencia de la enfermedad del mildiu en las evaluaciones registradas en el cultivo de cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa, México. Ciclo 2021-2022.	32
10	Figura 8. Severidad de mildiu en cebolla encontrada en el valle de Culiacán, Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2021-2022.	33

RESUMEN

En el ciclo agrícola 2020-2021, se sembraron en México 23 946 hectáreas de cebolla, en las cuales produjeron 690 246 toneladas. Este cultivo es afectado por enfermedades como el mildiu *Peronospora destructor* (Berk.) Casp. Se desarrolló un trabajo para: a) determinar la presencia del mildiu en cebolla; b) diagnosticar el agente causante de la enfermedad; c) estimar la temperatura y humedad relativa óptimas para su desarrollo en campo; d) calcular, basado en estas mediciones, la incidencia y severidad de la misma. Para detectar y evaluar la presencia de mildiu, su incidencia y severidad en campo, se realizaron muestreos semanales tomando de manera aleatoria 20 plantas. El monitoreo fue visual y se registraron aquellas que presentaban síntomas de la enfermedad. Así mismo, se corroboró la presencia del patógeno utilizando un microscopio. Para relacionar la presencia y desarrollo de la enfermedad con las condiciones de humedad relativa y temperatura, se colocó un medidor de estos elementos meteorológicos en el cultivo. A partir del octavo muestreo, se observó una necrosis y un polvo gris-oscuro en las hojas de cebolla identificando al agente causal por *Peronospora destructor*. Por otra parte, cuando las temperaturas oscilaron entre 10 y 15 °C y una humedad relativa superior al 90 % inició la presencia de la enfermedad y a medida que las temperaturas descendieron hasta 5 °C y la humedad relativa fue de 100 % la incidencia de la enfermedad aumentó hasta 95 % y la severidad de esta alcanzó niveles de 90 %. Con base en los resultados obtenidos se pone la base inicial para formular un modelo de pronóstico para detectar la presencia de la enfermedad en el Valle de Culiacán, Sinaloa.

Palabras clave: *Peronospora*, *incidencia*, *mildiu*.

ABSTRACT

In the 2020-2021 agricultural cycle, 23 946 hectares of onions were planted in Mexico, which produced 690 246 tons. This crop is affected by diseases such as downy mildew (*Peronospora destructor*) (Berk.) Casp. A study was developed to determine the presence of mildew in onions and diagnose the agent causing the disease, establish the optimal temperature and relative humidity for its development in the field, know based on these measurements the incidence and severity of the same. To detect and evaluate the presence of mildew and its incidence and severity in the field, weekly monitoring of 20 plants taken at random was carried out and those that presented symptoms were visually recorded and the presence of the pathogen was corroborated under the microscope; To correlate the presence and development of the disease with the relative humidity and temperature conditions, a temperature and relative humidity meter was placed on the crop. From the eighth sampling, necrosis and a dark gray powder were observed on the onion leaves, identifying the causal agent as *Peronospora destructor*, on the other hand, when temperatures ranged between 10 and 15 degrees centigrade and relative humidity above 90 %. The presence of the disease began and as temperatures dropped to 5 degrees Celsius and relative humidity increased to 100 %, the incidence of the disease shot up to 95 % and its severity reached levels of 90 %. Based on the results obtained, it is concluded that the causative agent of mildew in onions is the fungus *Peronospora destructor*, that the disease occurs when temperatures drop below 10 degrees Celsius and with relative humidity during the night above 90 % and that these results can be the initial basis to formulate a prognostic model to detect the presence of the disease in the Culiacan Valley, Sinaloa.

Keywords: *Peronospora, incidence, mildew.*

I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años la producción de cebolla ha tenido un incremento importante dentro del territorio mexicano y, debido a sus altos índices de calidad y sus propiedades nutritivas, la demanda ha crecido de forma considerable en el mercado tanto a nivel nacional como internacional; Estados Unidos y Japón son los principales consumidores de este producto. Al ser México uno de los principales proveedores de cebolla de la Unión Americana, el País se ha colocado entre los primeros lugares como productor de esta hortaliza; el 74 % de la producción total del país se concentra en siete estados, representando el 70 % de la superficie sembrada en México que equivale a más de 43 mil hectáreas (FAO, 2019; SIAP, 2022).

Son doce los patógenos foliares los que afectan al cultivo de la cebolla en todo el mundo; de estos, seis son los que causan los mayores daños y en orden de importancia se pueden mencionar el mildiu causado por *Peronospora destructor*; la mancha púrpura cuya causa es el hongo *Alternaria porri*; la pudrición del tallo y hojas causado por *Sclerotinia squamosa*; la podredumbre del cuello de la cebolla cuya causa es el hongo *Botrytis cinerea*; la mancha o moho gris de la hoja, *Cladosporium allii-cepae* y la roya causada por *Puccinia allii* (Rabinowitch, 2010). La cebolla es habitualmente afectada por el mildiu (*Peronospora destructor*) que le provoca importantes pérdidas en área foliar, rendimientos e inclusive afectan su capacidad de almacenamiento; por otra parte, debido a lo extendido del ciclo de este cultivo y a las condiciones ambientales que normalmente suceden durante el mismo, es común que se realicen numerosas aplicaciones de fungicidas (Sepúlveda, 2018).

Las enfermedades de las plantas y particularmente en cebolla están influenciadas por diversos factores, dentro de estos destacan las condiciones ambientales prevalecientes. El pronóstico de una enfermedad es la habilidad de predecir cuándo esta va a ocurrir a niveles importantes antes de que lo haga; para ello se utiliza información meteorológica, información del cultivo y del patógeno. Esa predicción

permite a los productores desarrollar estrategias e implementar tácticas de manejo de manera rápida y eficiente para su control (Maeso *et al.*, 2012).

El mildiu es la enfermedad más importante que afecta cebolla en muchas partes del mundo, por ejemplo, en Canadá se reportan pérdidas al cultivo por la enfermedad de hasta un 75 % (Van der Haden *et al.*, 2020). Además, en Uruguay, si no se controla de manera oportuna causa severos daños a este cultivo. González *et al.* (2011) indican que durante los ciclos agrícolas 2005 y 2006 mildiu en cebolla ocasionó daños que variaron de 15 a 65 %. Esta enfermedad afectó campos de cebolla en 2016 en Japón en las primeras etapas fenológicas, lo que provocó una severa defoliación, reducción de tamaño en los bulbos y pérdidas aproximadas de hasta 50 millones de dólares (Syobu y Watnabe, 2022). Osuna y Ramírez (2013) indican que en México es la enfermedad de mayor importancia en cebolla y que los daños pueden ser graves sobre todo cuando afecta los semilleros.

II. JUSTIFICACIÓN

Los factores ambientales son muy importantes en el desarrollo de la incidencia y severidad de las enfermedades, debido a ello, diversos autores, como: Hilderbrand y Sutton (1982), Yarwood (1943), Sepulveda (2018) y Giles *et al.* (2004) señalan que los factores más importantes en la presencia y desarrollo de mildiu en cebolla son la temperatura (T °C) y humedad relativa (HR) y al no existir datos precisos en México sobre el efecto de estos factores en el desarrollo de las enfermedades en cebolla. Al ser el mildiu la enfermedad que más afecta este cultivo, es importante generar información que apoye a los agricultores que cultivan esta hortaliza, pues no existe información sobre la influencia de la T y HR en la presencia y severidad de la enfermedad en México y particularmente en Sinaloa. Por lo anterior, es necesario realizar estudios que permitan estimar cuándo se presentará el mildiu en la cebolla, a partir de conocer los valores de humedad y temperatura. Esto a su vez permitirá implementar las medidas pertinentes de prevención y control para minimizar los daños provocados por esta enfermedad.

III. HIPÓTESIS

La temperatura y humedad relativa son elementos meteorológicos que influyen en la presencia, incidencia y severidad del mildiu en cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa.

IV. OBJETIVOS

4.1. Objetivo general

Estimar el papel que ejercen la temperatura y humedad relativa en la presencia, incidencia y severidad de mildiu en cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa.

4.2. Objetivos específicos

1. Determinar la presencia e identificación del agente causante del mildiu en cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa.
2. Establecer los rangos óptimos de temperatura y humedad relativa para detectar la presencia del mildiu en cebolla.
3. Conocer la humedad relativa mínima deseable para el incremento de la incidencia y severidad de la enfermedad.

V. REVISIÓN DE LITERATURA

5.1. Origen de la cebolla

La cebolla es un alimento muy valorado desde épocas muy antiguas, aunque existen algunas diferencias sobre su centro de origen, la mayoría de las investigaciones realizadas en este cultivo señalan a Asia Central y al Mediterráneo como sus centros de origen. Cubero (2003), citado por Torija *et al.* (2013), indica que la cebolla es originaria de China y del Mediterráneo, que es donde se encuentra una gran diversidad y especies. Por su parte, Orzolek *et al.* (2015) señalan que el origen de este cultivo es el centro de Asia, lo que hoy es el noroeste de la India, Afganistán, Tayikistán y Uzbekistán y que fue introducida por los españoles al Caribe poco después de su descubrimiento.

5.2. Posición taxonómica de la cebolla

La cebolla completa su ciclo biológico en dos etapas por lo que es considerada una planta bianual; aunque se cultiva anualmente excepto para la producción de semilla (Enciso *et al.*, 2019; Fornaris, 2012). La cebolla es considerada taxonómicamente de la familia Amarillydaceae, donde sobresale de manera importante el género *Allium* con más de 500 especies y donde botánicamente está clasificada como *Allium cepa* L. (Fornaris, 2012; Mata, 2011; Enciso, 2019). La clasificación taxonómica se muestra en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Posición taxonómica actual de la cebolla (ITIS, 2018).

Nivel taxonómico	Nombre
Reino	Plantae
Subreino	Viridiniplantae
Infra reino	Streptophyta
Súper División	Embryophyta
División	Tracheophyta
Subdivisión	Spermatophytina
Clase	Magnoliopsida
Súper orden	Lilianae
Orden	Asparagales
Familia	Amarillydaceae
Género	<i>Allium</i> L.
Especie	<i>Allium cepa</i> L.

5.3. Descripción botánica

5.3.1. Raíces

La cebolla tiene raíces pequeñas, por lo que absorben poca agua; son del tipo fasciculado, formado por raíces adventicias originadas en el tallo cónico durante el desarrollo vegetativo, tienen un ciclo de vida corto y a medida que van muriendo las raíces viejas se forman las nuevas. Cuando la planta llega a su maduración, las raíces viejas mueren más rápido. La mayor parte de las raíces se encuentra a una profundidad 25 cm y lateralmente a 15 cm (Fornaris, 2012; Enciso *et al.*, 2019).

