



Inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) en el cultivo de quinua: Detección, epidemiología, síntomas, características y control

Defense inductors in the control of mildew (*Peronospora variabilis* Gaum.) in the quinoa crop: Detection, epidemiology, symptoms, characteristics and control

René Aguilar^{1,*} ; Mercedes Milagros More-Yarleque¹ ; Robert Rafael-Rutte² ; Edgar Maldonado¹ 

¹ Universidad Nacional de Piura, Campus Universitario s/n, Urb. Miraflores, Piura. Peru.

² Universidad Nacional Tecnológica de Lima Sur, Av. Central y Av. Bolívar, Villa El Salvador, Lima. Peru.

Received June 15, 2020. Accepted October 31, 2020.

Resumen

Cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es originario de los andes peruanos, alimento nutritivo y ha adquirido mucha importancia para la agroexportación. En Piura, se presentó la enfermedad del mildiu ocasionando pérdidas económicas, los objetivos fueron: detectar el inóculo primario, describir la sintomatología y evaluar el efecto de inductores de defensa en el control del mildiu. Para observar oosporas se empleó la metodología de detección directa, los tratamientos fueron; Biosar, 3Tac, Agromos+Soil set, Action FP/Pare, Metalosate y testigo, se evaluó Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), se realizaron comparaciones de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$). En todas las muestras de quinua se detectaron oosporas, siendo la var. INIA-Altiplano la que presentó mayor número (96) y la var. Pasankalla presentó solo 8 oosporas/100 unidades de semilla. Como síntoma se observó manchas amarillentas en el haz y esporulación grisácea en el envés de las hojas. El valor más alto del ABCPE lo obtuvo el testigo con 2161,02; los valores más bajos y que controlaron mejor la enfermedad de mildiu en quinua, fueron obtenidos con Action FP/Pare (0.5 / 0.5 L / 200 L agua) y Agromos + Soil set (0.25 + 0.25 L / 200 L agua), con 939,8 y 1040,7 respectivamente.

Palabras clave: mildiu; *Peronospora variabilis*; severidad; *Chenopodium quinoa*; inóculo primario.

Abstract

Quinoa crop (*Chenopodium quinoa* Willd.) is native to the Peruvian Andes, nutritious food and it has become very important for agroexport. In Piura, the downy mildew disease appeared causing economic losses, were set as objectives: detect the primary inoculum, describe the symptoms and evaluate the effect of defense inductors in the control of downy mildew. The direct detection methodology was used to observe oospores, the treatments were; Biosar, 3Tac, Agromos + Soil set, Action FP/Pare, Metalosate and control, Area Under the Disease Progress Curve (ABCPE) was evaluated, comparisons of means were made of the Tukey test ($\alpha = 0.05$). Oospores were detected in all the quinoa samples, being with greater number the var. INIA-altiplano with 96 and with lower var. passankalla with 8 oospores/100 units of seed. As a symptom, yellowish spots were observed on the upper side and gray sporulation on the underside of the leaves. The highest value of ABCPE was obtained by the control with 2,161.02; the lower values and that better controlled the mildew disease in quinoa, they were obtained with Action FP/Pare (0.5 / 0.5 L / 200L water) and Agromos + Soil set (0.25 + 0.25 L / 200 L water), with 939.8 and 1040.7 respectively.

Keywords: mildew; *Peronospora variabilis*; severity; *Chenopodium quinoa*; primary inoculum.

Cite this article:

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.

* Corresponding author
E-mail: raanccota@hotmail.com (R. Aguilar).

1. Introducción

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo originario de la región andina. La cuenca del lago Titicaca ubicado entre Perú y Bolivia es considerado como centro de origen y se conserva mayor diversidad genética, cultivándose desde hace 7,000 años (Danielsen y Ames, 2014). Actualmente, la quinua es reconocida a nivel internacional por su alto contenido de proteínas como promedio contiene entre 14,33% y 15% (Rojas et al., 2016; García y Plazas, 2018). Es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee aminoácidos esenciales con alto contenido de lisina, metionina, treonina y triptófano; siendo estos muy útil en las etapas de desarrollo y crecimiento de los niños, y puede ser utilizada en las dietas especiales para adultos mayores, deportistas de alto rendimiento, diabéticos por no contener colesterol (Navruz-Varli y Sanlier, 2016; Schmöckel et al., 2017). La quinua posee gran variabilidad y plasticidad genética que le permite tolerar y adaptarse a diferentes condiciones adversas como: heladas, suelos salinos, suelos poco fértiles, puede cultivarse desde 0 a 4000 msnm, en diferentes zonas agroecológicas del Perú y en otros países como Estados Unidos, Canadá, Italia, Marrueco, India y Egipto (Bazile et al., 2016; Thines y Choi, 2016; Eisa et al., 2017), en Turquía se comportó como resistente a la sequía (Altuner et al., 2019). A nivel nacional el cultivo de quinua ha adquirido mucha importancia para la agro exportación (Risco y Mattos, 2014). En Piura y en países como China (Hui et al., 2018), Estados Unidos (Testen et al., 2014) Egipto (Khalifa y Thabet, 2018) y en Turquía (Soylu et al., (2020) reportan que este cultivo ha sido infectado por la enfermedad del mildiu (*Peronospora variabilis* Gäum), ocasionando defoliación completa de la planta y pérdidas económicas a los agricultores. Investigadores como Testen et al. (2014) y Thines y Choi (2016) indican que las pérdidas pueden alcanzar hasta 33% en variedades tolerantes y 99% en variedades susceptibles, *P. variabilis* es un patógeno económicamente importante en la producción de quinua. Para el control aplican fungicidas químicos que son dañinos para la salud y medio ambiente, frente a este problema Jamioikowska (2020), señala que extractos de plantas y algas, oligosacáridos, aminoácidos y sustancias sintéticas pueden activar mecanismos de defensa de la planta frente al ataque de patógenos. En Piura, se desconoce la etiología y manejo del mildiu, por lo que se hizo necesario realizar el presente estudio con la finalidad de detectar el inóculo primario del mildiu,

