

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



“RESPUESTA DE UNA POBLACIÓN M₃ DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VAR. AMARILLA MARANGANI AL MILDIU (*Peronospora variabilis*) EN LA MOLINA”

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AGRÓNOMO**

JESUS ANIBAL BERNARDO ROJAS

LIMA – PERÚ

2020

**La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación
(Art. 24 – Reglamento de propiedad Intelectual)**

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

“RESPUESTA DE UNA POBLACIÓN M₃ DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) VAR. AMARILLA MARANGANI AL MILDIO (*Peronospora variabilis*) EN LA MOLINA”

Presentado por:

JESUS ANIBAL BERNARDO ROJAS

Tesis para optar el título de:

INGENIERO AGRÓNOMO

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ph.D. Walter Eduardo Apaza Tapia

PRESIDENTE

.....
Dra. Luz Rayda Gómez Pando

ASERORA

.....
Mg.Sc. Medali Heidi Huarhua Zaquinaula

MIEMBRO

.....
Dra. Luz Leonor Mattos Calderón

MIEMBRO

LIMA-PERÚ

2020

DEDICATORIA

Dedico esta tesis a mi mamá Marina Rojas y todos mis hermanos por haberme impulsado, acompañado y apoyado en todo este camino; a mi enamorada Yasenia por su apoyo y compañía en la elaboración de esta tesis.

A los trabajadores del programa de cereales de UNALM que siempre me tendieron la mano en especial a don Cesar.

A mis compañeros y amigos que me apoyaron.

AGRADECIMIENTO

A mi asesora, Dra. Luz Gómez Pando, por la confianza y el apoyo que me brindo al realizar todo el trabajo de investigación.

Al Programa Nacional de Innovación Agraria-PNIA - Contrato 14.

Al Programa de Cereales y la zona de Granos Nativos de la UNALM, docentes, ingenieros, administrativos y operarios de campo por el apoyo y tiempo dedicado en todo el transcurso del presente trabajo de investigación.

A mis compañeros de investigación, amigos y estudiantes de la UNALM que me brindaron su apoyo a lo largo del desarrollo de la etapa de investigación.

INDICE GENERAL

RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
I. INTRODUCCIÓN	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Importancia económica de la quinua.....	3
2.2. Valor nutricional de la quinua.....	4
2.2.1. Clasificación taxonómica	5
2.2.2. Descripción botánica	6
2.3. Mildiú de la quinua.....	9
2.3.1. Sistemática	9
2.3.2. Síntomas	10
2.3.3. Epidemiología y diseminación de la enfermedad	11
2.4. Resistencia genética	12
2.5. Mutación.....	13
2.5.1. Tipos de mutaciones.....	14
III. METODOLOGÍA	16
3.1. Ubicación.....	16
3.2. Manejo agronómico.....	16
3.3. Materiales	16
3.3.1. Material genético.....	16
3.3.2. Materiales de campo.....	17
3.3.3. Equipos y herramientas de campo.....	17
3.3.4. Equipo de Laboratorio.....	17
3.4. Metodología.....	17
3.4.1. FASE I: Casa de Mallas	17
3.4.2. FASE II: Canteros	19
3.4.3. Evaluaciones.....	20
3.5. Diseño experimental.....	23
3.6. Análisis de datos.....	23
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	24
4.1. Datos meteorológicos	24
4.2. Objetivo 1	25

4.2.1. Análisis del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE) ...	30
4.3. Objetivo 2.....	34
4.3.1. Caracterización Agronómica.....	34
4.3.2. Caracterización morfológica	36
V. CONCLUSIONES.....	42
VI. RECOMENDACIONES.....	43
VII. BIBLIOGRAFÍA.....	44
VIII. ANEXOS	52

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Contenido de aminoácidos en quinua, kañiwa, kiwicha, arroz y trigo.....	5
Tabla 2: Clasificación taxonómica de <i>Chenopodium quinoa</i>	5
Tabla 3: Sistemática del mildiú <i>Peronospora variabilis</i> Gaum	9
Tabla 4: Escala de evaluación de la reacción a mildiú (<i>Peronospora farinosa</i> f.sp. <i>chenopodii</i>) en hojas primarias de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>).....	21
Tabla 5: Porcentaje de severidad de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en plantas mutantes M ₃ moderadamente resistentes, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.	27
Tabla 6: Porcentaje de severidad de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en plantas mutantes M ₃ moderadamente susceptible, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.	28
Tabla 7: Frecuencia de mutación de la respuesta al mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en plantas mutantes M ₃ moderadamente resistentes y moderadamente susceptibles, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.	29
Tabla 8: Valores de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en plantas mutantes de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) obtenidas en tres evaluaciones realizadas en La Molina. Campaña 2016-2017.....	31
Tabla 9: Características agronómicas de plantas mutantes de quinua desarrolladas a partir de la variedad Amarilla de Maranganí mediante la aplicación de rayos gamma seleccionadas por su resistencia al mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en condiciones de La Molina 2016-2017	35

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Síntomas de mildiú en diferentes cultivares de quinua.....	11
Figura 2: Plántulas de quinua en Generación M ₃ en Casa de Mallas La Molina	18
Figura 3: Distribución de bandejas con el Material Genético	19
Figura 4: Croquis de distribución de plantas trasplantadas en canteros	20
Figura 5: Índice de esporulación para determinar susceptibilidad o resistencia al mildiú..	21
Figura 6: Condiciones meteorológica para la variable temperatura (°C) de Julio 2016 a Junio 2017.	24
Figura 7: Condiciones meteorológica para la variable humedad relativa (%) de Julio 2016 a Junio 2017.....	25
Figura 8: Proceso de selección de plantas con resistencia a mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) y mayor potencial de rendimiento en una población M ₃ de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) Var Amarilla Maranganí desarrollada por irradiación con rayos gamma.	26
Figura 9: Variación en características morfológicas color del tallo, color de estrías del tallo, color de las axilas del tallo en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.	37
Figura 10: Variación en características morfológicas en el número de dientes de hojas basales y el color de la lámina foliar en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.....	38
Figura 11: Variación en características morfológicas en la inflorescencia o panoja en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.....	40
Figura 12: Variación en el color del pericarpio del fruto en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.....	41
Figura 13: Preparación del sustrato para siembra de experimentos con mezcla de compost y suelo de chacra.	52
Figura 14: A. Organización de bandejas en el invernadero con sustrato listo para la siembra; B. Siembra de las semillas de quinua var. Amarilla de Maranganí, 2 semillas por celda.	53

Figura 15: A. Primer riego a las bandejas de quinua var. Amarilla Maranganí; B. Germinación de quinua var. Amarilla Maranganí; C. Plantas de quinua listas para el trasplante; D. Plántulas de quinua infectadas con mildiú en el invernadero.	54
Figura 16: A. Plantas adultas con alta incidencia de mildiú; B. Plántulas sin presencia de mildiú; C. Riego después del trasplante en los canteros.	55
Figura 17: A. Diferentes colores de los tallos de quinua var. Amarilla Maranganí M ₃ ; B. Panoja glomerulada; C. Panoja amarantiforme.	56