5.3.2. Hojas

Las hojas crecen opuestas y alternas, son lanceoladas y de forma alterna a partir del meristemo o yema apical del tallo, son de superficie cerosa y están compuestas de la lámina y la vaina. La lámina es hueca y cerrada en la punta, la parte más vieja de una hoja es su punta y la más joven está cerca de la base de la vaina; se producen de 13 a 18 hojas, una hoja nueva es producida aproximadamente cada 7 a 10 días a partir de la primera hoja verdadera, el conjunto de las vainas envolventes forma el bulbo (Fornaris, 2012; Enciso *et al.*, 2019).

5.3.3. Tallos

El tallo de la cebolla tiene forma de disco, está localizado en la base de la planta, hueco y se localiza debajo del nivel del suelo, en el centro del disco se localiza un meristemo apical que es por donde salen las hojas. La cebolla forma un falso tallo por donde emergen las nuevas hojas y la parte de arriba pasa a ser el cuello del bulbo (Enciso *et al.*, 2019; Fornaris, 2012).

5.3.4. Bulbos

El bulbo de la cebolla se forma a partir del engrosamiento de las hojas basales que funcionan como almacén de sustancias de reservas; puede tener diversas formas y diferentes colores está formado por numerosas capas gruesas y carnosas (Enciso *et al.*, 2019); es un tallo corto envuelto en hojas modificadas engrosadas llamadas escamas del bulbo, es tunificado y en un corte transversal se observa la disposición

de escamas en una serie de capas o túnicas y en la base de este se distingue el tallo corto, desarrollado en forma de cono invertido, en su base se desarrollan escamas secas, como de papel que resultan de las vainas de las hojas más viejas y externas en la planta de cebolla, las cuales han perdido su carnosidad durante la formación y maduración del bulbo; internamente se encuentran las hojas conocidas como “verdaderas escamas”, las cuales son vainas carnosas y de almacenamiento (Fornaris, 2012).

5.3.5. Flores, frutos y semillas

Son de color blanco o lila, inflorescencia esférica tipo umbela, pueden formar de 200 a 600 flores de color blanco, hermafroditas, pero no son autógamas y liberan el polen antes de que el estigma esté receptivo, la polinización cruzada está próxima al 100 %. La apertura floral es irregular y puede prolongarse por más de dos semanas; el fruto es una cápsula trilobular, en la cual se pueden formar hasta seis semillas, esta es pequeña de color negro al madurar y usualmente tiene dos caras planas y una rugosa (Enciso, 2019; Fornaris, 2012).

5.4. Importancia de la cebolla a nivel mundial

La cebolla es uno de los cultivos más importantes que se siembran en México y solo se ve superado dentro de las hortalizas por el tomate; son 10 los países que sobresalen en la siembra y producción de cebolla a nivel mundial, destacando de manera importante la India con una superficie sembrada de 1 434 000 ha y una producción de 26 738 000 t para una producción promedio de 18.6 t ha⁻¹, le sigue China con 1 085 340 ha y una producción de 23 723 552 t, para un promedio de 21.8 t ha⁻¹, el tercer lugar lo ocupa Bangladesh con una superficie sembrada de 185 273 ha para una producción de 1 953 800 t y un promedio de 10.5 t ha⁻¹; México ocupa el noveno lugar en cuanto a superficie de siembra de cebolla a nivel mundial con una superficie de 48 628 ha para una producción de 1 499 741 t y un promedio de 30.8 t ha⁻¹ (FAOSTAT, 2020). Los principales diez países que siembran cebolla, su producción total y el promedio por hectárea cosechada se mencionan en el Cuadro 2.

Cuadro 2. Principales países productores de cebolla a nivel mundial (FAOSTAT, 2020)

País	Superficie sembrada (ha)	Producción total (t)	Rendimiento (t ha ⁻¹)
India	1 434 000	26 738 000	18.6
China	1 085 340	23 723 552	21.8
Bangladesh	185 273	1 953 800	10.5
Pakistán	148 200	2 122 000	14.3
Egipto	89 018	3 155 649	35.4
Turquía	70 275	2 280 000	32.4
EEUU	53 742	3 821 044	71.0
Irán	52 762	2 064 317	39.1
México	48 628	1 499 741	30.8
Brasil	47 487	1 495 618	31.4

5.5. Importancia de la cebolla en México

Durante el ciclo agrícola otoño-invierno del 2020-2021, en la República Mexicana se sembraron 23 946 ha bajos sistemas de riego, en las cuales se produjeron 690 246 toneladas con un promedio de producción de 28.84 t ha⁻¹; los principales estados que destacaron en la siembra y producción de este cultivo se muestran en la figura 1, destacando Chihuahua con una superficie sembrada de 1945 ha y una producción de 99 958 t, Zacatecas con 2446 y 98 558 t producidas y, Tamaulipas con 2 022 ha sembradas para una producción de 71 107 t. Mientras que Sinaloa, ocupa el octavo lugar con una producción de 38 323 t en una superficie sembrada de 1961 ha (SIAP, 2022).

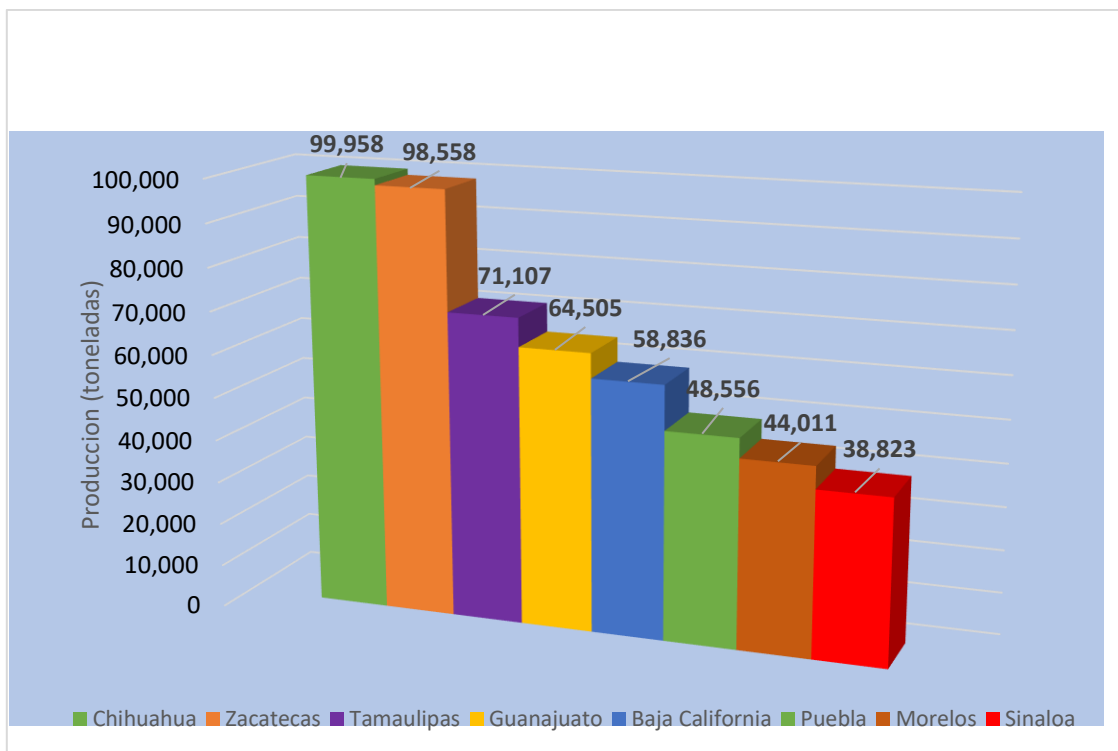


Figura 1. Principales estados productores de cebolla de la República Mexicana durante el ciclo agrícola 2020-2021 (SIAP, 2022).

5.6. La cebolla como cultivo en Sinaloa

En Sinaloa, además de la producción de granos (maíz, sorgo, garbanzo, trigo, etcétera), las hortalizas constituyen una alternativa rentable; caracterizado por ser el principal productor de tomate, también se siembran cultivos hortícolas como chile, cucurbitáceas y berenjena entre otros. La cebolla es una hortaliza que se siembra continuamente, la cual en los últimos años tiende a aumentar su superficie de siembra, debido a que en algunas temporadas su valor comercial es muy redituable. En el estado, durante los últimos cinco años, la superficie de siembra ha tenido un decremento, durante el ciclo agrícola 2016-2017, fue de 2007 ha, las cuales generaron una producción de 49,032 t con un rendimiento de 24.4 t ha⁻¹ (Cuadro 2); en este mismo cuadro se observa que en el ciclo agrícola 2020-2021, la superficie de siembra fue de 1961 ha las cuales generaron una producción de 38 323 t, con un promedio de 19.5 t ha⁻¹ (SIAP, 2022).

5.7. Plagas y enfermedades de cebolla

5.7.1. Plagas de la cebolla

Las plagas que atacan al cultivo de cebolla afectan el rendimiento del mismo. Las plagas más comunes que se reportan en cebolla a nivel mundial son: trips (*Trips tabaci* Lindermann y *Frankliniella occidentalis* Pergande), minador de hoja (*Liriomyza* sp.), araña roja (*Tetranychus telarius* Linnaeus) y plagas del suelo como gusanos trozadores (*Peridroma* sp.), gusanos defoliadores (*Spodoptera* sp.), gusanos de alambre (*Agriotes* sp.), entre otras plagas (García, 2003). Asimismo, García y González (2010), destacan de manera importante al gusano soldado (*Spodoptera exigua* Hübner), minador de la hoja (*Liromyza* spp.) y gallina ciega (*Phyllophaga* spp. y *Cyclocephala* spp.). Dentro de estas plagas destaca el *Thrips tabaci* Linderman (Thysanoptera: Thripidae) (Reveles *et al.*, 2014). Este insecto ataca a diferentes cultivos, tales como tomate de cáscara, tomate, papa, ajo, cebolla, algodón, tabaco, entre otros (Ramírez *et al.*, 2010). Este tisanoptero cuando se encuentra en poblaciones altas ocasiona marchitez prematura, retardo en el crecimiento, desarrollo de la hoja y distorsión de brotes (Alston 2008).