describir la sintomatología y evaluar el efecto de los inductores de defensa en el control de la enfermedad.

2. Materiales y métodos

2.1 Lugar y periodo de ejecución

El estudio se realizó en el Laboratorio de Fitopatología, Facultad de Agronomía y en el Centro de Investigación de Producción Agrícola (CIPA) de la Universidad Nacional de Piura, ubicado a una altitud de 35 msnm, con coordenadas geográficas de 05°10'45" latitud Sur y 80°37'07" longitud Oeste, las condiciones climáticas que se registraron son T° media de 24,9 °C y HR media 80,4%.

2.2 Detección de oosporas en semillas de quinua

Se analizó 15 muestras de diferentes variedades y de diferente procedencia (Tabla 1). Para detectar oosporas se contabilizó 100 unidades de granos de quinua, se colocaron en tubos de ensayo conteniendo 1 mL de agua destilada estéril, se agitó en un agitador magnético durante 5 min. Posteriormente, con una pipeta se extrajo una alícuota de 0,25 mL y se colocó en láminas portaobjeto marcadas en cuadrículas de 3 x 3 mm, adicionando una gota de safranina, luego se observó en un microscopio compuesto (Carl Zeiss Mod. KF 2, Oberkochen, Germany) (aumento 40X) y se contabilizó el número de oosporas.

Tabla 1
Detección de oosporas de *Peronospora variabilis* en diferentes variedades de semillas de *Chenopodium quinoa*

N° de Muestra	Variedades	Procedencia
01	Salcedo INIA	Sullana-Piura
02	Pasankalla	Puno
03	Salcedo INIA	ECOSAC - Piura
04	Witulla	Puno
05	Amarilla Marangani	DRAP - Piura
06	Salcedo INIA	CIPA-UNP
07	Blanca de Junín	DRAP - Piura
08	Amarilla de Junín	DRAP - Piura
09	Quellohua	Puno
10	Salcedo INIA	Lambayeque
11	Wila	Puno
12	Koliku	Puno
13	Blanca de Juli	Puno
14	INIA Altiplano	Puno
15	Koyto	Puno

DRAP=Dirección Regional de Agricultura - Piura, INIA=Instituto Nacional de Innovación Agraria.

2.3 Características morfométricas de *Peronospora variabilis*

Se colectaron hojas de quinua con síntomas y signos de mildiu, se prepararon montajes en el cual consistió en realizar raspados de las estructuras reproductivas con una aguja de disección estéril, se colocaron en láminas porta objetos que contenían una gota de agua destilada, se cubrió con laminilla y

luego llevados al microscopio compuesto para observar y realizar mediciones micro-métricas de los esporangióforos, esporangios y oosporas.

2.4 En campo

2.4.1 Material genético

Se empleó semilla botánica certificada, var. salcedo INIA, procedente del departamento de Lambayeque.

2.4.2 Inductores de defensa

Los tratamientos consistieron en la aplicación individual, combinada e intercalada de los productos (Tabla 2). Se utilizó una mochila asperjadora manual de 15 L de capacidad, se adicionaron los productos a la dosis respectiva. Los tratamientos con los productos Biosar y 3 Tac, se mezclaron con el producto Biotens que es un surfactante tenso activo; y para el tratamiento 5 se mezclaron los productos Agromos+Soil set. Las aplicaciones estuvieron basadas en la fenología del cultivo y la severidad de la enfermedad, realizándose en total 8 aplicaciones. Se empleó Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con nueve tratamientos y cinco repeticiones. Se realizó el análisis de variancia (ANVA) y las comparaciones de medias de Tukey ($\alpha=0,05$) utilizando el programa SAS (*System Analysis Statistical*).

2.4.3 Evaluación de severidad

Se identificaron 25 plantas por tratamiento, y se evaluaron tres hojas por planta al azar, en el tercio inferior, medio y superior; usando la escala descriptiva de 0 a 5 grados (Tabla 3), las evaluaciones se realizaron

cada cinco días, iniciándose a los 19 a 74 días después de la siembra (dds).