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Preparación de sustrato	52
Anexo 2: Siembra de las semillas de quinua var. Amarilla de Maranganí.....	53
Anexo 3: Riego, germinación, selección y plántulas infectadas en invernadero	54
Anexo 4: Comparación de plantas de la incidencia del mildiú	55
Anexo 5: Variaciones en características del tallo, hoja e inflorescencia.....	56

RESUMEN

La quinua es una especie originaria de América del Sur, principalmente de las áreas altiplánicas entre Perú y Bolivia. Su cultivo en grandes extensiones puso en evidencia los factores limitantes de su desarrollo figurando entre ellos su alta susceptibilidad a *Peronospora variabilis* GÄUM. En el presente trabajo de investigación se evaluó la respuesta a mildiú de una población M₃ de quinua variedad Amarilla de Maranganí obtenida mediante radiación gamma a dosis de 150 y 250 Gy. Un total de 179 419 plántulas M₃ fueron sometidas a infección natural con mildiú en condiciones controladas. De este total 1614 plántulas sin síntomas fueron llevadas a canteros y trasplantadas en un sustrato compuesto de suelo y compost y fueron evaluadas durante todo el ciclo de vida en condiciones ambientales favorables para el patógeno y de este total se seleccionaron 44 plantas con resistencia cuantitativa al seudohongo con una severidad de 16.7 a 30%. Otros cambios observados en las plantas seleccionadas, por efecto de la radiación gamma, fueron la reducción en días a la floración y en altura de planta e incremento en el rendimiento potencial de planta. Adicionalmente se observó cambios en caracteres del tallo (color, color de estrías y axilas), hojas (N° de dientes y color de lámina foliar), inflorescencia (forma, densidad y color) y color de granos.

Palabras clave: radiación gamma, AUDPC, mutantes, mejoramiento genético

ABSTRACT

Quinoa is a native species from South America, mainly from the highlands between Peru and Bolivia. Its cultivation in large areas showed their limiting factors of its development, including its high susceptibility to *Peronospora variabilis* GÄUM. In this research work, It was evaluated the response to mildew of a M₃ population of Quinoa variety called “Amarilla de Marangani” obtained by gamma radiation at doses of 150 and 250 Gy. A total of 179 419 M₃ seedlings were subjected to natural infection with mildew under controlled conditions. A total of 1614 seedlings without symptoms from the pool were taken and transplanted into a substrate composed by soil and compost, and were evaluated under favorable environmental conditions for the pathogen. Finally, 44 plants with quantitative resistance to mildew were selected, with severity from 16.7 to 30%. Other changes observed in the selected plants, due to the effect of gamma radiation, were the reduction in days of flowering, plant height and an increase in the yield potential. Additionally, changes were observed in stem characters (color, streak color and armpits), leaves (No. of teeth and leaf color), inflorescence (shape, density and color) and grain color.

Keywords: gamma radiation, AUDPC, mutants, genetic improvement

I. INTRODUCCIÓN

La quinua es una especie originaria de América del Sur, principalmente de las áreas altiplánicas entre Perú y Bolivia (Mujica y Jacobsen, 2006). En los últimos años adquirió mucha importancia debido a sus características nutricionales superiores a las de otros vegetales. Es un alimento completo, posee todos los aminoácidos esenciales que requiere el ser humano (leucina, isoleucina, lisina, metionina, fenilalanina, treonina, triptófano y valina) (Arbaizo Castañeda, 2017).

El grano de quinua contiene entre 11% y 20% de proteínas de alta calidad, que lo ubican por encima de cereales como arroz (7,6%), cebada (10,8%), maíz (10,2%) y trigo (14,2%); y lo hace comparable a la leche como fuente proteica. También contiene importantes cantidades de vitamina del complejo B y, entre sus minerales, presenta calcio que es fácilmente absorbido por el organismo, debido a la presencia simultánea de zinc (Cillóniz, 2016).

La quinua es capaz de crecer en un amplio rango de altitudes (desde el nivel del mar hasta 4.000 metros), y precipitaciones anuales que varían desde 200 a 1.000 mm con periodos de sequía prolongados. Esta capacidad de adaptación a condiciones marginales la convierte en una alternativa para la agricultura para enfrentar los cambios climáticos adversos presentes y futuros (Gómez y Aguilar, 2016).

Sin embargo, su desarrollo se ve limitado por una serie de factores como son su baja tolerancia al calor, especialmente, durante la floración y su alta susceptibilidad a plagas, destacando entre ellas la enfermedad mildiú causada por el seudohongo *Peronospora variabilis* GÄUM (Danielsen y Ames, 2001) que afecta principalmente el follaje y puede causar una reducción considerable o total en el rendimiento.

La enfermedad del mildiú puede ser controlada empleando fungicidas, sin embargo, este control disminuiría la producción de quinua orgánica, elevaría los costos de producción y contaminaría el medio ambiente (Bonifacio, 2001). Existe otra posibilidad de reducir el daño del mildiú y es la resistencia genética del cultivo. La resistencia genética tiene la ventaja de ser un método de control nada nocivo para el medio ambiente y que asegura una producción sostenible sin gastos en fungicidas (Danielsen y Ames, 2001).

La resistencia se puede conferir a las variedades comerciales a través de la hibridación y la mutación inducida (Mujica *et al.*, 2008). Existen evidencias de que se puede lograr resistencia a enfermedades a través de las mutaciones en muchos cultivos de importancia económica (Maluszynski *et al.*, 2009; Shu *et al.*, 2012)

Considerando lo arriba señalado se realizó la presente investigación que permitió evaluar la respuesta a mildiú de una población M₃ de quinua obtenida mediante radiación gamma a dosis de 150 y 250 Gy.

El objetivo general del presente trabajo fue:

Contribuir a la producción orgánica de quinua mediante el uso de variedades mejoradas con resistencia genética al seudohongo del mildiú (*Peronospora variabilis*)-

Asimismo, los objetivos secundarios fueron:

- Identificar plantas con resistencia a la enfermedad del mildiú en una población M₃ de quinua proveniente de radiación de la semilla a dosis de 150 y 250 Gy.
- Caracterizar agronómica y morfológicamente plantas seleccionadas por su resistencia al mildiú.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Importancia económica de la quinua

La quinua, es una planta herbácea anual, de amplia dispersión geográfica, presenta características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se la cultiva, fue utilizada como alimento desde tiempos inmemoriales, se calcula que su domesticación ocurrió hace más de 7000 años antes de Cristo, presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4000 msnm, desde zonas áridas, hasta zonas húmedas y tropicales, desde zonas frías hasta templadas y cálidas; muy tolerante a los factores abióticos adversos como son sequía, helada, salinidad de suelos y otros que afectan a las plantas cultivadas (Mujica *et al.*, 2001).

Este grano se ha hecho conocido a nivel mundial por sus características excepcionales de alto valor nutracéutico, biológico ortomolecular y por sus potencialidades de transformación y preparación gastronómica variada; de otro lado, el conocimiento de los mecanismos de su resistencia a la sequía, al frío y a la salinidad, ha permitido difundir su cultivo en diferentes latitudes y condiciones de déficit hídrico y suelos salinos (Danielsen y Ames, 2001).