5.7.2. Enfermedades de la cebolla

Existen varias enfermedades que atacan a la cebolla, al respecto, Montes *et al.* (2003) detectaron que en el estado de Morelos, México, las principales enfermedades son: *Fusarium*, *Rhizoctonia*, *Curvularia*, *Phoma*, *Alternaria*, *Sclerotium*, *Bipolaris*, *Aspergillus*, *Rhizopus* y *Penicillium*; al efectuar la pruebas de patogenicidad con dichas enfermedades solo resultaron positivas con *Phoma* y *Sclerotium* sobresaliendo las especies *P. terrestris* y *S. rolfsii*. En campo se detectaron estas dos últimas especies, además de *Fusarium culmorum*, *Penicillium* sp. y *Colletotrichum circinans*.

En cebolla, también son importantes las enfermedades bacterianas asociadas a otras enfermedades causadas por hongos, cuyos síntomas más comunes son pudriciones, necrosis y tizones de la cebolla, como patógenos primarios o secundarios, los cuales se aprecian después de la infección de *Botrytis* spp.,

Aspergillus niger, *Fusarium oxysporum* f. sp. *cepa* y *Alternaria porri* (McDonald *et al.*, 2004).

Kier y Delhey (2007) afirman que dentro de las enfermedades más importantes que afectan el cultivo de cebolla en el sur de Argentina se encuentra el mildiu causado por *Peronospora destructor*, la raíz rosada cuya causa es el hongo *Phoma terrestris* y la podredumbre basal por *Fusarium oxysporum* f. sp. *proliferatum*.

5.7.2.1. El mildiu de cebolla

5.7.2.1.1. Importancia de *Peronospora destructor*

El mildiu de la cebolla causado por *Peronospora destructor*, es la enfermedad más importante a nivel mundial en este cultivo y en Uruguay es considerada la de mayor relevancia; es una enfermedad que ha adquirido resistencia a varios productos químicos debido al mal uso de los mismos, por lo que es conveniente buscar alternativas de control para minimizar el daño en cebolla (Colnago *et al.*, 2012).

Velandia *et al.* (2012) señalan que la enfermedad más importante que afecta a la cebolla a nivel mundial, es el mildiu causado por *Peronospora destructor* por el cual se han reportado pérdidas entre 60 y 90 % a nivel de campo, sobre todo cuando el patógeno afecta en etapas tempranas a este cultivo. Reveles *et al.* (2014), Rueda (2015) y Sepúlveda (2018) señalan que el mildiu de la cebolla se encuentra ampliamente distribuido a nivel mundial, sobresaliendo de manera importante en América, Norte, Este y Sur de África, Oeste y Este de Asia, Europa, Australia y Nueva Zelanda; dentro de sus hospedantes destacan los de la familia de las liliáceas; la enfermedad afecta seriamente al cultivo de cebolla llegando a ocasionar daños que oscilan entre 30 y 70 %.

Oana *et al.* (2021) mencionan que *Peronospora destructor*, es el patógeno que más daño ha causado a este cultivo en Canadá y que su severidad en campo fluctúa entre 20 y 30 %.

5.7.2.1.2. Posición taxonómica de *Peronospora destructor*

Los oomicetos fueron considerados dentro del grupo de los hongos desde hace mucho tiempo debido a que obtienen sus nutrientes por la vía de absorción, producen hilos filamentosos conocidos como micelio, característico también en muchos hongos y causan enfermedades en plantas, lo que también es una característica de los hongos. Los oomicetos ahora son clasificados como un grupo diferente debido a la presencia de algunas características únicas de estos microorganismos (Cuadro 3) (Rossman y Palm, 2006). Los mismos autores indican que los oomicetos pertenecen al reino Stramenopila (algas) y que el orden más importante como causante de enfermedades es el Peronosporales y que a su vez cuenta con tres familias muy importantes desde el punto de vista de daño a las plantas cultivadas: Pythiaceae (causante de tizones y damping-off), Albuginaceae (royas blancas) y Peronosporaceae (mildius).

Cuadro 3. Principales diferencias entre los oomicetos y los hongos (Rossman y Palm, 2006).

Característica	Oomicetos	Hongos
Reproducción sexual	Heterogametangial con formación de oosporas	No hay producción de oosporas. La reproducción sexual produce zigosporas, ascosporas y basidiosporas.
Estado nuclear del micelio vegetativo	Diploide	Haploide o dicariótico
Composición de la pared celular	Beta glucanos, celulosa	Chitina, celulosa en raras ocasiones
Tipo de flagelos en las zoosporas	Heterokonte, de dos tipos, uno en látigo (posterior) el otro fibroso, ciliado (pincel, peine) (anterior)	Si se producen flagelos, solo del tipo látigo (posterior)
Mitocondria	Con crestas tubulares	Con crestas aplanadas

Síntesis de lisina	Ácido diamino pimélico (ADP)	Vía ácido amino adípico (AAA)
--------------------	------------------------------	-------------------------------

Dentro de la familia Peronosporaceae se encuentra *Peronospora destructor*, su posición taxonómica se menciona en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Posición taxonómica de *Peronospora destructor* causante del mildiu en cebolla.

Nombre común	Mildiu lanoso, mildiu velloso
Nombre científico	<i>Peronospora destructor</i> (Berk.) Casp. y Berk.
Reino	Protista
Subreino	Stramenopila
Clase	Oomycetes
Orden	Peronosporales
Familia	Peronosporaceae
Género	<i>Peronospora</i>
Especie	<i>Peronospora destructor</i>

Fuente: Sekimoto *et al.* (2008), Beakes *et al.* (2012), Beakes *et al.* (2014) y Thines (2009).

5.7.2.1.3. Influencia de los factores ambientales en las enfermedades de las plantas

Con respecto a la influencia que ejercen los factores ambientales en el desarrollo de las enfermedades de plantas, la literatura menciona lo siguiente:

En un trabajo para medir el efecto que ejercían la temperatura y humedad relativa en la pudrición del cogollo del agave tequilero variedad azul causado por *Erwinia* sp. se encontró que el elemento meteorológico más importante fue la temperatura ya que cuando esta fluctuó en los 10 °C o menores, la enfermedad se presentó de manera importante en este cultivo (Bernache, 2007).

Martínez *et al.* (2016) señalan que de manera general la temperatura y humedad relativa son dos factores a considerar en la presencia, incidencia y desarrollo de las enfermedades, tal es el caso del tizón temprano del tomate causado por *Alternaria solani*, el cual puede ocasionar daños fuertes cuando se presentan días lluviosos, lo que eleva la humedad en el ambiente y temperaturas entre 20 y 24 °C son dos condiciones que hacen que la enfermedad aumente en campo.

Nischwitz *et al.* (2021) indican que la podredumbre del cuello de la cebolla, enfermedad causada por los hongos *Botrytis aclada* y *B. allii*. Estos hongos se encuentran en dormancia en el suelo y se transmiten principalmente por medio de la semilla, para posteriormente infectar a los bulbos, el cual adquiere un color marrón y presenta agua en el cuello. Además, en casos severos la enfermedad puede causar una pérdida de rendimiento superior al 30 % en las cebollas almacenadas.

5.7.2.1.4. Influencia de los factores ambientales en el mildiu en cebolla

En un estudio realizado para conocer el desarrollo y dispersión del mildiu en cebolla, con relación al ambiente bajo condiciones de campo, se encontró que la producción de esporangios ocurrió cuando las temperaturas oscilaron entre 23 y 24 °C, con días previos de humedades relativas mayores a 95 %; y que el pico de la epidemia se alcanzó en solo dos días o con periodos largos alternados (10 a 16 días) a las condiciones ambientales antes señaladas (Hildebran y Sutton, 1982).

Palti (1989) menciona que para que *Peronospora destructor* cause epifitía en el cultivo de cebolla, se requiere que las temperaturas oscilen entre 10 y 12 °C, e incluso, temperaturas de hasta 22 °C, crean condiciones apropiadas para el desarrollo de la enfermedad.

Para estimar el efecto de la oscuridad en el desarrollo de mildiu en cebolla, se consideraron los días y horas en oscuridad (período comprendido entre las 21:00 y las 6:30 horas) con humedad relativa igual o mayor que 95 % y dos rangos de temperatura: entre 4 y 23 °C para el rango amplio y entre 12 y 14 °C como el rango óptimo. Se encontró que el progreso de la enfermedad estuvo más asociado a lo que se definió como el rango óptimo de temperaturas (10 a 14 °C), y no al rango amplio de ocurrencia de la enfermedad (4 a 23 °C) (Colnago *et al.*, 2012). Por su parte Velandia *et al.* (2012) señalan que el daño causado por mildiu se incrementa cuando la humedad relativa es mayor al 90 % y las temperaturas oscilan entre los 6 y 20 °C.

La temperatura máxima para el desarrollo de mildiu fluctúa entre 23 y 24 °C, siendo de 12 a 14 °C la temperatura óptima y se ve favorecida por humedades relativas superiores al 95 % (Colnago *et al.*, 2012; Velandia *et al.*, 2012; Reveles *et al.*, 2014; Silla, 2016; Sepúlveda, 2018).

Se correlacionaron los parámetros meteorológicos de temperatura y humedad relativa para determinar la influencia de estos con en la incidencia del mildiu en cebolla durante 2013 y 2014; los monitoreos se iniciaron en noviembre y se culminaron en abril, en ambos casos, los resultados encontrados muestran que la enfermedad se manifestó a partir de noviembre con un 9 % de incidencia con una temperatura máxima de 24 °C, una mínima de 9.6 °C y una humedad relativa entre 65 y 67 %; se incrementó a partir de diciembre y hasta abril en ambos años de 16 a un 20 % de incidencia y esto coincidió sobre todo con el factor temperatura que se mostró a la baja fluctuando entre 4 y 6 °C (SSV, 2016).

Sepúlveda (2018) indica que *Peronospora destructor* se puede presentar en cualquier estado de desarrollo de la cebolla y que las temperaturas de 11 a 13 °C y alta humedad relativa, son factores esenciales para la proliferación de la enfermedad.

En un estudio realizado bajo condiciones de laboratorio para evaluar la germinación de los esporangios de *Peronospora destructor*, la suspensión de esporangios fue colocada en cajas de Petri con algodón húmedo e incubados a 5, 10, 15, 20, 25 y 30 °C, los resultados encontrados indican que se observó una germinación de 75 % cuando las placas se incubaron a 15 °C (Ankita *et al.*, 2020).