2.4.4 Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

Con los datos de severidad se calcularon el valor del Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE), descrito originalmente en inglés como Area Under Disease Progress Curve (AUDPC), para lo cual se empleó la fórmula propuesta por Shaner y Finney (1977). Se realizó el análisis de variancia (ANVA) y las comparaciones de medias de Tukey ($\alpha=0,05$), usando el programa SAS (*System Analysis Statistical*).

$$ABCPE = \sum_i^{n-1} \left(\frac{y_i + y_{(i+1)}}{2} \right) (t_{(i+1)} - t_i)$$

Donde Y_i : % de área foliar afectada por mildiu el día t ; T: periodos de evaluación; y n: número de evaluaciones.

3. Resultados y discusión

3.1 Detección de oosporas en semillas de quinua

Se observó la presencia de oosporas de *P. variabilis* en las 15 muestras analizadas (Figura 1A, 1B; Tabla 4). Las variedades; INIA-Altiplano, Salcedo INIA-Lambayeque y Kolicu presentaron el mayor número de oosporas 96, 80 y 64 respectivamente y las variedades Salcedo INIA-ECOSAC y Pasankalla presentaron el menor número de oosporas 10 y 8/100 unidades de semilla. Resultados similares fueron obtenidos por Khalifa y Thabet (2018) detectaron oosporas y esporangios en las semillas de quinua en las variedades CICA y Real.

Tabla 2

Tratamientos de inductores de defensa para el control de *Peronospora variabilis* en el cultivo de *Chenopodium quinoa*. CIPA – UNP

Nº de trats.	Nombre comercial	Ingrediente activo	Dosis (L o kg / 200 L de agua)
01	Biosar	Aminoácidos y proteínas*	1,0
02	Biosar	Aminoácidos y proteínas	0,5
03	3 Tac	<i>Trichoderma</i> spp*	1,0
04	3 Tac	<i>Trichoderma</i> spp.	0,5
05	Agromos+Soil set	Manano oligosac. +CuSO ₄ , Fe, Mn y Zn	0,25 + 0,25
06	Action FP/Pare	Fosfito de K/CuSO ₄ ·5H ₂ O	0,5/0,5
07	Metalosate	Quelato de Cu*	0,5
08	Metalosate	Quelato de Cu	0,35
09	Testigo	---	---

*= Dosis alta de los inductores de defensa.

Tabla 3

Grados de severidad de *Peronospora variabilis* en el cultivo de *Chenopodium quinoa*

Grado de severidad	Características del área foliar afectado
0	Hojas sanas
1	1% - 5% de área foliar afectada, pequeños puntos amarillentos
2	6% - 15% de área foliar afectada y manchas amarillentas
3	16% - 25% de área foliar afectada, manchas amarillentas en el haz y esporulación grisácea en el envés
4	26% - 50% de área foliar afectada, manchas amarillentas, esporulación grisácea y pequeñas lesiones necróticas
5	51% - 100% de área foliar afectada, amarillamiento generalizado, necrosis y defoliación

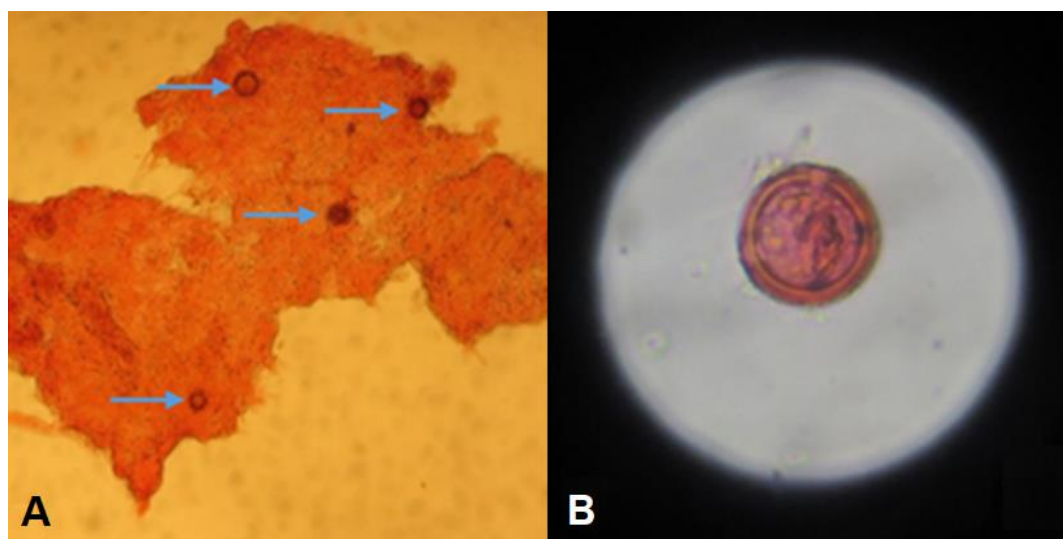


Figura 1. Estructuras de *P. variabilis* observadas en el microscopio compuesto aumento (40X). (A) presencia de oosporas inmersos en hojas infectadas. (B) oosporas de forma redondeada con doble pared celular.

