

**UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMÍA
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL MILDIU EN GENOTIPOS DE QUINUA
GENERACIÓN M3, PROVENIENTES DE SEMILLA IRRADIADA CON RAYOS
GAMMA CO-60**

NOEMI SORAIDA QUISPE ROSAS

LA PAZ – BOLIVIA

2021

UNIVERSIDAD MAYOR DE SAN ANDRÉS
FACULTAD DE AGRONOMIA
CARRERA DE INGENIERIA AGRONOMICA
EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA AL MILDIU EN GENOTIPOS DE QUINUA
GENERACIÓN M3, PROVENIENTES DE SEMILLA IRRADIADA CON RAYOS
GAMMA CO-60

**Tesis de Grado presentado como requisito
Parcial para optar el Título de
Ingeniero Agrónomo**

NOEMI SORAIDA QUISPE ROSAS

ASESORES:

Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores

Ing. Edgar Gómez Villalba

Ing. Nora Mamani Condori

Tribunal Examinador

Ing. Ph.D. David Cruz Choque

Ing. Ph. D. José Yakov Arteaga Garcia.

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador

DEDICATORIA:

El presente trabajo de Tesis de Grado dedico con mucho amor y cariño a mis queridos padres Roberto Quispe Quispe y Yola Rosas Jimenez quienes siempre me apoyaron con mucho sacrificio y esfuerzo para poder culminar esta etapa de mi vida y por alentarme a seguir adelante.

A mis hermanos Mariluz y Brayan por todo el apoyo moral que me brindaron y su gran cariño incondicional.

Y de manera muy especial a mi querida hijita Zeynep Aduviri por ser mi fuente de inspiración y mi motor principal para seguir adelante.

¡ES POR TI HIJITA MÍA!

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por permitirme alcanzar mis metas, por darme salud y sobre todo por estar a mi lado en cada paso que doy, y por brindarme sabiduría, fortaleza y perseverancia a lo largo de toda mi carrera, sin el esto no sería posible.

Agradezco a nuestra Casa Superior de Estudios Universidad Mayor de San Andrés, a la Facultad de Agronomía, Carrera Ingeniería Agronómica por haberme acogido durante todos estos años de estudio y al plantel docente por brindarme sus conocimientos para mi formación profesional.

Al Instituto Agencia Boliviana de Energía Nuclear (A.B.E.N), a la Directora General Ejecutiva Hortencia Jiménez Rivera, por abrirme las puertas y el apoyo brindado durante la investigación.

Y mis más sinceros agradecimientos a mis asesores Ing. Ph. D. Alejandro Bonifacio Flores, Ing. Edgar Gómez Villalba e Ing. Nora Mamani Condori por la orientación y dedicación constante durante la evaluación en campo y redacción científica del presente trabajo.

Un agradecimiento a los miembros del tribunal revisor Ing. Ph.D. David Cruz Choque e Ing. Ph.D. José Yakov Arteaga García por todas las observaciones y sugerencias dadas para enriquecer el trabajo de tesis.

También agradezco a mis familiares por todo el apoyo sincero que me brindaron en todo momento.

Finalmente a mis amigos de la facultad por brindarme su ayuda y apoyo en los momentos que más los necesite y con quienes compartí momentos inolvidables durante los años de carrera.

RESUMEN

El presente trabajo de investigación se realizó durante la gestión agrícola 2018-2019 en predios de la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN), provincia Ingavi del departamento de La Paz, situado a 3 km del municipio de Viacha, como parte del proyecto RLA5068 "Aumento del rendimiento y del potencial comercial de los cultivos de importancia económica (ARCAL CL)", con el objetivo de evaluar la resistencia al mildiu de tres líneas de quinua de la generación M3 derivado de la variedad Real Negra y un testigo, los mismos que fueron evaluados en laboratorio para probar la viabilidad de la semilla mediante el diseño experimental completamente al azar mientras que la evaluación en campo fue implementada bajo el diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Las variables de respuesta fueron las siguientes: porcentaje de germinación, días a la emergencia, días a la floración, días a la cosecha, altura de planta, longitud de panoja, peso de grano por panoja, peso de 100 semillas (g), rendimiento de grano (kg/ha), incidencia del mildiu y la severidad de la enfermedad en diferentes fechas de lectura. Las variables registradas fueron sometidas al análisis de varianza y pruebas de media Duncan bajo el programa estadístico INFOSTAT.

Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de germinación es similar en los genotipos y el testigo. Con respecto a las variables fenológicas en días a la emergencia no se evidenció diferencias significativas entre los tratamientos. En cuanto a días de floración el tratamiento T1 (G-7) y T2 (G-10) lograron menor tiempo en alcanzar la floración a diferencia del T3 (G-15) y el testigo con una diferencia de 20 días. Para días a la cosecha los genotipos no mostraron diferencias significativas respecto al testigo, logrando alcanzar una madurez fisiológica entre los 177 días después de la siembra. Para la altura de las plantas se obtuvieron tres grupos de las cuales el T3 y T2 mostraron medias similares con promedios de 38,95 y 38,075 cm a diferencia del testigo que obtuvo una altura de 42.475 cm y con un promedio menor el T1 con 31.300 cm. La longitud de panoja fue similar entre los genotipos y el testigo con un promedio entre 11.65-14.90 cm respectivamente.

El peso de grano por panoja mostró diferencias significativas entre los tratamientos, los genotipos con mayor peso T1, T2 y T3 con 4,25 g, 4,22 g y 3,15

g respectivamente siendo superior al testigo que reportó 2,42 g. Para peso de 100 semillas los genotipos registraron menor peso de 0,32 g, 0,31g y 0.30 g mientras que el testigo fue mayor (0,35 g).

Para el rendimiento de grano los tratamientos T1, T2 y T3 alcanzaron medias similares con promedios de 284,20 kg/ha, 272, 25 kg/ha y 459,59 kg/ha y el testigo con un rendimiento de 196,56 kg/ha.

Respecto a la evaluación de la enfermedad del mildiu los genotipos demostraron un porcentaje de severidad similar en las siete evaluaciones realizadas durante el ciclo vegetativo desde la fase de ocho hojas verdaderas hasta la fase de formación de grano masoso obteniendo promedios de 22,70% a 28,90% y con mayor porcentaje de severidad el testigo con promedio de 36,90%. Bajo los cálculos de la curva de progreso la AUDPC demostró que el genotipo T2 obtuvo un área afectada por el patógeno de 1413,70 cm² lo cual significa que la severidad es menor, a diferencia del testigo que presentó un área de 2560,61 cm² por lo que la severidad es mayor confirmando que la variedad Real Negra es susceptible a la enfermedad del mildiu.

En conclusión, la viabilidad de la semilla de los genotipos en generación M3 son viables y similares al testigo. En las variables agronómicas se destacan los genotipos T1 y T2 por obtener un mayor rendimiento y presentar precocidad a la floración. En la resistencia al mildiu el genotipo G-10 presentó un progreso lento a enfermedad y menor incidencia de plantas enfermas desde sus primeras fases fenológicas a diferencia del testigo.

SUMMARY

The present research work was carried out during the 2018-2019 agricultural management at the properties of the Bolivian Nuclear Energy Agency (ABEN), Ingavi province of the department of La Paz, located 3 km from the municipality of Viacha, as part of the RLA5068 project "Increase in the yield and commercial potential of the crops of economic importance (ARCAL CL)", with the aim of evaluating the resistance to the downy mildew of three quinoa lines of the M3 generation derived from the Real Negra variety and a control, the same that were evaluated in the laboratory to test the viability of the seed through the completely random experimental design while the field evaluation was implemented. under the randomized block design with four replications. The response variables were the following: germination percentage, days to emergence, days to flowering, days to harvest, plant height, panicle length, grain weight per panicle, weight of 100 seeds (g), yield of grain (kg / ha), incidence of mildew and severity of the disease in different reading dates. The variables recorded were subjected to analysis of variance and Duncan mean tests under the INFOSTAT statistical program.

The results obtained show that the germination percentage is similar in the genotypes and the control. Regarding the phenological variables in days to emergence, no significant differences were found between the treatments. Regarding days of flowering, treatment T1 (G-7) and T2 (G-10) achieved a shorter time to reach flowering than T3 (G-15) and the control with a difference of 20 days. For days to harvest the genotypes did not show significant differences with respect to the control, achieving a physiological maturity between 177 days after sowing. For the height of the plants, three groups were obtained, of which T3 and T2 showed similar means with averages of 38.95 and 38.075 cm, unlike the control that obtained a height of 42.475 cm and with a lower average of T1 with 31.300 cm. . Panicle length was similar between the genotypes and the control with an average between 11.65-14.90 cm respectively.

The grain weight per panicle showed significant differences between the treatments, the genotypes with the highest weight T1, T2 and T3 with 4.25 g, 4.22 g and 3.15 g respectively, being higher than the control that reported 2.42 g. For

weight of 100 seeds the genotypes registered lower weight of 0.32 g, 0.31g and 0.30 g while the control was greater (0.35 g).

For grain yield, treatments T1, T2 and T3 reached similar averages with averages of 284.20 kg / ha, 272, 25 kg / ha and 459.59 kg / ha and the control with a yield of 196.56 kg / ha has.

Regarding the evaluation of the downy mildew disease, the genotypes showed a similar severity percentage in the seven evaluations carried out during the vegetative cycle from the phase of eight true leaves to the phase of formation of massive grain, obtaining averages of 22.70% to 28 , 90% and with the highest percentage of severity the control with an average of 36.90%. Under the progress curve calculations, the AUDPC showed that the T2 genotype obtained an area affected by the pathogen of 1413.70 cm², which means that the severity is lower, unlike the control that presented an area of 2560.61 cm² per what the severity is greater confirming that the Real Negra variety is susceptible to the disease of the mildew.

In conclusion, the viability of the seed of the genotypes in M3 generation are viable and similar to the control. In the agronomic variables, genotypes T1 and T2 stand out for obtaining a higher yield and presenting precociousness to flowering. In resistance to mildew, the G-10 genotype presented a slow progress to disease and a lower incidence of diseased plants from their first phenological phases, unlike the control.

INDICE GENERAL

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. OBJETIVOS	2
2.1 Objetivo general	2
2.2 Objetivos específicos	2
3. REVISIÓN BIBLOGRÁFICA	3
3.1 Características del cultivo	3
3.1.1 Origen del cultivo	3
3.1.2 Clasificación taxonómica	3
3.1.3 Descripción botánica	4
3.1.4 Fenología de la quinua	6
3.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo.....	9
3.3 El mildiu de la quinua	11
3.3.1 Sistemática del mildiu	11
3.3.2 Morfología.....	12
3.3.3 Ciclo de vida	12
3.3.4 Epidemiología	14
3.3.5 Síntomas de la enfermedad.....	15
3.3.6 Evaluación de la enfermedad	16
3.4 Resistencia de la enfermedad.....	18
3.4.1 Definición.....	18
3.4.2 Tipos de resistencia.....	19
3.5 Tolerancia a la enfermedad.....	19
3.6 Mutaciones.....	21
3.6.1 Agentes mutagénicos	21
3.6.2 Rayos gamma.....	22

3.7	Mejoramiento genético por mutaciones.....	22
4.	LOCALIZACIÓN.....	24
5.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
5.1	Materiales.....	25
5.1.1	Material Vegetal.....	25
5.1.2	Materiales de laboratorio	25
5.1.3	Material de campo	25
5.1.4	Equipos.....	26
5.1.5	Material de gabinete	26
5.2	Metodología	27
5.2.1	Trabajo en laboratorio.....	27
5.2.2	Trabajo en campo.....	27
5.2.3	Diseño experimental	29
5.2.4	Variables de Respuesta.....	31
6.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	35
6.1	Aspectos climáticos.....	35
6.1.1	Temperatura	35
6.1.2	Humedad relativa del suelo a 30 cm de profundidad.....	36
6.1.3	Precipitación diaria	36
6.2	Variable en laboratorio	37
6.2.1	Porcentaje de germinación	37
6.3	Variables fenológicas	38
6.3.1	Días a la emergencia.....	38
6.3.2	Días a la floración	39
6.3.3	Días a la cosecha	41
6.4	Variables de cosecha	41
6.4.1	Altura de la planta.....	41

6.4.2	Longitud de panoja	44
6.4.3	Peso de grano por panoja	45
6.4.4	Peso de 100 semillas (g)	46
6.4.5	Rendimiento de grano de quinua.....	48
6.5	Variables de evaluación de la enfermedad	50
6.5.1	Incidencia de la enfermedad.....	50
6.5.2	Progreso de la enfermedad por fases fenológicas de quinua.....	51
7.	CONCLUSIONES	64
8.	RECOMENDACIONES	65
9.	BIBLIOGRAFIA	66

INDICE DE CUADROS

	Página
Cuadro 1. Grado de porcentaje del área afectada.....	17
Cuadro 2. Distribución de los tratamientos.....	30
Cuadro 3. Características de la parcela experimental.....	30
Cuadro 4. Análisis de varianza del porcentaje de germinación para los genotipos de la generación M3.....	37
Cuadro 5. Análisis de varianza para número de días a la emergencia en los genotipos de la generación M3.....	38
Cuadro 6. Análisis de varianza para el número de días a la floración.....	39
Cuadro 7. Análisis de varianza para días a la cosecha.....	41
Cuadro 8. Análisis de varianza para la altura de la planta.....	42
Cuadro 9. Análisis de varianza para la longitud de panoja.....	44
Cuadro 10. Análisis de varianza para el peso de grano por panoja.....	45
Cuadro 11. Análisis de varianza para el peso de 100 semillas (g).....	47
Cuadro 12. Análisis de varianza para el rendimiento.....	48
Cuadro 13. Análisis de varianza para la incidencia de la enfermedad del mildiu.....	50
Cuadro 14. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de ocho hojas verdaderas.....	52
Cuadro 15. Análisis de varianza del grado de severidad del mildiu en la fase de ramificación.....	53
Cuadro 16. Análisis de varianza para el grado de severidad de la enfermedad el mildiu en la fase de inicio de panojamiento.....	55
Cuadro 17. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de panojamiento.....	56
Cuadro 18. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de inicio de floración.....	58
Cuadro 19. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de floración.....	59
Cuadro 20. Análisis de varianza para el grado de severidad en la fase de formación de grano.....	60

INDICE DE FIGURAS

Página

Figura 1. Fases fenológicas de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) (SENAMHI, 2011)	9
Figura 2. Ciclo de vida de <i>Peronospora Farinosa</i> en la zona andina. (Danielsen y Ames, 2000).	14
Figura 3. Porcentaje de área afectada por mildiu en quinua (Danielsen y Ames, 2000).	18
Figura 4. Ubicación geográfica del Centro de Investigación Viacha perteneciente a la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (A.B.E.N)	24
Figura 5. Registro de temperaturas mensuales de máximas y mínimas del 2018 al 2019	35
Figura 6. Fluctuaciones de humedad del suelo (%).....	36
Figura 7. Registro pluviométrico semanal del mes de octubre 2018 al mes de noviembre 2019 (SENAMHI, 2019).	37
Figura 8. Comparación de medias para el número de días a la floración para los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).	40
Figura 9. Altura de la planta.....	42
Figura 10. Comparación de medias para la altura de plantas, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	43
Figura 11. Longitud de panoja.....	44
Figura 12. Comparación de medias para el peso de granos por panoja, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	46
Figura 13. Comparación de medias para el peso de 100 semillas (g), de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	47
Figura 14. Comparación de medias para el rendimiento en grano, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	49
Figura 15. Comparación de medias para el porcentaje de incidencia de la enfermedad del mildiu, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	51
Figura 16. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ocho hojas verdaderas de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	52

Figura 17. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ramificación de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).....	54
Figura 18. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de panojamiento de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	55
Figura 19. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de panojamiento de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).....	57
Figura 20. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de floración de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)	58
Figura 21. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de floración de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).....	59
Figura 22. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de formación de grano de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).	61
Figura 23. Evaluación del área bajo la curva de progreso de la enfermedad para cada tratamiento.....	62

INDICE DE ANEXOS

	Página
Anexo 1. Planilla de evaluación para la enfermedad del mildiu.....	74
Anexo 2. Comparación de medias para el número de días a la floración.....	75
Anexo 3. Comparación de medias para altura de planta.....	75
Anexo 4. Comparación de medias para peso de grano por panoja.....	75
Anexo 5. Comparación de medias para peso de 100 semillas.....	75
Anexo 6. Comparación de medias para el rendimiento de grano de quinua ...	75
Anexo 7. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ocho hojas verdaderas	76
Anexo 8. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ramificación	76
Anexo 9. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de panojamiento.....	76
Anexo 10. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en la fase de panojamiento	76
Anexo 11. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de floración.....	77
Anexo 12. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase floración.....	77
Anexo 13. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de formación de grano	77
Anexo 14. Delimitación del área de investigación	78
Anexo 15. Remoción del terreno	78
Anexo 16. Siembra de las semillas de quinua (Variedad Real Negra generación M3).....	79
Anexo 17. Área de investigación de la quinua en la fase de ramificación	79
Anexo 18. Medición de altura de la quinua.....	80
Anexo 19. Prueba de germinación de 100 semillas en laboratorio.....	80
Anexo 20. Emergencia de la quinua Variedad Real Negra en campo.....	81
Anexo 21. Medición de humedad relativa con el DIVINER 2000.....	81
Anexo 22. Evaluación de la enfermedad el mildiu en hojas (superior, medio, inferior)	82

Anexo 23. Genotipos susceptible y resistente a la enfermedad del mildiu	82
Anexo 24. Escala de severidad del mildiu	83
Anexo 25. Vista Microscópica donde se observan características visibles del patógeno <i>Peronospora variabilis</i> . Corte transversal de la hoja de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) recolectada de una de las muestras.....	83
Anexo 26. Cosecha individual de cada unidad experimental	84
Anexo 27. Trillado y venteado de la quinua.....	84
Anexo 28. Pesado y almacenado de las semillas de quinua	85
Anexo 29. Croquis experimental del trabajo de investigación	85

1. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es una planta andina que muestra la mayor distribución y diversidad de genotipos por alrededores del Lago Titicaca de Perú y Bolivia, encontrándose la mayor diversidad entre Potosí, Bolivia y Sicuani, Perú. La quinua es caracterizada por ser adaptable a diferentes condiciones agroclimáticas, edáficas (Mujica, 2015 y MINAGRI, 2014).

Además es considerada por ser un alimento funcional es decir que aporta en la disminución de riesgo de enfermedades, debido a sus características nutricionales en especial por la cantidad y calidad de proteínas, aminoácidos esenciales, calcio, fósforo, hierro, magnesio, vitaminas y fibras solubles e insolubles (MINAGRI, 2014).

La quinua es una planta afectada por plagas y enfermedades, donde la principal enfermedad es el mildiu provocada por el hongo *Peronospora variabilis* debido a los cambios de periodos de sequía y precipitación que se alternan durante la campaña agrícola, generando condiciones adversas al cultivo y favorables para el hongo. Lo que determina la reducción del rendimiento, deficiencias en el llenado y calidad de grano, llegando a reducir el 30% del rendimiento y el 100% en condiciones lluviosas (Bonifacio *et al.*, s.f.).

Ante los efectos del cambio climático, se debe buscar genotipos resistentes a la enfermedad, para superar la amenaza a la producción de alimentos. En este contexto, es importante el empleo de inductores de mutaciones para la mejora de plantas y entre las variantes generadas seleccionar plantas con genes favorables y sean adaptables a los cambios ambientales.

Mediante trabajos de mutación y subsecuentes generaciones en la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN) se ha obtenido progenies M3 de la variedad Real Negra que se encuentran en proceso de evaluación.

2. OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

- Evaluar la resistencia al mildiu de los genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) generación M3 provenientes de semillas irradiadas con Co-60.

2.2 Objetivos específicos

- Evaluar la severidad del mildiu de los genotipos de quinua generación M3.
- Identificar y seleccionar genotipos resistentes a la enfermedad del mildiu.
- Determinar el efecto de la enfermedad del mildiu en el rendimiento de la quinua

3. REVISIÓN BIBLOGRÁFICA

3.1 Características del cultivo

3.1.1 Origen del cultivo

Mujica *et al.* (2001) mencionan que la quinua es una planta andina que se originó en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia, que abarcó desde las civilizaciones prehispánicas hasta la llegada de los españoles; siendo cultivada como alimento básico.