Los síntomas de la enfermedad se inician en las hojas, detectándose manchas ovaladas de color verde claro para posteriormente tornarse de color amarillo. En estas manchas se puede apreciar un polvo de color púrpura grisáceo lo que corresponde a las estructuras de *Peronospora destructor*, las cuales se diseminan a través del aire y el agua de lluvia; de los estomas emergen los esporangios, en los cuales se aprecia una ramificación dicotómica. Los conidios (zoosporas) son las encargadas de la diseminación de la enfermedad a plantas sanas (Oana *et al.*, 2021).

Syobu y Watanabe (2022) señalan que en evaluaciones registradas de 2016 a 2018 del mildiu en cebolla, encontraron que los meses más propicios para el desarrollo de la enfermedad fueron de diciembre a enero, que es cuando las temperaturas fluctúan entre 5 y 7 °C y la humedad relativa es superior a 75 %.

VI. MATERIALES Y MÉTODOS

6.1. Localización del experimento

El experimento se inició el 10 de octubre de 2021 en el campo experimental de la Facultad de Agronomía de la Universidad Autónoma de Sinaloa, localizado en el kilómetro 17.5 de la carretera Culiacán-Eldorado, entre las coordenadas 24° 37' 29" N y 107° 26' 36" O, el tipo de suelo que prevalece es arcilloso.

6.2. Preparación del terreno

Previo a la siembra del cultivo, se efectuaron las labores de preparación del terreno, las cuales consistieron en la eliminación de las malezas presentes en el lugar del experimento; esta labor se realizó mediante un paso doble de rastra, para posteriormente efectuar el marcado de las camas a una separación de 1.6 m de ancho y una longitud de 30 m. Posteriormente se procedió a la introducción de un sistema de riego presurizado sencillo que constó de una manguera como fuente abastecedora principal.

6.3. Material vegetal usado

La plantación de cebolla se realizó mediante el uso de cebollín, material vegetal que es usado para la producción de cebolla y que es apto para la siembra en temporadas no aptas para la producción de esta hortaliza mediante la semilla. La variedad usada fue Carta Blanca, producida por la compañía Nunhems y que presenta las características de ser una cebolla de días cortos de maduración intermedia, excelente calidad y uniformidad de bulbos en forma y tamaño, alto potencial de rendimiento y alta resistencia a enfermedades radiculares. Sus días a maduración son de 170 a 175, forma redonda, color de piel blanca, tamaño del bulbo jumbo (Nunhems, 2020).

Una vez obtenido el bulbo se procedió al trasplante de los cebollines, colocados a doble hilera en zig-zag y con una separación de 12 cm entre ellos, antes del trasplante se aplicó un riego para facilitar esta labor y posterior a este, se procedió a efectuar un riego de sellado durante dos horas (Figura 2).



Figura 2. Marca del terreno, colocación de cinta y cebollín de la variedad Carta Blanca usada en el experimento.

6.4. Diseño del muestreo

El cultivo se estableció en cuatro camas con cuatro hileras de plantas en cada una. En este espacio se realizó un muestreo cada siete días, durante 12 semanas. Se realizó un muestreo aleatorio estratificado, tomando a cada cama como un estrato. Para determinar el tamaño de la muestra se aplicó la siguiente fórmula (Krebs, 2016):

Donde:

- n = tamaño de la población para estimar la proporción de plantas dañadas
- p = proporción de plantas dañadas esperado
- q = proporción de plantas sanas esperado = 1-p
- t = valor de la distribución de la "t" de Student para n-1 grados de libertad
- d = margen de error deseado en la estimación de la proporción
- a = nivel de confianza

En el cuadro 5, se muestran los datos los datos obtenidos a partir de la fórmula antes mencionada.

Cuadro 5. Datos para determinar el tamaño de muestra.

	Datos
p =	0.3
q =	0.7
a =	0.05
d =	0.1
t =	1.96

A partir de lo anterior se estimó que el tamaño de la muestra fue de 81 plantas como se muestra a continuación:

$$n = \frac{1.96^2_{0.05}(0.3)(1-0.3)}{0.1^2} = 80.68$$

Este tamaño de muestra fue distribuido en los cuatro estratos, dejando 20 plantas en cada uno de ellos. Los monitoreos se realizaron semanalmente, a partir de los 30 días después del trasplante cuando la planta de cebolla manifestó la presencia de cuatro a siete hojas verdaderas.

6.5. Detección e identificación de la presencia de mildiu en cebolla

Una vez efectuado el trasplante de cebolla, se realizaron monitoreos cada siete días, de manera visual se registraron aquellas que presentaban síntomas de la enfermedad (Figura 3). Se revisaron en laboratorio, primero bajo el microscopio estereoscópico y posteriormente con el biológico (compuesto), con el fin de detectar la presencia de mildiu (Figura 3). Una vez realizados los muestreos en campo, se revisaron minuciosamente cinco hojas por repetición para una muestra total de 20, para el caso de la detección de mildiu se procedió a la identificación a través de claves pictóricas y las características típicas descritas para *Peronospora destructor*, como lo indican Smith *et al.* (1992) y Cortizas y Noguez (2010).



Figura 3. Monitoreo en el cultivo de cebolla en campo para la detección de mildiu y corroboración en laboratorio.

6.6. Variables de respuesta

Con el fin de determinar el impacto de mildiu en cebolla, se evaluaron los siguientes parámetros:

6.6.1. Relación de la temperatura y humedad relativa con la presencia de mildiu en cebolla

Los registros de temperatura y humedad relativa se realizaron una semana después del trasplante de cebolla y durante todo el experimento, esto con el fin de obtener los datos precisos para detectar la presencia de mildiu en cebolla. El registro de temperatura y humedad relativa, máxima, mínima y promedio que ocurrieron a lo largo del ciclo del cultivo, fue realizado con un medidor de temperatura y humedad relativa (EL-USB-2, Lascar). Este medidor fue colocado directamente en donde se encontraba el cultivo de cebolla y fue revisado semanalmente. (Figura 4). Con los datos obtenidos se realizó un análisis de la relación entre dichos elementos meteorológicos y la prevalencia y severidad de la enfermedad, teniendo como variable dependiente la severidad del daño causado por mildiu.

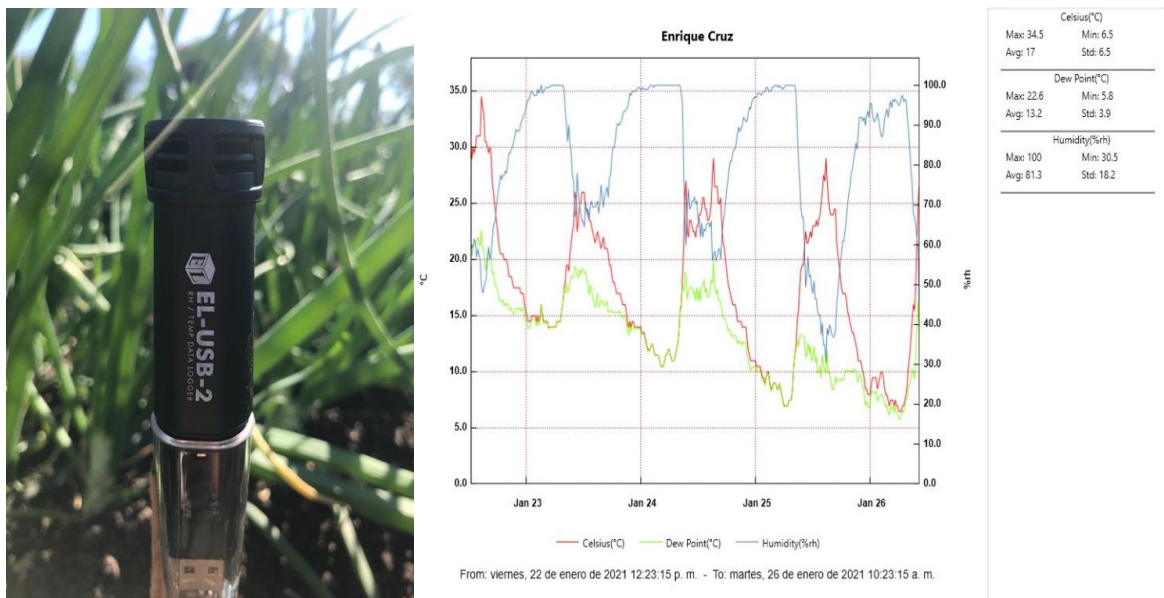


Figura 4. Detector de temperatura y humedad relativa y formato de gráfica emitido de los registros de estas condiciones ambientales en el experimento.

6.6.2. Incidencia de la enfermedad

Para la evaluación de este parámetro se revisaron 20 plantas seleccionadas completamente al azar y se evaluaron cinco hojas por cada unidad experimental. Las hojas se revisaron de manera visual y se procedió a contabilizar el número total de plantas observadas con síntomas de mildiu en cebolla; para determinar la incidencia se utilizó la ecuación de Abbott (1925), la cual se detalla a continuación:

$$\%I = \frac{NBI}{NTB} * 100, \text{ donde:}$$

$\%I$ = Porcentaje de incidencia de la enfermedad

NBI: Plantas infestadas

NTB: Total de plantas

6.6.3. Severidad de la enfermedad

Para evaluar la severidad de la enfermedad se tomaron datos cada semana de las 20 plantas seleccionadas aleatoriamente, las cuales fueron revisadas minuciosamente en el follaje para detectar la presencia de la enfermedad y la severidad de esta; para determinar esta última se usó la escala propuesta por Langston (2004) para calabaza y adaptada por Ramírez (2017) para el mildiu en cebolla y que se señala en el Cuadro 6.

Cuadro 6. Escala para determinar la severidad de la enfermedad causada por mildiu en cebolla (Langston, 2004; adaptada por Ramírez, 2017).

Índice	Porcentaje de daño
0	Sin daño en el follaje
1	1 al 20 de área foliar dañada
2	20 al 40 de área foliar dañada
3	40 al 60 de área foliar dañada
4	60 al 80 de área foliar dañada
5	80 al 100 de área foliar dañada

Una vez calculado el porcentaje de severidad de la enfermedad en el follaje, los datos fueron transformados a porcentaje de daño mediante la fórmula de los valores de Townsend y Heuberger (1943), que se usa para ensayos fitosanitarios.

$P = [\sum(nt)/vN]100$, donde:

P = Porcentaje de infección en plantas

n = Número de plantas en cada categoría

t = Valor numérico de cada categoría

N = Número total de plantas en la muestra

v = Valor máximo de la escala usada

Con los datos de severidad de la enfermedad se realizó un análisis de regresión lineal para evaluar el avance de la enfermedad en el cultivo a través del tiempo. Para ello se utilizó el programa XLSTAT (Addinsoft, 2022).

