



Mildiu de la quinua (*Peronospora variabilis*): Una revisión sobre respuesta y tratamiento de la enfermedad*

Quinoa Downy Mildew (*Peronospora variabilis*): A review on disease response and treatment

Víctor Chávez-Centeno¹, Juan Luis Mancilla-Condor¹, Leonor Neda Carbajal-Cuadros¹

* Recepción: 28 de febrero, 2023. Aceptación: 3 de agosto, 2023. Este trabajo formó parte de la investigación “Fitopatologías en cultivos agroindustriales de exportación”, llevado a cabo en la Universidad para el Desarrollo Andino (UDEA).

¹ Universidad para el Desarrollo Andino (UDEA), Lircay, Perú. victor.chavez@unh.edu.pe (autor para la correspondencia; <https://orcid.org/0000-0001-8005-3388>), jmancondor@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-7500-7328>), lcarbajalcuadros@gmail.com (<https://orcid.org/0000-0001-9651-0141>).

Resumen

Introducción. El mildiu de la quinua es una enfermedad que ocasiona pérdidas económicas y que ha sido poco estudiada, por lo que la investigación de la respuesta de la quinua a la enfermedad y las formas de tratamiento es un tema que debe investigarse con mayor profundidad. **Objetivo.** Describir cómo afecta la infección del mildiu veloso en la planta de la quinua y los métodos no tradicionales empleados en el control de esta enfermedad. **Desarrollo.** Se realizó una búsqueda sistemática a fin de realizar una recopilación de los resultados asociados al *P. variabilis* en la quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) en diversas condiciones. El análisis determinó que factores como la incidencia, la severidad y la tolerancia a la enfermedad del mildiu, dependieron en gran medida de la variedad de grano de quinua y la altitud (con sus condiciones climáticas). La altura de la planta y el rendimiento por hectárea estuvieron influenciados por las condiciones del suelo, el tratamiento empleado contra plagas y patógenos, y el día de siembra. **Conclusiones.** La incidencia y la severidad del mildiu veloso dependió de la variedad de la quinua con la que se trabajó. Otros factores como la altitud o la humedad también influyeron en el progreso de la enfermedad, con una infección cercana al 90 % en ambientes con alta humedad. Los métodos no convencionales para tratar el mildiu fueron infusiones de plantas como la manzanilla y el ajo, con resultados positivos a corto plazo; no obstante, no superaron a los tratamientos convencionales con fungicidas químicos.

Palabras claves: *Chenopodium quinoa*, severidad, mecanismos de resistencia, control.

Abstract

Introduction. Quinoa downy mildew is a disease that causes economic losses and has been poorly studied. Therefore, researching quinoa's response to the disease and treatment methods is a topic that requires further investigation. **Objective.** To describe how downy mildew infection affects quinoa plants and the non-traditional methods used to control this disease. **Development.** A systematic search was conducted to compile the results associated with *P. variabilis* in quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild.) under various conditions. The analysis determined



that factors such as incidence, severity, and disease tolerance depended largely on the quinoa grain variety and altitude (along with its climatic conditions). Plant height and yield per hectare were influenced by soil conditions, pest and disease treatment, and the planting day. **Conclusions.** The incidence and severity of downy mildew depended on the quinoa variety used. Other factors such as altitude or humidity also influenced disease progression, with infection rates close to 90 % in high humidity environments. Non-conventional methods for treating downy mildew included plant infusions such as chamomile and garlic, showing positive short-term results; however, they did not surpass conventional treatments with chemical fungicides.

Keywords: *Chenopodium quinoa*, severity, resistance mechanisms, control.

Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Wild.) es considerada como un cultivo andino que posee gran potencial alimentario y que se remonta a miles de años atrás en las zonas altiplánicas de Bolivia y Perú, a altitudes de 3650 a 4200 m s. n. m. (Bazile et al., 2021). La quinua posee una alta calidad en cuanto a proteínas y a la diversidad de minerales y vitaminas que contiene (Hinojosa et al., 2019). Por ello, la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO) la ha considerado como uno de los cultivos que ofrecerá seguridad alimentaria durante el siglo XXI.

La quinua posee propiedades nutricionales únicas, porque contiene vitaminas (folato, B6, niacina y riboflavina), oligoelementos y aminoácidos esenciales como fenilalanina, lisina, isoleucina y treonina (Afzal et al., 2022; Campos-Rodríguez et al., 2022). Debido a ello, es que ha surgido el interés internacional en la quinua, lo que ha generado que su área de cultivo se expanda a territorio europeo y norteamericano de forma acelerada (Li et al., 2020). Y, aunado a la expansión productiva, el consumo de la quinua fue promovida por la amplitud de ambientes en los cuales puede ser cultivada, pues es capaz de soportar temperaturas extremas entre -8 °C y 38 °C, además de que puede crecer en áreas con escasos recursos naturales (Bazile et al., 2021; Wali et al., 2022).

La quinua puede soportar condiciones ambientales extremas (v. gr. frío, sequía, radiación solar y salinidad), además de que es posible cultivarla en zonas en las que no habría posibilidad de cultivar cereales (Hernández-Ledesma, 2019). No obstante, eso no hace a la planta inmune a diversas plagas o patógenos. El mildiu, ocasionado por *Peronospora variabilis* Gaum, se considera como la principal enfermedad en la quinua y genera efectos negativos de rendimiento (Colque-Little, C., Buchwaldt Amby, et al., 2021). Debido a que entre sus síntomas se encuentran manchas cloróticas en las hojas y defoliación posterior, lo cual reduce el área fotosintética y afecta su capacidad productiva (Ramírez Maguiña et al., 2020).