Tabla 4

Número de oosporas detectadas *Peronospora variabilis* en semillas de *Chenopodium quinoa*

Variedades	Procedencia	N° de oosporas /100 granos de semillas
INIA Altiplano	Puno	96
Salcedo INIA	INIA - Lambayeque	80
Koliku	Puno	64
Witulla	Puno	47
Blanca de Juli	Puno	45
Quellohua	Puno	42
Salcedo INIA	Cieneguillo	42
Amarilla de Junín	DRAP - Piura	34
Blanca de Junín	DRAP - Piura	30
Ccoyto	Puno	28
Amarilla marangani	DRAP - Piura	17
Wila	Puno	16
Salcedo INIA	CIPA - UNP	15
Salcedo INIA	ECOSAC - Piura	10
Pasankalla	Puno	8

El-Assiuty *et al.* (2019) en Egipto reportan la presencia de oosporas, 90% en el pericarpio, 87% en la cubierta de las semillas y 3% en el embrión de oosporas en el pericarpio 90%, en la cubierta de las semillas 87% y 3% en el embrión. Así mismo, estudios realizados por Testen *et al.* (2014) indican que la semilla de quinua es una fuente de inóculo primario y medio de transmisión de las oosporas de mildiu. Investigadores como Pintore *et al.* (2016) y Thomas *et al.* (2017) señalan que las semillas de cucurbitáceas y albahaca con oosporas facilitan el movimiento del patógeno a nuevas regiones geográficas y a diferentes partes del mundo. Reportándose por primera vez mildiu causado por *P. variabilis* en *C. quinoa* en China (Hui *et al.*, 2018). En Piura, se ha observado la presencia de oosporas inmersos en hojas infectadas de la campaña agrícola del CIPA-2014 (Figura 1A). Por otro lado, Khalifa y

Thabet (2018) no detectaron oosporas en semillas de quinua de la variedad Hualhaus en Egipto. En este estudio se concluye que las semillas de quinua se comportan como fuente de inóculo primario del mildiu. Taha (2019) indica que la identificación de la fuente de inóculo es muy importante para prevenir la propagación de *P. variabilis* y el tratamiento de semillas con Metalaxil es muy efectivo para minimizar la incidencia del mildiu en el cultivo de cucurbitáceas (Thomas *et al.*, 2017).

3.2 Epidemiología

Se registró los datos meteorológicos durante el desarrollo del estudio con una T° media de 24,9 °C y HR media 80,4%, estas condiciones favorecieron el desarrollo del patógeno en el departamento de Piura. Estas condiciones coinciden con las descritas por Risco y Mattos (2014), quienes reportan una T° de 15 a 25 °C y HR mayor a 80% que favorecen el desarrollo de la enfermedad de mildiu ocasionada por *P. variabilis*. Asimismo, en la parcela experimental del CIPA-UNP se ha observado la presencia de gotas de rocío en la superficie de hojas en primeras horas de la mañana (Figura 2). Danielsen y Ames (2014) indican que la presencia de una capa delgada de agua de rocío en las hojas a primeras horas de la mañana, permiten la germinación de esporangios, la penetración directa del patógeno sobre el tejido y el desarrollo de la enfermedad. Testen *et al.* (2014) observaron a los cinco días después de la inoculación (ddi) primeros síntomas y a los siete ddi observó esporulación grisácea, señalan que su periodo de incubación son seis días y es una enfermedad policíclica.



Figura 2. Gotas de rocío en la superficie de hojas de quinua en horas de la mañana.

3.3 Descripción de síntomas de mildiu

34 dds se observó los primeros síntomas de la enfermedad, iniciando con la presencia de pequeños puntos amarillentos; posteriormente, tres a cuatro días se formó manchas cloróticas irregulares limitadas por las nervadura principal y lateral de la hoja (**Figura 2A**), después de cuatro días (38 dds) se realizó riego por inundación, creando condiciones muy favorables para el desarrollo agresivo de la enfermedad, alcanzando el tercio superior de la planta (**Figura 3B**), posteriormente, se observó el enrollamiento de hojas y la defoliación de la planta. **Danielsen y Ames (2014)** y **Huamán *et al.* (2017)**, señalan que en condiciones de costa con alta humedad relativa y la siembra de variedades susceptibles, la enfermedad se presenta en forma epifítica y es más agresiva, ataca en diferentes estados fenológicos del cultivo, y en especial en plantas jóvenes ocasiona defoliación prematura, reducción del área fotosintética, y de esta manera afecta el rendimiento del cultivo. En el envés de las hojas y en la proyección de las manchas cloróticas se observó la formación de un moho grisáceo de aspecto algodonoso formado por esporangios y esporangióforos (**Figura 4**).

Saravia *et al.* (2014) mencionan que la esporulación está relacionada con el grado de resistencia de las variedades, siendo abundante la esporulación en variedades susceptibles y poco o nada en variedades resistentes. En el presente estudio la variedad salcedo INIA, presentó una abundante esporulación, comportándose como susceptible en Piura.

