



Capítulo 6
ENFERMEDADES PARASITARIAS
DE LA QUÍNOA
(*Chenopodium quinoa* Willd.)
EN CHILE

Rafael Galdames G.

6.1 Introducción

Afectando al cultivo de la quínoa a nivel mundial se han descrito a la fecha un reducido número de enfermedades parasitarias o causadas por diferentes agentes infecciosos como hongos, pseudohongos, bacterias, nematodos y virus (Alandia *et al.*, 1979; Danielsen *et al.*, 2003; Saravia *et al.*, 2014), de las cuales y dependiendo de la zona o región geográfica, normalmente una o dos son consideradas de importancia primaria (Danielsen *et al.*, 2003; Gómez y Aguilar, 2016).

El mildiú, causado por el oomycete *Peronospora variabilis* (= *P. farinosa* f. sp. *chenopodii*), es reconocido como una enfermedad endémica en el cultivo de la quínoa en Argentina, Bolivia, Colombia, Ecuador y Perú (Alandia *et al.*, 1979; Aragón and Gutiérrez, 1992) donde puede llegar a causar, bajo determinadas condiciones ambientales, importantes pérdidas productivas (Danielsen *et al.*, 2001). Además, esta enfermedad se ha detectado en la India, Norteamérica y Europa (Kumar *et al.*, 2006; Tewari and Boyetchko 1990; Testen *et al.* 2012; Danielsen *et al.*, 2002), lo que da cuenta de su alta distribución.

Para Chile, la información disponible de las diferentes enfermedades que afectan a este cultivo es escasa y se limita a referencias donde se indican los fitopatógenos asociados y los síntomas que ocasionan (Acuña, 2008), sin mayores antecedentes respecto a su epidemiología, importancia y control. Lo anterior podría explicarse fundamentalmente porque a la fecha las enfermedades observadas no han representado un problema que limite la producción y en consecuencia, se ha dedicado poca atención al cultivo desde el punto de vista fitopatológico. Sin embargo, tal situación podría revertirse en la medida que la superficie sembrada se incrementa, dado que existen grandes expectativas en torno al desarrollo de este cultivo.

En este capítulo se entrega un listado de las enfermedades infecciosas (agentes causales y su sintomatología), frecuentemente descritas asociadas al cultivo de la quínoa en países de la zona productora andina (Bolivia, Perú, Ecuador, Argentina) más la información generada en el sur de Chile (Región de La Araucanía), derivado de estudios prospectivos y evaluaciones agronómicas realizadas durante tres ciclos agrícolas (2015-2018), diseñadas para cuantificar el impacto económico del mildiú, considerada la principal enfermedad parasitaria.

Cuadro 1. Enfermedades infecciosas comunes asociadas a la quínoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en países andinos. Principales síntomas y sus agentes causales

Enfermedad	Sintomatología	Agente causal	Presencia en Chile	Referencia
Mildiú	Lesiones cloróticas (amarillas o rojizas), principalmente en el follaje. Desarrollo de estructuras reproductivas principalmente en el envés (coloración gris y aspecto afelpado)	<i>Peronospora variabilis</i> (= <i>P. farinosa</i> f. sp. <i>chenopodii</i>)	+	Danielsen et al., 2003; Choi et al., 2010; Acuña 2008; Galdames et al., 2017.
Mancha foliar	Manchas necróticas en las hojas de forma más o menos circular a irregular con centros de color claro y borde café. Presencia de picnidios	<i>Ascochyta hyalospora</i>	-	Alandia et al., 1979; Danielsen et al., 2003.
Pudrición café del tallo	Lesiones iniciales pequeñas ubicadas en el tercio superior del tallo, de color café y borde de aspecto vítreo los que pueden circundar el tallo. Presencia de picnidios	<i>Phoma exigua</i> var. <i>foveata</i> (= <i>Phoma foveata</i>)	-	Tapia et al., 1979; Danielsen et al., 2003; Boerema et al., 2004.
Phoma	Lesiones necróticas en el tallo y eventual desarrollo de picnidios	<i>Phoma dimorphospora</i> ; <i>P. chenopodiicola</i> , <i>P. huancayensis</i>	-	Aveskamp et al., 2010
Dumping off	Estrangulamiento del tallo durante la emergencia y muerte de la plántula	<i>Rhizoctonia solani</i>	+ ¹	Danielsen et al., 2003.
Marchitez / Fusariosis	Clorosis, marchitez de la parte aérea. Pudrición y necrosis de raíces	<i>Fusarium</i> spp.	+	Danielsen et al., 2003; Acuña 2008.
Mancha foliar/ Ojo de gallo/Cercosporiosis	Manchas normalmente en hojas inferiores, pequeñas de color café, pueden alcanzar casi 1 cm	<i>Passalora dubia</i> (= <i>Cercospora dubia</i>)	-	Tapia et al., 1979; Saravia, R; Plata, G; Gandarillas, A. 2014.
Moho verde	Manchas foliares de color verde a negro, normalmente asociada a las lesiones causadas inicialmente por el mildiú	<i>Cladosporium</i> sp.	+	Saravia et al., 2014; Gómez y Aguilar, 2016. Galdames et al., 2017
Tizón bacteriano	Pequeñas manchas irregulares, inicialmente de aspecto húmedo en hojas y tallos. Posteriormente, manchas café oscuro en las hojas y las del tallo se necrosan	<i>Pseudomonas</i> sp.	+ ¹	Otazú y Salas, 1975; Tapia et al., 1979; Alandia et al., 1979.