La presencia de *P. variabilis* ocasiona pérdidas económicas en países y continentes donde la quinua es cultivada (Khalifa & Thabet, 2018), lo que genera reducción del rendimiento entre el 35 y del 99 % en variedades tolerantes y susceptibles, respectivamente (Aguilar et al., 2020). Debido a ello, se han registrado diversas formas de controlar la enfermedad, entre las cuales se encuentran fungicidas, extractos de plantas, sustancias sintéticas u oligosacáridos que activan mecanismos de defensa en la planta de la quinua (Jamiołkowska, 2020). No obstante, estos métodos pueden incrementar los costos productivos y ser dañinos para la salud humana y del ecosistema (Lindo-Gutarra et al., 2021).

La maleza *C. album* tiene presencia en Europa y frecuentemente se infecta con patógenos que causan el mildiu vellosa que parecen ser conoespecíficos de *P. variabilis* que infecta a la quinua. Debido a esto, *C. album* puede actuar como huésped alternativo de *P. variabilis* y ser un reservorio para este patógeno. Otras especies de maleza de *Chenopodium* como *C. murale* (pie de ganso de hoja de ortiga), y *C. ambrosioides* (pie de ganso indio), también

son susceptibles, pero la infección cruzada con la quinua no se ha reportado (Colque-Little, Correa Abondano, et al., 2021).

La sintomatología de mildiu, es el amarillamiento o enrojecimiento de las hojas, hasta lograr casi el 100 % de defoliación. Las esporas del patógeno ocasionan manchas grises en el envés de las hojas, las cuales actúan como fuente primaria de inóculo (oosporas), que son propagadas por el viento y la lluvia. Esto ocasiona que se disminuya la capacidad fotosintética de la planta, la debilita y detiene la producción de semillas. *P. variabilis* requiere de un ambiente con alta humedad relativa, nuboso y que presente una precipitación continua. Se desarrolla en las temporadas de lluvia y usualmente afecta en etapas tempranas del cultivo (Khalifa & Thabet, 2018).

La identificación del mildiu y las formas de tratamiento mediante diversos métodos son aspectos de interés internacional (Colque-Little, Buchwaldt Amby, et al., 2021). Debido a esto, el objetivo de esta revisión fue describir cómo afecta la infección del mildiu veloso en la planta de la quinua y los métodos no tradicionales empleados en el control de esta enfermedad.

Metodología

La investigación se llevó a cabo entre los meses de septiembre y diciembre del 2022. El proceso de búsqueda sistemática para realizar esta investigación se basó en el modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic reviews and Meta-Analyses), el cual, de acuerdo con García-Madurga et al. (2021), asegura la transparencia de la búsqueda y permite trazar el propósito con claridad. La revisión, además, se realizó con el propósito de sintetizar los resultados obtenidos sobre la *P. variabilis* en la quinua, por lo que fue pertinente emplear estrategias de búsqueda regularizadas (Paul & Rialp Criado, 2020). Con la finalidad de realizar una investigación organizada y replicable, se optó por seguir cinco pasos que fueron ya empleados en revisiones sistemáticas anteriores (Crisol-Moya et al., 2020; George Reyes & Avello-Martínez, 2021; Holguin García et al., 2020): (a) planteamiento de preguntas, (b) determinación de la estrategia de búsqueda, (c) selección de los artículos, (d) procesos de análisis y (e) análisis de resultados.

Se plantearon tres problemas de investigación: (a) ¿Qué factores influyen en el progreso de la enfermedad del mildiu en la planta de la quinua?; (b) ¿Cómo el mildiu afecta la altura y el rendimiento por hectárea de la planta de la quinua? y (c) ¿Cuáles son los métodos no convencionales que se han investigado para regular o tratar el *P. variabilis* presente en la planta de la quinua? En base a estas preguntas de investigación, las variables que se analizaron fueron la severidad y la incidencia del mildiu, la altura y el rendimiento por hectárea de la planta. Además, el grado de resistencia de las variedades ante este patógeno.

La búsqueda de información se realizó mediante las bases de datos ScienceDirect (buscador de Scopus) y SciELO. Se realizó una exploración atemporal al introducir la palabra “*Peronospora variabilis*” en el motor de búsqueda. Luego, a través de los operadores booleanos “AND” y “OR” se limitaron los resultados mediante la combinación (“*Peronospora variabilis*”) AND (“*Chenopodium quinoa*”). Se emplearon las combinaciones (“*Peronospora variabilis*”) AND (“*quinua*”) y (“*Peronospora variabilis*”) AND (“*quinoa*”). No se presentó una variación considerable en los resultados.

En el proceso de selección, se establecieron criterios de exclusión e inclusión para seleccionar los textos y realizar el análisis respectivo. De esta manera, (i) se tomaron en cuenta investigaciones entre los años 2017 y 2023; (ii) artículos de investigación, de revisión, en prensa y capítulos de libro; (iii) publicaciones en idioma inglés, español y portugués; (iv) que la revista realice la revisión por pares. Se excluyeron primeros reportes o estudios que no abordaban un factor asociado a la enfermedad. El paso final fue la selección de textos y análisis de las publicaciones seleccionadas. El proceso sistematizado de selección mediante el método PRISMA se muestra en la Figura 1.