Uno de los pasos grandes que ocurrió en la quinua durante su domesticación fue la selección de genotipos, según el tipo de uso y la tolerancia a factores climáticos adversos. Logrando una gran diversidad con modificaciones morfológicas, desde el tamaño de la planta, condensación de inflorescencia y altos niveles de pigmentación, lo que permitió su amplia variabilidad genética (Mujica *et al.*, 2001).

3.1.2 Clasificación taxonómica

Según Rojas (2013) la clasificación taxonómica del cultivo de quinua es la siguiente:

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Caryophyllales

Familia: Amaranthaceae

Género: *Chenopodium*

Especie: *Chenopodium quinoa* Willd

Nombre común: Quinua

3.1.3 Descripción botánica

Mujica *et al.* (2001), señalan que la quinua es una planta herbácea anual, con una amplia dispersión geográfica cultivadas en distintas zonas agroecológicas por esa razón la quinua se ve diversificada por sus características morfológicas y el comportamiento al adaptarse a diferentes factores climáticos.

3.1.3.1 Raíz

Gómez y Aguilar (2016), describe la raíz del tipo pivotante que consta de un eje principal y varios ejes secundarios con longitudes variadas desde los 0,8 a 1,5 m de altura dependiendo de diferentes factores como ser morfológicos, edafoclimáticos, y entre otros.

Por otro lado Gandarillas (1979), menciona que a partir de la radícula va formándose una raíz pivotante vigorosa, con raicillas variadas de más de cinco centímetros de longitud. El mismo autor indica que la raíz de la quinua es muy fuerte, logrando sostener a plantas de dos o más metros de altura.

3.1.3.2 Tallo

Para Gómez y Eguiluz (2011), el tallo tiene la forma cilíndrica, con ramificaciones alternadas. Presentan características muy visibles en la determinación de la textura del tallo, diferenciadas desde las primeras fases fenológicas con texturas blandas en plantas jóvenes y con texturas esponjosas y huecas en la maduración completa de la planta. Los mismos autores mencionan que el color del tallo incluye el verde, amarillo, rojo, púrpura, naranja o verde con estrías verticales de otra coloración distinta.

3.1.3.3 Hoja

Gandarillas (1979), menciona que la hoja de la quinua está compuesta por dos partes: el peciolo y lámina. Con tamaños distintos respecto al peciolo, los más largos y acanalados son los que se desarrollan de manera directa del tallo y cortas de las ramas primarias.

Según Gómez y Aguilar (2016), "Las láminas de la planta o el follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados. El número de dientes puede variar de 3 a 20. Las hojas y las partes tiernas de la planta están generalmente cubiertas con una pubescencia vesicular-granular blanca, rosada o púrpura".

3.1.3.4 Inflorescencia

Tapia, (2000) menciona que la inflorescencia de la quinua es denominada panícula, con un eje principal y ejes secundarios. Cárdenas (1969) citado por Tapia (2000), clasifica los tipos de panoja en tres grupos (amarantiforme glomerulada e intermedia) por tanto están relacionados respecto al rendimiento de grano por panoja.

Para Bonifacio *et al.* (2001) la quinua presenta una inflorescencia racimosa, denominada panoja por la forma de disposición de las flores, pudiendo ser laxa o compacta, diferenciadas o no del resto de la planta. Así también mencionan que la longitud de panoja es variable desde los 15 cm llegando a producir hasta 200 gramos de semilla por planta.

3.1.3.5 Flores

La quinua presenta flores sésiles o pediceladas agrupadas en glomérulos. La quinua es una planta ginomonoica porque presenta dos tipos de flores en una misma planta; hermafroditas y pistiladas, donde las hermafroditas se encuentran en el ápice del glomérulo y las pistiladas se encuentran alrededor y debajo de las hermafroditas, pero se considera una planta autógama con un porcentaje de cruzamiento del 17% aproximadamente (Gómez y Aguilar, 2016).

3.1.3.6 Fruto

Gómez y Aguilar (2016), describen al fruto un aquenio presentando forma lenticular, elipsoidal, cubierto por el perigonio, el cual llega a desprenderse cuando el grano llega a su madurez fisiológica.

El fruto está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. El pericarpio está adherido a la capa de las semillas y el nivel de adherencia es variable, tiene alveolos en su superficie contiene la saponina. El fruto llega a alcanzar un diámetro de 1.5 a 3mm (Gómez y Aguilar, 2016).

Asimismo Gandarillas (1979), destaca que el perigonio determina el color del fruto, por tanto se relaciona con la coloración de la planta. Además menciona que durante el desarrollo vegetativo de la planta, el perigonio toma la forma de una estrella con cinco sépalos.

3.1.4 Fenología de la quinua

Mujica *et al.* (2004) mencionan que la fenología son los cambios externos de la planta con diferencias morfológicas visibles, por tanto nos ayuda a realizar un seguimiento adecuado a los agrónomos y productores a un manejo eficaz del cultivo contra el ataque de plagas y enfermedades y sus labores culturales, asimismo le permite evaluar los posibles rendimientos, resultado de los pronósticos de cosecha.

Por otro lado señalan que el cultivo de la quinua presenta doce fases fenológicas, con diferencias visibles entre cada etapa durante el desarrollo de la planta habiendo determinado las siguientes:

Emergencia

Es cuando la plántula sale del suelo y extiende las hojas cotiledonales que ocurre de los 7 a 10 días de la siembra, siendo susceptibles al ataque de aves en sus inicios, pues como es dicotiledónea, salen las dos hojas cotiledonales protegidas por el episperma y pareciera mostrar la semilla encima del talluelo facilitando el consumo de las aves, por la succulencia de los cotiledones.

Dos hojas verdaderas

Es cuando fuera de las hojas cotiledonales, aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya poseen forma romboidal y se encuentra en botón el siguiente par de hojas, ocurre de los 15 a 20 días después de la siembra y muestra un crecimiento rápido de las raíces.

Cuatro hojas verdaderas

Se observan dos pares de hojas verdaderas extendidas, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice; ocurre de los 25 a 30 días después de la siembra, en esta fase la plántula muestra buena resistencia al frío y sequía.

Seis hojas verdaderas

En esta fase se observan tres pares de hojas verdaderas, ocurre de los 35 a 45 días de la siembra. En esta fase se observa una protección del ápice vegetativo por las hojas adultas, especialmente cuando la planta está sometida a bajas temperaturas y en situaciones de stress por déficit hídrico o salino.

Ramificación

Se observa ocho hojas verdaderas con presencia de hojas axilares hasta el tercer nudo, también se nota presencia de inflorescencia protegida por las hojas sin dejar descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días de la siembra, en esta fase es más sensible a las bajas temperaturas.

Inicio de panojamiento

La inflorescencia se ve emergiendo del ápice de la planta con aglomeración de hojas pequeñas, que van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes; ocurre de los 55 a 60 días de la siembra, así mismo se puede apreciar amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que ya no son fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento.

Panojamiento

La inflorescencia sobre sale con claridad por encima de las hojas, notándose los glomérulos que la conforman; se puede observar en los glomérulos de la base los botones florales individualizados, ello ocurre de los 65 a los 70 días después de la siembra.

Inicio de floración

Es cuando la flor hermafrodita apical se abre mostrando los estambres separados, ocurre de 75 a 80 días de la siembra en esta fase es bastante sensible a la sequía y heladas.

Floración

La floración es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia se encuentran abiertas, ocurre de los 90 a 100 días después de la siembra. En esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta -2°C, debe observarse la floración a medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer se encuentran cerradas.

Grano lechoso

El estado de grano lechoso es cuando los frutos se encuentran en los glomérulos de la panoja, al ser presionados explotan y dejan salir un líquido blanquecino, lo que ocurre de los 100 a 130 días de la siembra, en esta fase el déficit hídrico es sumamente perjudicial para el rendimiento.

Grano pastoso

El estado de grano pastoso es cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco, lo que ocurre de los 130 a 160 días de la siembra, en esta fase el ataque de la plaga de Q'hona q'hona causa daños considerables al cultivo.

Madurez fisiológica

Es cuando el grano formado es presionado por las uñas, presenta resistencia a la penetración, ocurre de los 160 a 180 días después de la siembra, el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16%, el lapso comprendido de la floración a la madurez fisiológica viene a constituir el periodo de llenado del grano, asimismo en esta etapa ocurre un amarillamiento completo de la planta y la defoliación (Mujica *et al.*, 2004).

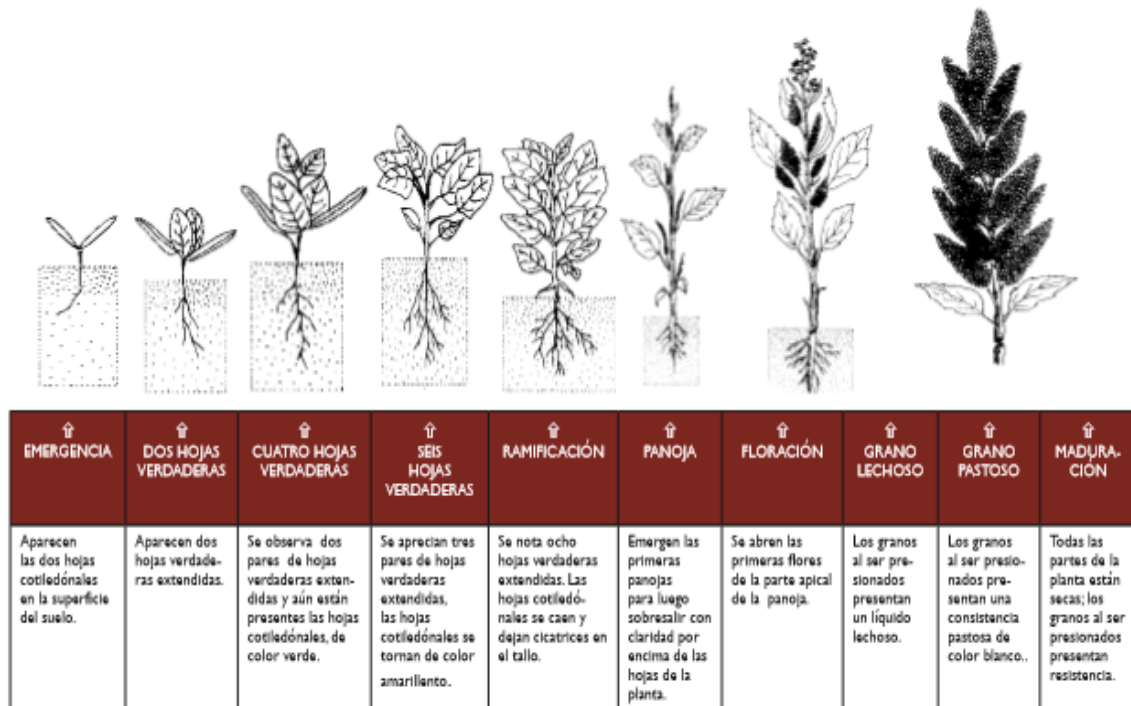


Figura 1. Fases fenológicas de la quinua *Chenopodium quinoa*) (SENAMHI, 2011)

3.2 Requerimientos edafoclimaticos del cultivo

Según León (2003) las condiciones climáticas y el suelo tienen influencia marcada en la productividad de la quinua. El clima está determinado por varios factores como ser: altitud, precipitación, temperatura, latitud, vientos, iluminación y otros. La quinua se enfrenta con altos riesgos ambientales como heladas, sequias prolongadas, granizo, vientos fuertes, suelos pobres y ácidos.

Suelos

La quinua se adapta bien a diferentes tipos de suelos, pero prefiere los suelos franco-arenosos a franco arcilloso, con buen drenaje y con pendientes moderadas, con profundidad media y con una riqueza media de nutrientes (Zaragoza, 2010).

pH

El cultivo de quinua tiene un amplio rango de crecimiento y producción a diferentes pH del suelo, encontrando sembradíos de quinua en suelos con

extrema acidez con un pH desde 4.5, así también se ha observado producciones buenas en suelos alcalinos de hasta 9 de pH, en los salares de Bolivia y Perú (Mujica *et al.*, 2001).

Agua

En cuanto al agua, la quinua es un organismo eficiente en el uso, a pesar de ser una planta C3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten tolerar y resistir al déficit y la falta de humedad del suelo. Siendo óptimas las precipitaciones entre 300 y 500 mm, con un máximo de 600 a 800 mm (Mujica *et al.*, 2001 y Zaragoza, 2010).

Temperatura

La temperatura óptima para la quinua es alrededor de 8-15°C, puede soportar hasta -4°C en determinadas etapas fenológicas, siendo más tolerante en la ramificación y más susceptible en la fase de floración y llenado de grano. Las altas temperaturas diurnas aceleran la formación de panoja y su respectiva maduración, por lo que repercute a bajos rendimientos en grano (León, 2003).

Fotoperiodo

Acerca del fotoperiodo en el cultivo de quinua León (2003), menciona que en la quinua es variable, depende de su origen, siendo las variedades que vienen de cerca de la línea ecuatorial de día corto puesto que necesitan por lo menos 15 días cortos (< que 10 horas luz) para inducir la floración y la maduración de los frutos.

Por otra parte Zaragoza (2010), nos indica que el cultivo de la quinua prospera adecuadamente con 12 horas luz, sobre todo en el altiplano de Perú y Bolivia.

Heladas

La heladas se producen en horas de la madrugada con temperaturas inferiores a -4°C y pueden causar rupturas del plasma mediante la formación de cristales de hielo en las intercelulares de la planta (Zaragoza, 2010). Así mismo Tapia y Frías (2007), mencionan que las plantas de color rojo y púrpura soportan heladas hasta de -2°C, aunque los rendimientos pueden

ser menores cuando las heladas son frecuentes. Los citados autores resaltan a las quinuas de la zona de los salares en Bolivia puesto que soportan temperaturas de - 8°C.

3.3 El mildiu de la quinua

Según Choi *et al.* (2010) citado por Calixtro (2017), indica que la *Peronospora farinosa* actualmente reconocida como *Peronospora variabilis* Gaum es la especie que causa la enfermedad del mildiu en el cultivo de la quinua, debido a que se encuentra en diversos países, siempre cuando las condiciones climáticas sean favorables para el hongo.

Plata *et al.* (2014), señalan que el mildiu se hará presente en todos los lugares donde se cultiva quinua, por tanto el porcentaje de incidencia y severidad será mayor o menor en función de las condiciones ambientales y el manejo del cultivo.

Por otro lado Bonifacio *et al.* (s.f.), menciona que a causa de los periodos de la precipitación y alta humedad relativa, que se alternan en una misma campaña agrícola, ocasionan condiciones favorables para el desarrollo del hongo.

3.3.1 Sistemática del mildiu

Según Ponce (2015) citado por Marca (2018), la clasificación taxonómica del mildiu de la quinua es la siguiente:

Reino: Chromista

División: Oomycota

Subdivisión: Mastigomycotina

Clase: Peronosporomycetes

Orden: Peronosporales

Familia: Peronosporaceae

Género: Peronospora

Especie: *P. variabilis*

Nombre científico: *Peronospora variabilis*.

3.3.2 Morfología

El agente causal del mildiu, *Peronospora variabilis*, tiene una estructura vegetativa constituida por hifas en las cuales se forman esporangióforos y esporangios. Las hifas son cenocíticas (sin septa) y multinucleadas, se desarrollan en los espacios intercelulares de las hojas del hospedante y proyectan haustorios que les sirven como órganos de absorción dentro de las células. El patógeno ataca principalmente la hoja formando en la cara inferior esporangióforos que miden entre 167 Y 227 μm de longitud y entre 11.0 y 14.8 μm de diámetro (Cruces *et al.*, 2016 & Danielsen y Ames, 2000). Los esporangios son arborescentes, ramificados 4 a 5 veces en un ángulo agudo y terminan en 2 – 3 extremos fluxuosos dispuestos en ángulo recto o agudo, en los que se insertan los esporangios. De manera que son de crecimiento determinado y cuando alcanzan el tamaño definido forman los esporangios, por esa razón los esporangios son de la misma edad. Por lo tanto las oosporas son esporas sexuales que pueden sobrevivir periodos largos entre cultivos, dado que las oosporas son transmitidas por semilla y suelo, sirviendo como fuentes de inóculo primario para el inicio de epidemias.

El oogonio y el anteridio son los gametangios femenino y masculino que se encuentran generalmente en forma abundante en el tejido de la hoja en proceso de necrobiosis (Danielsen y Ames, 2000).

Según Mercado (2001) citado por Risco (2014), indica que el mildiu se transmite a través de oosporas que se encuentran en el pericarpio de la semilla, por las condiciones de humedad relativamente altas debido a que favorecen la expresión de la enfermedad durante la primera fase fenológica.

3.3.3 Ciclo de vida

Gandarillas *et al.* (2014), señalan que la fuente de inóculo inicial son las esporas que se encuentran en la semilla de campañas anteriores. Indican que

el proceso de infección es continuo durante el desarrollo del cultivo que van de generación en generación, por lo cual consideran que el patógeno es policíclico.

Cuando un esporangio cae sobre la hoja de la quinua, esta germina debido a las condiciones de humedad relativamente altas que son favorables para el desarrollo de esporangioforos que se proyectan en la parte inferior de las hojas. Después de un periodo de latencia empiezan a crecer formando un micelio, que son desplazados a través de espacios intercelulares del mesófilo, después de cinco días se observa la decoloración y esporulación (Danielsen y Ames, 2000 & Plata *et al.*, 2014).

Una vez que los esporangióforos, alcanzan su desarrollo máximo, forman los esporangios, que son las estructuras propagativas del patógeno capaces de mantener la epidemia durante todo el ciclo en que la planta hospedante permanece en el campo. En este momento la zona afectada muestra los primeros síntomas de la enfermedad, que consisten en una ligera clorosis como prueba de que las células afectadas se están debilitando y perdiendo su capacidad de síntesis y finalmente se necrosifica al tiempo que desaparece la parte vegetativa del patógeno (Danielsen y Ames, 2000).

Plata *et al.* (2014), consideran al patógeno policíclico debido a que su proceso de infección es continuo, por lo que se presenta en varias generaciones por su reproducción asexual (solo se producen esporas), en cambio cuando las manchas empiezan a necrosarse ocurre la reproducción sexual, por sus dos tipos de apareamiento que dan lugar a la formación de la oospora, considerada estructura de conservación del patógeno por largos periodos en ausencia del hospedero.

Por otra parte Danielsen y Ames (2000), mencionan que durante ese tiempo se establece entre hospedante y patógeno una suerte de equilibrio que se rompe cuando el tejido foliar parasitado comienza a deteriorarse y por lo tanto ya no puede proporcionar al patógeno los nutrientes que necesita para seguir desarrollándose vegetativamente.