+¹: Presencia del agente causal pero no descrito afectando al cultivo.

6.2 Mildiú

6.2.1 Agente causal

Se reconoce actualmente a *Peronospora variabilis* como el agente causal del mildiú de la quínoa (Choi et al., 2010). En numerosos estudios y reportes de esta enfermedad el patógeno se ha identificado con *Peronospora farinosa*. Sin embargo y derivados de nuevos criterios morfológicos, sumados a estudios moleculares y filogenéticos, se determinó que *P. farinosa* es un complejo de especies con afinidad biológica para infectar solo a ciertas especies pertenecientes al género *Chenopodium*. *P. variabilis* en cambio, ha demostrado ser a la fecha patógeno solo en dos especies del género *Chenopodium*, *C. quinoa* (quínoa) y *C. album* (quinguilla) (Choi et al., 2010), esta última una maleza común en el sur de Chile.

6.2.2 Sintomatología

Los síntomas causados por esta enfermedad son diversos y en gran medida dependen de la variedad, estado de desarrollo del cultivo y de factores ambientales. Normalmente los síntomas se presentan en las hojas, sin embargo también se han visto en tallos, ramas, inflorescencia y granos (Saravia et al., 2014). En el sur de Chile (Región de La Araucanía), los primeros síntomas se pueden observar en el follaje (hojas) muy tempranamente durante el desarrollo del cultivo, los cuales se manifiestan como lesiones cloróticas (amarillas o rojizas, dependiendo del genotipo de la quínoa), en la cara superior de las hojas. Las lesiones se van extendiendo pudiendo cubrir gran parte de su superficie (Foto 1). De forma paralela a este proceso, en la cara inferior de las hojas, se pueden observar las estructuras reproductivas del patógeno caracterizadas a simple vista por su coloración gris y de aspecto afelpado (Foto 2). Posteriormente, las lesiones cloróticas se necrosan, siendo frecuente encontrar particularmente en lesiones viejas, pequeñas manchas negras producidas por hongos del género *Cladosporium* que colonizan el tejido parasitado por el mildiú (Foto 3). Defoliación prematura también ha sido atribuido a la infección por mildiú (Alandia et al., 1979), sin embargo estrés ambiental como falta de agua pueden ocasionar similar efecto (Foto 4).



Foto 1. Síntomas tempranos y variaciones en la clorosis foliar (amarillo y rojizo) en diferentes genotipos de quínoa, como resultado de los pigmentos predominantes que producen.

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)

Foto 2. Clorosis foliar y esporulación de *P. variabilis*, caracterizado por su coloración gris y de aspecto afelpado. En la cara inferior de una hoja donde se observan las estructuras reproductivas del patógeno (esporangióforo y esporangios, vistos bajo un microscopio).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



Foto 3. En estados avanzados las manchas foliares coalescen (a) y se necrosan (b), siendo frecuente encontrar a *Cladosporium* colonizando el tejido necrosado (c).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



Foto 4. Síntomas foliares en plantas adultas, donde se aprecia cierto patrón ascendente en el desarrollo de síntomas (izquierda) y defoliación parcial (derecha).