3.4 Características morfométricas de *Peronospora variabilis*

Se observó moho grisáceo en el envés de las hojas infectadas, constituido por esporangióforos y esporangios. Los esporangióforos midieron entre 156 y 231 μm de longitud y 8,0 y 12,3 μm de diámetro, con forma arborescente, ramificados dicotómicamente que terminan en 2 - 3 extremos flexuosos dispuestos en ángulo recto o agudo, en los que se insertan los esporangios (**Figura 5A**). Los esporangios fueron de forma ovoide con doble pared cuyo tamaño fue de 25,2 y 30,6 μm de largo y 18,6 y 23,6 μm de diámetro (**Figura 5B**) y con pedicelo. Los esporangios presentaron forma ovoide con doble pared cuyo tamaño fue 25,2 y 30,6 μm de largo y 18,6 y 23,6 μm de diámetro (**Figura 5B**), los esporangios presentaron pedicelo. Así mismo, se observó la formación de oosporas (**Figura 1B**) de forma esférica, con *doble* pared, oscuras, ligeramente rugosa y ondulada en la parte externa, protoplasma granuloso, cuyo tamaño fue de 35 a 50 μm de diámetro. Estas características morfológicas del esporangióforos, esporangios y oosporas coinciden para la especie *Peronospora variabilis* por **Khalifa y Thabet (2018)** y **Soylu *et al.* (2020)**, además realizan el primer reporte del mildiu causado por *P. variabilis* en *C. album* en la región del Mediterráneo Oriental de Turquía. *P. variabilis* infecta solo a las especies de *Chenopodium* y es un biótrofo obligado **Thines y Choi (2016)**.

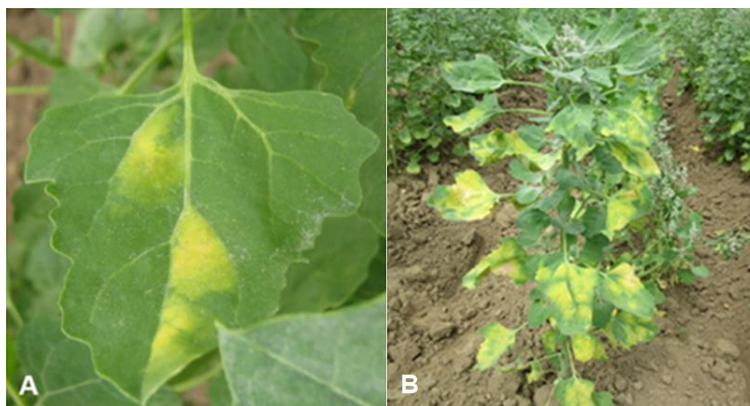


Figura 3. Síntomas de mildiu en hojas de quinua A) Manchas cloróticas irregulares, limitadas por las nervaduras en hojas, B) Ataque agresivo del patógeno.



Figura 4. (A) Signos de mildiu en hojas de quinua y (B) formación del moho grisáceo en el envés de la hoja, constituidas por esporangióforos y esporangios.

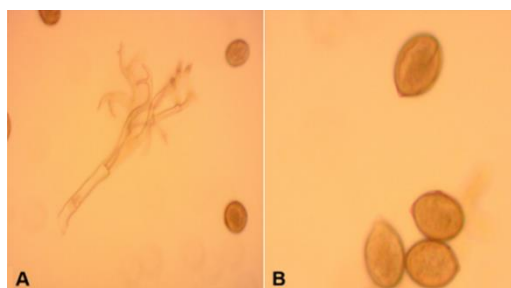


Figura 5. Estructuras de morfológicas de *P. variabilis* observadas en microscopio compuesto (40X). (A) Esporangióforos alargados arborescentes y ramificados dicotómicamente. (B) Esporangios de forma ovoide con pedicelo y doble pared.

3.5 Severidad y área bajo la curva del progreso de la enfermedad (ABCPE)

A los 34 dds se presentó los primeros síntomas de la enfermedad, con menor severidad se obtuvieron con los tratamientos Agro mos+Soil set y Action FP/pare con 0,27%, y el testigo alcanzó 5,64%. A los 54 dds Action FP/pare obtuvo 40,39% y a los 59 dds el testigo alcanzó 56,07% donde en ambos se presentó mayor severidad y defoliación acelerada. En la última evaluación a los 74 dds, se evaluaron hojas de nuevos brotes, testigo alcanzó mayor severidad (57,27%) comparado con los tratamientos Action FP/Pare y Agromos+Soil set, que obtuvieron 17,2 y 18,49% de severidad (Tabla 5 y Figura 6). Estos resultados coinciden con el reporte de Risco y Mattos (2014) que a los 54 dds alcanzó el valor más alto de severidad en condiciones de La Molina-Lima en var. Pasankalla y en Egipto el pico más alto de severidad se registró a los 70 dds, esto se debió la baja humedad relativa que fue de 35-55% y la T° media 24 °C (Ahmed y Abdel-Wahed, 2018). El tratamiento testigo sin aplicación presentó el valor más alto del ABCPE con 2161,02, seguido de los tratamientos metalosate (0,35 kg) y biosar (1 kg) con 1994,50 y 1945,7 respectivamente y los valores más bajos se obtuvieron con Action FP/Pare y Agromos+Soil set con 939,82 y 1040,73 no habiendo diferencia estadística