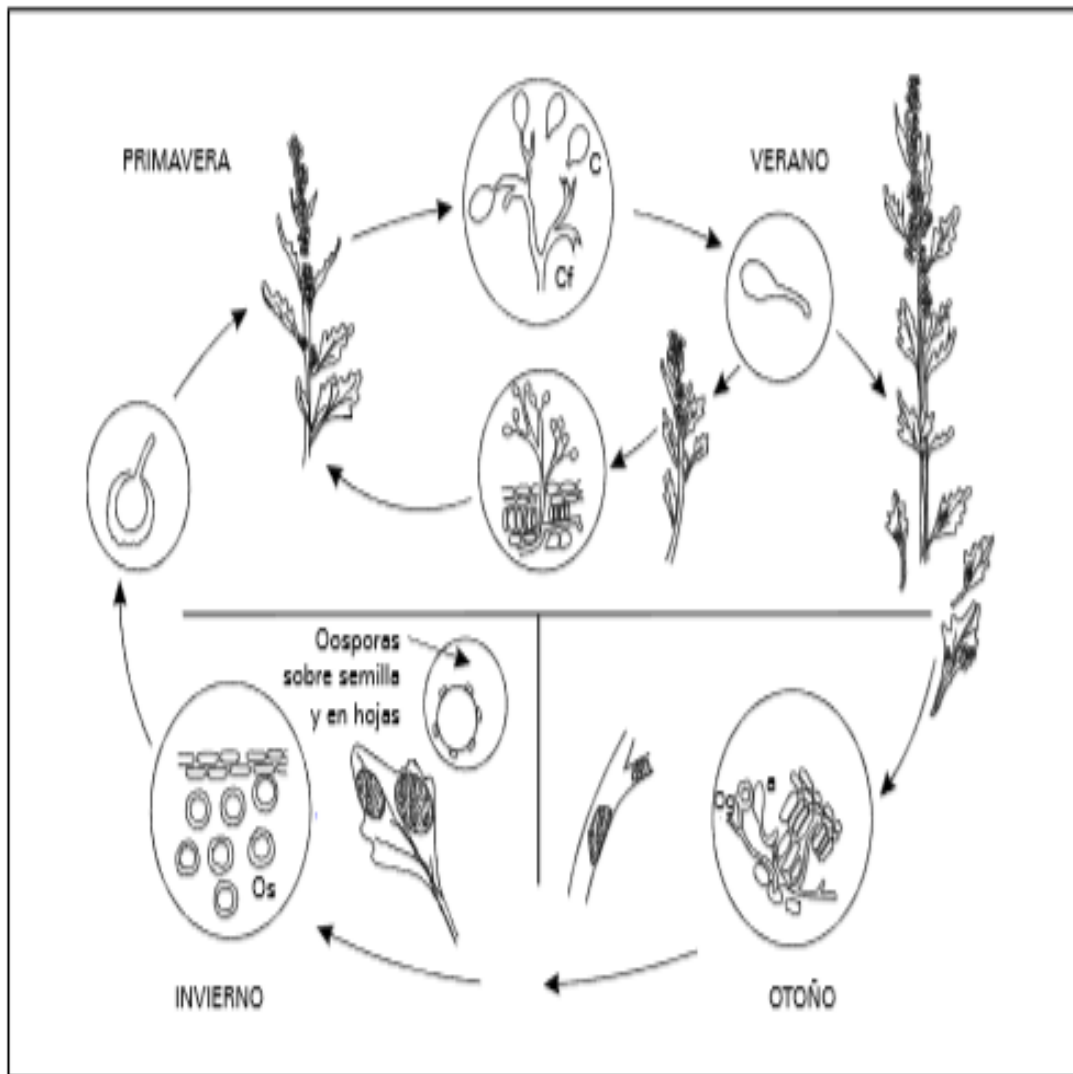


Figura 2. Ciclo de vida de *Peronospora Farinosa* en la zona andina. (Danielsen y Ames, 2000).

3.3.4 Epidemiología

Plata *et al.* (2014), señalan que cuando se habla de epidemiología, se debe considerar tres pilares fundamentales de la enfermedad; patógeno (*Peronospora variabilis*), hospedero (quinua) y las condiciones ambientales que favorecen el desarrollo de la enfermedad.

Es por eso, que el factor más importante en el mildiu son las condiciones ambientales, dentro de ello se destacan la humedad mayor al 80 % y la

temperatura. Debido a que provocan la germinación de oosporas, esporas, multiplicación y diseminación de la enfermedad (Plata *et al.*, 2014).

Danielsen y Ames (2000), respecto a la epidemiología del mildiu en quinua, menciona lo siguiente:

La presencia de rocío al amanecer y la persistencia de este hasta las altas horas de la mañana permite que las esporas de *Peronospora* germinen y penetren el tejido de la hoja para continuar con los procesos epidemiológicos comunes. La germinación de los esporangios depende fundamentalmente de la presencia de humedad relativa alta y persistente, tanto así que en años con poca precipitación, la enfermedad no se presente o no causa mayor daño.

Asimismo Plata *et al.* (2014), mencionan que si las condiciones de humedad bajan, desaparece la esporulación por la deshidratación de esporas. También describen que las oosporas son la fuente principal de inóculo, debido a que están adheridas en los granos de semilla y los residuos de cosecha del cultivo.

Por consiguiente la aparición de la enfermedad podría ser determinado por la época de siembra debido a la espera de lluvias en las zonas de siembra de la quinua, lo cual favorece el desarrollo de la enfermedad desde las primeras fases del cultivo (Plata *et al.*, 2014).

3.3.5 Síntomas de la enfermedad

Según Gómez y Aguilar (2016), "se presenta como manchas pequeñas de forma irregular y que van creciendo a medida que la enfermedad desarrolla, su coloración puede ser clorótica o amarilla, rosada, rojiza u otro dependiendo del color de la planta se observa un micelio de color gris en el envés de las hojas, siendo muy abundante en las variedades susceptibles. Si bien, se la encuentra más en las hojas, se pueden observar síntomas en tallo, ramas, inflorescencia y granos".

Por su parte Plata *et al.* (2014), mencionan que durante el desarrollo de la enfermedad las manchas van uniéndose, a causa de ello las hojas se

decoloran y se caen, de manera que si las condiciones son favorables para el patógeno, la planta llegaría a defoliarse por completo y detener su crecimiento.

Perez *et al.* (2010), señalan que el hongo ocasiona "la atrofia en las yemas de crecimiento, clorosis en la planta, deformidad de ramas basales y necrosis en el tallo", a causa de ello provoca la defoliación completa, maduración prematura, reducción en la viabilidad de la semilla y pérdida en el rendimiento con un 58% en variedades resistentes y el 99% en variedades susceptibles.

Sin embargo Danielsen y Ames (2000), mencionan que la enfermedad reacciona de diferente manera en distintos cultivares de la quinua, debido a que está influenciada por el genotipo de la planta, el genotipo del patógeno y las condiciones ambientales.

3.3.6 Evaluación de la enfermedad

Ortiz *et al.* (2001), mencionan que evaluar una enfermedad en campo es complicado, depende de la persona, metodología, época e instrumentos (escalas) de evaluación.

Danielsen y Ames (2000) aconsejan determinar el porcentaje del área foliar afectado en hojas individuales y no en plantas enteras. Se mide la severidad en 3 hojas por planta, una de cada tercio escogidas al azar, según una escala de 0 % hasta 100 %, y luego se calcula el promedio de las 3 hojas para obtener el valor de la planta. El valor mínimo que indica presencia de enfermedad es 1 %. Con un mínimo de 3 evaluaciones los valores de severidad se pueden usar para calcular el AUDPC (área bajo la curva de progreso de la enfermedad), parámetro usado para comparar resistencia/susceptibilidad y comportamiento de diferentes cultivares bajo diferentes ambientes climáticos.

Cuadro 1. Grado de porcentaje del área afectada

Grado	Porcentaje de área afectado
1	0% de área afectada
2	1% de área afectada
3	5% de área afectada
4	10% de área afectada
5	20% de área afectada
6	30%de área afectada
7	40% de área afectada
8	50% de área afectada
9	60% de área afectada
10	70% de área afectada
11	80% de área afectada
12	90% de área afectada
13	95% de área afectada
14	100% de área afectada

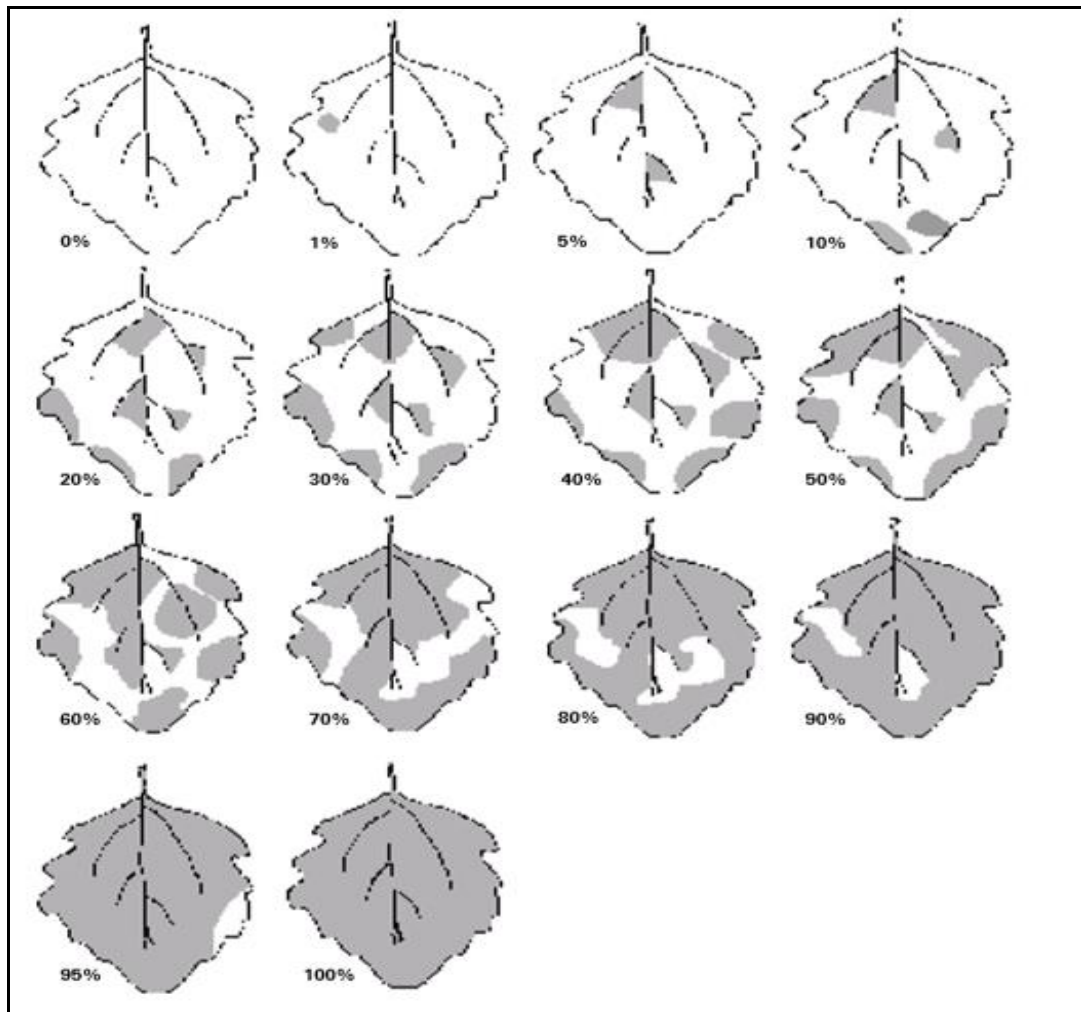


Figura 3. Porcentaje de área afectada por mildiu en quinua (Danielsen y Ames, 2000).

3.4 Resistencia de la enfermedad

3.4.1 Definición

La resistencia de la enfermedad en plantas, es la habilidad de detener el crecimiento del patógeno por el hospedero. Es decir, es el mecanismo genético mediante el cual retarda la invasión del patógeno a los tejidos de la planta (Tapiero, 1999).

3.4.2 Tipos de resistencia

Agrios (2007), clasifica a la resistencia en dos tipos: Resistencia horizontal y Resistencia vertical.

Resistencia horizontal: Es aquella resistencia que evita que las plantas sean infectadas, retardando el desarrollo de cada uno de los loci de infección en la planta, por lo que retrasa la propagación de la enfermedad y el desarrollo de epifitias en el campo.

Por otra parte López (2007), menciona que la resistencia horizontal no protege a las plantas de una infección, pero sí logra reducir el avance de focos de infección y de esta forma reduce la expansión y desarrollo de la enfermedad.

Resistencia Vertical: Inhibe el establecimiento inicial del patógeno que llega al campo, siendo capaz de disminuir el inóculo efectivo para iniciar una epidemia (al no permitir la reproducción de una raza del patógeno en particular), pero no disminuye la tasa de reproducción de otras razas del patógeno (Agrios, 2007 y Burbano, 2020).

3.5 Tolerancia a la enfermedad

Pagan y García (2020), definen a la tolerancia como la reducción del daño que causa la infección del patógeno por un huésped, mecanismo de defensa de las plantas frente a los patógenos.

Perez *et al.* (2010), señalan que el cambio climático impacta a la agricultura, dado a que el clima influye directamente en las condiciones favorables para la enfermedad sean patógenos o bacterianos lo cual reduce la defensa de las plantas ante ataques de patógenos. En caso de la quinua la combinación de temperaturas altas y de mayor humedad relativa, asociada con el cambio climático hacen que el mildiu sea más frecuente y obtenga mayor resistencia en la planta afectando al rendimiento y su disponibilidad.

Gandarillas *et al.* (2014), consideran que para combatir el mildiu es buscar una variedad resistente, cuáles sean multiplicados y que requieran menor cantidad de fungicidas, en caso de Bolivia consideran que el mildiu es un factor restrictivo del cultivo en zonas del valle y altiplano. Por lo que consideran que "al momento de la selección, es importante tomar algunos criterios de evaluación como ser la fase fenológica en el que aparecen los primeros síntomas, esporulación y la defoliación de la planta". Los mismos autores mencionan que es importante la relación entre el ambiente y el cultivo, así también el ciclo de la variedad y la fecha de siembra del cultivo.

Bonifacio *et al.* (2014), mencionan que es importante mejorar la quinua respecto a la resistencia a enfermedades y tolerancia a factores bióticos, considerando la producción orgánica que realizan los agricultores, tomando en cuenta la genética del cultivo y de los organismos.

A su vez, mencionan que la resistencia a la enfermedad del mildiu adquiere importancia debido a tres factores:

- El movimiento de variedades de una zona seca a otra de mayor humedad relativa.
- Concentración de lluvias en periodos cortos con alta humedad relativa que es propicia para el mildiu.
- Alto interés por la quinua en zonas tradicionales productoras.

Según Bonifacio (s.f.), "el mejoramiento genético orientado a la incorporación de la resistencia es un proceso por el cual se concentra los genes de resistencia dispersos en diferentes accesiones. La obtención de variedades resistentes a enfermedades, es un proceso complicado y requiere del conocimiento del patógeno, huésped y las interacciones del patógeno-huésped".

Bonifacio (s.f.) asume, que las fuentes genéticas para la resistencia para el mildiu se encuentran en la diversidad genética de la quinua, por lo que la conservación de variedades genéticas de la quinua en los bancos de germoplasma es una prioridad.

3.6 Mutaciones

Las mutaciones son esencialmente cambios imprevistos que tienen lugar en el material hereditario de un organismo, es decir comprenden alteraciones que no se pueden explicar como consecuencia de la normal recombinación de la unidad hereditaria. Una mutación heredable cambia la estructura y función de un organismo y de su descendencia, por lo que modifica la estructura cromosómica (Murillo, 2014).

Para Gutiérrez *et al.* (2003) citado por Mamani (2016), mencionan que la mutación es un proceso por lo que los genes pasan de una forma alélica a otra, pudiendo ser espontáneas (errores en la replicación o lesiones) y las inducidas sean agentes físicos o químicos y según el tejido afectado las mutaciones pueden ser somáticas y germinales. Los mismos autores indican que las mutaciones inducidas son una forma de crear variabilidad genética.

Según la IAEA (2008), mediante la radiación y la mutación, solo se reorganiza el material genético, de manera que se logra obtener características deseadas, como ser la resistencia a enfermedades, tamaño, cualidades nutricionales y otros.

3.6.1 Agentes mutagénicos

La IAEA (2020), menciona que las mutaciones pueden inducirse mediante mutágenos físicos y químicos (agentes que modifican el material genético de un organismo). Los mutágenos físicos producen cambios cromosómicos y deleciones en el ADN, a diferencia los mutágenos químicos suelen dar lugar a mutaciones puntuales, de tal manera que el grado de mutación va dependiendo del tejido, tiempo y la dosis de exposición.

3.6.2 Rayos gamma

Según IAEA (2020), el agente mutagénico más utilizado en mejoramiento son los rayos gamma. Asimismo Peixoto (1970); citado por Mamani (2012), menciona que los rayos gamma han sido utilizado en semillas de diferentes especies y en diferentes dosis, debido a que las radiaciones gamma rompen el DNA.

Por otra parte la IAEA (2020), señala que las semillas u otras partes vegetativas como el polen, esporas o esquejes suelen exponerse durante un tiempo a una fuente de cobalto 60 o la irradiación en plantas enteras en invernaderos o campos gamma.

3.7 Mejoramiento genético por mutaciones

Bonifacio *et al.* (2014) indican que el mejoramiento empírico de la quinua empezó hace miles de años, con la selección de plantas y semillas, generando fenotipos y genotipos de quinua en diferentes zonas productoras. En el año 1960 en Bolivia en la Estación Experimental de Patacamaya y en el Perú inician con el mejoramiento genético en granos.

Los objetivos de los programas de mejoramiento genético en quinua es considerar los requerimientos del agricultor de acuerdo a las variaciones climáticas de cada región. Es por ello que, "se dio énfasis en el rendimiento, grano grande, libre de saponina, características morfológicas, resistencia a enfermedades, buena calidad culinaria", y la tolerancia a diferentes cambios climáticos granizo, sequía y heladas (Bonifacio et al., 2014).

La fitotecnia exige la variación genética de las características útiles para mejorar los cultivos, a menudo no se logra la variación deseada. En estos casos pueden emplearse agentes mutágenos, como la radiación y algunos productos químicos, para inducir mutaciones y generar variaciones genéticas de las cuales puedan seleccionarse los mutantes deseados. La inducción de mutaciones ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones de genes que sean resistentes a una enfermedad en particular o tolerante a los

cambios del medio ambiente, no tienen otra opción evidente sino tratar de inducir la mutación (Novak y Brunner, 1992).

La principal ventaja de la mutagénesis, con respecto a otras técnicas productoras de variabilidad genética, es que a partir de una misma población irradiada se pueden obtener genotipos con alteraciones en genes muy diversos debido a su acción aleatoria en el genoma, siendo observables por las expresiones fenotípicas o a la resistencia y susceptibilidad de una enfermedad (Novak y Brunner, 1992)

Expertos en el área de las radiaciones sobre cultivos y mutaciones inducidas indican que las mutaciones a través de las radiaciones es una tecnología inofensiva, lo que se consigue es que se reorganice el material genético de la planta, para que se ofrezca las características deseadas frente a la resistencia de enfermedades, por lo que se pretende que exista una seguridad alimentaria frente a los cambios climáticos (IAEA, 2008).

4. LOCALIZACIÓN

El presente trabajo se realizó en Instalaciones de la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (ABEN), el mismo que se encuentra en la provincia Ingavi, cantón Suripanta a una distancia de 3 km de la Ciudad Industrial de Viacha. Con una latitud sud de $16^{\circ}39'25''$ y una latitud Oeste de $68^{\circ}18'00''$ y altitud de 3850 m.s.n.m.



Figura 4. Ubicación geográfica del Centro de Investigación Viacha perteneciente a la Agencia Boliviana de Energía Nuclear (A.B.E.N)

Descripción del clima

El municipio de Viacha se encuentra en el Altiplano boliviano, posee un clima frío y seco la mayor parte del año. Según SENAMHI (2015) la localidad de Viacha presenta una temperatura promedio de 16° a 19°C , con una humedad del 50%, y una precipitación de 548.3 mm/año en los meses de diciembre a febrero, se presenta etapas lluviosas y heladas.

Mamani (2016), menciona que la localidad tiene suelos de textura arcillosa-limosa y franco arcilloso-limoso con una profundidad efectiva del 26 y 35 cm.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Materiales

5.1.1 Material Vegetal

Para el presente trabajo de investigación, se utilizó material genético tres genotipos en generación M3 proveniente de semillas irradiadas con rayos gamma Co60 de quinua variedad Real Negra y un testigo que no fue sometido a irradiación.

Complementar: que el material genético fue obtenido en el Centro de Investigaciones (CIAN-Viacha), dependiente del IBTEN actualmente llamado ABEN (Agencia Boliviana de Energía Nuclear), en el año 2012 (generación Mo) cuales fueron irradiadas en el reactor Co-60 del Hospital de Clínicas-Unidad de Radioterapia de la ciudad de La Paz.