Fuente: Rafael Galdames G. (INIA Carillanca)



6.2.3 Ciclo de la enfermedad y condiciones predisponentes

P. variabilis produce dos tipos de esporas, las de origen sexual (oosporas) y las asexuales (esporangios). Las oosporas pueden estar presentes en el suelo, residuos contaminados del ciclo anterior o en la semilla. El rol específico de las oosporas presentes en el suelo, residuos y/o semilla, en la dispersión e inicio de la enfermedad no está completamente claro. Sin embargo, se considera que deberían jugar un rol importante en la sobrevivencia del patógeno y en consecuencia, representan el inóculo primario de la enfermedad. Por otra parte, los esporangios que son diseminados por el viento y lluvia, son considerados fundamentales en la dispersión de la enfermedad durante todo el ciclo del cultivo. Al caer sobre una hoja y al existir agua libre y/o alta humedad relativa, germinan y después

de 5-6 días de iniciada la infección (germinación del esporangio, formación del tubo germinativo, penetración de la hifa y colonización interna del tejido), se desarrollan los esporangióforos que darán origen a nuevos esporangios. El proceso anterior es continuo o se repetirá varias veces durante todo el desarrollo del cultivo, en la medida que las condiciones ambientales lo permitan y exista tejido vivo del hospedero. Temperaturas frescas y humedad relativa alta (>80%) son ideales para un desarrollo rápido de la infección. Así como para su dispersión dentro del cultivo. Por lo anterior, en ambientes o temporadas donde las condiciones ambientales se caracterizan por períodos secos y calurosos, la enfermedad no se presenta o el daño que puede causar es mínimo (Danielsen et al., 2003).

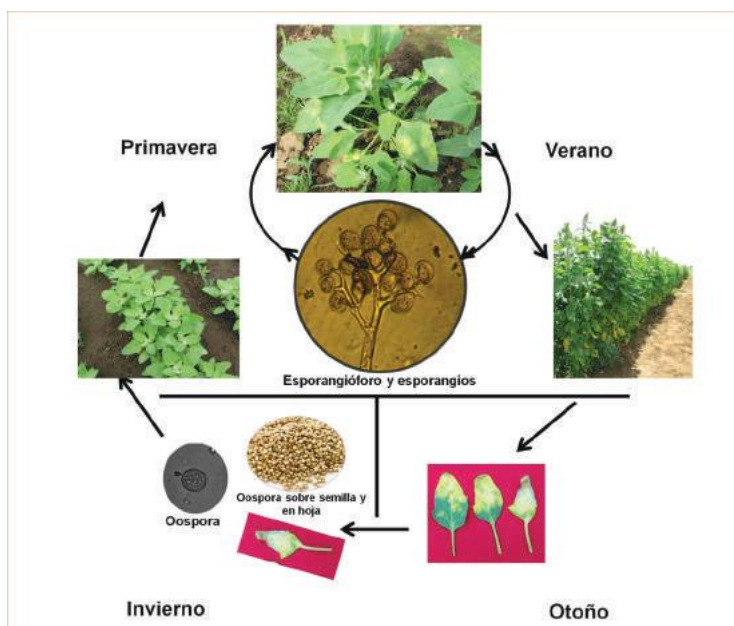


Figura 1. Ciclo de vida de *P. variabilis*, agente causal del mildiú en la quínoa.

6.2.4 Importancia y/o nivel de pérdidas

A pesar que el mildiú es una enfermedad de alta distribución y considerada la más importante que afecta al cultivo a nivel mundial, la información disponible de las pérdidas productivas que ocasiona es limitada. Factores ambientales, varietales y momento en que se produce la infección inicial explican en gran medida el nivel de pérdidas que llega a causar (Danielsen et al., 2003).

En evaluaciones experimentales realizadas en Perú con diferentes genotipos y bajo condiciones de alta presión de infección, las pérdidas productivas estimadas han fluctuado entre un 33% a un 99% (Danielsen et al., 2001). En ambientes secos y/o de baja humedad relativa, la enfermedad no reviste inconveniente (Danielsen et al., 2003).

Para la zona sur de Chile (Región de La Araucanía), en un primer experimento de campo diseñado para medir la incidencia de mildiú en la variedad Regalona Baer, se evaluaron opciones de control químico en base a tres tratamientos fungicidas en una (ametoctradina / dimetomorf), dos (cimoxanilo / mancozeb + ametoctradina / dimetomorf) y tres (cimoxanilo / mancozeb + ametoctradina / dimetomorf + ametoctradina / dimetomorf) aplicaciones durante todo el ciclo del cultivo. En el testigo sin protección, la infección expresada como índice de severidad (%) de la enfermedad fue superior a las parcelas tratadas y el tratamiento que incluyó tres aplicaciones fue el más efectivo en el control, sin embargo no se registró un efecto negativo en el rendimiento (Cuadro 1).