Se seleccionaron un total de 36 textos, de acuerdo con el proceso de selección definido, los cuales fueron registrados en un archivo, para luego ser organizados con base en información relevante como: año de publicación,

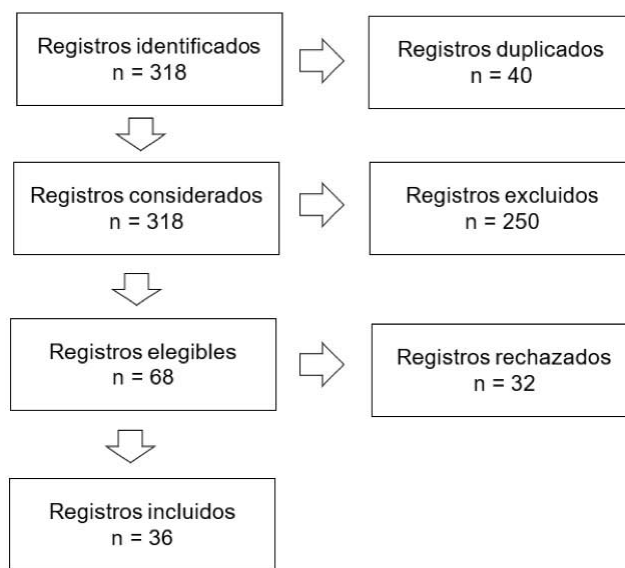


Figura 1. Proceso de selección de artículos de investigación de las bases de datos Scopus, SciELO y Google Scholar mediante el método PRISMA. Universidad para el Desarrollo Andino. 2023.

Figure 1. Research article selection process from Scopus, SciELO and Google Scholar databases using the PRISMA method. Universidad para el Desarrollo Andino. 2023.

país de desarrollo, idioma, método aplicado o resultados. Al inicio se distribuyeron los artículos seleccionados con base en el año que fueron publicados; esta distribución se observa en la Figura 2 y se realizó para identificar la realidad sobre las publicaciones en torno a esta problemática de interés mundial.



Figura 2. Artículos de investigación sobre *P. variabilis* en *C. quinoa* distribuidos por años, elaboración propia.

Figure 2. Research articles on *P. variabilis* in *C. quinoa* distributed by year, self-made.

De acuerdo con los datos sistematizados, en el 2019 se presentó el mayor número de publicaciones (22 %). Le siguieron los años 2021 y 2022, con 19 % cada uno. En 2018 solo se registraron seis publicaciones (17 %),

seguido del 2017 y 2023, cada uno con 6 %. Esto evidencia un crecimiento en el año 2018 y, a partir de este año, una constante en el número de publicaciones (con una ligera caída en el 2020).

Progreso de la enfermedad del mildiu

El progreso del mildiu en la quinua fue evaluado con base en tres factores: tolerancia, severidad e incidencia de la enfermedad. Los resultados obtenidos en las investigaciones que se analizaron y fueron seleccionadas en esta revisión, muestran resultados que dependen de las variedades que estudiaron.

Tolerancia al mildiu

La tolerancia al mildiu dependió de la variedad. La variedad denominada “Nueva del Norte” del Perú, demostró un porcentaje elevado de tolerancia al mildiu, ya que solo presentó un 6 % de daño foliar (Tejada Campos, 2020); mientras que “Amarilla de Maragani” también se consideró como tolerante (Ramírez Maguina et al., 2020). Se demostró que la variedad “Pansakalla” fue más tolerante que “Blanca Junín” (Bautista Gómez, 2021). Además, se determinó que esta última variedad fue más tolerante que otras, entre ellas la “Mantaro” (Guevara Fernández et al., 2018). Otras variedades como el “Kurmi” también demostraron ser tolerantes al mildiu vellosa (Rollano-Peñaloza et al., 2022). Mientras que en otras variedades la tolerancia dependió del tratamiento de la enfermedad (Aydoğdu & Koç, 2020; Colque-Little, Correa Abondano, et al., 2021; Nolen et al., 2022) y de los cruces genéticos (Maldonado-Taipe et al., 2022). También se hallaron variedades medianamente resistentes en Turquía (Aydoğdu & Koç, 2020).

Los factores climáticos fueron determinantes al analizar la respuesta de la planta frente al mildiu. La humedad es un factor que genera una expansión más rápida del mildiu; mientras que en la temporada de crecimiento se observó un mayor porcentaje de tolerancia (Nolen et al., 2022). Aunado a esto, en aquellas investigaciones que evaluaron más de ochenta genotipos de quinua [como las investigaciones de Colque-Little, Correa Abondano, et al. (2021) o Estrada Zúñiga et al. (2022) y la gran mayoría de publicaciones seleccionadas], además de evaluar el grado de respuesta ante el mildiu, se identificaron genotipos resistentes a la enfermedad, los cuales podrían ser usados en programas posteriores para mejorar la quinua a nivel genético.

Severidad del mildiu

En cuanto a la severidad del mildiu, esta dependió de las variedades trabajadas (Bonifacio, 2019; Estrada Zúñiga et al., 2022; Lozano-Isla et al., 2023). La nueva variedad de quinua de Tejada Campos (2020), mostró una severidad menor en comparación con otras (como la “Blanca Junín”). Mientras que la severidad de la variedad “Jacha grano” dependió de las condiciones ambientales en las cuales fue sembrada (Alcón Chigua & Bonifacio Flores, 2018). También, la variedad “Rainbow” presentó una severidad menor en tierra egipcia (Ahmed & Abdel-Wahed, 2018). En estos casos, la severidad rondaba los 90 % y causaba una defoliación severa en la planta. La severidad del mildiu en las plantas de la quinua fue en promedio 80 % luego de más de 20 días de infección (Colque-Little, Correa Abondano, et al., 2021).