5.1.2 Materiales de laboratorio

Los materiales que se utilizaron en laboratorio para determinar el porcentaje de germinación son las siguientes:

- Cajas Petri
- Papel secante
- Pinzas
- Marcador acrílico
- Agua destilada
- Pizetas
- Cámara de crecimiento.

5.1.3 Material de campo

Los materiales utilizados antes y después de la siembra, durante el trabajo de investigación son las siguientes:

- Tractor
- Picotas

- Palas
- Chontillas
- Mangueras
- Regaderas
- Flexo metro
- Cinta de agua
- Estacas
- Botellas de plástico
- Letreros
- Yute
- Cucharas plásticas medianas

5.1.4 Equipos

- Sensor de humedad TDR
- Sonda portable de humedad de suelo DIVINER 2000
- Termómetro de Máxima y Mínima
- Microscopio

5.1.5 Material de gabinete

- Planillas de registro
- Cámara fotográfica
- Calculadora
- Papelería
- Impresora
- Bolígrafos
- Computadora personal
- Programa estadístico INFOSTAT.

5.2 Metodología

El trabajo en campo y laboratorio tuvo diferentes labores, cuales se detallan a continuación:

5.2.1 Trabajo en laboratorio

Para la prueba de germinación de la generación M3 en quinua variedad "Real Negra" se utilizaron 16 placas Petri y láminas de papel secante los cuales se colocaron en la base interior de las placas Petri y se procedió el colocado de las 100 semillas de cada tratamiento con cuatro repeticiones T0= testigo, T1= Genotipo 7, T2= Genotipo 10 y T3= Genotipo 15 y seguidamente se humedeció con una piseta el papel secante con agua destilada y finalmente se llevó todas las placas Petri a la cámara de crecimiento a una temperatura de 25°C.

Al día siguiente se evaluó el porcentaje de germinación de cada tratamiento en horas de la mañana, los cuales presentaron la radícula desarrollada de manera que se realizó el conteo de las semillas germinadas de cada tratamiento.

5.2.2 Trabajo en campo

5.2.2.1 Preparación del terreno

El trabajo en campo se inició con la delimitación del área de investigación con un total de 155.25 m², posterior a ello se realizó la remoción del suelo empleando de un tractor siendo la profundidad del roturado de 30 cm, seguidamente se procedió al nivelado del terreno.

5.2.2.2 Siembra

La siembra se realizó con la apertura de los surcos, con una distancia entre surcos de 0,40 m y profundidad de 10 cm, bajo un sistema de siembra manual colocando 7 a 10 semillas por cada golpe a una densidad de 10 a 15 cm entre plantas.

5.2.2.3 Riego

El riego se realizó antes y después de la siembra, con el fin de tener un suelo húmedo apto para el cultivo de quinua para mayor efectividad en la emergencia de la semilla, posterior a la siembra se llevó un riego de dos veces por semana hasta que la planta presente sus hojas cotiledonales mediante el uso de regaderas y el uso de un pequeño aspersor.

5.2.2.4 Colocado de letreros

Los letreros se colocaron en cada uno de los tratamientos con sus respectivas repeticiones. El material utilizado para la elaboración de los letreros fueron maderas de 20x20 cm, pintura para el colocado de nombres y clavos para su respectiva unión.

5.2.2.5 Labores culturales

Durante el desarrollo de la quinua, se realizaron aporques y deshierbes por el método manual.

5.2.2.6 Toma de datos

La toma de datos se realizó desde que la enfermedad presentó sus primeros síntomas con una frecuencia de 7 días. Se evaluó en las plantas elegidas aleatoriamente de cada unidad experimental. También se registró cada tres días la humedad del suelo con la ayuda del Diviner 2000 y el sensor de humedad TDR y de otras variables cualitativas de la planta.

5.2.2.7 Cosecha

La cosecha se llevó a cabo cuando las plantas completaron su madurez fisiológica, evidenciada cuando el grano presento una consistencia dura, mayor defoliación y amarillamiento de las hojas.

Seguidamente se realizó el secado y trillado individual de cada muestra tolerante a la enfermedad, y por último el venteado para remover las impurezas y obtener grano limpio.

5.2.3 Diseño experimental

5.2.3.1 Etapa en laboratorio – germinación

En el presente trabajo de investigación para la prueba de germinación en laboratorio, se realizó bajo un diseño completamente al azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos (Ochoa, 2009).

5.2.3.1.1 Modelo lineal aditivo

$$Y_{ij} = \mu + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación

μ = Media poblacional

α_i = Efecto del i -ésimo genotipos de quinua

ϵ_{ij} = Error experimental

5.2.3.2 Etapa en campo

En el presente trabajo de investigación tiene un enfoque experimental cuantitativo (Hernández Sampieri *et al.*, 2014). La etapa en campo fue establecido bajo un diseño de bloques completos al azar (DBA), de acuerdo al modelo lineal aditivo del diseño descrito por (Ochoa, 2009).

5.2.3.2.1 Modelo Lineal Aditivo

El modelo lineal aditivo que se utilizará es el siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_i$$

Dónde:

Y_{ij} = Una observación cualquiera

μ = Media poblacional

β_j = Efecto del j-ésimo bloque

α_i = Efecto del i-ésimo genotipos de quinua

ϵ_{ij} = Error experimental

5.2.3.3 Tratamientos de estudio

En el cuadro 2 se detallan las distribuciones de los tratamientos en la investigación:

Cuadro 2. Distribución de los tratamientos

Distribución de los tratamientos	
To	Testigo (semilla sin procedencia de irradiación).
T1	Genotipo-7
T2	Genotipo-10
T3	Genotipo-15

5.2.3.4 Características de la parcela experimental

En el cuadro 3 se detallan las características generales de área de investigación:

Cuadro 3. Características de la parcela experimental

Características	Descripción
Número de tratamientos	4
Número de repeticiones o bloques	4
Número de unidades experimentales por bloque	4
Número total de unidades experimentales	16
Número de surcos por unidad experimental	6

Largo de la unidad experimental	3m
Ancho de la unidad experimental	2.5 m
Distancia entre surcos	0.40 m
Área total de la UE	7.50m ²
Largo total del área	13,50m
Ancho total del área	11,50m
Área total	155.25m²
Ancho del pasillo	0.50 m
Profundidad de siembra	5 cm
Sistema de siembra	Manual

TRANSFORMACION DE DATOS

Según Ochoa (2009), para obtener una distribución normal en las diferentes poblaciones es necesario realizar la transformación de datos en especial cuando los números sean pequeños o los datos observados sean cero. De manera que se prefiere la transformación $\sqrt{Y} + 1$.

Los datos observados en porcentajes se transforma mediante la determinación del ángulo cuyo seno que es la raíz cuadrada de la proporción (porcentaje/100) expresada por Arcseno \sqrt{y} .

5.2.4 Variables de Respuesta

Para registrar las variables de respuesta en plantas de la generación M3, se eligieron aleatoriamente 15 plantas al azar de la parte central, con el fin de obtener uniformidad en cada unidad experimental durante su desarrollo fenológico.

5.2.4.1 Variables en laboratorio

5.2.4.1.1 Porcentaje de germinación

El porcentaje de germinación en laboratorio se determinó con la siguiente fórmula:6

$$\% \text{ GERMINACIÓN} = \frac{N^{\circ} \text{ de semillas germinadas}}{N^{\circ} \text{ total de semillas totales}} \times 100\%$$

5.2.4.2 Variables de crecimiento y desarrollo en campo

5.2.4.2.1 Variables fenológicas

Nuestras variables fueron evaluados bajo la descripción para el cultivo de la quinua descrito por (Bioversity International, FAO, PROINPA, INIAF y FIDA, 2013).

5.2.4.2.1.1 Días a la emergencia

Los días a la emergencia fueron determinados contando los días transcurridos desde la fecha de siembra hasta la fecha que emergieron más del 50% de las plantas por unidad experimental. Se registró a los 8 días donde las plantas emergieron con presencia de hojas cotiledóneas.

5.2.4.2.1.2 Días a la floración

La evaluación a días de floración se determinó cuando el 50% de las plantas presenten flores abiertas y anteras visibles en cada unidad experimental. El registro se realizó a los 86 días.

5.2.4.2.1.3 Días a la cosecha

El número de días a la cosecha se registraron cuando las plantas presentaron evidencias de maduración, es decir cuando los granos presenten una consistencia dura y un bajo porcentaje de humedad. Se registró desde los 171 a 177 días, momento en el que finalizó la cosecha de la quinua.

5.2.4.3 Variables de cosecha

5.2.4.3.1 Altura de la planta

La medición de altura de la planta fue medida una vez que la planta alcanzó su madurez fisiológica, efectuando el muestreo de 15 plantas al azar de la parte central con el fin de evitar el efecto de borde y tener plantas homogéneas, para

luego obtener un promedio. La altura se midió desde la base del tallo principal hasta el punto apical de la panoja.

5.2.4.3.2 Longitud de panoja

La longitud de panoja se midió al momento de la cosecha con la ayuda de una regla desde la base de la panoja hasta el ápice principal, tomando en cuenta las 15 plantas seleccionadas al azar de cada unidad experimental y finalmente obtener un promedio.

5.2.4.3.3 Peso de grano por panoja

Para la determinación del peso de grano por panoja se realizó el pesado de grano de las 15 plantas (muestras) de cada unidad experimental.

5.2.4.3.4 Peso de 100 semillas (g)

Para medir esta variable se realizó el conteo de 100 semillas al azar de cada tratamiento, seguidamente se pesó en una balanza de precisión y se expresaron en gramos.

5.2.4.3.5 Rendimiento (kg/ha)

Para la determinación del rendimiento de grano, se realizó pesando el grano de cada unidad experimental, los cuales fueron expresados en kilogramos por hectárea (Kg/ha).

5.2.4.4 Variables de evaluación de la enfermedad

5.2.4.4.1 Incidencia del mildiu

Para la incidencia, se realizó el conteo de las plantas afectadas con el mildiu de la quinua causada por un hongo (*Peronospora variabilis*), sobre el total de plantas de cada unidad experimental, evaluada mediante la siguiente fórmula:

$$\text{Incidencia} = \frac{\text{Número de plantas enfermas}}{\text{Número total de plantas}} \times 100\%$$

5.2.4.4.2 Severidad de la enfermedad del mildiu

La severidad de la enfermedad se determinó bajo el método propuesto por (Danielsen y Ames, 2000), en las 15 plantas elegidas aleatoriamente de cada unidad experimental, de cada planta se eligió 3 hojas al azar una de cada tercio.

Las evaluaciones se midieron una vez por semana desde que se manifestó los primeros síntomas del hongo (*Peronospora variabilis*).

Para el cálculo del porcentaje del área afectada se utilizó la escala de severidad de la figura 3. En total se obtuvo siete evaluaciones durante el periodo del experimento.

Para evaluar la resistencia del material genético a la enfermedad del mildiu bajo los datos obtenidos del porcentaje de severidad, se calculó la AUDPC (área bajo la curva de progreso de la enfermedad) para así realizar un mejor análisis del avancé de la enfermedad

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

Dónde:

n= número de evaluaciones

y= el grado de severidad

t= es el número de días después de la siembra

6. RESULTADOS Y DISCUSIONES

6.1 Aspectos climáticos

6.1.1 Temperatura

En la figura 5 se observa las variaciones de las temperaturas máximas y mínimas registradas durante la campaña agrícola del cultivo, donde la temperatura mensual más mínima se registró a inicios del mes de diciembre del 2018 con una mínima extrema de $-10,3^{\circ}\text{C}$ lo cual provocó una fuerte helada en la quinua. Respecto a las temperaturas máximas se registraron en el mes de febrero del año 2019 con una máxima de 35°C .

En la misma figura se puede apreciar que hubo descensos de temperatura en los meses de febrero y marzo 2019 con promedios de -3°C , provocando heladas leves durante el ciclo vegetativo del cultivo.

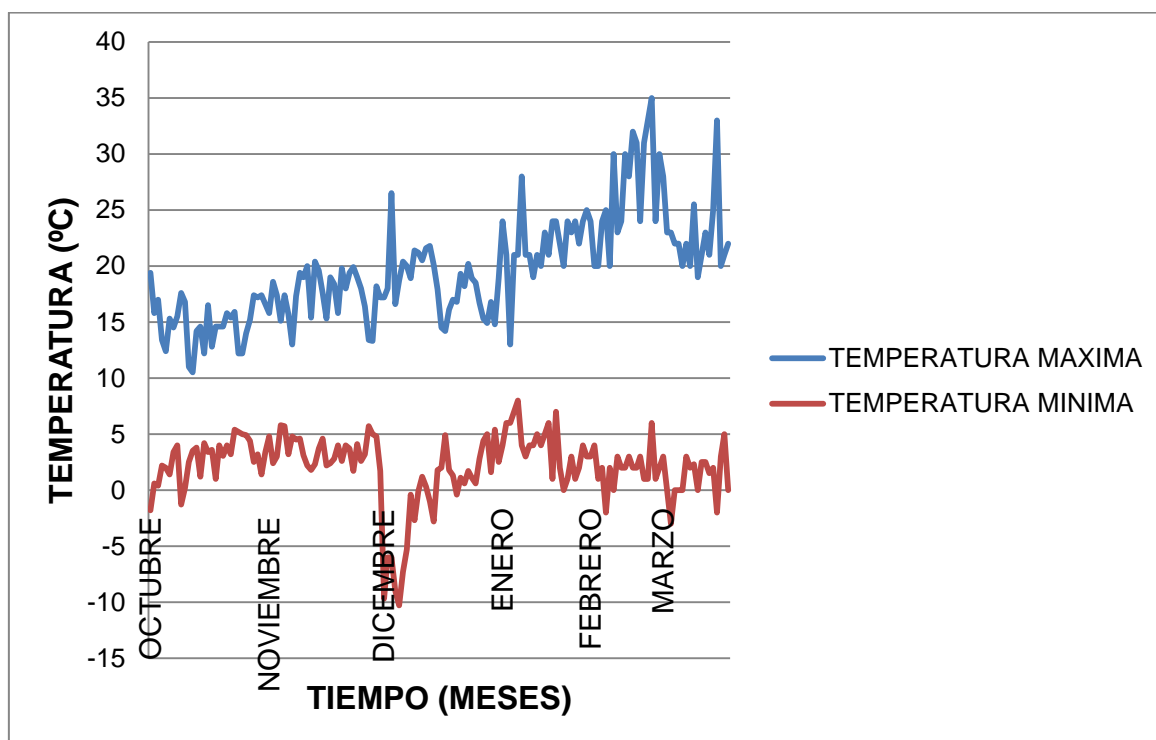


Figura 5. Registro de temperaturas mensuales de máximas y mínimas del 2018 al 2019

6.1.2 Humedad relativa del suelo a 30 cm de profundidad

La figura 6 muestra la humedad del suelo para 30 cm de profundidad, se registraron durante el ciclo fenológico del cultivo mediante el equipo (FDR Portatil Diviner 2000).

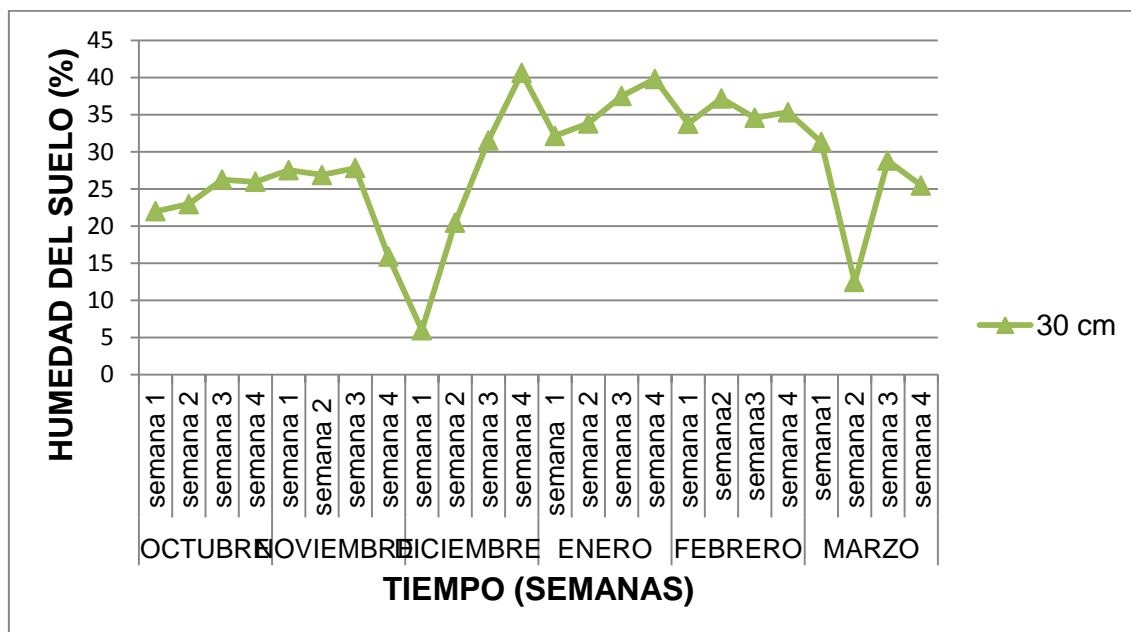


Figura 6. Fluctuaciones de humedad del suelo (%)

La humedad del suelo en la gestión agrícola 2018-2019 a una profundidad de 30 cm se registró una máxima en la cuarta semana del mes Diciembre con un valor de 40,58%, debido a las precipitaciones presentes en este mes siendo constantes hasta segunda semana del mes de Febrero con un promedio de 37,17% y con una mínima registrada a la primera semana del mes Diciembre y la segunda semana del mes de Marzo con valores de 5,98% y 12,45% , a causa del cese de las precipitaciones.

6.1.3 Precipitación diaria

En la figura 7, se observa que la precipitación diaria registrada durante el ciclo fenológico de la quinua la que de manera irregular alcanzó precipitaciones menores de 0.0 mm/día en los meses de octubre, noviembre y primeras semanas del mes diciembre y a partir de la segunda semana del mes de diciembre se registraron fuertes precipitaciones llegando a una máxima de

42,1 mm/día, de manera que la excesiva humedad favoreció al desarrollo del hongo. Cabe mencionar que en la época de lluvia, se registraron granizadas frecuentes.

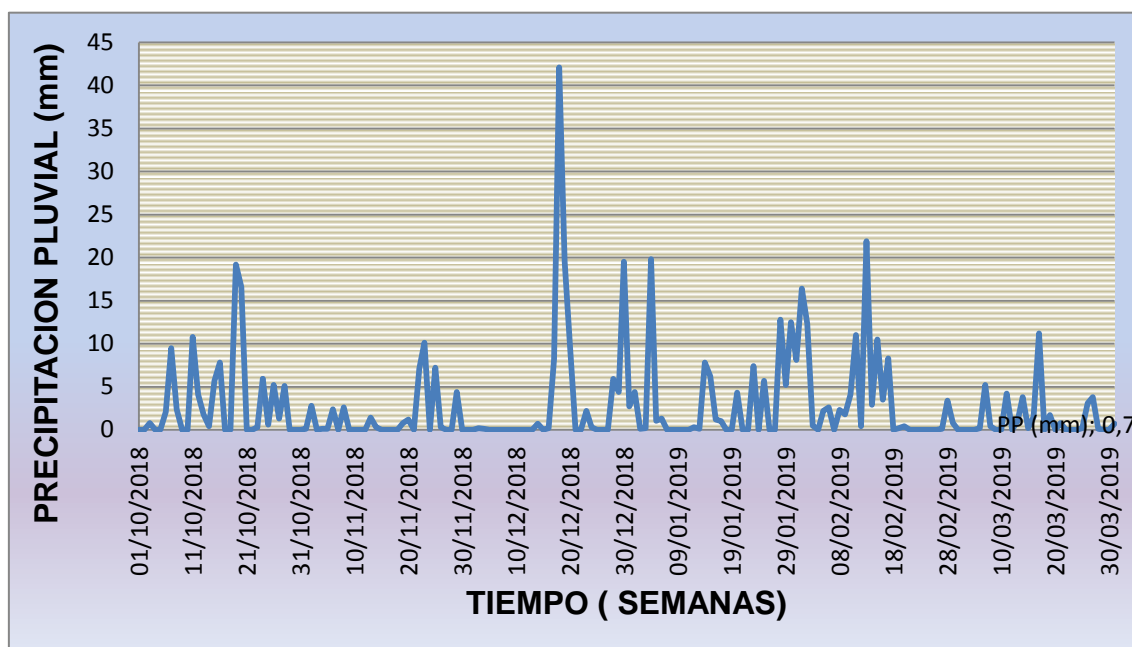


Figura 7. Registro pluviométrico semanal del mes de octubre 2018 al mes de noviembre 2019 (SENAMHI, 2019).