En el año 2016, el Perú fue el principal productor mundial de quinua con 79,269 toneladas, seguido de Bolivia con 65548 t y Ecuador con 3093 t. La producción de Perú representa el 53,3% del volumen, seguido por Bolivia y Ecuador que contribuyeron con el 44% y 2,7%, respectivamente, conforme a estadísticas de la FAO (2018). Así mismo, se produce en 17 regiones del Perú, entre las que Puno representa el 44,4% de la producción nacional. Luego Ayacucho 21%. Sin embargo, Arequipa tiene el mejor rendimiento con 3,4 toneladas por hectárea, le sigue Tacna, Lambayeque y Lima con 2 toneladas/hectárea. Las exportaciones de quinua han sumado 45,5 mil toneladas para el año 2017, que reflejan un incremento de 1,9% respecto al total exportado del 2016 lo que generó ingresos por un total de US\$ 103 millones (MINAG, 2017).

2.2. Valor nutricional de la quinua

La quinua está considerada como el alimento más completo para la nutrición humana, debido a la calidad de las proteínas con un balance ideal de sus aminoácidos esenciales (Tabla 1), ácidos grasos como omega 3, 6 y 9, a sus vitaminas, y minerales como el calcio y el hierro (Mujica y Jacobsen, 2006).

Bojanic (2011) indica que la proteína de la quinua varía entre 13,81 y 21,9% dependiendo de la variedad. Wright *et al.* (2002), señalan que la composición nutricional de la quinua se basa en la alta calidad de su proteína (aminoácidos ricos en azufre) que está en el rango de 14.8 a 15.7%. Koziol (1992), señala su contenido de aceites con ácidos grasos esenciales (ácido linoleico y γ -linoleico en el rango de 55 a 66% de la fracción lipídica). Ruales y Nair (1992), señalan la presencia de importantes antioxidantes naturales como el α -tocoferon y tocoferon. Además de un amplio rango de vitaminas y minerales. La quinua también posee un alto porcentaje de fibra dietética total (FDT), lo cual la convierte en un alimento ideal, actúa como un depurador del cuerpo, logrando eliminar toxinas y residuos que puedan dañar el organismo, produce sensación de saciedad y tiene la propiedad de absorber agua y permanecer más tiempo en el estómago (Bojanic, 2011).

Estudios realizados, en el Perú, sobre el contenido de ácidos grasos indicaron que el mayor porcentaje de ácido graso presente en la quinua es el tipo Omega 6 (ácido linoleico) con valores de 50,24%, valores muy similares a los encontrados en el aceite de germen de maíz, que tiene un rango de 45 a 65%. El Omega 9 (ácido oleico) se encuentra en segundo lugar, con un valor igual a 26,04% para aceite de quinua. Los valores encontrados para el Omega 3 (ácido linolénico) son de 4,77%, seguido del ácido palmítico con 9,59%. También se informa otros ácidos grasos en pequeñas proporciones, como el ácido esteárico y el eicosapentaenoico. La composición de estos ácidos grasos es muy similar al aceite de germen de maíz. El consumo de quinua ayudaría a reducir el colesterol LDL (o colesterol malo) del organismo y elevar el colesterol HDL (o colesterol bueno) gracias a su contenido en ácidos grasos omega 3 y omega 6 (Bojanic, 2011).

Por otro lado, los carbohidratos de las semillas de quinua contienen entre 58 y 68% de almidón y un 5% de azúcares, lo que la convierte en una fuente óptima de energía que se libera en el organismo de forma lenta por su importante cantidad de fibra (Llorente, 2008).

Tabla 1: Contenido de aminoácidos en quinua, kañiwa, kiwicha, arroz y trigo

Aminoácido	Quinua	Kañiwa	Kiwicha	Arroz	Trigo
Ácido aspártico	7.80	7.9	7.40	8.00	4.7
Treonina	3.40	3.3	3.30	3.20	2.9
Serina	3.90	3.9	5.00	4.50	4.6
Ácido glutámico	132.00	13.6	15.60	16.90	31.3
Prolina	3.40	3.2	3.40	4.00	10.4
Glicina	5.00	5.2	7.40	4.10	6.1
Alanina	43.00	4.1	3.60	5.20	35.0
Valina	4.20	4.2	3.80	5.10	4.6
Isoleucina	3.40	3.4	3.20	3.50	4.3
Leucina	6.10	6.1	5.40	73.00	6.7
Tirosina	2.50	2.3	2.70	2.60	3.7
Fenilalanina	3.70	3.7	3.70	4.80	4.9
Lisina	5.60	5.3	6.00	32.00	2.8
Histidina	2.70	2.7	2.40	2.20	2.0
Arginina	8.10	8.3	82.00	6.30	4.8
Metionina	3.10	3.0	3.80	3.60	1.3
Cistina	1.70	1.6	2.30	25.00	22.0
Triptófano	1.10	0.9	1.10	1.10	12.0
% N del grano	2.05	251.0	2.15	1.52	224.0
%. proteína	12.80	15.7	13.40	9.50	14.0

Fuente: Repo-Carrasco *et al.* (2003)

2.2.1. Clasificación taxonómica

La quinua pertenece a la familia *Amaranthaceae*, Sub Familia *Chenopodioideae* (Tabla 2). El género *Chenopodium* es el principal dentro de esta Sub familia y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especies (FAO, 2018).

Tabla 2: Clasificación taxonómica de *Chenopodium quinoa*

CLASIFICACION	TAXONOMICA
Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Magnoliophyta</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>

«continuación»

Orden	<i>Caryophyllales</i>
Familia	<i>Amaranthaceae</i>
Subfamilia	<i>Chenopodioideae</i>
Tribu	<i>Chenopodieae</i>
Género	<i>Chenopodium</i>
Especie	<i>Chenopodium quinoa</i>

2.2.2. Descripción botánica

La planta, es erguida, alcanza alturas variables desde 30 a 300 cm, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece, de la fertilidad de los suelos. En zonas abrigadas y fértiles las plantas alcanzan las mayores alturas. Las quinuas del ecotipo del valle tienen mayor altura que las que crecen por encima de los 4000 msnm y de zonas frías o ecotipos del altiplano. La coloración de las plantas varía con los genotipos y fases fenológicas (Mujica *et al.*, 2001).

2.2.2.1. Raíz

Es pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa, la cual posiblemente le da resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta, se diferencia fácilmente la raíz principal de las secundarias que son en gran número, que confiere una apariencia de una gran cabellera variando con el tipo de suelo donde crece. Durante la germinación lo primero que se alarga es la radícula, que continúa creciendo y da lugar a la raíz, alcanzando en casos de sequía hasta 1.80 cm de profundidad, y teniendo también alargamiento lateral, sus raicillas o pelos absorbentes nacen a distintas alturas y en algunos casos son tenues y muy delgadas, muy excepcionalmente se observa vuelco por efecto de vientos, exceso de humedad y mayormente es por el peso de la panoja, la profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta (Mujica *et al.*, 2001). En general la raíz es fuerte como para soportar el peso de la planta (Bonifacio, 2006).

2.2.2.2. Tallo

El tallo de la planta es de sección circular en el cuello y después es angular en la parte media. El tallo tiene corteza endurecida y médula suave en plantas verdes y esponjosas en plantas

maduras. El tallo puede ser simple (ecotipos del altiplano) o ramificado (ecotipos del valle) son afectados por la densidad de siembra y la fertilidad del suelo. Los hábitos de crecimiento ramificado o simple e influyen en los métodos de cosecha (Bonifacio, 2006).