Los tratamientos ante la severidad del mildiu variaron. La infusión de manzanilla (*Matricaria camomilla*) tuvo resultados iniciales similares al fungicida, pero los resultados de este último fueron mejores a largo plazo (Aguilar et al., 2020; Lindo-Gutarra et al., 2021). Se determinó que los fungicidas químicos generaban un control regular de la severidad en las variedades “Amarilla Marangani” y “Pansakalla” (Guevara Fernández et al., 2018). Además, los tratamientos con microorganismos redujeron la severidad (Leon Ttacca, Mendoza Coari, et al., 2022). El estiércol

semidescompuesto aportó, además, resistencia a la enfermedad del mildiu, ya que redujo el porcentaje de severidad en las plantas infectadas (Medrano Poma & Bonifacio Flores, 2018).

Incidencia de la enfermedad

Sobre la incidencia de la enfermedad se registró que la variedad “Negro” en Egipto resultó tener un porcentaje cercano al 90 %, en comparación a otras que alcanzaron el 60 % (Ahmed & Abdel-Wahed, 2018). El tratamiento con especies vegetales en infusión obtuvo resultados positivos al controlar la incidencia; con mejores resultados en la infusión de manzanilla (*M. camomilla*) (Lindo-Gutarra et al., 2021) y la infusión con ajo (*Allium sativum*) (Bautista Gómez, 2021), seguidos de las infusiones de cola de caballo (*Equisetum arvense*) y del paico (*Dysphania ambrosioides*).

Las variedades peruanas presentaron mejor respuesta al mildiu veloso (más tolerantes que variedades extranjeras). En las investigaciones que se realizaron con un número reducido de variedades de quinua (Cuadro 1), se observa que la altitud y sus condiciones climáticas influyeron de forma significativa en la incidencia y severidad de la planta.

Cuadro 1. Resultados obtenidos sobre incidencia y severidad de *P. variabilis* en una variedad egipcia y seis variedades peruanas de *C. quinoa*, cultivadas en diferentes altitudes.

Table 1. Results obtained on the incidence and severity of *P. variabilis* in an Egyptian variety and six Peruvian varieties of *C. quinoa*, cultivated at different altitudes.

Varietades	Resultados	Zona / T	Referencia
Negro	Incidencia: La variedad “negro” fue la más susceptible con una incidencia del 100 % a 20 m s. n. m.	Fayoum y Bani-Sweif, Egipto 13-26 °C	Ahmed & Abdel-Wahed (2018)
Blanca Junín	Severidad: El daño se extendió a un 16 % del tercio superior de la planta en condiciones de la sierra norte del Perú a 2407 m s. n. m. Incidencia: Se registró un 90,69 % a 2761 m s. n. m.	Ayacucho, Perú 24,81 °C	Bautista Gómez (2021) Guevara Fernández et al. (2018) Tejada Campos (2020)
Altiplano	Severidad: Un porcentaje cercano al 100 % a 2407 m s. n. m.	Chachapoyas, Perú 15,7 °C	Guevara Fernández et al. (2018)
Salcedo	Severidad: Un porcentaje cercano al 100 % a 2407 m s. n. m.	Chachapoyas, Perú 15,7 °C	Guevara Fernández et al. (2018)
Pasankalla	Severidad: Un porcentaje cercano al 100 % a 2407 m s. n. m. Incidencia: Se registró un 82,65 % a 2761 m s. n. m.	Ayacucho, Perú 17,31 °C	Bautista Gómez (2021) Guevara Fernández et al. (2018)
Amarilla de Maranganí	Severidad: La enfermedad tardó en extenderse por la planta de la quinua en condiciones de Costa (menos de 60 %) a 271 m s. n. m.	14,8 °C	Guevara Fernández et al. (2018) Ramírez Maguiña et al. (2020)
Negra Collana	Incidencia: Alcanzó un porcentaje inferior al 90 % por el crecimiento de brotes basales	Chachapoyas, Perú 15,7 °C	Guevara Fernández et al. (2018)

Efecto del mildiu sobre variables agronómicas

Las investigaciones coinciden en que la variedad de la planta y las condiciones climáticas influyen en las variables altura de la planta y rendimiento por hectárea (Colque-Little, Correa Abondano et al., 2021).

Altura de la planta

La altura de la planta se vio favorecida por factores como la humedad, la precipitación o la altitud (Cuadro 1) (Chura et al., 2019; Estrada-Zuñiga et al., 2022). El ecotipo también determinó en gran medida la altura de la planta (Ramírez Maguiña et al., 2020); puesto que la “Amarilla de Maranganí” registró una altura promedio de 145,3 cm, por lo que es más alta en comparación de otras variedades, pero no logró superar a la variedad estudiada por Bautista Gómez (2021), que alcanzó los 162 cm; ni a la variedad “Blanca Junín” que alcanzó los 183,9 cm de altura (Guevara Fernández et al., 2018). Además, variedades como la “Real” obtuvieron un mayor crecimiento aun en caso de infección de *P. variabilis* (Rollano-Peñaloza et al., 2022).

Al evaluar la altura de la planta, se tomaron en cuenta factores como la distancia de los surcos, los días que pasaron desde la infección o el nivel de infección presente en las hojas (Aydoğdu & Koç, 2020; Beccari et al., 2021; El-Assiuty, Fahmy et al., 2019; Rollano-Peñaloza et al., 2022). Estos factores fueron determinantes al obtener alturas cercanas o superiores a 1 m. Además, las semillas de quinua inoculadas con *Trichoderma sp.* tuvieron una respuesta positiva frente a microorganismos, lo cual generó un incremento en la altura, aún en condiciones de infección (Leon Ttacca, Mendoza Coari, et al., 2022; Leon Ttacca, Ortiz Cacina, et al., 2022). La aplicación de estiércol semidescompuesto favoreció a la altura de la planta, lo que generó una diferencia de 10 cm en comparación de plantas sin tratamiento (Medrano Poma & Flores, 2018).