6.2 Variable en laboratorio

6.2.1 Porcentaje de germinación

En el cuadro 4, se presenta el análisis de varianza donde se muestra que el valor del F_c (calculado) es menor al F_t (tabulado) con el grado de confiabilidad al 0.05%, donde se determina que estadísticamente no existen diferencias significativas entre los tratamientos para el porcentaje de germinación.

Cuadro 4. Análisis de varianza del porcentaje de germinación para los genotipos de la generación M3

F.V	G.L	S.C	C.M.	F_c	$F_t (0,05)$	
Tratamientos	3	107,777	35,926	2,21	0,14	N.S.
Error experimental	12	195,203	16,267			
Total	16	302,98				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo

De acuerdo a los resultados del análisis de varianza del porcentaje de germinación que se presentan en el cuadro 4, se llegó a determinar que la germinación es homogénea entre el testigo y los genotipos, por lo que se asume que los genotipos evaluados no registran cambios a nivel de la viabilidad de la semilla en la generación M3.

El coeficiente de variación fue de 4,98%, lo que indica que los resultados obtenidos son confiables.

Estudios realizados por Quinteros en 2012 menciona que la dosis de radiación no tuvo efecto en el porcentaje de germinación en la generación M1, donde la variedad Real Negra obtuvo el 97, 63% de germinación. Del mismo modo la radiación realizada en la generación Mo no influyó de manera significativa para la generación M3 del presente trabajo.

6.3 Variables fenológicas

6.3.1 Días a la emergencia

En el cuadro 5, se presenta el análisis de varianza para el porcentaje de emergencia en campo, donde se muestra que estadísticamente no existen diferencias significativas entre bloques, es decir que la pendiente no influyó en la emergencia. Por otro lado para tratamientos se muestra que no existen diferencias significativas.

Cuadro 5. Análisis de varianza para número de días a la emergencia en los genotipos de la generación M3

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	125,389	41,796	3	0,088	NS
Tratamientos	3	41,796	13,932	1	0,436	NS
Error Experimental	9	125,389	13,932			
Total	15	292,574				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo

De acuerdo con el análisis de datos obtenidos en la evaluación se logró confirmar que esta generación no hubo influencia en la radiación respecto a la emergencia, donde se muestra que son relativamente homogéneas. No

obstante, cabe mencionar que en esta generación M3 el color de las hojas cotiledonales del tratamiento T3 (G-15) presentaron una pigmentación rosada a diferencia del testigo y de los genotipos T1(G-7) y T2(G-10) que presentaron hojas con una tonalidad verde, dichas características no se observaron en la generación M1.

El coeficiente de variación fue de 4,22%, siendo inferior al 30% lo cual indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, por tanto los datos son confiables.

6.3.2 Días a la floración

En el cuadro 6, se presenta los resultados del análisis de varianza, donde se muestra que no existen diferencias significativas entre bloques, lo cual indica que la pendiente no tuvo efecto directo respecto a esta variable.

Para el caso de los tratamientos se puede observar que existe una diferencia significativa, es decir que los genotipos y el testigo logran diferentes resultados en cuanto al número de días a floración.

Cuadro 6. Análisis de varianza para el número de días a la floración

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	302,947	100,982	2,098	0,171	NS
Tratamientos	3	786,894	262,298	5,450	0,021	*
Error Experimental	9	433,144	48,127			
Total	15	1522,984				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= significativo

El coeficiente de variación fue de 8,75% lo que indica que se encuentra en un valor aceptable para ensayos agronómicos en campo, siendo inferior al 30 %, por tanto los datos obtenidos son confiables.

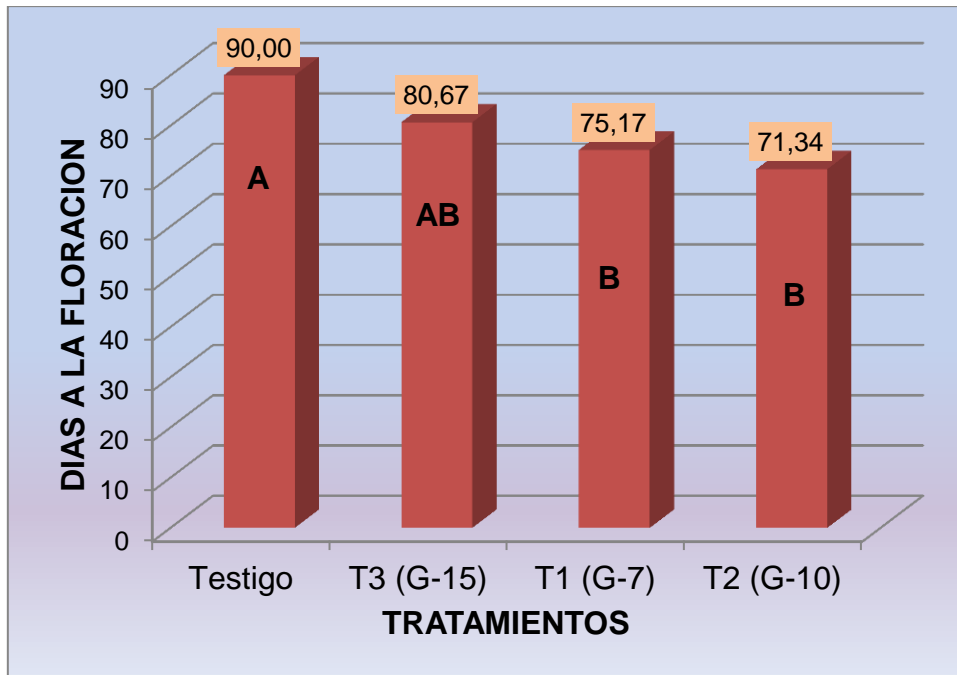


Figura 8. Comparación de medias para el número de días a la floración para los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).

Los resultados de la Prueba Duncan al 5% de probabilidad (figura 8), muestra que estadísticamente los genotipos T1 (G-7) y T2 (G-10) lograron alcanzar la floración en el 50 % de la población entre los 71 y 75 días. A diferencia del T3 (G-15) y el testigo con un promedio de 90 días obtuvo mayor tiempo en alcanzar la fase de floración.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, concuerda con lo que mencionan Mujica *et al.* (2004) que la floración ocurre de los 90 y 100 días después de la siembra. Asimismo Bernardo (2020), da a conocer que en la generación M3 de la variedad Amarilla de Maranganí provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma de 150 Gy y 200 Gy, menciona que en plantas mutantes identificadas obtuvieron precocidad con 89 días a la floración. Los datos obtenidos en los genotipos T1 (G-7), T2 (G-1) y T3 (G-15) son considerados precoces a la floración por la diferencia de 15 a 20 días respecto al testigo que no ha sido sometido a irradiación.

6.3.3 Días a la cosecha

El cuadro 7, presenta el análisis de varianza para el número de días a la cosecha.

Cuadro 7. Análisis de varianza para días a la cosecha

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	5,5	1,83	0,733	0,558	NS
Tratamientos	3	9	3	1,2	0,364	NS
Error Experimental	9	22,5	2,5			
Total	15	37				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo

Los resultados del análisis de varianza para el número de días a la cosecha de acuerdo al cuadro 7, muestra que no hubo diferencias entre los tratamientos, por lo que se asume que la radiación realizada en la generación Mo no influyo en esta generación (M3), ya que en promedio fue de 177 días a la cosecha desde la siembra hasta que el grano presente una consistencia dura y con un menor porcentaje de humedad.

Mujica *et al.* (2004), indican que la duración del ciclo fenológico es de 170 a 180 días, cuando el grano tenga un menor de porcentaje de humedad del 14-16%, presentando una consistencia dura y una defoliación de las hojas.

El coeficiente de variación fue 0.89% con un valor inferior al 30% lo cual indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales. Y por lo tanto los datos son confiables.

6.4 Variables de cosecha

6.4.1 Altura de la planta

La figura 12 muestra la medición de altura de uno de los genotipos de quinua



Figura 9. Altura de la planta

En el cuadro 8, se presenta el análisis de varianza para la altura de planta donde se muestra que las diferencias observadas entre bloques no fueron estadísticamente significativas; sin embargo, las diferencias observadas entre los tratamientos son estadísticamente significativas.

Cuadro 8. Análisis de varianza para la altura de la planta

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	2,34	0,78	0,036	0,99	NS
Tratamientos	3	261,855	87,285	4,07	0,044	*
Error Experimental	9	193,005	21,445			
Total	15	457,2				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= significativo

Un coeficiente de variación de 12.28 %, refleja que los datos son confiables, existiendo un buen manejo de las unidades experimentales.

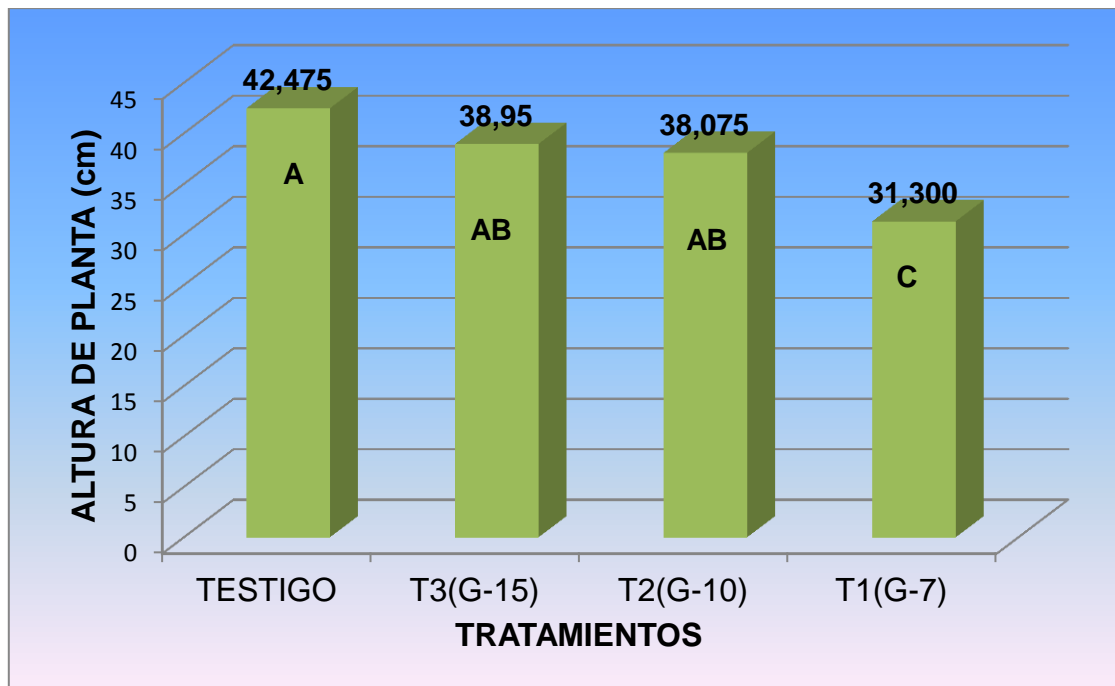


Figura 10. Comparación de medias para la altura de plantas, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En el figura 10, con la prueba Duncan (confiabilidad del 5%) se evidenció tres grupos. En el primer grupo se encuentra el tratamiento testigo con un promedio de 42,475 cm. En el segundo grupo con medias similares se encuentran los tratamientos T3 (G-15) y T2 (G-10) con promedios de 38,075 y 38,95 cm. Finalmente tenemos al tratamiento T1 (G-7) con un promedio menor de 31.300 cm. Podemos ver que la generación M3 los genotipos presentaron un tamaño menor respecto al testigo probablemente sea por efectos de la mutación en interacción con el medio ambiente.

Rojas *et al.* (2010) indican que la altura en la quinua varía de 1 a 2 m dependiendo de la variedad y su adaptación a las diferentes condiciones edafoclimáticas.

Según investigaciones realizadas en el cultivo de quinua irradiada con rayos gamma Co-60 por Mamani (2012) da a conocer que la disminución de altura de la planta se lograría observar aún en otras generaciones, esto debido a la dosis alta realizada en la generación M1 obteniéndose alturas de 27,46 cm. En este presente trabajo de investigación generación M3, no se observó características similares respecto a la altura con lo que menciona el autor, debido a la altura similar entre los genotipos con el testigo una de las grandes

causas probablemente sea por las condiciones ambientales presentes durante su campaña agrícola.

6.4.2 Longitud de panoja

La figura 11 presenta la longitud de la panoja de uno de los genotipos de quinua.



Figura 11. Longitud de panoja

De acuerdo con el análisis de varianza el cuadro 9, las diferencias entre bloques y entre tratamientos no fueron estadísticamente significativas. Por tanto no existe diferencia entre genotipos y el testigo para la longitud de panoja.

Cuadro 9. Análisis de varianza para la longitud de panoja

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	21,188	7,063	1,9	0,19	Ns
Tratamientos	3	16,664	5,555	1,5	0,27	Ns
Error Experimental	9	33,118	3,680			
Total	15	70,970				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo

El coeficiente de variación fue de 14,51 % el cual se encuentra en el rango aceptable para los trabajos agronómicos en campo.

El tamaño de panoja fue similar, siendo el T1 (genotipo 7) con un promedio de 14,90 cm, el Testigo T2 (genotipo 10) y T3 (genotipo 15) con promedios de 13,19 cm, 11.65cm y 13,12 cm respectivamente.

Según Gómez y Aguilar (2016), la longitud de panoja varía dependiendo de los genotipos y factores ambientales tomándose un promedio de 15 a 70 cm.

Las mutaciones inducidas con rayos gamma con dosis de 150 Gy, 250 Gy y 350 Gy presentan mayores modificaciones de características morfológicas en la generación M1 a diferencia de la generación M2 que presenta diferencias en altura de plantas, longitud de panoja, ciclo de vida y color de tallos, de manera que en la generación M3 observaron las mismas modificaciones que en la anterior generación conservando la altura de la planta, color de grano (Gómez y Eguiluz, 2013 citado por Bonifacio *et al.*, 2014).

6.4.3 Peso de grano por panoja

El cuadro 10, presenta los resultados de análisis de varianza para el peso de grano por panoja, donde no existen diferencias significativas entre bloques, lo que demuestra que la pendiente no influyó en esta variable. Así mismo se muestra que para tratamientos existe una diferencia significativa.

Cuadro 10. Análisis de varianza para el peso de grano por panoja

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	0,867	0,289	0,607	0,627	Ns
Tratamientos	3	9,463	3,154	6,621	0,012	*
Error Experimental	9	4,288	0,476			
Total	15	14,618				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *=Significativo

El coeficiente de variación del 19,65 % es menor al 30%, reflejando la confiabilidad en los datos.

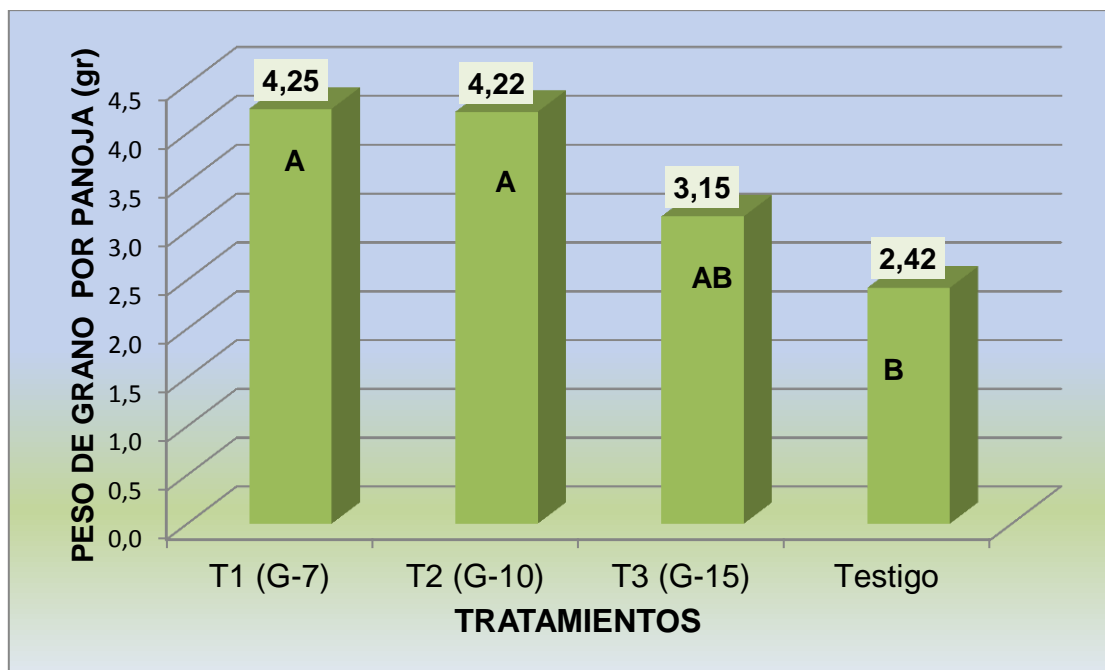


Figura 12. Comparación de medias para el peso de granos por panoja, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En la figura 12, se observa que los tratamientos T1, T2 presentan mayor peso de grano con promedios de 4.25 g, 4.22 g respectivamente y con una media similar el T3 con 3.15 g y por último el tratamiento testigo obtuvo un promedio menor de 2.42 g.

Mujica *et al.* (2001) menciona que la cantidad de grano varía de acuerdo a la longitud de la panoja, además mencionando a los factores climáticos que influyen sobre esta variable. Es decir, cuanto mayor sea la longitud de panoja se obtendrá mayor cantidad de granos llegando a producir hasta 500 gramos de semilla por panoja.

6.4.4 Peso de 100 semillas (g)

Los resultados del análisis de varianza (cuadro 11) muestra que las diferencias registradas para bloques no son estadísticamente significativas, en cambio, las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativas para el peso de 100 semillas.

Cuadro 11. Análisis de varianza para el peso de 100 semillas (g)

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	0,003	0,001	2,418	0,164	Ns
Tratamientos	3	0,006	0,002	4,330	0,038	*
Error Experimental	9	0,004	0,000			
Total	15	0,014				

FV= Factor de corrección GL= Grado de libertad NS= No significativo *=Significativo

El coeficiente de variación de 6.86 % indica que hubo un buen manejo de las unidades experimentales, dando confiabilidad a los datos obtenidos.