2.2.2.3. Hojas

Las hojas tienen dos partes diferenciadas: el pecíolo y la lámina. El pecíolo de las hojas es largo y acanalado, su longitud depende de su origen; son más largos los pecíolos que se originan directamente del tallo y más cortos los que se originan en las ramas. El color del pecíolo puede ser verde, rosado, rojo y púrpura. La lámina de la hoja tiene tres venas principales que se originan del pecíolo. Las láminas son más grandes en el follaje y más pequeñas en la inflorescencia. Las láminas son polimórficas en la misma planta. Las láminas de la planta o el follaje pueden ser triangulares o romboidales y las de la inflorescencia pueden ser triangulares o lanceoladas. Las hojas pueden tener márgenes enteros, dentados o aserrados. El número de dientes es variable, 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. Esta pubescencia granular contiene oxalato de calcio capaz de absorber agua del medio ambiente e incrementar la humedad relativa de la atmósfera que rodea las hojas, influenciando el comportamiento de las células guarda de los estomas; por lo tanto en la transpiración.

El color de la lámina predominantemente es verde; en algunas variedades puede observarse hojas de color verde-púrpura. A la madurez las láminas se tornan amarillas, naranjas, rosadas, rojas o púrpuras (Gómez y Aguilar, 2016). Los bordes de las hojas son dentadas y este carácter es empleada para la clasificación en razas (Gandarillas, 1968).

2.2.2.4. Inflorescencia

Es una panoja típica, constituida por un eje central, secundarios, terciarios y pedicelos que sostienen a los glomérulos, así como por la disposición de las flores en el glomérulo. Dependiendo de la longitud de los ejes y pedicelos las inflorescencias pueden ser clasificadas como laxas, intermedias y compactas.

La inflorescencia es clasificada como glomerulada cuando los glomérulos son esféricos y se encuentran ubicados en el tercer eje o eje glomerular y es amarantiforme cuando los glomérulos son alargados y se encuentran en el eje secundario de la inflorescencia. Se designan con este nombre por el parecido que tiene con la inflorescencia del género *Amaranthus* (Mujica *et al.*, 2001).

2.2.2.5. Flores

En una misma inflorescencia se pueden encontrar flores hermafroditas y femeninas o pistiladas. Las flores hermafroditas son las que predominan, aunque es posible encontrar plantas androestériles que son funcionalmente femeninas. La quinua es considerada mayormente como autógena y con polinización cruzada de 17% (Bonifacio, 2006).

2.2.2.6. Fruto

El fruto es un aquenio, que comprende varias capas, a saber. Perigonio, pericarpio y episperma (Risi y Galwey, 1984), desde el exterior al interior. El color es variable (Mujica *et al.*, 2001) donde el negro es dominante sobre el rojo y el amarillo, que a su vez son dominantes al color de la semilla blanca (Risi y Galwey, 1984).

Adicionalmente se puede distinguir quinua marga y quinua dulce debido a la presencia o ausencia de un compuesto denominado saponina el cual se encuentra concentrado en el pericarpio (Bonifacio, 2006).

2.2.2.7. Semilla

La semilla está envuelta por el episperma en forma de una membrana delgada; el embrión está formado por los cotiledones y la radícula, y constituye la mayor parte de la semilla que envuelve al perisperma como un anillo. El perisperma es almidonoso y normalmente de color blanco. Existen tres formas de granos: cónicos, cilíndricos y elipsoidales. Se puede considerar tres tamaños de granos: tamaño grande de 2.2 a 2.6 mm tamaño mediano de 1.8 a 2.1 mm y tamaño pequeños menor a 1.8 mm. La semilla puede tener los bordes afilados o redondeados, las quinuas cultivadas, con pocas excepciones, siempre tiene el borde afilado, en tanto que las silvestres los tienen redondeados (Mujica *et al.*, 2001).

2.3. Mildiú de la quinua

Mildiú (*Peronospora variabilis* Gaum) es un parásito obligado biotrófico del grupo de los Oomycetes, familia *Peronosporaceae* y orden *Peronosporales*. *Peronospora variabilis* posee los dos tipos de reproducción asexual y sexual (Choi *et al.* 2008, 2010).

El mildiú es el patógeno más severo en la quinua y afecta tanto en costa, altiplano como en valles interandinos. Los mayores daños de la enfermedad se presentan en las hojas. La enfermedad provoca el enanismo y la defoliación prematura, los cuales se traducen en la reducción del rendimiento, la enfermedad puede provocar pérdida total en caso de variedades susceptibles (Gómez y Eguiluz, 2011)

La fase asexual se caracteriza por presentar esporas de forma ovoide cuya germinación es directa, las hifas son cenocíticas y el micelio es dicotómico. La reproducción sexual se caracteriza por la formación de la oospora (estructura sexual de sobrevivencia) en ausencia de hospedero (Choi *et al.*, 2008). Cuando las condiciones son favorables esta oospora germina y da lugar a la formación de una espora. Las oosporas pueden ser observadas mediante tinciones en el interior de las hojas y en la superficie de los granos (Gandarillas *et al.*, 2015).

2.3.1. Sistemática

Tabla 3: Sistemática del mildiú *Peronospora variabilis* Gaum

mildiú	<i>Peronospora variabilis</i> Gaum
Clase	<i>Oomycete</i>
Orden	<i>Peronosporales</i>
Familia	<i>Peronosporaceae</i>
Especie	<i>Peronospora variabilis</i> Gaum. (Choi <i>et al.</i> 2010) / <i>Peronospora farinosa</i> f.sp. <i>Chenopodii</i> (Fr) “El mildiú de la quinua” / <i>Peronospora effusa</i> (Grev. Ex Desm.) Ces (Bazán de Segura y Dongo 1965).

Choi *et al.* (2010) indicó que *Peronospora farinosa* posteriormente reconocida como, *Peronospora variabilis* Gäum es la especie que causa la enfermedad de mildiú en quinua, y

a través de pruebas moleculares demostraron que todos los aislamientos bolivianos corresponden a *Peronospora variabilis* y reflejan una sola población.

2.3.2. Síntomas

El mildiú afecta principalmente al follaje de la planta. Se hace evidente inicialmente como ligeros puntitos cloróticos visibles en la cara superior de las hojas. Los puntos cloróticos crecen y forman áreas cloróticas grandes e irregulares que inicialmente se observan como clorosis en la cara superior y luego como necrosis. Simultáneamente, la zona clorótica en la cara inferior de la hoja se recubre de un afelpamiento de color gris violeta constituido por las estructuras esporulativas del patógeno. Generalmente al final de la época lluviosa sólo se encuentra hojas con manchas necróticas, pero no se observa la esporulación característica del patógeno en actividad. Los distintos cultivares de quinua reaccionan de manera diferente a la enfermedad. La reacción de la planta ante el ataque de mildiú, o sea la expresión de los síntomas, es influenciada por el genotipo de la planta, por el genotipo del patógeno y por las condiciones del medio ambiente. Así en los cultivares resistentes puede haber una reacción de hipersensibilidad en cuyo caso sólo se observan pequeñas manchas similares a las causadas por picaduras de insectos. En los cultivares más susceptibles en cambio, la mancha se agranda sucesivamente tomando una coloración amarillenta, rojiza o marrón dependiendo del pigmento que predomina en la planta. En una misma hoja es posible encontrar varias manchas pequeñas o pocas manchas grandes que comprenden íntegramente la lámina foliar, Figura 1. Un efecto conocido del mildiú es la defoliación que causa en la planta. Entre más temprana es la infección, mayor es el grado de defoliación. Sin embargo, no se sabe hasta qué punto la defoliación observada en campo es causada por mildiú. La planta de quinua se defolia por muchos factores, por ejemplo, estrés abiótico producido por sequía y heladas, y por senescencia natural (Danielsen y Ames, 2001).