6.6.4. Sistema de predicción de la enfermedad

Una vez identificada y diagnosticada la enfermedad del mildiu en campo, se realizaron comparaciones de los registros tomados del detector de temperatura y humedad relativa y se precisó de manera certera, cuál de los factores es más importante para la presencia, incidencia y severidad del mildiu en cebolla, lo que permitió en base a las condiciones ambientales y los datos recabados generar un sistema de alerta y prevención de la enfermedad.

Con los datos de temperatura máxima, mínima, humedad relativa máxima y humedad relativa mínima se construyó un dendograma de clasificación aglomerativa jerárquica por el método de Ward (Anderson *et al.* (1999), teniendo como criterio de disimilitud la distancia eucladiana. Esto se realizó para definir la unidad de hábitat en que se desarrolló la enfermedad de mildiu en cebolla.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

7.1. Presencia y diagnóstico de mildiu en cebolla

A partir del octavo muestreo se empezaron a observar síntomas de hojas necrosadas y, además, se observó un polvo de aspecto gris-oscuro en las mismas. Al ser observadas al microscopio se encontraron esporangios y esporangióforos típicos de la clase Oomycetes y al comparar dichas estructuras con claves pictóricas se encontró que la enfermedad presente en el cultivo era el mildiu de la cebolla causado por *Peronospora destructor* (Figura 5).

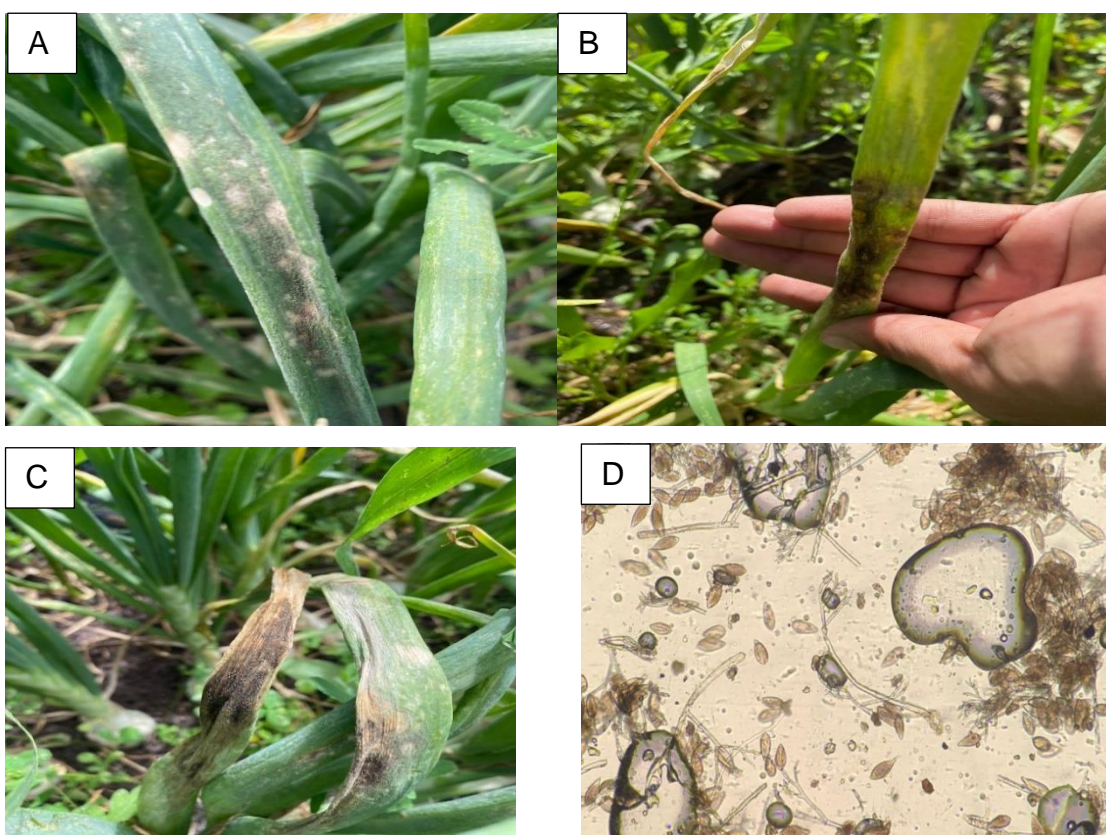


Figura 5. Daños en follaje de cebolla (A, B, C), esporangios y esporangióforos de *Peronospora destructor* (D).

Una vez que se determinaron que los síntomas coincidían con los descritos para mildiu en cebolla, se procedió a procesar las muestras en el Laboratorio de Fitopatología. En un portaobjetos, al cual se le adicionó una gota de agua, fue colocada biomasa fungosa tomada de las hojas de cebolla mediante una aguja de disección previamente desinfectada a la flama y, al ser observada al microscopio,

se encontraron esporangióforos y esporangios típicos de *Peronospora destructor*, por lo que se corroboró la presencia de la enfermedad denominada mildiu en cebolla (Figura 6).

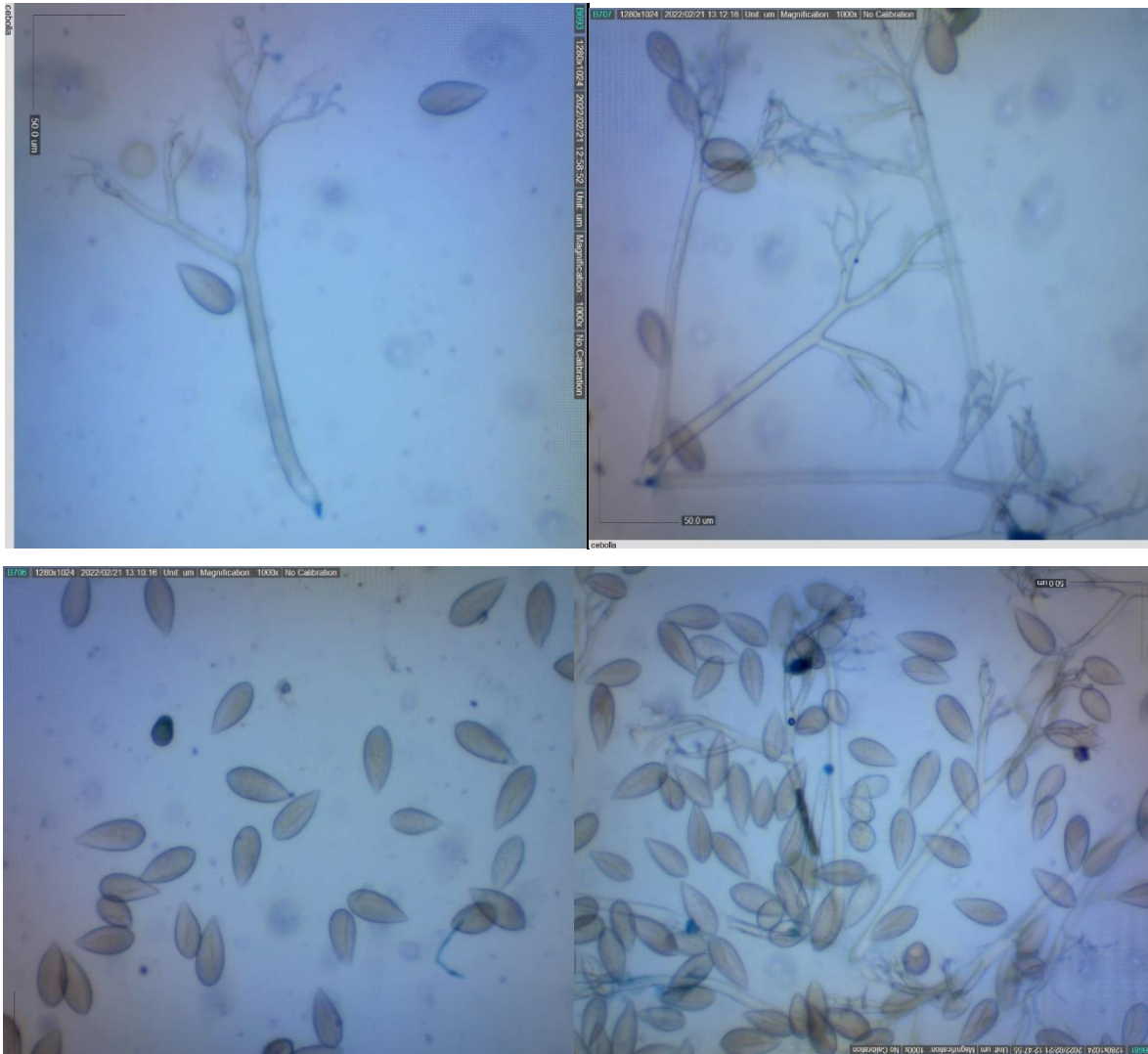


Figura 6. Esporangióforos y esporangios típicos de *Peronospora destructor*.

Se analizaron estas estructuras encontradas en las hojas de cebolla y se determinó que este coincide con lo expuesto por Walker (1965), Smith *et al.* (1992) y Cortizas y Noguez (2010), quienes señalan que los esporangióforos de *Peronospora destructor* son de color violáceo, de longitud variable entre 122 y 820 micras, hinchados en su base y con un diámetro de 7 a 18 micras, ramificados monopódicamente, que terminan en dos esterigmas sub-agudos a agudos. También

se encontraron esporangios piriformes a fusiformes de 18 a 29 micras de ancho por 40 a 72 micras de largo, los cuales presentaban paredes delgadas sub-hialinas y ligeramente papiladas en su extremo distal.

Estos resultados coinciden con lo señalado por Langston y Sumner (2000), quienes indican que en los campos de cebolla en Georgia, Estados Unidos se presentó de manera recurrente una sintomatología en plantas que consistió en lesiones alargadas en hojas, de color pálido a marrón en hojas viejas; al realizar una preparación al microscopio del patógeno se encontró micelio sin septas (cenocítico) y esporangióforos ramificados dicotómicamente, que se estrecharon hasta convertirse en esterigmas cortos, dando lugar a esporangios piriformes a fusiforme típicos de *Peronospora destructor*.