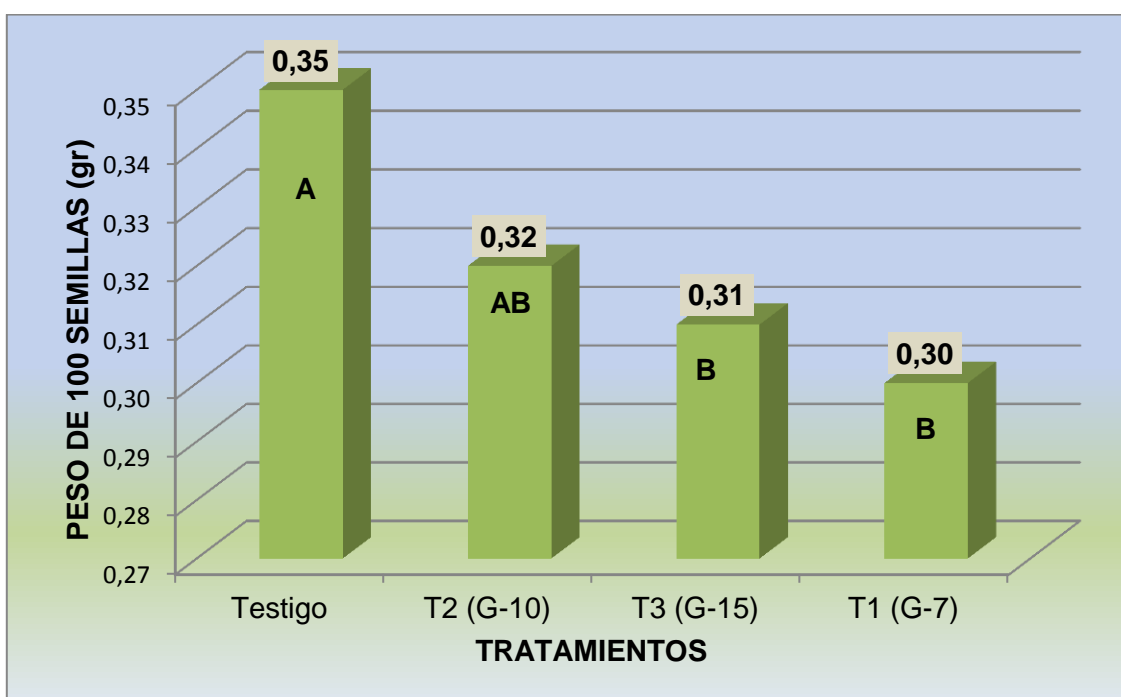


Figura 13. Comparación de medias para el peso de 100 semillas (g), de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

De acuerdo a la prueba de Duncan al 5% (figura 13), las comparaciones de medias para el peso de 100 semillas existen diferencias significativas entre el testigo y los genotipos. Siendo que el testigo obtuvo mayor peso con un promedio de 0,35g y con una media similar el T2 con 0,32g y por último el T3 y T1 con promedios de 0,31g – 0,30g demostraron que son estadísticamente similares, lo cual indica que los genotipos obtuvieron mayor cantidad de grano por panoja pero un promedio menor respecto al peso. Según investigaciones

realizadas por Gabriel *et al.* (2012) dan a conocer que generalmente la disminución en el peso de las semillas se ve afectado por el desarrollo del follaje es decir que a mayor follaje menor tamaño y peso de grano y una disminución en la calidad de grano.

En la generación M3 evaluada en campo, los tratamientos T1 (G-7), T2 (G-10) y T3 (G-15) presentaron mayor follaje, mayor número de ramificaciones a diferencia del testigo que tuvo una disminución en su follaje.

Asimismo mencionar que probablemente esto se debió a las heladas que se presentaron durante la formación de grano, por lo que sería una de las causas de la baja calidad de semillas obtenidas en esta generación M3.

De acuerdo a los parámetros determinado por Rojas *et al.* (2010) en el peso de 100 semillas varia de 0.12 a 0.60 gramos, esto debido a la variabilidad genética del cultivo de la quinua. Los resultados obtenidos en esta investigación se encuentran dentro del parámetro mencionado.

6.4.5 Rendimiento de grano de quinua

En el cuadro 12, se observa el análisis de varianza para el rendimiento de grano, donde se muestra que existe diferencias significativas entre bloques, es decir que la pendiente si tuvo efecto en los resultados para el rendimiento.

Para tratamientos se encontró diferencias altamente significativas, lo que indica que los genotipos y el testigo, logran diferentes resultados en cuanto a esta variable.

Cuadro 12. Análisis de varianza para el rendimiento

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	21667.16	7222.287	2.301	0.146	*
Tratamientos	3	148656.8	4955.28	15.785	0.001	**
Error Experimental	9	28253.22	3139.246			
Total	15	198577.2				

FV= Factor de corrección GL= Grado de libertad *=Significativo **= Altamente significativo

El coeficiente de variación del trabajo de investigación fue de 18.38 %, lo que significa que los resultados obtenidos son confiables.

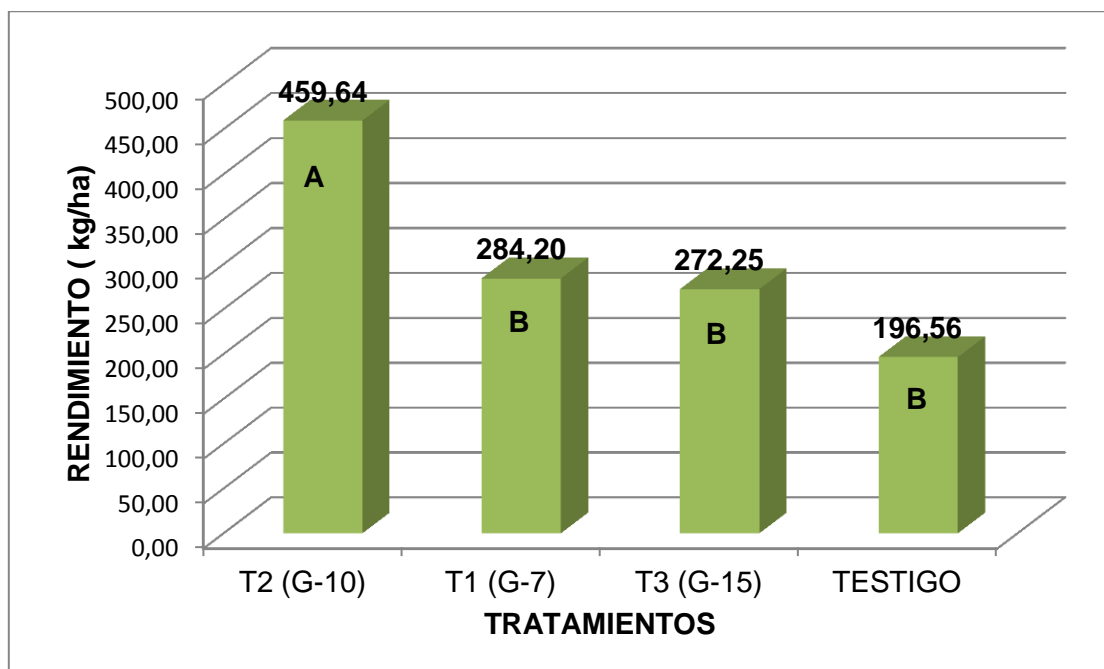


Figura 14. Comparación de medias para el rendimiento en grano, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En la figura 14, se demuestra que estadísticamente el T2 obtuvo mayor rendimiento con un promedio de 459,64 kg/ha, en cambio los tratamientos T1, T3 y el tratamiento testigo obtuvieron promedios casi similares de 284.20 kg/ha, 272.25 kg/ha y 196,56 kg/ha, lo que demuestra que la enfermedad del mildiu si tuvo efecto respecto al rendimiento de grano.

Según estudios realizados por Morales *et al.* (1973); citado por Arapa (2006), señalan que los rendimientos de grano por hectárea son muy variables debido a los factores edafoclimáticos y las labores culturales manejadas durante el desarrollo fenológico del cultivo.

Al respecto Bonifacio (s.f.), menciona que el mildiu llega a causar pérdidas del 10% al 30% en el rendimiento debido a que la enfermedad causa la defoliación de las hojas, afectando al desarrollo de la planta, y por ende la producción total. Así mismo Plata *et al.* (2014), señalan que el mildiu ocasiona grandes pérdidas dependiendo a la fase fenológica en la que la planta es atacada y el grado de resistencia que obtenga la variedad.

6.5 Variables de evaluación de la enfermedad

6.5.1 Incidencia de la enfermedad

A continuación en el cuadro 13, se muestran los resultados ANVA para la incidencia de la enfermedad del mildiu en la quinua.

Cuadro 13. Análisis de varianza para la incidencia de la enfermedad del mildiu

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	484,87	161,62	1,33	0,32	Ns
Tratamientos	3	4887,25	1629,08	13,44	0,0011	**
Error Experimental	9	1091,22	121,25			
Total	15	6463,34				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS=No significativo **=Altamente significativo

El coeficiente de variación fue de 18,95% que indica que los datos tomados son confiables.

Para bloques, se tiene como resultado no significativo, lo que demuestra que no existe diferencias entre bloques en cuanto a los promedios obtenidos.

En cuanto a los tratamientos, existió una diferencia altamente significativa, es decir que logran diferentes resultados, por lo cual se realizó la prueba Duncan a un nivel de 5% de probabilidad, que se muestra a continuación.

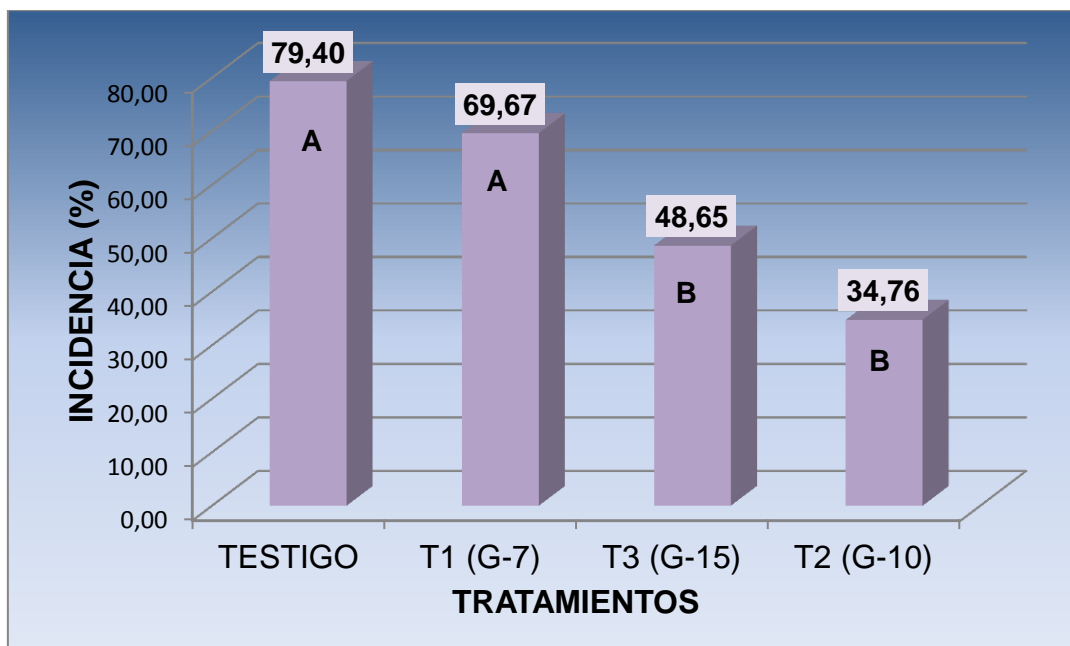


Figura 15. Comparación de medias para el porcentaje de incidencia de la enfermedad del mildiu, de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

La diferencia de las medias de los genotipos para el porcentaje de incidencia, mediante la prueba de Duncan al nivel de probabilidad del 5% de significancia (figura 15), se puede apreciar dos grupos donde el testigo y T1 (G-7) obtuvieron medias similares con promedios de 79,40% y 69,67% y en el segundo grupo se encuentran el T3 (G-15) y T2 (G-10) con promedios de 48,65% y 34,76% con valores similares, cuales obtuvieron menor porcentaje de incidencia de plantas enfermas.

6.5.2 Progreso de la enfermedad por fases fenológicas de quinua

a) Evaluación del mildiu en la fase de ocho hojas verdaderas

En el cuadro 14, se presenta los resultados del análisis de varianza para la evaluación del mildiu en la fase de ocho hojas verdaderas, entre bloques se tiene como resultado diferencias significativas lo que demuestra que la pendiente tuvo efecto en los resultados para esta variable y entre los tratamientos el resultado muestra que estadísticamente existen diferencias significativas respecto al grado al grado de severidad.

Cuadro 14. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de ocho hojas verdaderas.

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	0,014	0,005	1,027	0,426	*
Tratamientos	3	0,125	0,042	8,8427	0,005	*
Error Experimental	9	0,042	0,005			
Total	15	0,181				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad *= Significativo

CV= 20.5%

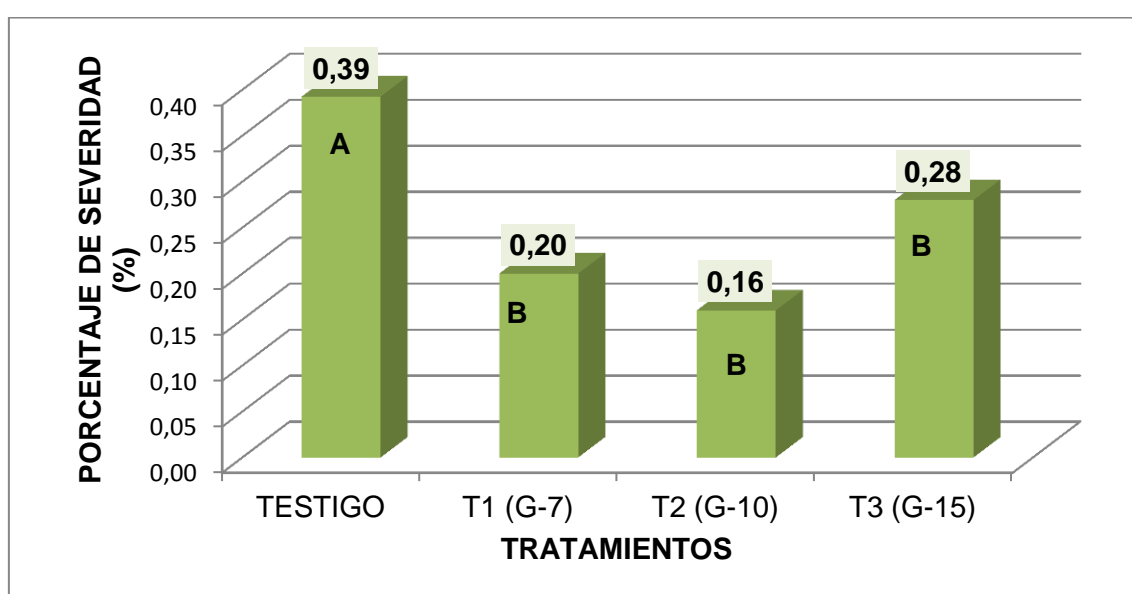


Figura 16. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ocho hojas verdaderas de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

De acuerdo a la prueba Duncan a nivel de 5% de significancia la figura 16 muestra, que el testigo presentó mayor porcentaje de severidad con un promedio de 0.39%. Los genotipos T1, T2 y T3 presentaron medias similares con promedios de 0.16%, 0.20% y 0.28% de severidad para la fase de ocho hojas verdaderas (42 días después de la siembra).

Según el estudio realizado por More (2016) los síntomas se presentaron a partir de los 34 días después de la siembra con severidad entre 0,27 -5.65%, siendo los síntomas iniciales pequeños puntos cloróticos amarillentos visibles en el haz de las hojas. Los resultados obtenidos para el presente trabajo de

investigación concuerdan con lo mencionado por More (2016) ya que el grado de severidad se encuentra por debajo del 1%.

b) Evaluación del mildiu en la fase de ramificación

En el cuadro 15, se observa el análisis de varianza del grado de severidad en la fase de ramificación de genotipos mutantes y Real negra a los 56 días después de la siembra.

Cuadro 15. Análisis de varianza del grado de severidad del mildiu en la fase de ramificación

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	29,016	9,672	2,382	0,137	*
Tratamientos	3	224,762	74,921	18,452	0,018	**
Error Experimental	9	36,542	4,06			
Total	15	290,32				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad *=Significativo **=Altamente significativo

En el análisis de varianza para el grado de severidad en la fase de ramificación del cuadro 15, se observa un coeficiente de variación de 20,1% que indica que los datos son confiables.

Para bloques se encontró diferencias significativas, lo cual indica que la pendiente tuvo efecto respecto a esta variable.

Para tratamientos se encontró diferencias altamente significativas, lo que indica que los genotipos y el testigo, logran diferentes resultados en cuanto al porcentaje de severidad del mildiu.

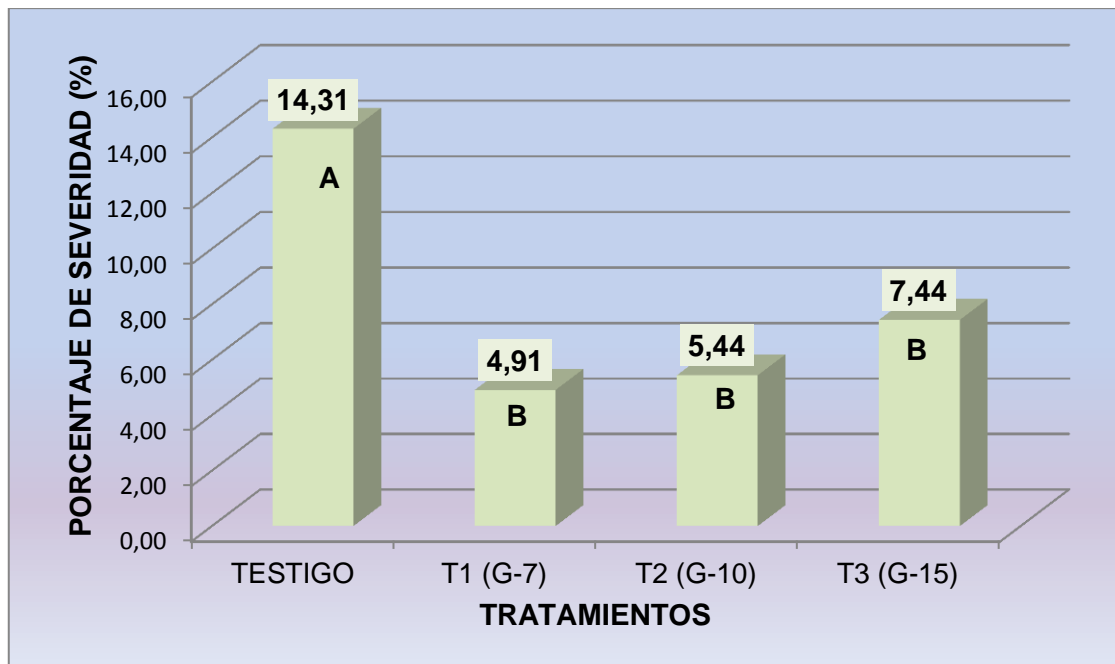


Figura 17. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ramificación de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En la comparación de medias del grado de severidad (figura 17) se verifica que el testigo es diferente estadísticamente respecto a los genotipos lo cual se obtiene mayor grado de severidad (14,31%), mientras que los mutantes presentan valores similares pero inferiores al testigo en la fase de ramificación (56 días después de la siembra).

Risco y Mattos (2015) asumen que el incremento de la severidad del mildiu se debe al debilitamiento de los tejidos por la elongación que existe en esta etapa, dado que la planta se vuelve más susceptible, de manera que en esta fase el patógeno tuvo mayor incremento llegando a un 30 % de severidad favorecida por el aumento de la humedad del ambiente.

c) Evaluación del mildiu en la fase de inicio de panojamiento

En el cuadro 16 se observa el análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu a los 88 días después de la siembra en la fase de inicio de panojamiento lo cual nos muestra que no existen diferencias entre bloques, pero si entre los tratamientos.

Cuadro 16. Análisis de varianza para el grado de severidad de la enfermedad el mildiu en la fase de inicio de panojamiento.