entre ellos, y los valores más bajos del ABCPE nos señalan que se obtuvo mejor control del mildiu (Figura 7). Los ingredientes activos de Action FP (Fosfito de K), Agromos (Manano oligosacáridos) y de Pare y Soil set ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); son considerados como inductores de defensa de las plantas. Según, otros autores como Manna et al. (2016); Tkaczyk et al. (2016); Santos et al. (2017); Yáñez-Juárez et al. (2017) indican que los fosfitos de K son utilizados como fuente de P en la nutrición, tienen mayor capacidad de penetrar a través de hojas y los sulfatos de cobre enriquecida con aminoácidos, acilita la asimilación y movimiento del cobre dentro de la planta y activan mecanismos de defensa bioquímica como proteínas PR y fitoalexinas y defensas estructurales (calosa) que inhiben la penetración y colonización en el tejido por los hongos. Los oligosacáridos son macromoléculas, biodegradables inducen resistencia y son protectores del estrés abiótico y bióticos como al ataque de *Botrytis cinerea* y *Plasmopara viticola* en el cultivo de vid (Falcón et al., 2015). Posiblemente este modo de acción tuvo los productos aplicados en el control del mildiu en quinua, por ende, se obtuvieron valores bajos en ABCPE. De manera similar, Sanabria (2019), en invernadero y campo con aplicaciones de fosfito de K obtuvo eficiente control de *Phytophthora infestans*. Soto y Cadenas (2018) con aplicación de oligosacáridos preventivamente indujeron defensa ante *Lasiodiplodia theobromae* en plantones de vid y Silva et al. (2019) lograron obtener menor severidad del ataque de *Elsinoe ampelina* en vid. Aminoácido glutamato activó la expresión de genes que sintetiza ácido salicílico y ácido jasmónico en las hojas de arabisopsis (Goto et al., 2020). Extractos de plantas y de algas tuvieron un efecto positivo sobre el vigor de las plantas de tomate inoculadas con *Fusarium oxysporum* al incrementar la altura y la acumulación de biomasa total (García et al., 2018). Ahmed y Abdel-Wahed

(2018) muestran resultados de menor ABCPE con las variedades Rainbow y American con 225,67 y 309,9 y el valor más alto lo obtuvo con la variedad Black con 2033,44. Dentro de la diversidad genética que tenemos en el Perú, se debe de realizar trabajos de investigación para obtener variedades tolerantes y/o resistentes al mildiu. Al determinar que las semillas de quinua se comportan como fuente de inóculo primario, antes de sembrar se debe

de desinfectar las semillas con productos apropiados para evitar la germinación de las oosporas y complementar con las aplicaciones preventivas de los productos permitidos hasta los 30 dds. Los inductores de defensa Fosfito de K y Manano oligosacáridos, son opciones ecológicas que podrían ser incorporados en un paquete de estrategias del manejo de la enfermedad del mildiu.

Tabla 5

Progreso temporal de severidad y comparación de medias de Tukey ($\alpha = 0,05$) del ABCPE como efecto de los inductores de defensa en el control de mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum.) en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) CIPA-UNP

Trats.	8-jun	13-jun	18-jun	23-jun	28-jun	3-jul	8-jul	13-jul	18-jul	23-jul	28-jul	2-ago	ABCPE
	1 ^{era}	2 ^{da}	3 ^{era}	4 ^{ta}	5 ^{ta}	6 ^{ta}	7 ^{ma}	8 ^{va}	9 ^{na}	10 ^{ma}	11 ^{ma}	12 ^{ma}	
	19 dds	24 dds	29 dds	34 dds	39 dds	44 dds	49 dds	54 dds	59 dds	64 dds	69 dds	74 dds	
Biosar*	0	0	0	1,01	8,11	7,37	40,97	45,05	44,50	27,42	51,91	39,64	1945,7 c
Biosar	0	0	0	4,65	8,17	7,94	36,38	40,56	21,43	13,22	18,55	20,55	1234,5 b
3 Tac*	0	0	0	2,7	10,35	8,23	40,23	41,21	34,92	33,23	45,59	45,39	1850,3 bc
3 Tac	0	0	0	1,84	5,25	6,19	34,16	44,23	21,51	13,37	16,29	21,48	1178,6 b
Agromos+Soilset	0	0	0	0,27	2,24	4,11	24,99	42,96	17,51	15,33	13,93	18,49	1040,7a
Action FP/Pare	0	0	0	0,27	2,25	4,36	28,04	40,39	16,47	7,09	14,97	17,2	939,8 a
Metalosate*	0	0	0	1,05	5,77	6,4	47,81	47,91	35,22	20,78	24,33	25,26	1545,9 b
Metalosate	0	0	0	3,97	6,04	7,65	37,18	40,87	54,06	29,26	49,95	55,45	1994,5 c
Testigo	0	0	0	5,64	9,5	10,4	37,11	50,49	56,07	30,33	50,41	57,27	2161,0 c

*= Dosis alta de inductores de defensa; dds= días después de la siembra; 1^{ra}, 2^{da},12^{ma}= evaluaciones realizadas.

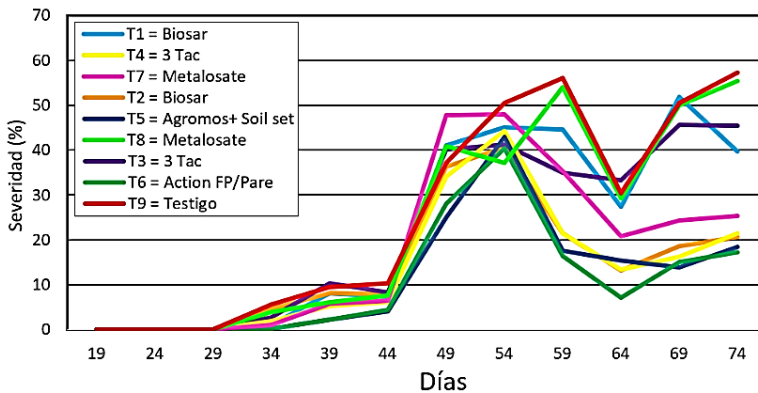


Figura 6. Curva de progreso de la enfermedad causada por *Peronospora variabilis* G. en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) CIPA-UNP.