Rendimiento por hectárea

La enfermedad del mildiu afectó el rendimiento de la planta de la quinua (Urdanegui et al., 2021). Por ejemplo, en Egipto, el mildiu afectó el rendimiento de la variedad “Negro” y “Rainbow” en un 95 y 87 %, respectivamente (Ahmed & Abdel-Wahed, 2018). Se demostró que el día de siembra es un factor importante para calcular el rendimiento de las plantas (Casini, 2019). No obstante, la aplicación de ecofungicidas ocasionó que el rendimiento no se viera tan afectado, lo cual se evidenció en la variedad “Blanca Junín” (Estrada Zuñiga et al., 2022). Además, las semillas inoculadas con *Trichoderma sp.* acompañado de microorganismos esenciales, tuvieron un rendimiento mayor en condiciones de infección del mildiu (Leon Ttacca, Mendoza Coari, et al., 2022).

Un estudio determinó, al evaluar el rendimiento por hectárea de las variedades estudiadas, la importancia del día de la siembra, porque este factor es determinante al calcular el rendimiento real de las plantas (Casini, 2019).

Métodos de control del mildiu no convencionales

En cuanto a las formas que se emplearon para controlar la enfermedad, en la mayoría de los estudios se aplicaron métodos químicos con el propósito de evitar la muerte de la planta infectada por el mildiu (como la investigación de Aguilar, et al., 2020). No obstante, aquellas investigaciones que abordaron métodos novedosos para controlar el mildiu obtuvieron resultados favorables (Cuadro 2), pero sin lograr superar la eficacia de los tratamientos químicos.

Cuadro 2. Resultados obtenidos al aplicar métodos no tradicionales para controlar la enfermedad del mildiu de la quinua (*P. variabilis*).

Table 2. Results obtained when applying non-traditional methods to control quinoa downy mildew (*P. variabilis*).

Método	Resultados	Referencia
Aplicación de dosis de manzanilla (<i>M. camomilla</i>) en distintas concentraciones	Las dosis de manzanilla demostraron ser favorables para controlar la incidencia (150 g) y la severidad (200 g) de la enfermedad.	Lindo-Gutarra et al. (2021)
Aplicación de extractos de ajo (<i>A. sativum</i>), cola de caballo (<i>E. arvense</i>), y paico (<i>D. ambrosioides</i>)	La planta fungicida que tuvo un control mayor del mildiu fue el <i>A. sativum</i> , ya que obtuvo los menores niveles de severidad e incidencia. A estos, le siguen la cola de caballo y el paico	Bautista Gómez (2021)
Aplicación de cuatro inductores de defensa (control químico) para controlar el mildiu	Se detectó que dos de los cuatro inductores controlaron la enfermedad con resultados favorables en sus concentraciones de 0,5 l con 200 l de agua.	Aguilar et al. (2020)
Cepas de <i>Trichoderma</i> sp. y microorganismos eficaces para controlar el mildiu	Se evidenció que la inoculación de las cepas favoreció de forma significativa a reducir la infección del mildiu.	Leon Ttacca, Mendoza Coari, et al. (2022)
Aplicación de estiércol semidescompuesto	Mientras más estiércol semidescompuesto se aplique a la planta, menor será el daño ocasionado por la enfermedad	Guevara Fernández et al. (2018)

Las investigaciones realizadas demostraron que los métodos no convencionales utilizados para controlar el mildiu fueron económicamente más rentables que los fungicidas químicos, además de ser menos dañinos para las plantas y el suelo. Los avances en los métodos no convencionales podrían permitir que los cultivos de quinua fueran económicamente rentables y menos dañinos para la naturaleza (Bautista Gómez, 2021; Lindo-Gutarra et al., 2021). Aun así, hubo un consenso al afirmar que existe una necesidad de realizar avances en este campo y realizar estudios en diversas variedades de planta para comparar resultados y poder así favorecer a agricultores y a la sociedad mundial en general.

Factores que determinan el progreso y ciclo de vida de la enfermedad

Es necesario mencionar qué condiciones ambientales favorecen el desarrollo de la enfermedad. Una temperatura promedio de 24,9 °C y una humedad relativa del 80,4 % son clave para que el mildiu se desarrolle (Aguilar et al., 2020; Maliro & Njala, 2019; Murphy et al., 2018). La influencia de las condiciones climáticas ha sido evidenciada en distintas variedades (El-Assiuty, Taha et al., 2019). Por ejemplo, “Pasankalla” y “Mañiqueña” han mostrado mayor sensibilidad al mildiu en ambientes húmedos (Colque-Little, Correa Abondano et al., 2021).

En cuanto al origen de la enfermedad, esta fue detectada en tejidos foliares y el envés de las hojas (Aguilar et al., 2020; Mahmoud, 2017; Mohamed Taha, 2019), también fue evidenciada por una esporulación abundante en las hojas (Calderón-González, 2023; Li et al., 2017; Rollano-Peñaloza et al., 2022) y filoptosis (Casini, 2019), además de necrosis y clorosis (Beccari et al., 2021). La semilla fue la fuente principal de transmisión del mildiu (El-Assiuty, Fahmy, et al., 2019; Fondevilla et al., 2022), por lo que es necesario evaluar a la planta para registrar el progreso

de la enfermedad, lo que asegura una buena productividad (Manavalan, 2020) y rentabilidad económica (Aydoğdu & Koç, 2020; Bautista Gómez, 2021).

Conclusiones

La incidencia y la severidad del mildiu veloso dependió de la variedad de la quinua con la que se trabajó. Otros factores como la altitud o la humedad relativa también influyeron en el progreso de la enfermedad, con una infección cercana al 90 % en ambientes con alta humedad. Dos variedades egipcias mostraron ser susceptibles a la enfermedad, con una incidencia del 100 % en las plantas infectadas por *P. variabilis*. En el caso de las variedades peruanas, en temperaturas entre 14 °C y 25 °C, la incidencia y la severidad del mildiu veloso fue menor al 90 %.