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	2,442	0,814	0,299	0,825	NS
Tratamientos	3	29,213	9,738	3,577	0,06	*
Error Experimental	9	24,503	2,723			
Total	15	56,158				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= Significativo

CV=15,5%

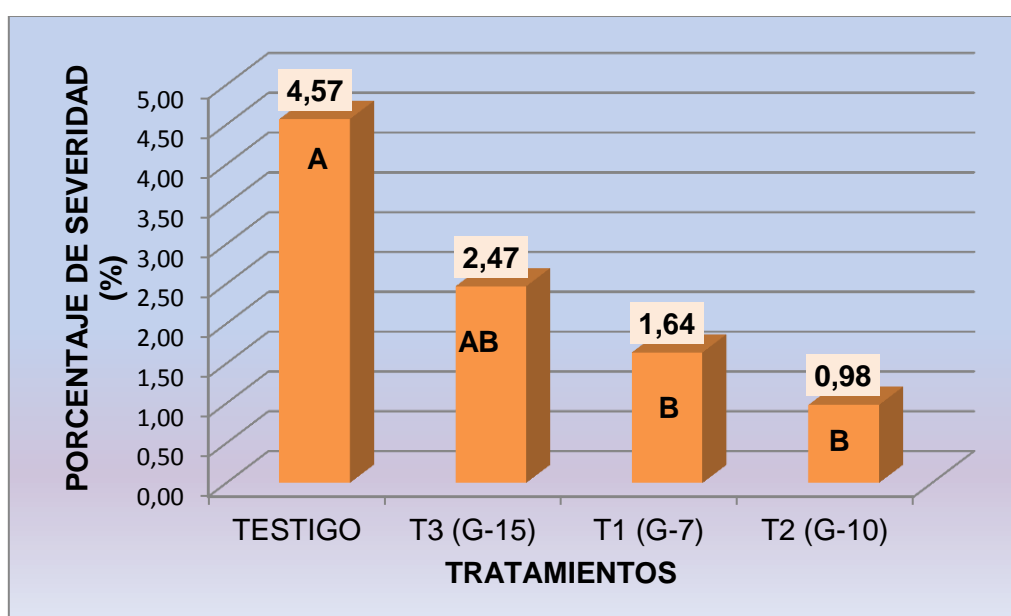


Figura 18. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de panojamiento de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

Como se observa en la comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en la fase de inicio de panojamiento (figura 18) se logra verificar que el testigo obtuvo mayor porcentaje de severidad con 4,57% y con una media similar el T3 con 2,47% y por último el T1 y T2 con promedio de 1,64%-0,98% demostraron que son estadísticamente similares con un menor porcentaje de severidad.

La diferencia en promedios con el (figura 15) en la fase de ramificación fue por las bajas temperaturas que se presentaron a inicios del mes de diciembre

presentando una temperatura mínima de $-10,5^{\circ}\text{C}$ (figura 5) afectando a la quinua con una helada severa debido a la disminución de la humedad del ambiente.

d) Evaluación del mildiu en la fase de panojamiento

En el cuadro 17 se presenta el análisis de varianza en la evaluación del mildiu en la fase de panojamiento (98 días después de la siembra), donde se observa que no existen diferencias entre bloques, pero si estadísticamente entre tratamientos.

Cuadro 17. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de panojamiento

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	2,208	0,736	0,048	0,985	NS
Tratamientos	3	393,303	131,101	8,578	0,005	*
Error Experimental	9	137,551	15,283			
Total	15	533,062				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *=Significativo

CV=10,7%

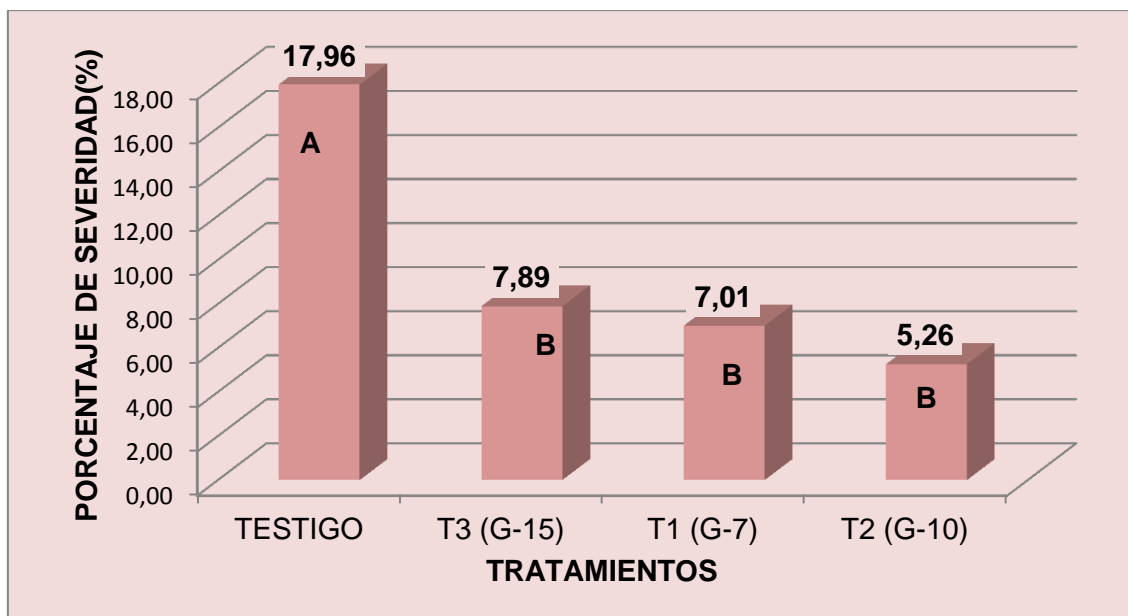


Figura 19. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de panojamiento de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

La figura 19 nos presenta los resultados obtenidos con la prueba Duncan al 5% de confiabilidad donde el testigo obtuvo mayor grado de severidad con un promedio de 17.96%, en cambio los tratamientos T1, T2, y T3 resultaron ser similares con valores promedio de 7.89%, 7.01% y 5.26% de severidad.

Con los resultados obtenidos es evidente que para esta fase de panojamiento evaluada a los 98 días el tratamiento T2 (G-10) obtiene menor porcentaje de severidad en términos relativos.

e) Evaluación del mildiu en fase inicio de floración

En el siguiente cuadro se muestra el análisis de varianza del grado de severidad del mildiu en la fase de inicio de floración (106 días después de la siembra) las diferencias observadas entre bloques no son estadísticamente significativas, pero las diferencias observada entre tratamientos son significativas.

Cuadro 18. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de inicio de floración

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	36,024	12,008	0,864	0,494	NS
Tratamientos	3	423,202	141,067	10,15	0,003	*
Error Experimental	9	125,081	13,898			
Total	15	584,307				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= Significativo

CV=15,9%

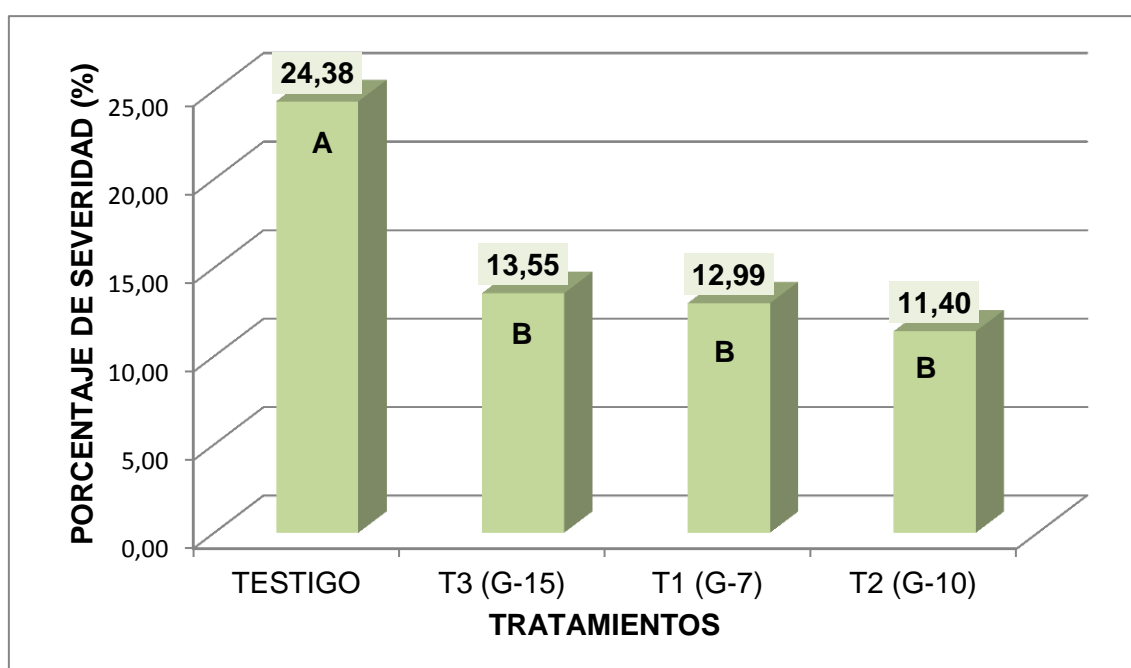


Figura 20. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de floración de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En la figura 20 se muestra el grado de severidad del mildiu para la fase de inicio de floración, se ve claramente que el mildiu tiene un incremento mayor en el testigo a diferencia de los genotipos que obtienen medias inferiores y similares, siendo el tratamiento T2 (G-10) con un promedio menor de (11,40%).

f) Evaluación del mildiu en la fase de floración

En el siguiente cuadro 19 observamos el análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de floración (114 días después de la siembra) indicando que no existe diferencias significativas entre bloques pero las diferencias son estadísticamente significativas entre los tratamientos.

Cuadro 19. Análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de floración

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	26,847	8,949	0,454	0,721	NS
Tratamientos	3	347,867	115,956	5,881	0,017	*
Error Experimental	9	177,457	19,717			
Total	15	552,171				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= Significativo

El coeficiente de variación del 19,20% es relativamente alto pero inferior al 30% por lo tanto los datos son confiables y hubo un buen manejo de las unidades experimentales.

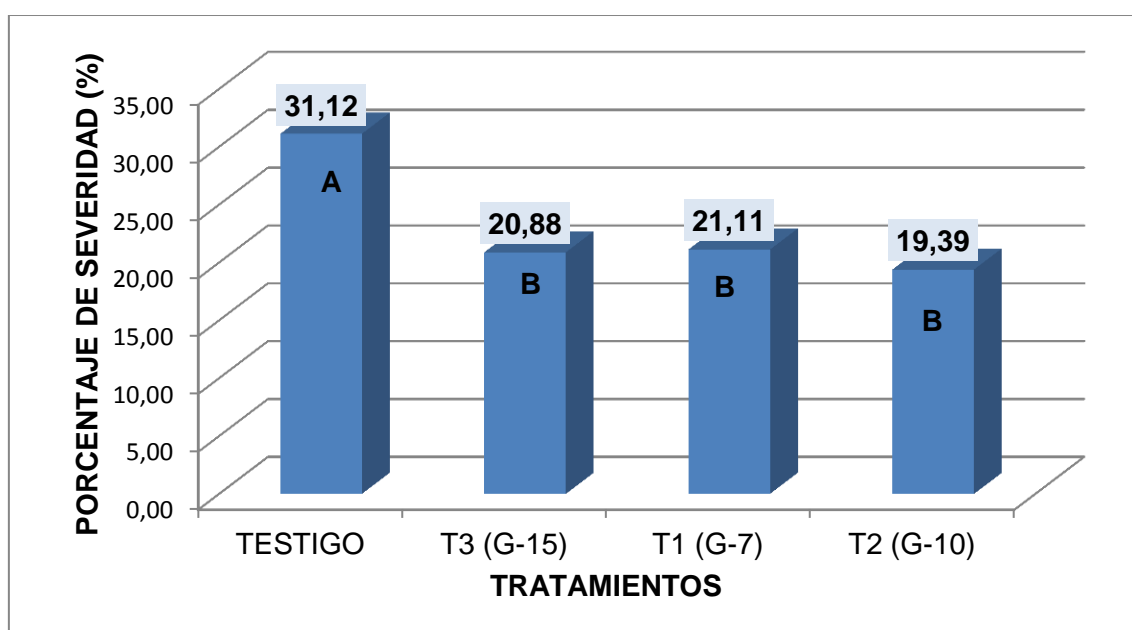


Figura 21. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de floración de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$)

En la figura 21 la comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en la fase de floración se observa que el mildiu tuvo un incremento mayor en el Testigo, siendo estadísticamente diferente a los genotipos T1, T2 y T3, pero aún se observa que T2 (G-10) obtiene un menor promedio de severidad (19.39%).

g) Evaluación del mildiu en la fase de formación de grano masoso

En el cuadro 20 se presenta los resultados del análisis de varianza para el grado de severidad del mildiu en la fase de formación de grano (123 días después de la siembra), donde se observa que para bloques las diferencias registradas no son significativas a nivel estadístico, pero las diferencias entre tratamientos son estadísticamente significativos.

Cuadro 20. Análisis de varianza para el grado de severidad en la fase de formación de grano

F.V	G.L	S.C	C.M	Fc	Ft(0,05)	
Bloques	3	36,38	12,127	0,547	0,662	NS
Tratamientos	3	400,972	133,657	6,029	0,015	*
Error Experimental	9	199,516	22,168			
Total	15	636,869				

FV=Fuente de variación GL=Grados de libertad NS= No significativo *= Significativo

CV= 17,01%.

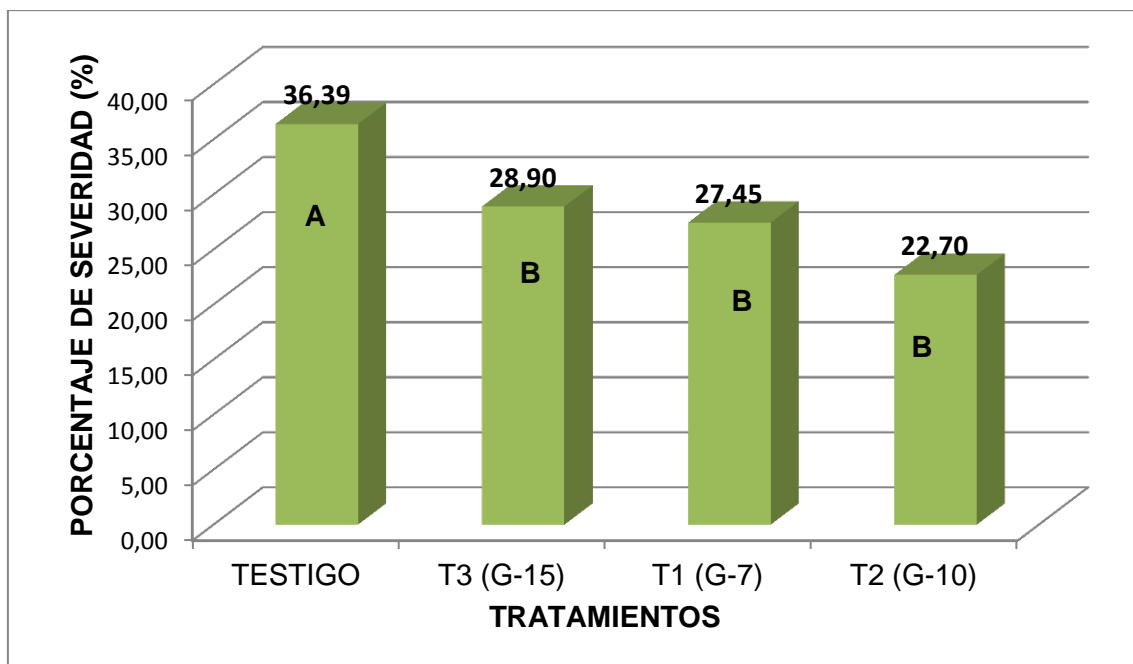


Figura 22. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de formación de grano de los genotipos de la generación M3 de quinua. (Duncan $\alpha=0.05$).

De acuerdo a la figura 22 en la comparación de medias para el grado de severidad en la fase de formación de grano, el testigo obtuvo un mayor incremento con un promedio de 36,39%. Cabe mencionar que la necrosis de la hoja llegó al 50% del área foliar a causa de hongo a diferencia de los genotipos obtuvieron medias similares, pero el tratamiento T2 se muestra inferior con un promedio de 22,70% teniendo un progreso menor en la severidad del patógeno.

Asimismo, mencionar que en esta fase hubo el ataque de plagas en la fase de larva de Kona Kona, pero se controló con la aplicación de un insecticida.

Cálculo del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (AUDPC)

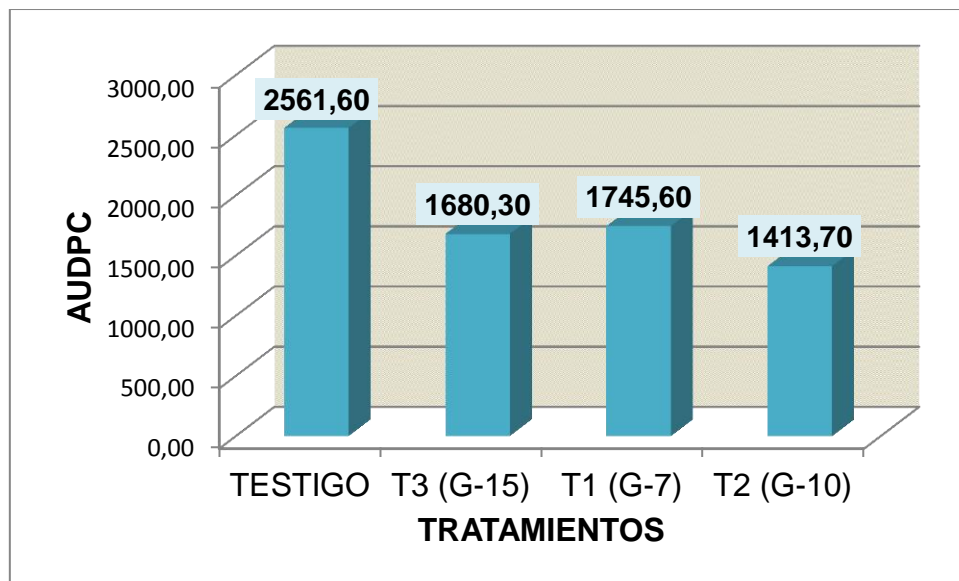


Figura 23. Evaluación del área bajo la curva de progreso de la enfermedad para cada tratamiento

De acuerdo a la figura 23 bajo el cálculo de AUDPC indica que cuanto menor sea el valor de la curva de progreso mayor es la resistencia de la planta hacia la infección del mildiu en la quinua, pese a que el patógeno haya penetrado en el tejido de la hoja, lo cual da a conocer que el genotipo con menor área afectada por la enfermedad es el tratamiento T2 con un promedio de 1413,70 cm² siendo inferior al testigo y a los tratamientos T3 y T1, dado a que durante su campaña agrícola se presentaron precipitaciones constantes cuales condiciones fueron favorables para el desarrollo del mildiu,

Mediante estudios realizados por Bernardo (2020) en la respuesta al mildiu en la población M3 del cultivo de quinua Variedad Amarilla Maranguani provenientes de semillas irradiadas con rayos gamma de 150 Gy y 250 Gy logró encontrar genotipos resistentes del mildiu, por lo que menciona que durante las primeras evaluaciones obtuvo mayor incremento en la severidad y se fue disminuyendo al finales del ciclo fenológico de la quinua, de manera que no se observó en el presente trabajo de investigación debido a las constantes precipitaciones que se presentaron en las últimas fases fenológicas del cultivo, favoreciendo al desarrollo del patógeno y su diseminación en la planta.

Los genotipos de resistencia evaluada por el mismo autor durante toda la campaña agrícola obtuvieron valores de 582.5 a 1373.8 cm² del área afectada por el patógeno debido a que tuvieron una descendencia de severidad en las últimas fases fenológicas del cultivo a diferencia de los genotipos susceptibles y del testigo que dieron valores de 1085.0 a 2865.0 a causa de un incremento de la severidad en la última fase de la campaña agrícola.

Los genotipos del presente trabajo de investigación mediante las evaluaciones realizadas en su campaña agrícola demostraron promedios similares en el porcentaje de severidad respecto al testigo, pero el T2 demostró un menor grado de severidad y mediante el cálculo de la AUDPC se logró verificar que el T2 obtuvo un área mínima afectada por el hongo (*Peronospora variabilis*) respecto a los genotipos T1 Y T3.

Gandarillas *et al.* (2014), consideran que para combatir con el mildiu es buscar una variedad resistente a la enfermedad y que requieran menor cantidad de fungicidas, en este caso en el presente trabajo de investigación los genotipos presentaron menor grado de severidad, siendo probablemente resistentes a la enfermedad pero aún deben ser evaluadas en otras generaciones.