Cuadro 1. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2015-2016 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú IS (%)	Rendimiento (qq ha ⁻¹)
1. Testigo	-	39,13	62,18
2. Zampro DM	800cc	34,80	61,35
3. Curzate M8 / Zampro DM	1,5Kg/800cc	31,27	58,93
4. Curzate M8 / Zampro DM / Zampro DM	1,5Kg/800cc/800cc	29,45	63,86
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)			0,79 ns 11,2

¹Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). IS (%): Índice de severidad. Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: > 50 %). Zampro DM (ametoctradina+dimetomorf); Curzate M8 (cimoxanilo/mancozeb).

En un segundo año, tres aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo para la variedad Regalona Baer más otros dos genotipos, se logró detectar solo en uno de ellos (CQU 98) un incremento significativo de rendimiento asociado al tratamiento fungicida (Cuadro 2).

Cuadro 2. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2016-2017 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú IS (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	31,7	23,3	15,0	43,71	33,59	35,63
2. Zampro DM/Zampro DM/Infinito	0,8/ 0,8/ /1,2	26,6	18,3	10,0	41,34	38,81	32,01
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,095 ns 3,9	0,008 ns 4,9	0,11 ns 8,3

¹Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). IS (%): Índice de severidad. Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: > 50 %). Tratamiento fungicida: Dos aplicaciones de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y una de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolide).

En un tercer año de evaluación en dos localidades (Vilcún y Tranapunte), tres aplicaciones de fungicidas durante el ciclo del cultivo para la variedad Regalona más los genotipos CQU 98 y CQU 116, no se logró detectar diferencias en rendimiento asociadas a los tratamientos fungicidas (Cuadro 3 y 4).

Cuadro 3. Incidencia (Índice de severidad) y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2017-2018 (INIA Carillanca)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú I.S (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	59,5	42,90	44,3	16,24	16,60	16,07
2. Zampro DM/Infinito/Infinito	1,0/ 2,5/ /2,0	45,6	37,63	39,5	15,81	18,01	14,26
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,82 ns 15,1	0,40 ns 11,8	0,20 ns 10,2

¹ Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Promedios No unidos por igual letra son significativamente diferentes. IS: Índice de severidad (%). Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: >50 %). Tratamiento fungicida: Una aplicación de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y dos de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolid).

Cuadro 4. Incidencia y estimación de pérdidas asociadas al Mildiú (*P. variabilis*) en el sur de Chile. Temporada 2017-2018 (Tranapunte, comuna de Carahue)

Tratamientos	Dosis (L P.C. ha ⁻¹)	Infección Mildiú I.S (%)			Rendimiento (qq ha ⁻¹)		
		CULTIVAR Y GENOTIPOS			CULTIVAR Y GENOTIPOS		
		Regalona Baer	CQU-98	CQU-116	Regalona Baer	CQU-98	CQU-116
1. Testigo	-	73,18	60,14	37,62	20,51	18,9	21,58
2. Zampro DM/Infinito/Infinito	1,0/ 2,5/ /2,0	48,36	43,62	43,75	21,82	21,23	20,93
Probabilidad ¹ Coef. Variación (%)					0,33 ns 7,6	0,19 ns 25,0	0,65 ns 8,6

¹ Prueba de comparación múltiple de Tukey ($p \leq 0,05$). Promedios no unidos por igual letra son significativamente diferentes. IS: Índice de severidad (%). Corresponde al valor ponderado según el número de plantas por categorías de infección (0: Sin síntomas foliares; 1: ≤ 10 %; 2: 11-25 %; 3: 26-50; 4: >50 %). Tratamientos: Una aplicación de Zampro DM (ametoctradina + dimetomorf) y dos de Infinito 687.5 SC (propamocarb + fluopicolid)