En cuanto a la altura y el rendimiento de la planta por hectárea, los cultivos en zonas altas y con climas regularmente secos fueron los que presentaron menor afectación del mildiu de la quinua. Esto mismo sucede con el rendimiento por hectárea de las plantas; específicamente, las variedades no nativas de Perú fueron aquellas que presentaron una afectación mayor al ser infectadas por la enfermedad. Este último factor, además, se vio afectado también por el día de siembra.

Las dosis de manzanilla demostraron ser favorables para controlar la incidencia (150 g) y la severidad (200 g) del mildiu de la quinua. En cuanto al uso de plantas como fungicidas, *A. sativum* redujo los niveles de severidad e incidencia del mildiu de la quinua. Además, las cepas de *Trichoderma* sp. redujeron de forma significativa la infección del mildiu de la quinua. No obstante, estas formas de tratamiento no lograron superar a los tratamientos convencionales con fungicidas químicos.

El escaso número de publicaciones científicas sobre el mildiu de la quinua en las bases de datos Scopus y SciELO disminuyó el número de investigaciones que se analizaron. Se invita a la comunidad científica a seguir investigando sobre esta enfermedad que es de interés mundial. La importancia de esta revisión recae en ser la primera síntesis de resultados en torno a la respuesta del *C. quinoa* frente a la infección de *P. variabilis* en diversas condiciones.

Referencias

- Afzal, I., Ahmed Basra, S. M., Ur Rehman, H., Iqbal, S., & Bazile, D. (2022). Trends and limits for quinoa production and promotion in Pakistan. *Plants*, *11*(12), Article 1603. <https://doi.org/10.3390/plants11121603>
- Aguilar, R., More-Yarleque, M. M., Rafael-Rutte, R., & Maldonado, E. (2020). Inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control. *Scientia Agropecuaria*, *11*(4), 555–563. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.11>
- Ahmed, H., & Abdel-Wahed, G. (2018). Evaluation of four quinoa cultivars to the infection by downy mildew under middle Egypt Conditions. *Egyptian Journal of Phytopathology*, *46*(1), 105–125. <https://doi.org/10.21608/EJP.2018.87771>
- Alcón Chigua, G. V., & Bonifacio Flores, A. (2018). Evaluación de las variables agronómicas de la quinua y calidad de grano con aplicación de niveles de estiércol ovino y urea. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales*, *5*(1), 37–46. <https://riiarn.umsa.bo/index.php/RIIARn/article/view/100>
- Aydoğdu, M., & Koç, A. (2020). Screening quinoa (*Chenopodium quinoa*) germplasm for resistance to downy mildew (*Peronospora variabilis*) in Turkey. *Crop and Posture Science*, *72*(6), 416–425. <https://doi.org/10.1071/CP20508>

- Bautista Gómez, R. (2021). Regulation of *Peronospora variabilis* with ecofungicides in *Chenopodium quinoa* Willd. under conservation tillage system. Ayacucho. *Investigación*, 29(1), 37–45. <https://revistas.unsch.edu.pe/index.php/investigacion/article/view/276>
- Bazile, D., Biaggi, M. C., & Jara, B. (2021). Quinoa's spreading at global level: State of the art, trends, and challenges. In A. Varma (Ed.), *Biology and biotechnology of quinoa* (pp. 1–5). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-16-3832-9_1
- Beccari, G., Quaglia, M., Tini, F., Pannacci, E., & Covarelli, L. (2021). Phytopathological threats associated with quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivation and seed production in an area of central Italy. *Plants*, 10(9), Article 1933. <https://doi.org/10.3390/plants10091933>
- Bonifacio, A. (2019). Improvement of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) in the context of climate change in the high Andes. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 113–124. <https://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2146>
- Calderón-González, Á., Matías, J., Cruz, V., Molinero-Ruiz, L., & Fondevilla, S. (2023). Identification and characterization of sources of resistance to *Peronospora variabilis* in quinoa. *Agronomy*, 13(2), Article 284. <https://doi.org/10.3390/agronomy13020284>
- Campos-Rodríguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. (2022). Quinoa (*Chenopodium quinoa*): Composición nutricional y componentes bioactivos del grano y la hoja, e impacto del tratamiento térmico y de la germinación. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209–220. <http://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Casini, P. (2019). Seed yield of two new quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) breeding lines as affected by sowing date in Central Italy. *Acta Agriculture Slovenica*, 113(1), 51–62. <http://doi.org/10.14720/aas.2019.113.1.05>
- Chura, E., Mujica, Á., Haussmann, B., Smith, K., Flores, S., & Flores, A. (2019). Agronomic characterization of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) progeny from close and distant self-fertilized s5 simple crosses. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 154–165. <http://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2142>
- Colque-Little, C., Buchwaldt Amby, D., & Andreasen, C. (2021). A Review of *Chenopodium quinoa* (Willd.) diseases—An updated perspective. *Plants*, 10(6), Article 1228. <https://doi.org/10.3390/plants10061228>
- Colque-Little, C., Correa Abondano, M., Søgaard Lund, O., Buchwaldt Amby, D., Piepho, H. -P., Andreasen, C., Schmöckel, S., & Schmid, K. (2021). Genetic variation for tolerance to the downy mildew pathogen *Peronospora variabilis* in genetic resources of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *BMC Plant Biology*, 21, Article 41. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02804-7>
- Crisol-Moya, E., Herrera-Nieves, L., & Montes-Soldado, R. (2020). Virtual education for all: Systematic review. *Education in the Knowledge Society*, 21, Article 15. <https://doi.org/10.14201/eks.23448>
- El-Assiuty, E. M., Fahmy, G. M., Taha, E. M., Fahmy, Z. M., Ismael, A. S. M., Abd-Elghany, W. R., & Kafsheer, D. A. (2019). Microscopic visualization of *Peronospora variabilis* Gäum., the cause of quinoa downy mildew in plant tissues at different stages of plant growth. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 10(9), 1022–1033. <https://www.ijser.org/onlineResearchPaperViewer.aspx?Microscopic-visualization-of-Peronospora-variabilis-Gaum-the-cause-of-quinoa-downy-mildew-in-plant-tissues-at-different-stages-of-plant-growth.pdf>
- El-Assiuty, E. M., Taha, E. M., Fahmy, Z. M., & Fahmy, G. M. (2019). Histological and molecular detections of *Peronospora variabilis* Gäum oospores in seeds of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.). *The Egyptian Society of Experimental (Botany)*, 15(2), 197–203. <https://doi.org/10.5455/egyjeb.20190620115158>