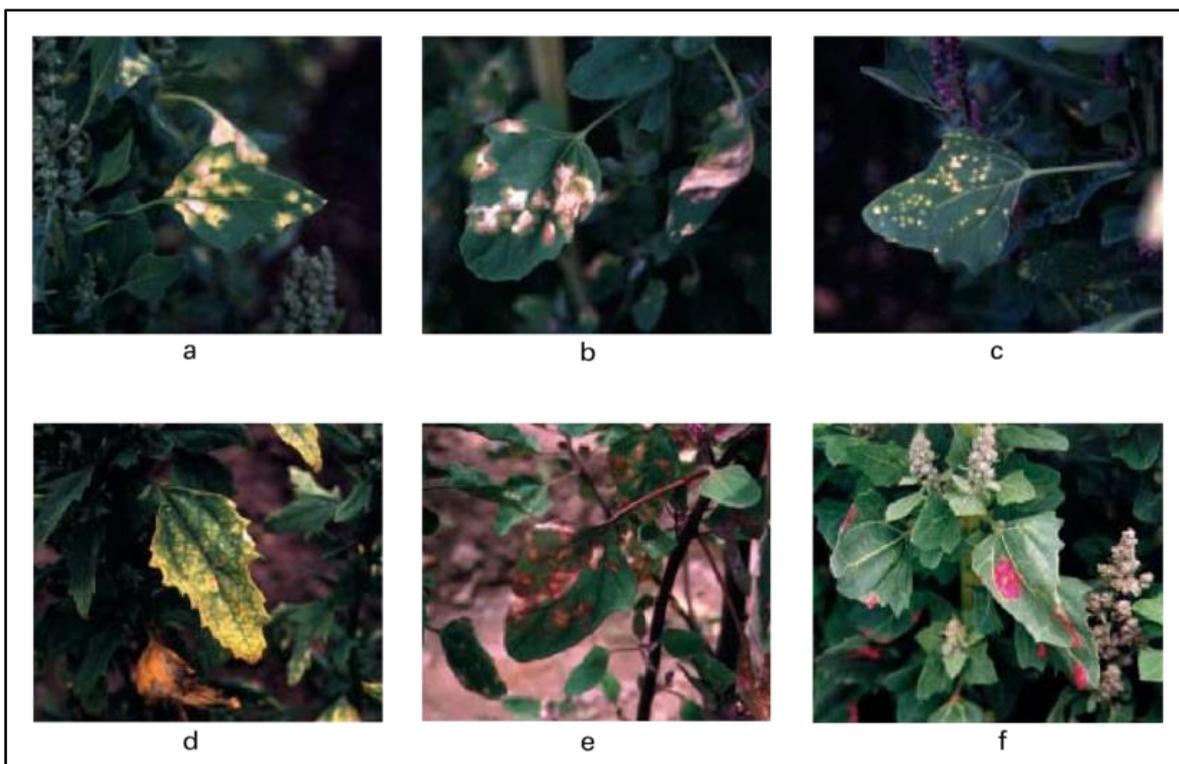


Figura 1: Síntomas de mildiú en diferentes cultivares de quinua

Fuente: Danielsen y Ames (2001)

2.3.3. Epidemiología y diseminación de la enfermedad

El estudio de una enfermedad implica el conocimiento de los distintos factores que confluyen para que esta se produzca. El hospedante y el patógeno son agentes activos en una enfermedad, pero esta no se produciría si las condiciones del medio ambiente no fueran favorables para el patógeno o detrimentes para la planta (Danielsen y Ames, 2001).

Alandia *et al.* (1979) encontraron que el mildiú bajo condiciones de alta presión de enfermedad reduce los rendimientos de 33 a 58% en varios cultivares de quinua. Bonifacio (2001) indicó que las condiciones ambientales con alta humedad favorecen el desarrollo del mildiú, también se requieren temperaturas relativamente frescas. Por lo tanto, la enfermedad no se presenta con la misma intensidad en las diferentes zonas de producción de quinua. Según Gandarillas *et al.* (2013) en el caso del mildiú el factor más importante son las condiciones ambientales.

La presencia de rocío al amanecer y la persistencia de este hasta altas horas de la mañana permiten que las esporas 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 presenta o no causa mayor daño. La enfermedad puede iniciarse desde que la planta está pequeña, por el inóculo presente en el suelo o en la semilla infectada. En cámara de crecimiento se ha observado esta infección primaria como esporulación abundante en toda la superficie de las hojas cotiledóneas. La infección primaria sirve en el campo como foco de infección, y la enfermedad se generaliza durante el periodo de cultivo por medio de esporangios que se desplazan por acción del viento y caen en plantas sanas o las hojas sanas de la misma planta (infección secundaria). La quinua puede ser afectada por mildiú en cualquier momento de su desarrollo, pero el mayor daño en cuanto a defoliación y pérdida de rendimiento se produce con la infección temprana. Se ha encontrado mildiú donde quiera se siembre quinua (Norte América, Sur América, Europa) siempre y cuando las condiciones climáticas lo permitan (Danielsen y Ames, 2008).

El mildiú para su expresión requiere de condiciones ambientales más o menos específicas, siendo la alta humedad relativa del ambiente la condición más preponderante, aunque también se requiere temperaturas relativamente frescas. Por tanto, la enfermedad no se presenta con la misma intensidad en las diferentes zonas de producción de quinua (Bonifacio, 2001).

2.4. Resistencia genética

El método tradicional de control de mildiú en diferentes cultivos es la aplicación de fungicidas como metalaxyl (Ridomil®). Evidentemente, el uso de fungicidas presenta costos adicionales de producción y provoca desequilibrios en el medio ambiente (Danielsen y Ames, 2001). La resistencia genética ofrece la ventaja de ser menos costosa comparada al uso de fungicidas, seguro para el medio ambiente y asegurar una producción sostenible (Danielsen y Ames, 2001).

Estudios muestran que las fuentes de resistencia genética están disponibles pero los mecanismos genéticos de resistencia (horizontal frente a vertical) aún no han sido investigados. Sin embargo, se considera que la susceptibilidad al mildiú está relacionada con la duración del ciclo de crecimiento ya que los cultivares precoces parecen ser más

susceptibles (Bonifacio y Saravia, 1999).

Bonifacio (2001) señala que la resistencia genética contra la enfermedad no ha sido investigada en su totalidad, por lo que no se tiene un conocimiento cabal de las formas de resistencia.