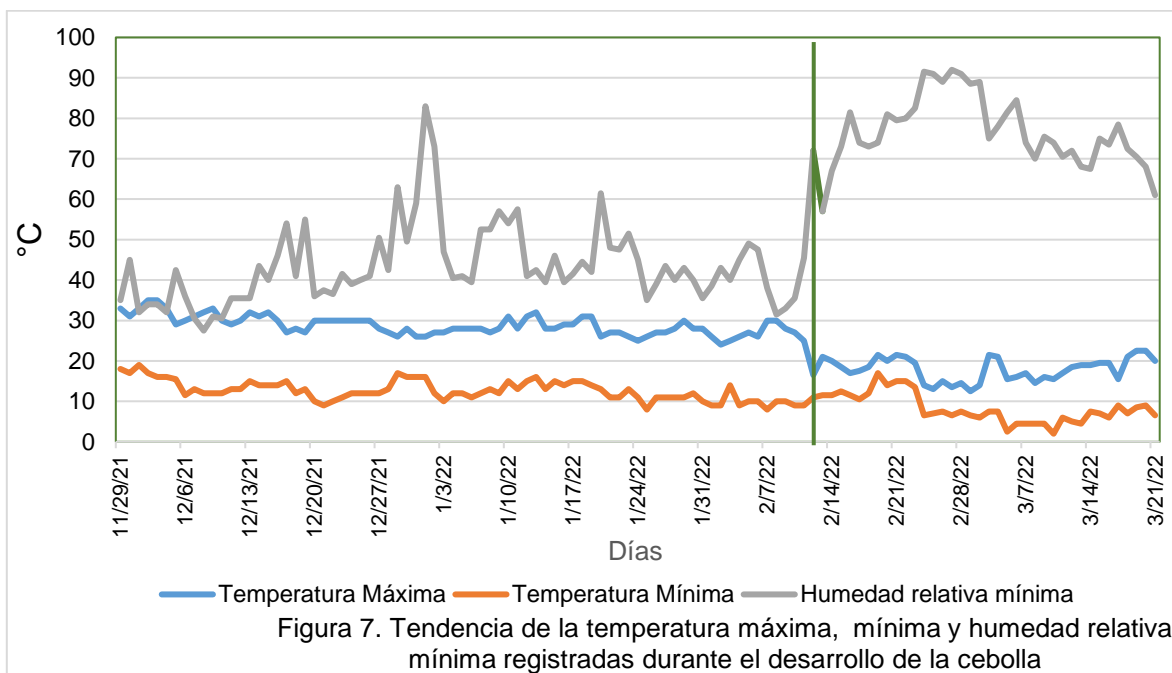
De la misma manera, Ankita *et al.* (2020) señalan que *Peronospora destructor* produce un micelio de color hialino aseptado con ramificaciones del tipo dicotómico y con tamaños variables; los esporangios miden de 50.4 a 65.8 μm de largo por 24.6 a 25.2 μm de ancho, de color hialino y de forma piriforme y/o fusiforme.

7.2. Efecto de la humedad relativa y la temperatura en la presencia del mildiu en cebolla

La enfermedad no se presentó en los primeros siete muestreos iniciales (octubre de 2021 a enero de 2022) cuando los registros de temperatura promedio fueron a los 20 °C y con temperaturas superiores a 35 °C y una humedad relativa de 71.5 %. En el octavo muestreo (19 de febrero del 2022), se detectó la presencia de la enfermedad y a partir de ese momento en las cuatro evaluaciones restantes se observó un aumento progresivo, incluso, logrando llegar al 100 %; por lo que es indudable que los factores como la humedad relativa superior al 90 % y temperaturas por debajo de los 10 °C son los dos factores más importantes para que se presente la enfermedad.

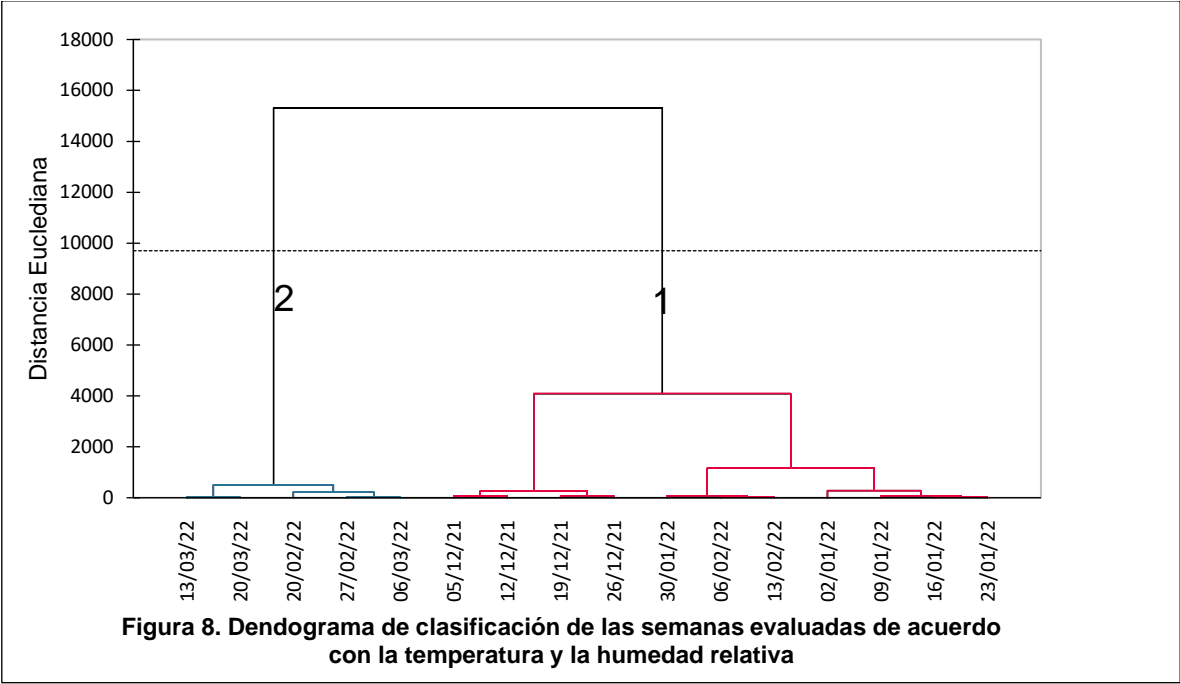
Para evaluar el efecto de la humedad relativa y la temperatura sobre la presencia de mildiu en cebolla, se relacionó el comportamiento de estos elementos con la evolución de la severidad ocurrida durante 12 semanas. Se encontró que los

síntomas de la enfermedad se manifestaron a los 10 días de que ocurrió un descenso brusco de la temperatura mínima que, combinado con un aumento de la humedad relativa y disminución de las temperaturas máximas, pudieron generar las condiciones para la germinación de los esporangios de *Peronospora destructor*. Se resaltan las altas temperaturas, ya que las condiciones de bajas temperaturas mínimas y altas humedades relativas, ya se habían presentado en fechas anteriores, pero no ocurrió la germinación de esporangios, aunque las temperaturas máximas eran elevadas, como se observa en la Figura 7. En este caso, Filgueira, *et al.* (2014), indican que *Peronospora sparsa* se desarrolla en un rango alto de temperatura, y que las altas temperaturas inhiben la esporulación, disminuyendo drásticamente a temperaturas cercanas a los 4 y 33 °C. Así mismo, Buloviené y Surviliené (2006) encontraron que *Peronospora destructor* inoculado en plantas que fueron sometidas a una temperatura constante a 15 °C por 8 días y otras a 22 °C por 5 días tuvieron el porcentaje más alto de infección y de esporulación y, además, señalan que el periodo de esporulación duró entre 4 y 8 días.



Las condiciones meteorológicas que se presentaron durante el desarrollo del experimento, generaron dos grandes unidades de hábitat. En una de ellas se tienen

las condiciones medioambientales favorables para el desarrollo del mildiu en cebolla, las cuales se muestran en la Figura 8. En la unidad ambiental 2 es donde se desarrolla el *Perosonospora destructor* atacando cebolla.



En el cuadro 7 se muestran los valores de temperatura y humedad relativa de los dos grupos conformados en el dendrograma de clasificación. El mildiu de la cebolla se desarrolló en el grupo dos, donde se presentaron las temperaturas máximas y mínimas más bajas. Así mismo ocurrieron las humedades relativas mínimas y máximas más altas.

Cuadro 7. Valores de temperatura y humedad relativa de los dos grupos conformados en el dendograma

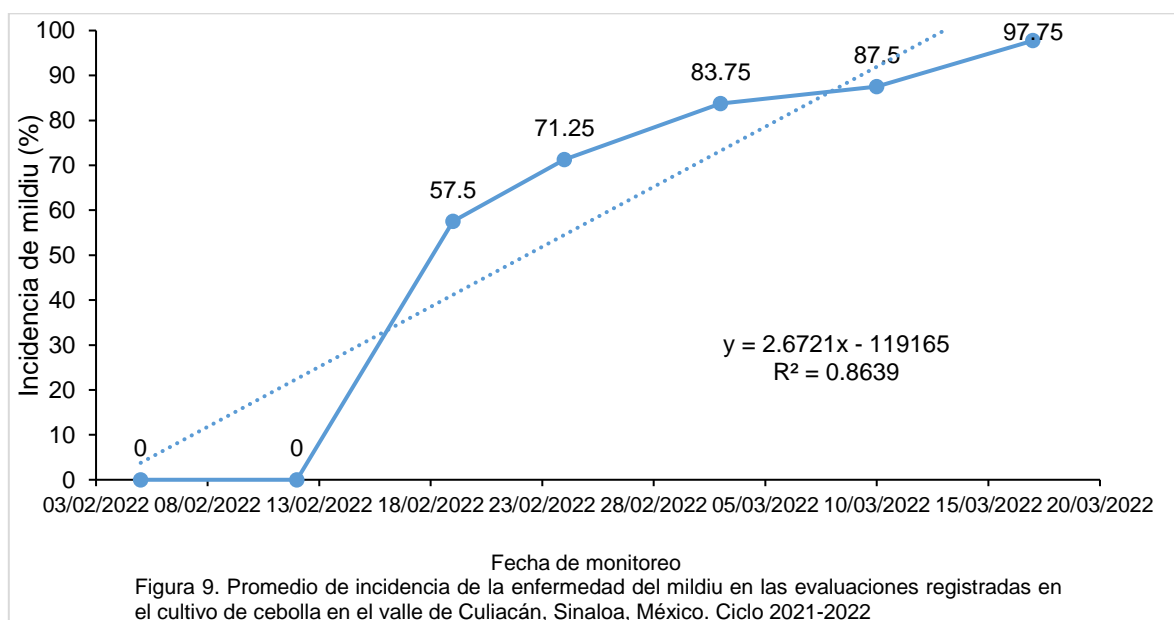
Grupo	Fecha	T °C Máxima	T °C Mínima	H R Mín	HR Máx
I	05/12/21	32.71	16.93	36.36	90.79
	12/12/21	30.71	12.36	32.36	84.29
	19/12/21	29.57	13.86	45.00	88.79
	26/12/21	30.00	10.86	38.79	81.64
	02/01/22	26.86	14.57	60.07	93.29
	09/01/22	27.71	11.71	47.14	94.21
	16/01/22	29.57	14.43	45.71	90.07
	23/01/22	28.14	13.14	48.07	93.71
	30/01/22	27.29	10.71	40.79	91.86
	06/02/22	26.00	10.14	42.64	90.64
	13/02/22	25.36	9.79	44.64	91.40
	20/02/22	19.00	12.71	74.79	86.64
	27/02/22	16.79	10.14	86.50	94.43
II	06/03/22	16.43	6.00	83.93	98.21
	13/03/22	16.79	4.43	72.00	96.21
	20/03/22	19.93	7.71	72.21	96.64

Lo anterior sugiere que no solo se requiere que las temperaturas mínimas sean bajas y que las humedades relativas sean altas, sino que estas sean relativamente duraderas, lo cual se logra teniendo temperaturas máximas bajas y humedades relativas mínimas también elevadas.