- Estrada-Zuñiga, R., Apaza-Mamani, V., Pérez-Ávila, A., Altamirano-Pérez, A., Neyra-Valdez, E., & Bobadilla, L. (2022). Comportamiento agronómico de 81 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Perú. *Ecosistemas y Recursos Agropecuarios*, 9(1), Artículo e3134. <https://doi.org/10.19136/era.a9n1.3134>
- Estrada Zuñiga, R., Bobadilla, L. G., Neyra Valdez, E., Manotupa Tupa, M. B., Álvarez Cáceres, A., & Céspedes Flores, E. (2022). Evaluación morfoagronómica de 100 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por su respuesta a mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum), rendimiento y contenido de saponina en Cusco, Perú. *Avances en Investigación Agropecuaria*, 26, 47–61. <https://doi.org/10.53897/RevAIA.22.26.04>
- Fondevilla, S., Arias-Giraldo, L. F., García-León, F. J., & Landa, B. (2022). Molecular characterization of *Peronospora variabilis* isolates infecting *Chenopodium quinoa* and *Chenopodium album* in Spain. *Plant Disease*, 107(4), 999–1004. <https://doi.org/10.1094/PDIS-05-22-1198-SC>
- García-Madurga, M. A., Grilló-Méndez, A. J., & Morte-Nadal, T. (2021). La adaptación de las empresas a la realidad COVID: una revisión sistemática. *Retos Revista de Ciencias de Administración y Economía*, 11(21), 55–70. <https://doi.org/10.17163/ret.n21.2021.04>
- George Reyes, C. E., & Avello-Martínez, R. (2021). Alfabetización digital en la educación. Revisión sistemática de la producción científica en SCOPUS. *RED: Revista de Educación a Distancia*, 66(21), Artículo 5. <http://doi.org/10.6018/red.444751>
- Guevara Fernández, E., Oliva, M., & Collazos Silva, R. (2018). Comportamiento agronómico de ocho genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en el distrito Molinopampa, provincia Chachapoyas, Amazonas, 2017. *Revista Científica UNTRM: Ciencias Naturales e Ingeniería*, 1(2), 63–71. <http://doi.org/10.25127/ucni.v3i2.324>
- Hernández-Ledesma, B. (2019). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) as source of bioactive compounds: a review. *Bioactive Compounds in Health and Disease*, 2(3), 27–47. <https://doi.org/10.31989/bchd.v2i3.556>
- Hinojosa, L., Matanguihan, J. B., & Murphy, K. M. (2019). Effect of high temperature on pollen morphology, plant growth and seed yield in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 205(1), 33–45. <https://doi.org/10.1111/jac.12302>
- Holguin García, F. Y., Holguin Rangel, E. G., & García Mera, N. A. (2020). Gamificación en la enseñanza de las matemáticas: Una revisión sistemática. *TELOS: Revista de Estudios Interdisciplinarios en Ciencias Sociales*, 22(1), 62–75. <https://ojs.urbe.edu/index.php/telos/article/view/3128>
- Jamiołkowska, A. (2020). Natural Compounds as elicitors of plant resistance against diseases and new biocontrol strategies. *Agronomy*, 10(2), Article 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy10020173>
- Khalifa, W., & Thabet, M. (2018). Variation in downy mildew (*Peronospora variabilis* Gäum) resistance of some quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) cultivars under Egyptian conditions. *Middle East Journal of Agriculture Research*, 7(2), 67–682. <https://www.curreweb.com/mejar/mejar/2018/671-682.pdf>
- Leon Ttacca, B., Mendoza Coari, P. P., & Palao Iturregui, L. A. (2022). Microorganismos eficaces y *Trichoderma* sp. en el biocontrol de mildiu (*Peronospora variabilis*) en cultivo de quinua. *Acta Agronómica*, 70(4), 380–385. <https://doi.org/10.15446/acag.v70n4.95351>
- Leon Ttacca, B., Ortiz Cacina, N., Pauro Flores, L., Borja Loza, R., Mendoza-Coari, P., & Palao Iturregui, L. (2022). Métodos de inoculación de cepas nativas de *Trichoderma* sp. y su efecto en el crecimiento y rendimiento de la quinua. *Revista de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Zulia*, 39(4), Artículo e223955. [https://doi.org/10.47280/RevFacAgron\(LUZ\).v39.n4.10](https://doi.org/10.47280/RevFacAgron(LUZ).v39.n4.10)