La resistencia vertical ofrece una protección completa hacia cierta raza específica del patógeno, pero este tipo de resistencia tiende a perderse relativamente rápido debido a cambios en el patógeno (mutación, selección). La resistencia horizontal da una protección incompleta pero duradera y es efectiva contra las razas del patógeno (Danielsen y Ames, 2000).

2.5. Mutación

Según De Vries (1909) el concepto de mutación se entiende como un cambio heredable repentino en el material genético que no puede justificarse a través de la segregación o la recombinación. El fitotécnico hace uso de la variabilidad genética para seleccionar los caracteres más adecuados. Las mutaciones radio inducidas y otros mutágenos constituyen para el fitotécnico un medio de alterar los genes y de crear esa variabilidad genética. Las técnicas para la inducción de mutaciones se conocen desde hace 50 años, pero solo en los últimos 15 años han llegado a aceptarse dichas técnicas como un instrumento valioso para la mejora de la producción agrícola. Actualmente, los fitotécnicos crean un número creciente de variedades para su cultivo por los agricultores y horticultores (Micke, 1981).

Las mutaciones génicas son alteraciones permanentes en el material genético, es un proceso por el cual los genes pasan de una forma alélica a otra (Micke, 1999). La inducción de mutaciones ha resultado ser un método eficaz para lograr variaciones dentro de un tipo de cultivo, ya que ofrece la posibilidad de inducir características deseadas que no se pueden hallar en la naturaleza o se han perdido durante el proceso evolutivo. Cuando los fitogenetistas no encuentran en el banco de genes de que disponen, un gen, o genes, resistente a una enfermedad en particular o tolerante a los cambios del medio ambiente, no tienen otra opción evidente sino tratar de inducir la mutación (Suárez, 2006). Este método se basa en el principio de que se pueden aumentar la proporción de mutaciones exponiendo plantas o

semillas a las radiaciones. La mutación ocurre en el tejido somático y afecta solamente a partes específicas de la planta. Es así que, la irradiación de semillas con rayos gamma puede coadyuvar a acelerar el proceso de variabilidad y además, produce cambios en los caracteres genéticos hereditarios de las plantas (Blumenschein, 1972).

Muchos cultivares mutantes de plantas propagadas por semilla, son de alto rendimiento. En China, cultivares exitosos basados en mutantes se siembran en millones de hectáreas. En Checoslovaquia, casi toda la cebada maltera es producida sobre la base de cultivares obtenidos por mutaciones (Maluszynski *et al.*, 2000).

Actualmente más de 3000 mutantes de más de 200 especies han sido desarrollados a nivel mundial (IAEA, 2018). Además de ello un número alto de líneas mutantes avanzadas son empleadas en programas de mejoramiento genético (Maluszynski *et al.*, 2009). Este número alto de variedades y líneas avanzadas demuestran la eficiencia de la técnica empleando diferentes tipos de mutágenos. Se han logrado cambios morfológicos, resistencia al acame, reducción de ciclos de vida, adaptación a la cosecha mecanizada, altos niveles de proteína u otros compuestos, resistencia a enfermedades y plagas y tolerancia a la sequía y sales; Además de ello la mayoría han sido seleccionadas por un buen comportamiento agronómico superior al de las variedades comerciales en uso (Adamu y Aliyu, 2007; Tomlekova, 2010, 2010; Hamid *et al.*, 2006).

2.5.1. Tipos de mutaciones

Según Poehlman *et al.* (1965), la mutación espontánea es aquella que ocurre en la naturaleza, mientras que una mutación inducida es la que resulta de la acción de un agente mutagénico o mutágeno. El tratamiento con agentes mutagénicos altera los genes o divide los cromosomas. La mutación de genes ocurre de forma natural como un error en la reproducción del ácido desoxirribonucleico (ADN). Algunos de estos tipos de error pueden subsanarse, pero otros pueden pasar a la próxima división de la célula y establecerse en el retoño de la planta como mutaciones espontáneas (Novak y Brunner, 1992).

Las mutaciones se pueden clasificar según su origen y según el tejido que afectan. Aquellas clasificadas según su origen son dos: las espontáneas (errores en la replicación o lesiones) y

las inducidas (con agentes mutagénicos químicos y físicos) y según el tejido que afectan, pueden ser somáticas o germinales (Micke, 1999).

2.5.1.1. Agentes químicos

Los agentes mutágenos químicos son numerosos y continuamente se están incrementando. Sin embargo, para los propósitos de mejoramiento en plantas cultivadas sólo algunos pocos son realmente útiles. La mayoría de los agentes mutagénicos químicos pertenecen al grupo de los agentes alquilantes y dentro de ellos se pueden señalar los siguientes: etil metano sulfonato (EMS), sulfato de dietilo (DES) y los compuestos nitrosos como N-metil-N-nitrosourea (MNH) (Suárez, 2006).

El etil metano sulfonato (EMS): es un agente alquilante que puede transferir radicales etilos a la guanina, causando que se produzca un apareamiento erróneo con timina en lugar de citosina durante la duplicación del ADN.

2.5.1.2. Agente físico

Almeida Arteaga (2009) señala que las radiaciones inductoras de mutaciones son de dos clases: ionizantes y no ionizantes. Las radiaciones ionizantes de primordial interés para el fitomejoramiento son las radiaciones beta y gamma de sustancias radiactivas, rayos x y neutrones. La única radiación genéticamente efectiva que se conoce a la fecha, es la luz ultravioleta. Las radiaciones ionizantes producen efectos a nivel celular, tales como alteraciones en los genes, alteraciones en los cromosomas (roturas cromosómicas y translocaciones), alteraciones en las enzimas y hormonas.

III. METODOLOGÍA

3.1. Ubicación

La investigación en fase de casa de mallas, campo y laboratorio se realizó en el Programa de Investigación de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

3.2. Manejo agronómico

Se siguió el procedimiento descrito en el protocolo “Guía de Cultivo de la Quinoa” (Gómez y Aguilar, 2016). La fecha en la que se realizó la siembra fue el 26 de julio de 2016.

3.3. Materiales

3.3.1. Material genético

Semillas de quinoa de la variedad Amarilla de Maranganí tratadas con rayos gamma en las dosis de 150 y 250 Gray en el Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN); seleccionadas en forma masal de la generación M₂. Se denomina población M₃.

La variedad Amarilla Maranganí es originaria de Maranganí (Cusco), seleccionada por el Centro de Investigación de Cultivos Andinos (CICA) de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco (UNSAAC). Según Mujica *et al.* (2001), Apaza *et al.* (2013), y Gómez y Aguilar (2016) presenta un periodo vegetativo de 180 a 210 días, posee un alto potencial de rendimiento, superando los 3500 Kg/ha y posee resistencia al mildiú (*Peronospora variabilis*). Por estos atributos mencionados de rendimiento y resistencia al mildiú se usó líneas mutantes de quinoa de la variedad Amarilla de Maranganí.