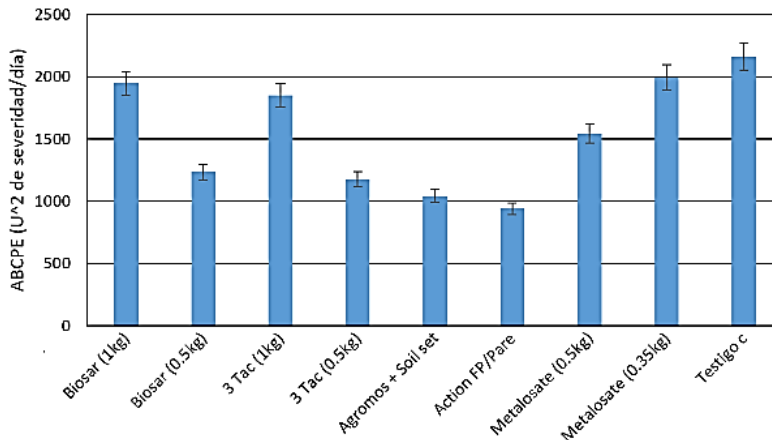


Figura 7. Promedio del ABCPE ($\alpha=0,05$) como efecto de los inductores de defensa en el control del mildiu (*Peronospora variabilis* G.) en el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) CIPA-UNP.

4. Conclusiones

Las semillas de quinua son fuente de inóculo primario de *P. variabilis* y como síntomas se observó manchas amarillentas en el haz y esporulación grisácea en el envés de las hojas. Los mayores efectos de inducción de defensa en el control de *P. variabilis* fue con los tratamientos Action FP/Pare y Agromos + Soil set. En el futuro ejecutar trabajos de investigación en la búsqueda de genotipos resistentes y realizar ensayos con otras moléculas en el control de la enfermedad del mildiu en quinua.

ORCID

R. Aguilar  <https://orcid.org/0000-0002-3965-6096>
 M.M. More-Yarlequé  <https://orcid.org/0000-0003-1732-1508>
 R. Rafael-Rutte  <https://orcid.org/0000-0003-2411-0223>
 E. Maldonado  <https://orcid.org/0000-0003-0030-3960>