- Li, F., Liu, J., Guo, X., Yin, L., Zhang, H. & Wen, R. (2020). Genome-wide survey, characterization, and expression analysis of bZIP transcription factors in *Chenopodium quinoa*. *BMC Plant Biology*, 20, Article 405. <https://doi.org/10.1186/s12870-020-02620-z>
- Li, J., Zhou, X., Huang, H., & Li, G. (2017). Diseases characteristic and control measurements for *Chenopodium quinoa* Willd. *Advances in Engineering Research*, 163, 305–308. <https://doi.org/10.2991/iceep-17.2017.53>
- Lindo-Gutarra, E., Marca-Cano, S., & Lapa-Chanca, A. (2021). Efecto de la manzanilla (*Matricaria camomilla*) en el mildiu (*Peronospora variabilis*) de la quinua. *Dominio de las Ciencias*, 7(1), 514–531. <https://dominiodelasciencias.com/ojs/index.php/es/article/view/1721>
- Lozano-Isla, F., Apaza, J. -D., Mujica Sánchez, A., Blas Sevillano, R., Haussmann, B. I. G., & Schmid, K. (2023). Enhancing quinoa cultivation in the Andean highlands of Peru: a breeding strategy for improved yield and early maturity adaptation to climate change using traditional cultivars. *Euphytica*, 219, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s10681-023-03155-8>
- Mahmoud, A. H. (2017). Production of quinoa (*Chenopodium quinoa*) in the marginal environments of south Mediterranean region: Nile Delta. Egypt. *Egyptian Journal of Soil Science*, 57(3), 329–337. <https://doi.org/10.21608/ejss.2017.436.1062>
- Maldonado-Taípe, N., Barbier, F., Schmid, K., Jung, C., & Emrani, N. (2022). High-density mapping of quantitative trait loci controlling agronomically important traits in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Frontiers in Plant Science*, 13, Article 916067. <https://doi.org/10.3389/fpls.2022.916067>
- Maliro, M., & Njala, A. L. (2019). Agronomic performance and strategies of promoting quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in Malawi. *Ciencia e Investigación Agraria*, 46(2), 82–99. <http://doi.org/10.7764/rcia.v46i2.2143>
- Manavalan, R. (2020). Automatic identification of diseases in grains crops through computational approaches: A review. *Computers and Electronics in Agriculture*, 178, Article 105802. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2020.105802>
- Medrano Poma, A. C. M., & Bonifacio Flores, A. (2018). Evaluación del comportamiento de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con aplicación localizada con diferentes niveles de estiércol semi-descompuesto. *Apthapi*, 4(2), 1139–1152. <https://apthapi.umsa.bo/index.php/ATP/article/view/223>
- Mohamed Taha, E. (2019). Molecular detection and phylogeny of *Peronospora variabilis* Gäum., The causal agent of downy mildew disease of quinoa at different growth stages. *Plant Cell Biotechnology and Molecular Biology*, 20(23–24), 1189–1200. <https://www.ikpress.org/index.php/PCBMB/article/view/4842>
- Murphy, K. M., Matanguihan, J. B., Fuentes, F. F., Gómez-Pando, L. R., Jellen, E. N., Maughan, P. J., & Jarvis, D. E. (2018). Quinoa breeding and genomics. In I. Goldman (Ed.), *Plant breeding reviews* (Vol. 42, Chapter 7, pp. 257–320). John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781119521358.ch7>
- Nolen, H., Smith, C., Davis, T. M., & Poleatewich, A. (2022). Evaluation of disease severity and molecular relationships between *Peronospora variabilis* isolates on *Chenopodium* species in New Hampshire. *Plant Disease*, 106(2), 564–571. <https://doi.org/10.1094/PDIS-06-21-1150-RE>
- Paul, J., & Rialp Criado, A. (2020). The art of writing literature review: What do we know and what do we need to know? *International Business Review*, 29(4), Article 101717. <https://doi.org/10.1016/j.ibusrev.2020.101717>
- Ramírez Maguiña, H. A., Mattos Calderón L. L., & Risco Mendoza, A. (2020). Severidad de *Peronospora variabilis* Gäum. en cinco variedades de *Chenopodium quinoa* Willd. en condiciones de La Molina. *Anales Científicos*, 81(2), 395–404. <https://doi.org/10.21704/ac.v81i2.1684>

- Rollano-Peñaloza, O. M., Palma-Encinas, V., Widell, S., Mollinedo, P., & Rasmusson, A. G. (2022). The disease progression and molecular defense response in *Chenopodium quinoa* infected with *Peronospora variabilis*, the causal agent of quinoa downy mildew. *Plants*, *11*(21), Article 2946. <https://doi.org/10.3390/plants11212946>
- Tejada Campos, T. N. (2020). Nueva variedad de “quinua” *Chenopodium quinoa* Willd. para la sierra norte del Perú con características agronómicas y comerciales sobresalientes. *Arnaldoa*, *27*(3), 751–768. <https://journal.upao.edu.pe/index.php/Arnaldoa/article/view/1575>
- Urdanegui, P., Pérez-Ávila, Á. A., Estrada-Zúñiga, R., Neyra, E., Mujica, A., & Corredor Arizapana, F. -A. (2021). Rendimiento y evaluación agromorfológica de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en Huancayo, Perú. *Agroindustrial Science*, *11*(1), 63–71. <https://doi.org/10.17268/agroind.sci.2021.01.08>
- Wali, A. M., Kenaway, M. K., Ibrahim, O. M., & Abd El Lateef, E. M. (2022). Productivity of Quinoa (*Chenopodium quinoa* L.) under new reclaimed soil conditions at north-western coast of Egypt. *Bulletin of the National Research Centre*, *46*, Article 38. <https://doi.org/10.1186/s42269-022-00724-0>