3.3.2. Materiales de campo

- Libreta y registros de campo
- Insumos: compost, tierra de chacra, fertilizantes y pesticidas
- Bandejas de polietileno de 104 celdas y 6 cm.
- Fuentes de plástico
- Zarandas
- Carteles
- Marcadores (mondadientes y palitos de chupete)
- Bolsa de papel Kraft
- Lápiz e indelebles
- Manguera
- Carretilla

3.3.3. Equipos y herramientas de campo

- Bomba de mochila
- Lampas
- Casa de Mallas con sistema de nebulización

3.3.4. Equipo de Laboratorio

- Balanza eléctrica
- Balanza de precisión

3.4. Metodología

3.4.1. FASE I: Casa de Mallas

Se sembró los granos de quinua en bandejas de polietileno con perforaciones establecidas para plántulas y con una alta densidad para favorecer el desarrollo de microclima. Se empleó una mezcla de tierra y compost desinfectado. Se sembraron en forma similar bandejas con la variedad testigo sin irradiar.

Se lograron 179419 plántulas. De este total 92118 plántulas provienen de material irradiado con rayos gamma a 150 Gy y 87301 irradiadas con 250 Gy de rayos gamma.

Las plántulas fueron regadas frecuentemente con agua enriquecida con fertilizantes para medio hidropónico con el objeto de favorecer el desarrollo vegetativo y la formación de un microclima favorable para el desarrollo de la enfermedad de mildiú (Figuras 2 y 3).



Figura 2: Plántulas de quinua en Generación M₃ en Casa de Mallas La Molina

Cuando las plántulas alcanzaron la fase fenológica cuatro hojas verdaderas, se inició la evaluación de respuesta al mildiú. La infección con el seudohongo fue natural.

La distribución del Material Genético en la Casa de Mallas se presenta en la Figura 3.

Dosis 250 Gy.						Testigo					
168	167	166	165	164	163	6	5	4	3	2	1
157	158	159	160	161	162	7	8	9	10	11	12
156	155	154	153	152	151	18	17	16	15	14	13
145	146	147	148	149	150	19	20	21	22	23	24
Dosis 150 Gy.						Dosis 150 Gy.					
144	143	142	141	140	139	6	5	4	3	2	1
133	134	135	136	137	138	7	8	9	10	11	12
132	131	130	129	128	127	18	17	16	15	14	13
121	122	123	124	125	126	19	20	21	22	23	24
120	119	118	117	116	115	30	29	28	27	26	25
109	110	111	112	113	114	31	32	33	34	35	36
108	107	106	105	104	103	42	41	40	39	38	37
97	98	99	100	101	102	43	44	45	46	47	48
96	95	94	93	92	91	54	53	52	51	50	49
85	86	87	88	89	90	55	56	57	58	59	60
84	83	82	81	80	79	66	65	64	63	62	61
73	74	75	76	77	78	67	68	69	70	71	72
72	71	70	69	68	67	78	77	76	75	74	73
61	62	63	64	65	66	79	80	81	82	83	84
60	59	58	57	56	55	90	89	88	87	86	85
49	50	51	52	53	54	91	92	93	94	95	96
48	47	46	45	44	43	102	101	100	99	98	97
37	38	39	40	41	42	103	104	105	106	107	108
36	35	34	33	32	31	114	113	112	111	110	109
25	26	27	28	29	30	115	116	117	118	119	120
24	23	22	21	20	19	126	125	124	123	122	121
13	14	15	16	17	18	127	128	129	130	131	132
12	11	10	9	8	7	138	137	136	135	134	133
1	2	3	4	5	6	139	140	141	142	143	144

Figura 3: Distribución de bandejas con el Material Genético

3.4.2. FASE II: Canteros

- 1.- Las plántulas con 4 a 6 hojas verdaderas seleccionadas con severidad máxima de 10% fueron trasplantadas a canteros con un sustrato similar al empleado en las bandejas (Figura 4). En esta fase, igualmente se trasplantaron plántulas del testigo sin irradiar.
- 2.- Se mantuvieron las plantas individuales hasta la madurez procediéndose a su cosecha en forma separada.

3.- Las parcelas fueron regadas frecuentemente para lograr un ambiente de alta humedad que favorezca el desarrollo vegetativo exuberante de las plantas y la infección natural del pseudohongo del mildiú.

4.- Se evaluaron las plantas por su respuesta al mildiú empleando la escala de Danielsen y Ames (2000), en forma similar al realizado con las plántulas en la casa de mallas con el objeto de identificar y seleccionar plantas con resistencia al mildiú.

5.- Las plantas resistentes fueron evaluadas por caracteres agronómicos y de calidad.

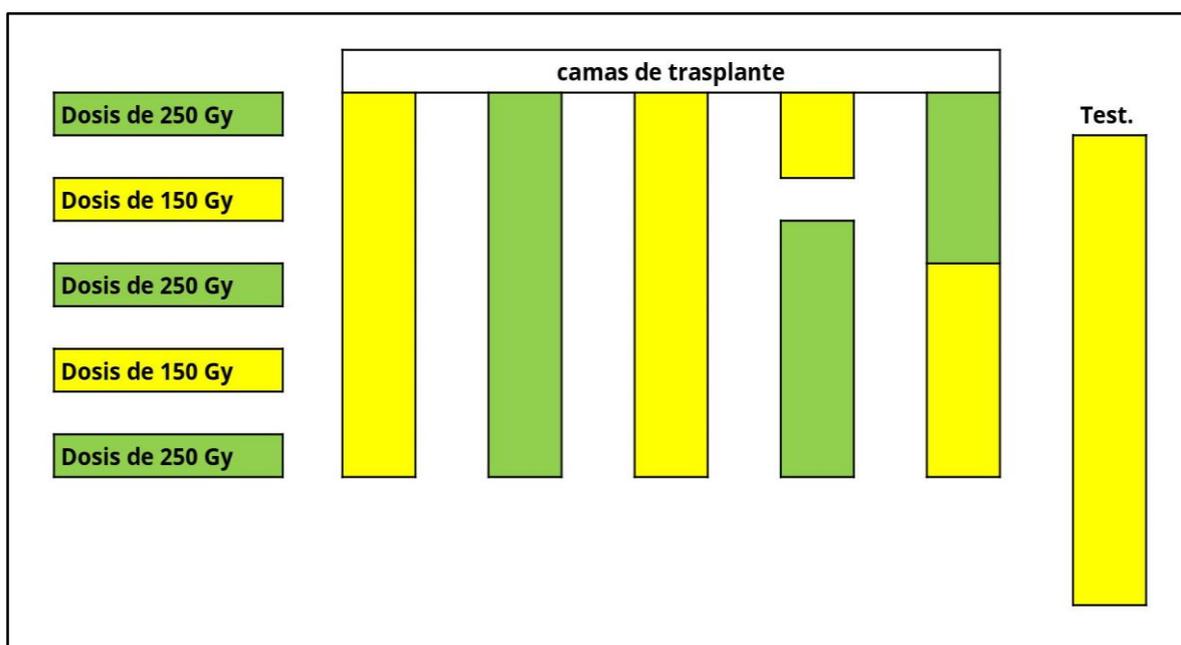


Figura 4: Croquis de distribución de plantas trasplantadas en cancheros

3.4.3. Evaluaciones

3.4.3.1. Severidad de la enfermedad de Mildiú

Se empleó el procedimiento descrito como Protocolo 10 en Danielsen y Ames (2000):

1. De cada planta se escoge 3 hojas al azar, una de cada tercio.
2. Se evaluó el porcentaje de área afectada de cada hoja usando la escala de la 5. El promedio de las tres lecturas equivale al valor de la severidad (área foliar con síntomas) de cada planta.