Referencias bibliográficas

- Ahmed, M.H.; Abdel-Wahed, A. 2018. Evaluation of four quinoa cultivars to the infection by downy mildew under Middle Egypt conditions. *Egypto Journal Phytopathology* 46(1): 105-123.
- Altuner, F.; Oral, E.; Kulaz, H. 2019. The impact of different sowing-times of the quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) and its varieties on the yield and yield components in Turkey-Mardin ecology condition. *Applied Ecology and Environmental Research* 17(4): 10105-10117.
- Bazile, D.; Pulvento, C.; Verniau, A.; et al. 2016. Worldwide Evaluations of Quinoa: Preliminary Results from Post International Year of Quinoa FAO Projects in Nine Countries. *Frontiers in Plant Science* 7: 850.
- Danielsen, D.; Ames, T. 2014. Mildiu *Peronospora farinosa* de la quinua *Chenopodium quinoa* Willd. en la zona andina. Manual técnico para el estudio de la enfermedad y el patógeno. Perú: Centro Internacional de la Papa (CIP) royal danish ministry of foreign affairs the royal veterinary and agricultural university. 11 pp.
- Eisa, S.; Eid, M.A.; El-Samad, E. H.; et al. 2017. *Chenopodium quinoa* Willd. A new cash crop halophyte for saline regions of Egypt. *Aust. J. Crop Sci.* 11(3): 343-351.
- EL-Assiuty, E.M.; Taha, E.M.; Fahimy Z.M.; et al., 2019. Histological and molecular detections of *Peronospora variabilis* Gäum oospores in seeds of quinoa (*Chenopodium quinoa* L.). *Egipto Journal Exp. Biol. (Bot)* 15(2): 197-203.
- Falcón. R.A.; Costales, M.D.; González P.D.; et al. 2015. Nuevos productos naturales para la agricultura: las oligosacarinas. *Instituto Nacional de Ciencias Agrícolas-Cuba. Cultivos tropicales* 36: 111-129.
- García, E.E.; Robledo, O.A.; Benavides M.A.; et al. 2018. Efecto de elicitores de origen natural sobre plantas de tomate sometidas a estrés biótico. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas* 20: 4211-4221.
- García, M.A.; Plazas, N. 2018. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en los sistemas de producción agraria. *Revista Producción + Limpia* 13(1): 112-119.
- Goto, Y.; Maki, N.; Ichihashi, Y.; et al. 2020. El tratamiento exógeno con glutamato induce respuestas inmunitarias en la arabidopsis. *Molecular Plant-Microbe Interactions* 33(3): 474-487.
- Huamán, E.; Vásquez P. H.; Salas, L.; et al. 2017. Efecto de los abonos orgánicos y dosis de un biofertilizante en el rendimiento de quinua *Chenopodium quinoa*, en Chachapoyas, Amazonas. *Revista de Investigación Agroproducción Sustentable* 1(1): 63-69.
- Hui, Y.; Zhou, J.B.; Chang, F.J.; et al. 2018. Identificación del patógeno que causa el mildiu de *Chenopodium quinoa*. *Acta Phytopathologica Sinica* 48 (3): 413-417.
- Jamiołkowska, A. 2020. Natural Compounds as Elicitors of Plant Resistance Against Diseases and New Biocontrol Strategies. *Agronomy* 10: 173.
- 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, Egipto* 7(2): 671-682.
- Manna, M.; Achary, V.M.; Islam, T.; et al. 2016. The development of a phosphite-mediated fertilization and weed control system for rice. *Scientific Reports* 6: 1-13.
- Navruz-Varli, S.; Sanlier, N. 2016. Nutritional and health benefits of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) *Journal of Cereal Science* 69: 371-376.
- Pintore, I.; Gilardi, G.; Gullino, M.L.; et al. 2016. Detection of mefenoxam-resistant strains of *Peronospora belbahrii*, the causal agent of basil downy mildew, transmitted through infected seeds. *Phytoparasitica* 44: 563-569.
- Risco, M.A.; Mattos, C.L. 2014. Severidad de *Peronospora variabilis* Gäum en *Chenopodium quinoa* Willd. 'Pasankalla' como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. *UNALM. Anales Científicos* 76: 382-392.
- Rojas, W.; Vargas, M.A.; Pinto, P.M. 2016. La diversidad genética de la quinua: potenciales usos en el mejoramiento y agroindustria. *Revista de Investigación e Innovación Agropecuaria y de Recursos Naturales* 3(2): 114-124.
- Sanabria, A.K. 2019. Inductores de resistencia para el manejo integrado de *Phytophthora infestans* (Mont.) de Bary en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.). Tesis de maestría. Universidad Nacional Agraria La Molina-Lima. 132 pp.
- Santos, P.H.; Silveira, S.F.; Vivas, M.; et al. 2017. Alternative control to black spot disease in papaya genotypes. *Summa Phytopathologica* 43(1): 60-62.
- Saravia, R.; Plata, G.; Gandarillas, A. 2014. Plagas y enfermedades del cultivo de quinua. Cochabamba, BO.: Fundación PROINPA. 148 pp.
- Schmöckel, S.; Lightfoot, D.; Tazali, R.; et al. 2017. Identification of putative transmembrane proteins involved in salinity tolerance in *Chenopodium quinoa* by integrating physiological data, RNAseq, and SNP analyses. *Frontiers in Plant Science* 8: 1-12.
- Shaner, G.; Finney, R.E. 1977. The effect of nitrogen fertilization on the expression of slow-mildewing resistance in knox wheat. *Phytopathology* 67: 1051-1056.
- Silva, H.F.; Pinto, K.M.; Nascimento, L.C.; et al. 2019. Avaliação do uso de elicitores de resistência bióticos e abióticos contra a antracnose na videira (*Vitis labrusca* L.). *Summa Phytopathologica* 45(1): 70-75.
- Soto, H.J.; Cadenas, G.C. 2018. Uso de inductores de defensa en la prevención de infecciones ocasionadas por *Lasiodiplodia theobromae*, en plantones de vid (*Vitis vinifera*) en Perú. *Universidad Nacional Agraria La Molina-Lima. Anales Científicos* 79 (2): 346-352
- Soylu, S.; Uysal, A.; Choi, Y.; et al. 2020. Morphological and molecular characterization of downy mildew disease caused by *Peronospora variabilis* on *Chenopodium album* in Turkey. *Australasian Plant Disease Notes*. 3 pp.
- Taha, E.M. 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.
- Testen, A.; Jiménez-Gasco, M.; Ochoa, J.B.; et al. 2014. Molecular detection of *Peronospora variabilis* in quinoa seed and phylogeny of the quinoa downy

- mildew pathogen in South America and the United States. *Phytopathology* 104: 379-386.
- Thines, M.; Choi, Y. J. 2016. Evolution, diversity and taxonomy of the Peronosporaceae, with focus on the genus *Peronospora*. *Phytopathology* 106(1): 6-18.
- Thomas, A.; Carbone, I.; Choe, K.; *et al.* 2017a. Resurgence of cucurbit downy mildew in the United States: Insights from comparative genomic analysis of *Pseudoperonospora cubensis*. *Ecol. Evol.* 7(16): 6231-6246
- Tkaczyk, M.; Kubiak, K.A.; Sawicki, J.; *et al.* 2016. The use of phosphates in forestry. *Forest Research Papers* 77: 76-81
- Yáñez-Juárez, M.G.; López-Orona, C.A.; Ayala-Tafuya, F.; *et al.* 2017. Los fosfitos como alternativa para el manejo de problemas fitopatológicos. *Revista Mexicana de Fitopatología* 36(1): 79-94.