7. CONCLUSIONES

De acuerdo a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación se llegaron a las siguientes conclusiones:

Los primeros síntomas de la enfermedad del mildiu inicio en la fase de ocho hojas verdaderas, de manera que los genotipos demostraron ser similares respecto al porcentaje de severidad desde los 42 días hasta los 123 días después de la siembra.

Se identificaron y seleccionaron plantas que presentaron menor porcentaje de severidad a la enfermedad siendo características del tratamiento T2, se podría decir que las plantas mutantes seleccionadas probablemente sean resistentes a la enfermedad por la irradiación realizada con rayos gamma Co-60 en la generación Mo.

El cálculo de AUDPC obtuvo menor promedio de 1413.70 cm² del área afectada por el mildiu, lo cual nos da a conocer el grado de resistencia que presentó el genotipo-10, pese a que el patógeno haya penetrado en el tejido de la hoja.

En cuanto a la altura de la planta el testigo fue mayor con un promedio de 42,475 cm en comparación con los genotipos T1, T2 y T3 con promedios de 31,300 cm, 38,075 cm y 38,95 cm, demostraron una disminución en su tamaño, a causa de los efectos de la mutación en interacción con el ambiente.

Respecto al rendimiento el mildiu si tuvo efecto en la obtención de la cantidad de grano, siendo que el testigo obtuvo un rendimiento de 196.56 kg/ha considerándose susceptible a la enfermedad al igual que los tratamientos T1(G-7), T3(G-15) con valores de 272.24 y 284.20 kg/ha a diferencia del tratamiento T2 (G-10) que presentó un incremento de 489.64 Kg/ha.

8. RECOMENDACIONES

Con respecto a los resultados obtenidos y a las conclusiones en el presente estudio de investigación se recomiendan lo siguiente:

- Continuar con la evaluación de la resistencia al mildiu hasta la generación M6 con las plantas seleccionadas del tratamiento T2.
- Se recomienda llevar las semillas del tratamiento T2 a zonas de alto porcentaje de humedad siendo mayor al 50% de manera constante durante la campaña agrícola del cultivo.
- Se recomienda trabajar las plantas mutantes con resistencia al mildiu en diferentes zonas productoras de quinua.
- En futuras investigaciones medir la homogeneidad de los valores obtenidos de la presente investigación.
- Con la generación M4 provenientes de semillas irradiadas con Co-60 se recomienda realizar trabajos en la resistencia a plagas de la quinua.
- Debido a las heladas presentes durante el trabajo en campo se sugiere hacer una evaluación de resistencia frente al cambio climático que se vive en la actualidad en plantas mutantes de las siguientes generaciones.
- Con las semillas tolerantes e identificadas se recomienda realizar trabajos respecto al valor nutricional en la generación M6, para identificar o descartar cambios en sus propiedades por la irradiación con rayos gamma Co-60.

9. BIBLIOGRAFIA

Agrios, G. 2007. Fitopatología. Ed. Limusa. México. 819p.

Arapa, V. 2006. Selección por rendimiento de grano y características deseables para procesamiento de genotipos de quinua *Chenopodium quinoa* Willd. Tolerantes al mildiu *Peronospora farinosa* Fr. Tesis de Grado. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 102 p.

Bernardo, JA. 2020. Respuesta de una población M3 de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Var. Amarilla Marangani al mildiu (*Peronospora variabilis*) en la Molina. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 68 p.

Bioversity Internacional.; FAO.; PROINPA.; INIAF, FIDA. 2013. Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) y sus parientes silvestres. Bioversity Internacional, Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación, Fundación PROINPA, Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal, Fondo Internacional de Desarrollo Agrícola. Roma, Italia (en línea) Consultado el 26 de febrero de 2021. Disponible en <http://www.fao.org/3/aq658s/aq658s.pdf>

Bonifacio, A. s.f. Resistencia de la quinua al mildiu. FAO (en línea). Consultado el 18 de julio de 2020. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro14/cap3.5.htm

Bonifacio, A.; Vargas, A.; Alcon, M.; Apaza, R. s.f. Resistencia de la quinua frente a la enfermedad del mildiu. (en línea). Consultado el 15 de junio de 2020. Disponible en <http://www.proinpa.org.pdf>

Bonifacio, A.; Mujica, A.; Alvarez, A.; Roca, W. 2001. Mejoramiento genético, germoplasma y producción de semilla. Cap. VI *In: Mujica et al.* (Eds.). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro FAO. Santiago, Chile. (en línea). Consultado el 25 de julio de 2020. Disponible en

http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap6.htm#42

Bonifacio, A.; Gómez, L.; Rojas, W. 2014. Mejoramiento genético de la quinua y el desarrollo de variedades modernas. Cap. 2.5. *In:* Brazile D *et al.* (Eds.). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montepelier, Francia) pp. 203 - 226.

Burbano, O. 2020. Resistencia de plantas a patógenos: una revisión sobre los conceptos de resistencia vertical y horizontal. *Revista Argentina de Microbiología.* 52(3):245-255. (en línea). Consultado el 27 de febrero de 2021. Disponible en https://www.researchgate.net/publication/342613803_Resistencia_de_plantas_a_patogenos_una_revision_sobre_los_conceptos_de_resistencia_vertical_y_horizontal.

Calixtro, MG. 2017. Respuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiu (*Peronospora variabilis Gaum*) en el Valle de Mantaro. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 75 p.

Cruces, LM.; Callohuari, Y.; Carrera, C. 2016. Quinua manejo integrado de plagas: Estrategias en el cultivo de la quinua para fortalecer el sistema agroalimentario en la zona andina. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). Santiago, Chile. 198 p.

Danielsen, S.; Ames, T. 2000. El mildiu (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno. Centro Internacional de la papa. Royal Danish Ministry of Foreign Affairs. The Royal Veterinary and Agricultural University. 39 p.

Gandarillas, H. 1979. Botánica. *In:* Tapia, *et al.* Quinua y kañiwa Cultivos Andino. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas. Bogotá, Colombia. pp. 20 - 34.

Gabriel, J.; Luna, N.; Vargas, A.; Magne, J.; Angulo, A.; La Torre, J.; Bonifacio, A. 2012. Quinua de valle (*Chenopodium quinoa* Willd) : fuente

valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd). Fundacion PROINPA. La Paz, Bolivia 3 (2). Consultado el 20 de septiembre de 2020. Disponible

en http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2072-92942012000200004.

Gandarillas, A.; Saravia, R.; Plata, G.; Quispe, R.; Ortiz, R. 2014. Principales plagas y enfermedades de la quinua. Cap. 2.6. *In: Brazile D et al.* (Eds.). Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montepelier, Francia) pp. 227 – 225.

Gómez, L.; Eguiluz, A. 2011. Catálogo del Banco de Germoplasma de Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 184 p.

Gómez, L. 2014. Mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en el Perú. *In: Congreso científico internacional de quinua y granos andinos, resúmenes (3,2014, Perú).* Repo, R (Ed). Quinua y granos andinos. Universidad Agraria La Molina. Perú, Argos. 214 p.

Gómez, L.; Aguilar, E. 2016. Guía de cultivo de la quinua. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la agricultura) y la Universidad Agraria La Molina. Lima, Perú. 130 p.

Hernandez, R.; Sampieri, R.; Fernandez, C.; Collado,C.; Baptista. L. 2014. Metodología de la investigación. 6ta Ed. Mexico, Mc Graw Hill Education. 589 p.

IAEA (Internacional Atomic Energy Agency). 2008. Radiaciones para provocar mutaciones en los alimentos Viena, Austria (en línea). Consultado el 14 de julio de 2020. Disponible en <https://gastronomiaycia.republica.com/2008/08/14/radiaciones-para-provocar-mutaciones-en-los-alimentos/>

IAEA (Organismo Internacional de Energía Atómica). 2020. Inducción de mutaciones (en línea). Consultado el 23 de octubre de 2020. Disponible en <https://www.iaea.org/es/temas/induccin-de-mutaciones>

León, JM. 2003. Cultivo de la Quinoa en Puno-Perú. Descripción, Manejo y Producción (en línea). Consultado el 3 de julio de 2020. Disponible en <https://es.scribd.com/doc/24569369/Cultivo-de-la-Quinoa-en-Puno-Peru-Leon-H-Juvenal-RM>

López, CE. 2007. Fitopatología Molecular: Mecanismos de resistencia de patógenos. Universidad Nacional de Colombia, Facultad de Ciencias. Bogota, Colombia. 145p.

Mamani, D. 2012. Determinación de la dosis de radiación gamma para la inducción de mutaciones en variedades comerciales de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) y Cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 131 p.

Mamani, N. 2016. Evaluación de las características morfológicas de trigo (*Triticum aestivum* L.), en la generación M2 provenientes de semilla irradiada con rayos gamma (Co-60). Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 86 p.

Marca, R. 2018. Identificación del agente causal de las enfermedades emergentes y presentes en cultivos de papa, quinoa, haba en la Comunidad de Chiarumani – Municipio de Patacamaya del Departamento de La Paz. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, Bolivia. 91 p.

More, MM. 2016. Detección del inóculo primario, sintomatología y control del mildiu (*Peronospora variabilis* Gaum) en el cultivo de quinoa (*Chenopodium quinoa*) en Piura. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Piura. Piura, Perú. 59 p.

Mujica, A.; Canahua, A.; Saravia, R. 2004. Agronomía del cultivo de la quinoa Cap. II. In: Mujica *et al.* (Eds.). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro FAO. Santiago, Chile.

Mujica, A.; Jacobsen, S.E.; Izquierdo, J.; Marathee, J. P. 2001. (Editores). Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro FAO. Santiago, Chile. (en línea). Consultado el 30 de agosto

de 2020. Disponible en http://www.fao.org/quinoa-2013/what-is-quinoa/origin-and-history/es/?no_mobile=1

Murillo, R. 2014. Mutagenesis. Cap. XII. *In:* Introducción a la Biotecnología Vegetal. La Paz, Bolivia. 100 p.

Murillo, A.; Mazón, N.; Rodríguez, D.; Vega, L. 2019. Mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en Ecuador. *In.* Libro de Resúmenes: VII Congreso mundial de la quinua y otros granos andinos (7,2019, Chile). Ministerio de Agricultura, INDAP, Pontificia Universidad Católica de Chile, ODEPA. (Eds). Santiago, Chile. 190 p.

Novak, FJ.; Brunner, H. 1992. Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos. Crónicas. Boletín OIEA, 1992-4. Consultado el 12 de noviembre de 2018. Disponible en https://www.iaea.org/sites/default/files/34405682533_es.pdf

Ortiz, R.; Danielsen, S.; Ames, T.; Castro, A. 2001. Plagas y enfermedades. Cap. V. *In:* Mujica *et al.* (Eds.). Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.); Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro FAO. Santiago, Chile. (en línea). Consultado el 30 de agosto de 2020. Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap5.htm

Ochoa, R. 2009. Diseños experimentales. La Paz, Bolivia. 180 p.

Perez, C.; Nicklin, C.; Danges, O.; Vaneck, S.; Sherwood, S.; Halloy, S.; Garrett, K.; Forbes, G. 2010. Climate Change in the High Andes: Implications and Adaptation Strategies for Small-scale Farmers. The International Journal of Environmental, Cultural, Economic, And Social Sustainability (en línea). Consultado el 10 de julio de 2020. Disponible en <http://www.infobosques.com/descargas/biblioteca/260.pdf>

Plata, G; Bonifacio, A.; Navia, O.; Gandarillas, A. 2014. Las enfermedades en el cultivo de la quinua. Cap. IV. *In:* Saravia *et al.* Plagas y enfermedades del cultivo de quinua. Cochabamba, Bolivia, Fundación PROINPA: pp. 83- 132.

Pagan, I; Garcia, F. 2020. Tolerance of Plants to Pathogens: A Unifying. Annual Review of Phytopathology. (en línea) Consultado el 27 de febrero de 2021. Disponible en <http://www.cbqp.upm.es/index.php/es/rss-1/14-noticias/1401-la-tolerancia-una-defensa-central-de-las-plantas-a-los-patogenos>.

Quinteros, R. 2012. Evaluación de semilla de seis Variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) irradiadas con tres dosis de rayos gamma Cobalto 60 (Co-60) en condiciones controladas. Tesis de Grado. Universidad Mayor de San Andrés. 109 p.

Risco, A. 2014. Severidad de *Peronospora variabilis* Gaum en *Chenopodium quinoa* Willd. 'Pasankalla' como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 107 p.

Risco, A.; Mattos, L. 2015. Severidad de *Peronospora variabilis* Gaum en *Chenopodium quinoa* Willd. 'Pasankalla' como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. Lima, Perú. 76(2): 382-392.

Rojas, W.; Pinto, M.; Soto, JL. 2010. Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos *In: Rojas et al.* (Eds). Granos Andino: Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Bioversity Internacional, Fundación PROINPA. Roma, Italia. pp. 11-23.

Rojas, F. 2013. Botánica Sistemática. Carrera de Ingeniería Agronómica, Facultad de Agronomía UMSA. La Paz, Bolivia. 120 p.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2019. Planilla de precipitación de la gestión 2018 – 2019.

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2011. Manual de Observaciones Fenológicas. Ministerio de agricultura y Ambiente. Perú. Consultado el 30 de agosto de 2020. Disponible en <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01401SENA-11.pdf>

SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología). 2015 Estadísticas mensuales. Disponible en Senamhi. gob.bo.

Tapiero, AL.1999. Durable resistance to plant diseases. Revista Corpoica. Villacencio, Colombia. 3(1): 36-40.

Tapia, ME. 2000. Agronomía de los Cultivos Andinos En: Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación; Cap. III. 2da edición. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Santiago, Chile. (en línea). Consultado el 29 de agosto de 2020). Disponible en http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro10/home10.htm

Tapia, M.; Fries, AM. 2007. Guía de Campo de los Cultivos Andinos. Cap. IV, Agronomía de los cultivos, Granos Andinos. FAO y ANPE. Lima, Perú. pp. 74-88.

Zaragoza, C. 2010. Cultivo de la quínoa orgánica (*Chenopodium quinoa* Willd). Noticias sephu no. 051 (en línea). Consultado el 29 de agosto de 2020. Disponible en https://www.interempresas.net/FeriaVirtual/Catalogos_y_documentos/81972/051---15.07.10---Cultivo-de-la-Qui--769-noa-Orga--769-nica-2.pdf

ANEXOS

Anexo 1. Planilla de evaluación para la enfermedad del mildiu

PLANILLA DE EVALUACIÓN

BLOQUE FECHA
 TRATAMIENTO REPETICIÓN.....

PLANTA	TERCIO DE LA PLANTA	DIAS DESPUES DE LA SIEMBRA	
		% de severidad	Altura de la planta
1	Superior		
	Medio		
	Inferior		
2	Superior		
	Medio		
	Inferior		
3	Superior		
	Medio		
	Inferior		
4	Superior		
	Medio		
	Inferior		
6	Superior		
	Medio		
	Inferior		
7	Superior		
	Medio		
	Inferior		
8	Superior		
	Medio		
	Inferior		
9	Superior		
	Medio		
	Inferior		
10	Superior		
	Medio		
	Inferior		
11	Superior		
	Medio		
	Inferior		
12	Superior		
	Medio		
	Inferior		
13	Superior		
	Medio		
	Inferior		

Anexo 2. Comparación de medias para el número de días a la floración

Tratamientos	Días a la floración	Duncan 5%
Testigo	90	A
T3 (G-15)	80,67	A B
T1 (G-7)	75,17	B
T2 (G-10)	71,34	B

Anexo 3. Comparación de medias para altura de planta

Tratamientos	Altura de planta (cm)	Duncan 5%
Testigo	42,475	A
T3 (G-15)	38,95	A B
T2 (G-10)	38,075	A B
T1 (G-7)	31,3	C

Anexo 4. Comparación de medias para peso de grano por panoja

Tratamientos	Peso de Grano por panoja (g)	Duncan 5%
T1 (G-7)	4,25	A
T2 (G-10)	4,22	A
T3 (G-15)	3,15	A B
Testigo	2,42	B

Anexo 5. Comparación de medias para peso de 100 semillas

Tratamientos	Peso de 100 semillas (g)	Duncan 5%
Testigo	0,35	A
T2 (G-10)	0,32	A B
T3 (G-15)	0,31	B
T1 (G-7)	0,3	B

Anexo 6. Comparación de medias para el rendimiento de grano de quinua

Tratamientos	Rendimiento de grano de quinua (kg/ha)	Duncan 5%
T2 (G-10)	459,64	A
T1 (G-7)	284,2	B
T3 (G-15)	272,25	B
Testigo	196,56	B

Anexo 7. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ocho hojas verdaderas

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	0,39	A
T1 (G-7)	0,2	B
T2 (G-10)	0,16	B
T3 (G-15)	0,28	B

Anexo 8. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de ramificación

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	14,31	A
T1 (G-7)	4,91	B
T2 (G-10)	5,44	B
T3 (G-15)	7,44	B

Anexo 9. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de panojamiento

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	4,57	A
T3 (G-15)	2,47	A B
T1 (G-7)	1,64	B
T2 (G-10)	0,98	B

Anexo 10. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en la fase de panojamiento

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	17,96	A
T3 (G-15)	7,89	B
T1 (G-7)	7,01	B
T2 (G-10)	5,26	B

Anexo 11. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de inicio de floración

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	24,38	A
T3 (G-15)	13,55	B
T1 (G-7)	12,99	B
T2 (G-10)	11,4	B

Anexo 12. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase floración

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	31,12	A
T3 (G-15)	20,88	B
T1 (G-7)	21,11	B
T2 (G-10)	19,39	B

Anexo 13. Comparación de medias para el grado de severidad del mildiu en fase de formación de grano

Tratamientos	Porcentaje de severidad (%)	Duncan 5%
Testigo	36,39	A
T3 (G-15)	28,9	B
T1 (G-7)	27,45	B
T2 (G-10)	22,7	B

Anexo 14. Delimitación del área de investigación



Anexo 15. Remoción del terreno



Anexo 16. Siembra de las semillas de quinua (Variedad Real Negra generación M3)



Anexo 17. Área de investigación de la quinua en la fase de ramificación



Anexo 18. Medición de altura de la quinua



Anexo 19. Prueba de germinación de 100 semillas en laboratorio



Anexo 20. Emergencia de la quinua Variedad Real Negra en campo



Anexo 21. Medición de humedad relativa con el DIVINER 2000



Anexo 22. Evaluación de la enfermedad el mildiu en hojas (superior, medio, inferior)



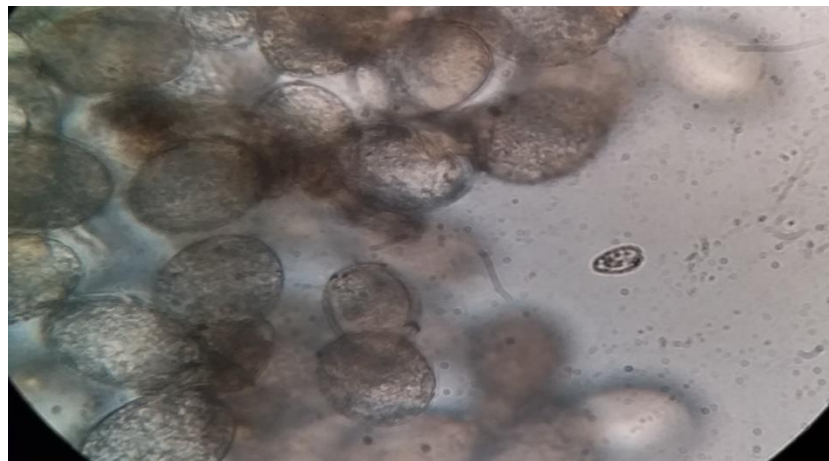
Anexo 23. Genotipos susceptible y resistente a la enfermedad del mildiu



Anexo 24. Escala de severidad del mildiu



Anexo 25. Vista Microscópica donde se observan características visibles del patógeno *Peronospora variabilis*. Corte transversal de la hoja de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) recolectada de una de las muestras.



Anexo 26. Cosecha individual de cada unidad experimental



Anexo 27. Trillado y venteado de la quinua



Anexo 28. Pesado y almacenado de las semillas de quinua



Anexo 29. Croquis experimental del trabajo de investigación