Ankita *et al.* (2020) señalan que la temperatura óptima para la germinación de los esporangios de *Peronospora destructor* es de 15 °C y con humedad relativa superior a 95 %. También Giles *et al* (2004) señalan que, bajo condiciones controladas, los esporangios del agente causal del mildiu de la cebolla germinan cuando las temperaturas nocturnas fluctúan de 8 a 12 °C y cuando la humedad relativa alcanzó el 100 % y que cuando la humedad relativa es menor de 93 % la germinación de estas esporas decrece notablemente. También coincide con lo expuesto por Syobu y Watanabe (2022), los cuales encontraron que para la presencia y desarrollo de mildiu en cebolla, ocurren cuando estas son menores a 10 °C (de 5 a 8 °C) y cuando la humedad relativa sobrepasa el 90 %.

7.3. Incidencia de la enfermedad

A partir de la detección de la enfermedad del mildiu en cebolla, en febrero del 2022, se realizaron cinco monitoreos adicionales semanalmente. Una vez obtenidos los datos, se realizó un análisis de regresión lineal teniendo como variable dependiente el factor tiempo. En la Figura 9, se aprecia que la incidencia de la enfermedad fue muy alta en el último muestreo con 97.8 % y que la evolución de la incidencia es explicada en un 86.3 % por las condiciones de humedad y temperatura que prevalecieron durante la evaluación. Además, una vez que los síntomas se han manifestado, la incidencia se incrementó en 2.67 % por día.



Velandia *et al.* (2012) y Ankita *et al.* (2020), indican que *Peronospora destructor* puede presentarse en campo y no ser detectada, ya que el periodo para la aparición de síntomas (periodo de incubación) varía entre 9 y 16 días después de que la planta en campo puede ser infectada y que la humedad relativa nocturna es el factor más importante para que la enfermedad se presente con carácter devastador si no se implementa alguna medida de control.

Lo anterior significa que una vez que se manifiesta el mildiu en cebolla, si las condiciones meteorológicas permanecen y si no se aplica alguna medida de control, la enfermedad avanzará rápidamente en el cultivo. Lo que sigue es que, una vez

presentadas o que se pronostican condiciones de temperatura y humedad favorable para el desarrollo de mildiu, es importante aplicar alguna medida de control.

7.4. Severidad de la enfermedad

Una vez determinada la incidencia de la enfermedad con base en los mismos monitoreos realizados se procedió a determinar la severidad de la enfermedad. En total se realizaron siete evaluaciones y al igual que para incidencia los dos muestreos previos realizados en cebolla el 05 y 12 de febrero del 2022, el cultivo no manifestó daño y en el tercer muestreo realizado el 19 de febrero de 2022, la enfermedad tuvo una severidad de 4.47 % ya que fueron los inicios de su presencia en campo. A medida que las condiciones de humedad relativa se mantuvieron y junto con temperaturas mínimas que fluctuaron de 6 a 10 °C, esto en combinación con el descenso de las temperaturas máximas, la severidad de la enfermedad se incrementó alcanzando hasta 94.8 % en el último muestreo realizado el 17 de marzo de 2022 (Figura 8). Obteniendo un coeficiente de determinación (R^2) de 0.9205, además, el nivel de severidad aumentó en 2.7 % diario, como se muestra en la Figura 10.

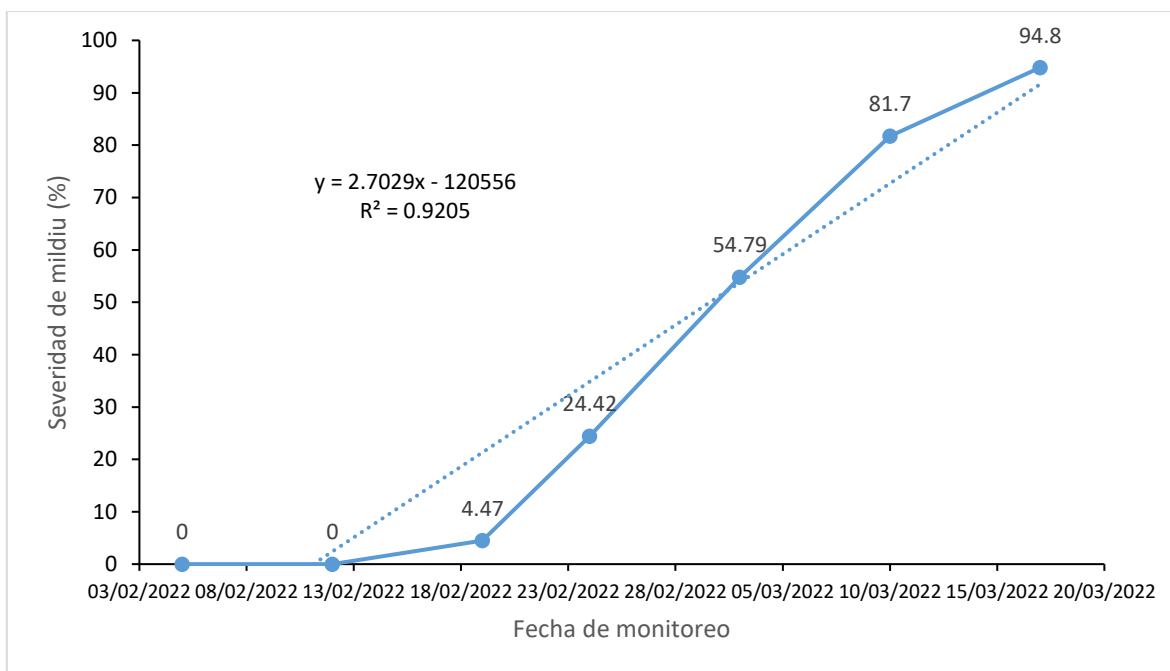


Figura 10. Severidad de mildiu en cebolla encontrada en el valle de Culiacán, Sinaloa, durante el ciclo agrícola 2021-2022.

Lo anterior significa que el daño en la planta se incrementa rápidamente, lo cual es muy importante, pues si no se aplica alguna medida de control rápidamente, la enfermedad terminará con el cultivo en un corto tiempo.

Estos resultados coinciden con Velandia *et al.* (2012), quienes señalan que el mildiu en cebolla es una enfermedad que ocasiona severos daños superiores al 60 % y que la particularidad de esta severidad está relacionada con la temperatura y humedad relativa; ya que, para ocasionar este tipo de daño *Peronospora destructor*.

Los resultados encontrados en el presente trabajo de investigación coinciden con lo expuesto por autores como Ankita *et al.* (2020), que *Peronospora destructor* es más letal en el cultivo de cebolla dependiendo de los factores climáticos; estos autores señalan que durante el ciclo 2017-2018, la incidencia (39.2 %) y la severidad (58.6 %) de la enfermedad en 2017 fue moderada; sin embargo, a partir de febrero de 2018, cuando la temperatura bajó a 7.6 °C y la humedad relativa aumentó a 75 % y hasta 95 % el mildiu alcanzó un 87.4 % de severidad. Guines *et al.* (2004) indican que al comparar la incidencia y severidad de la enfermedad de mildiu en cebolla bajo tres sistemas de predicción: DOWNCAST, de Visser's DOWNCAST y el ONIMIL, encontraron que los tres sistemas de pronóstico coincidieron que se puede llegar al 100 % de incidencia y severidad de la enfermedad cuando las temperaturas fluctúen de 4 a 24 °C y humedad relativa superior al 94 %.

Premila y Sohiarana (2014) coinciden con los resultados obtenidos ya que en un trabajo realizado durante el ciclo 2013-2014 y 2014-2015, en donde se evaluó la incidencia de mildiu tomando como base fundamental los parámetros meteorológicos, se encontró en ambos casos que la enfermedad alcanzó un máximo de 20 % y en ambos casos coincidió con la fecha de su presencia que en este caso fue el mes de marzo de 2014 y 2015, la incidencia fue de 20 % y la temperatura adecuada para lograr esta severidad fue de 9.5 °C en promedio y la humedad relativa fue superior al 64 %.

VIII. CONCLUSIONES

- 1) El patógeno causante de la enfermedad conocida como mildiu en cebolla en el valle de Culiacán es *Peronospora destructor*.
- 2) Los rangos de temperatura y humedad relativa para la presencia de mildiu en cebolla en el valle de Culiacán, Sinaloa, son de 10 °C o menores y una humedad relativa superior al 80 %, alcanzando una incidencia superior al 86 % y una severidad de hasta 94 %.
- 3) La humedad relativa mínima que favoreció la incidencia y severidad de la enfermedad fue superior al 72 %.