6.2.5. Medidas de prevención y control

En el control de esta enfermedad se ha recomendado integrar varias prácticas de manejo, las cuales en general están supeditadas a las condiciones productivas de las diferentes zonas (Saravia *et al.*, 2014). El empleo de tratamientos fungicidas, aunque factible no representa una práctica común para el control de la enfermedad (Danielsen *et al.*, 2003). Sin embargo, en zonas de alta humedad ambiental y al emplearse variedades muy susceptibles, se han sugerido hasta cuatro aplicaciones de tratamientos foliares, iniciándose en estados muy tempranos de desarrollo del cultivo y repitiéndose cada 7-14 días (Saravia *et al.*, 2014). En Bolivia, prácticas culturales que contribuyen a minimizar la humedad relativa en el microambiente del cultivo, como reducir la densidad de plantas entre y sobre la hilera, orientar las hileras en la dirección de los vientos predominantes y evitar el exceso de agua en el suelo, reducen la severidad de la enfermedad (Danielsen *et al.*, 2003). Por otra parte, la resistencia genética se ha propuesto como la estrategia más eficiente para el control de esta enfermedad. En varios países se han identificado genotipos con mayor resistencia a mildiú, sin embargo hasta el momento no existen variedades comerciales disponibles (Plata *et al.*, 2014). En Chile la variedad Regalona Baer, aunque muestra moderada susceptibilidad a la enfermedad, ésta no ha llegado a causar caídas en rendimiento.

Dentro de las prácticas sugeridas para el control del mildiú en la Región de La Araucanía se incluye: siembras tempranas (antes de septiembre); evitar el monocultivo (idealmente repetir quínoa cada 3 años); eliminar rastrojos o residuos infectados; emplear semilla sana o libre de infección; evitar poblaciones muy altas de plantas y realizar un buen control de malezas, especialmente de quinguilla, la que puede actuar como fuente de inóculo. Aplicaciones de fungicidas foliares, aunque pueden ser una opción, hasta el momento no se han justificado.

Referencias Bibliográficas

- Alandia, S., V. Otazú, and B. Salas. 1979. Enfermedades. In: Tapia, M., H. Gandarillas, S. Alandia, A. Cardozo, A. Mujica, R. Ortiz, V. Otazú, J. Rea, B. Salas, and E. Sanabria, (eds.). Quinoa y Kañiwa. Editorial IICA, Bogotá, Colombia, p. 137–148.
- Aragón L, Gutiérrez W (1992). El mildiu en cuatro especies de *Chenopodium*. *Fitopatología* 27:104–109.
- Acuña, R. 2008. Compendio de fitopatógenos de cultivos agrícolas en Chile. Servicio Agrícola y Ganadero, SAG, 120 p.
- Aveskamp, M., de Gruyter, H., Woudenberg, J., Verkley, G., and Crous, P.W. 2010. Highlights of the Didymellaceae: A polyphasic approach to characterise *Phoma* and related pleosporalean genera. *Stud. Mycol.* 65: 1-64.
- Boerema, G.H., De Gruyter, J., Noordeloos, M.E., and Hamers, M.E.C. 2004. *Phoma* identification manual: differentiation of specific and infra-specific taxa in culture. CABI Publishing, 470 pages.
- Choi, Y.-J., Danielsen, S., Lubeck, M., Hong, S.-B., Delhey, R., and Shin, H.-D. 2010. Morphological and molecular characterization of the causal agent of downy mildew on quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Mycopathologia* 169: 403-412.
- Danielsen, S., Jacobsen, S.E., Echegaray, J., Ames, T., 2001. Impact of downy mildew on the yield of quinoa. In: CIP program report 1999–2000. International Potato Center, Lima, Perú, pp. 397–401.
- Danielsen, S., Bonifacio, A., Ames, T., 2003. Diseases of quinoa (*Chenopodium quinoa*). *Food Reviews International*, 19 (1–2), 43–59.
- Galdames, R., Contreras, E., y Díaz J. 2017. Situación fitopatológica de la quinoa (*C. quinoa*) y estimación de pérdidas causadas por *P. variabilis* en el sur de Chile Resúmenes de Exposiciones VI Congreso Mundial de la Quinoa, III Simposio Internacional de Granos Andinos. Perú. p61.
- Gómez, L. y Aguilar E. 2016. Guía de cultivo de la quinoa. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Perú 2016. 122 pp. Otazú, V. y Salas, B. 1975. Una enfermedad bacteriana en quinoa. *Fitopatología* 10, 79.
- Otazú, V. y Salas, B. 1977. La podredumbre marrón del tallo de la quinoa (*Chenopodium quinoa*) causada por *Phoma exigua* var. *foveata*. *Fitopatología* 12: 54 – 58.
- Saravia, R; Plata, G; Gandarillas, A. 2014. Plagas y enfermedades del cultivo de Quinoa. Cochabamba, BO, Fundación PROINPA; 148p.
- Tewari P.N., Boyetchko S.M 1990. Occurrence of *Peronospora farinose* f. sp. *chenopodii* on quinoa in Canada. *Can. Plant Dis. Surv.*, 70: 127–128.