IX. LITERATURA CITADA

- Abbott, W. S. S. 1925. A method of computing the effectiveness of an insecticide. J. Econ. Entomol. Cap. 18. 265-267 pp.
- Addinsoft (2022) XLSTAT Statistical and Data Analysis Solution. New York.
<https://www.xlstat.com>
- Alston, D. G. 2008. Onion thrips (*Thrips tabaci*). Utah Pests Fact Sheet. ENT-117-08PR. Utah State University, 7 pp.
- Ankita, S. C., Rajender, S. and Meena, K. V. 2020. Epidemiological studies of downy mildew of onion. International Journal of Current Microbiology and Applied Sciences, 9(5): 01-12.
- Beakes, G. W., Glockling, S. L. and Sekimoto, S. 2012. The evolutionary phylogeny of the oomycete “fungi”. Protoplasma, 249: 3-19.
- Beakes, G. W., Honda, D. and Thines, M. 2014. Systematics of the Straminipila: Labyrinthulomycota, Hyphochytriomycota, and Oomycota. Pages 39-97 in: Systematics and Evolution. McLaughlin, D. J. and Spatafora, J. (eds). Springer, New York.
- Bernache, P. F. 2007. Interacción de la temperatura y la humedad relativa ambiental sobre el desarrollo de la enfermedad pudrición del cogollo en *Agave tequilana* Weber var. *azul*. Tesis de Maestría en Ciencias en manejo de áreas de Temporal. Centro Universitario de ciencias Biológicas y Agropecuarias, Universidad de Guadalajara. 35 p.
- Colnago, P., González, P., Noguez, M., Bentancur, O. y Galván, G. A. 2012. Evaluación de la respuesta a *Peronospora destructor* (Berk.) Casp. en el germoplasma local de cebolla en Uruguay. Agrociencia Uruguay, 16(1): 33-44.
- Cortizas, S. J. M. y Noguez, T. M. A. 2010. Evaluación de la resistencia a *Peronospora destructor* en el germoplasma local de cebolla. Tesis de

- Licenciatura en Ingeniería Agronómica. Universidad de la República, Facultad de Agronomía, República de Uruguay, Montevideo. 67 p.
- Cristea, T. O., Iosob, G.-A., Bute, A., Avasiloaiei, D.-I. and Bouruc, D. 2021. Plant pests and diseases in some vegetables cultures from Vegetable Research and Development Station from Bacau. *Biology*, 30(1): 69-74.
- Enciso, G. C. R., Vera, O. P. A., Santacruz, T. A. R. y González, V. J. D. 2019. Guía técnica cultivo de cebolla. Facultad de Ciencias Agrarias, Universidad Nacional de Asunción. San Lorenzo, Paraguay. 68 p.
- FAO STAT. 2020. Crops and livestock products (Onion). Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>. Fecha de consulta: 26 de agosto de 2022.
- Filgueira D., Juan José, & Zambrano, Angélica. 2014. Temperature effect on rose downy mildew development under environmental controlled conditions. *Agronomía Colombiana*, 32(1), 29-36. <https://doi.org/10.15446/agron.colomb.v32n1.41362>
- Fornaris, R. G. J. 2012. Conjunto tecnológico para la producción de cebolla. Estación Experimental Agrícola, Universidad de Puerto Rico, Recinto Universitario de Mayagüez, Colegio de Ciencias Agrícolas. 156 p.
- Gilles, T., Phelps, K., Clarkson, J. P. and Kennedy, R. 2004. Development of MILIONCAST, an improved model for predicting downy mildew sporulation on onions. *Plant Diseases*, 88: 695-702.
- García, M. M. 2003. Plagas, enfermedades y fisiopatías del cultivo de la cebolla en la Comunidad Valenciana. Generalitat Valenciana. Consellería de Agricultura, Pesca y Alimentación. 111 p.
- González, P. H., Colnago P., Peluffo, S., González, I. H., Zipitria, J. y Galvan, G. A. 2011. Estudios cuantitativos sobre mildiu veloso (*Peronospora destructor*

- Berk. Casp.) que afectan la producción de semilla de cebolla en el sur de Uruguay. *Revista Europea de Patología Vegetal*, 129: 303-314.
- Hair J.F , Anderson R.E. Tatham R.L. y Black W.C. 1999. *Análisis Multivariante*. 5ta. Ed. Prentice Hall Ibérica. Madrid
- ITIS (Integrated Taxonomic Information System). 2018. *Allium cepa*. Taxonomic and nomenclature. [https://www.itis.gov/servlet/Single_Rpt/Single_Rpt? Search_topic=TSN&searchvalue=42720&print_version=PRT&source=to_print#null](https://www.itis.gov/servlet/Single_Rpt/Single_Rpt?Search_topic=TSN&searchvalue=42720&print_version=PRT&source=to_print#null) . Fecha de consulta: 22 de agosto de 2022.
- Kiehr, M. y Delhey, R. 2007. Estrategias para el manejo de enfermedades de cebolla en el sur argentino. *Revista AgroUns*, 4(7): 5-10 pp.
- Martínez, R. F. E., Aíl, C. C. E., Hernández, M. L. G., Del Toro, S. C. L. y Rueda, P. E. O. 2016. Hongos fitopatógenos asociados al tomate (*Solanum Lycopersicum* L.) en la zona árida del noroeste de México: la importancia de su diagnóstico. *European Scientific Journal*, 12(18): 1857-7881.
- McDonald, M. R., Jaime, M. A. and Marilyn, H. Y. 2004. Management of diseases of onions and garlic. *Diseases of Fruits and Vegetables*, 2: 149-200.
- Montes, B. R., Nava, J. R. A. y Flores, M. H. E. 2003. Hongos y nematodos en raíces y bulbos de cebolla (*Allium cepa* L.) en el Estado de Morelos, México. *Revista Mexicana de Fitopatología*, 21(3): 300-304.
- Langston, D. B. and Sumner, D. R. 2000. First report of downy mildew (caused by *Peronospora destructor*) of onion in Georgia. *Plant disease*, 84(4): 489. Doi: 10.1094/PDIS.2000.84.4.489B.
- Orzolek, M. D., Greaser, G. L. y Harper, J. K. 2015. Producción de cebolla. *Revista Alternativas Agrícolas de la Universidad Estatal de Pennsylvania*. 1-6 p. <file:///C:/Users/equipo%2033/Downloads/produccion-de-cebolla.pdf>. Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022.

- Osuna, C. F. J. y Ramírez, R. S. 2013. Manual para cultivar cebolla con fertirriego y riego por gravedad en el estado de Morelos. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación. INIFAP Morelos. 156 p.
- Palti, J. 1989. Epidemiology, prediction and control of onion downy mildew caused by *Peronospora destructor*. *Phytoparasitica*, 17: 31-48.
- Premila, A. and Sophiarani, Y. 2015. Downy mildew of onion: epidemiological aspects. *International Journal of Innovative Research and Development*, 4(13): 257-259.
- Ramírez, R. S., Osuna, C. F. J., Güemes, G. M. J., Bartolo, R. J. C., Ocampo, O. T. & Ayala, S. A. 2010. Plagas y enfermedades de la cebolla. Primera edición. INIFAP. Zacatepec, Morelos, 29 p.
- Reveles, H. M., Velásquez, V. R., Reveles, T. I. R. y Cid, R. J. A. 2014. Guía para la producción de cebolla en Zacatecas. Folleto Técnico Núm. 62, SAGARPA-INIFAP.
- Rossmann, A. Y. and Palm, M. E. 2006. Why are *Phytophthora* and other Oomycota not true Fungi? The American Phytopathological Society. <http://www.apsnet.org/online/feature/oomycetes/>. Fecha de consulta: 23 de junio de 2022.
- Sepúlveda, P. 2018. Manejo integrado de plagas y enfermedades. Mildiu en Cebolla. Ficha Técnica Núm. 16, Sanidad Vegetal; INIA. 2 p. Disponible en: <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/FichasT/NR41205.p>. Fecha de consulta: 06 de enero del 2022.
- Sekimoto, S., Yokoo, K., Kawamura, Y. and Honda, D. 2008. Taxonomy, molecular phylogeny, and ultrastructural morphology of *Olpidiopsis porphyrae* sp. Nov. (Oomycetes, Straminipiles), a unicelular obligate endoparasite of *Bangia* and *Porphyra* spp. (Bangiales, Rhodophyta). *Mycological Research*, 112: 361-374.

- Servici Sanitat Vegetal, GVA (Generalitat Valenciana). 2016. Mildiu de la cebolla. <http://www.agroambient.gva.es/documents/163214705/163899378/Peronospora+destructor+%28Mildiu%29.pdf/1e043124-9d11-4938-88ad-575d7ea75ac8>. Fecha de consulta: 05 de octubre de 2022.
- SIAP. 2022. Anuario estadístico de la producción agrícola. <https://nube.siap.gob.mx/cierreagricola/>. Fecha de consulta: 14 de febrero de 2022.
- Smith, I. M., Dunez, J., Lelliot, R. A., Phillips, D. H. y Archer, S. A. 1992. Manual de enfermedades de las plantas. Madrid, España, Mundi-Prensa. 671 p.
- Syobu, S. and Watanabe, S. 2022. Characteristics of meteorological conditions during a severe outbreak of onion downy mildew and metalaxyl sensitivity of *Peronospora destructor* in Saga, Japan, in 2016. Horticulturae, 8(578): 1-24. <https://doi.org/10.3390/horticulturae8070578>. Fecha de consulta: 24 de agosto de 2022.
- Thines, M. 2009. Bridging the gulf: *Phytophthora* and downy mildews are connected by rare grass parasites. *PLoS One* 4: 4790.
- Torija, M. E., Matallana, M. C. y Chalup, N. 2013. El ajo y la cebolla: de las medicinas antiguas al interés actual. *Bol. R. Soc. Esp. Hist. Nat. Sec. Biol.*, 107: 29-37.
- Townsend, G. R. and Heuberger, J. W. 1943. Methods for estimating losses caused by diseases in fungicide experiments. *The Plant Disease Reporter*, 27: 340-343.
- V. Buloviene and E. Surviliene. 2006. Effect of environmental conditions and inoculum concentration on sporulation of *Peronospora destructor* *Agronomy Research* 4. 147-150.
- Van der Heyden, Hervé, Pierre Dutilleul, Jean-Benoît Charron, Guillaume J. Bilodeau, and Odile Carisse. 2020. "Factors Influencing the Occurrence of Onion Downy Mildew (*Peronospora destructor*) Epidemics: Trends from 31

Years of Observational Data" *Agronomy* 10, no. 5: 738.
<https://doi.org/10.3390/agronomy10050738>

Velandia, M. J., Viteri, R. S. E., Rubio, C. N. J. y Tovar, D. F. O. 2012. Efectos del fosfito de potasio en combinación con el fungicida metalaxyl + mancozeb en el control de mildew veloso (*Peronospora destructor* Berk) en cebolla de bulbo (*Allium cepa* L.). *Revista Facultad Nacional de Agronomía - Medellín*, 65(1): 6317-6325.

Walker, J. C. 1973. *Patología vegetal*. Segunda Edición. Barcelona, España. Editorial Omega. 520 p.