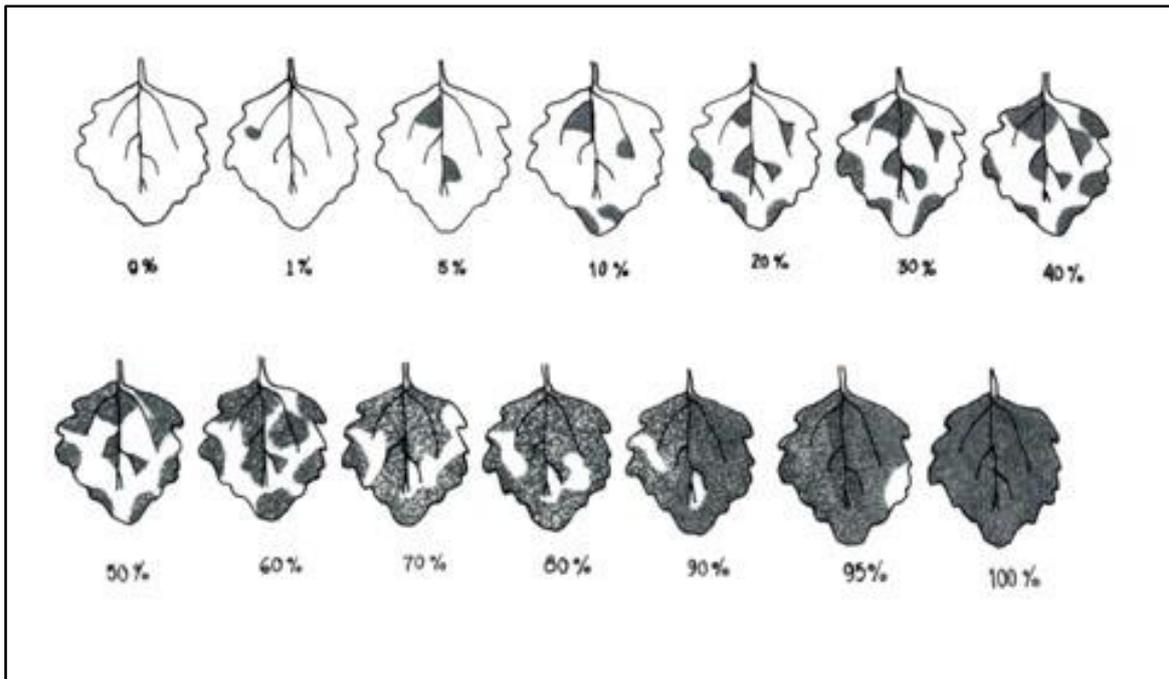


Figura 5: Índice de esporulación para determinar susceptibilidad o resistencia al mildiú.

Con el valor determinado se clasificaron las plantas con la escala propuesta en la Tabla 4.

Tabla 4: Escala de evaluación de la reacción a mildiú (*Peronospora farinosa f.sp. chenopodii*) en hojas primarias de quinua (*Chenopodium quinoa*)

Escala	Hoja infectada (%)	Clase
0	0	Inmune
1	0 – 10	Muy resistente
2	11 - 25.	Moderadamente resistente
3	26 – 50	Moderadamente susceptible
4	51 – 100	Muy susceptible

Fuente: Danielsen y Ames 2000)

3.4.3.2. Área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE)

En las plantas de los canteros, seleccionadas por su “probable resistencia”, se realizaron tres evaluaciones durante el ciclo de vida. Los valores de severidad fueron empleados para calcular el valor del área bajo la curva de progreso de la enfermedad (ABCPE), en inglés “*area under disease progress curve*” (AUDPC) que es un parámetro útil para comparar

resistencia/susceptibilidad entre diferentes genotipos de quinua y el comportamiento de los genotipos bajo diferentes ambientes climáticos.

La fórmula es:

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

Donde “n” es el número de evaluaciones, “y” es la severidad y “t” es el número de días después de la siembra en que se hace la evaluación. Se incluye (t, y) = (0, 0) como la primera evaluación.

3.4.3.3. Evaluación de caracteres agronómicos y color de granos

1. Rendimiento (g/planta): el rendimiento de grano se determinó a nivel de planta individual seleccionada de acuerdo a su tolerancia a la enfermedad, de moderada susceptibilidad a plantas resistentes.
2. Altura de planta (cm): se tomó la altura de la planta seleccionada un día antes de iniciar la cosecha, con una regla graduada desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja.
3. Días a la floración (días): número de días transcurridos desde la fecha de siembra con humedad adecuada hasta que el 50% de las flores de la inflorescencia de la planta presentaron flores abiertas con anteras visibles.
4. Días a la maduración (días): número de días transcurridos desde la fecha de siembra con humedad adecuada hasta que el 50% de los granos de la inflorescencia tuvieran el estado de grano pastoso rayable con la uña.
5. Color de granos (escala): empleando la tabla de colores para tejidos vegetales se determinó el color del pericarpio (envoltura del fruto) y del episperma (envoltura de la semilla).

Caracterización morfológica

Se empleó los descriptores de quinua desarrollados por (Bioversity International *et al.*, 2013) y la escala de Colores del Royal Horticultural Society de Inglaterra (Chart, 1966). La descripción de plantas incluyó 14 características.

3.5. Diseño experimental

El material genético se sembró y estudió bajo un sistema de parcelas de observación, sin repeticiones. Las parcelas experimentales tuvieron un tamaño de 4 metros de largo, la distancia entre surcos fue de 0.8 m y el número de surcos fue variable por progenie, debido a la cantidad de semillas que se disponían. Se dejó un surco libre entre parcelas.

3.6. Análisis de datos

La información colectada de la caracterización morfológica, agronómica, respuesta a mildiú y de calidad de las plantas seleccionadas en la población M₃ de cada dosis fueron digitados en una base de datos Excel.

Se realizó determinó el grado de variabilidad de la población y fue medida a través del programa NTSYSpc 2.1 (Numerical Taxonomy System) (Exeter Software, 2018).

Se construyó dos matrices:

La primera matriz en función a características morfológicas de tipo cualitativos tales como: color de tallo, color de estrías, color de axilas, forma de hoja del tallo, forma de hoja de panojas, borde de hojas, número de dientes, color de peciolo de hoja, color de la lámina foliar, color de la panoja a la floración, forma de la panoja, densidad de la panoja y color del fruto (episperma y pericarpio).

La segunda matriz se hizo de acuerdo a caracteres agronómico, en las cuales se incluyó: días a la floración, días a la maduración, altura de planta, rendimiento de planta y porcentaje de mildiú.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados y discusiones serán presentados en función a los objetivos planteados en el presente trabajo de investigación.

4.1. Datos meteorológicos

La información meteorológica de las variables temperatura y humedad relativa durante el desarrollo de los experimentos fue obtenida de la Estación meteorológica Von Humboldt, localizada en el campus de la Universidad Nacional Agraria la Molina (UNALM).

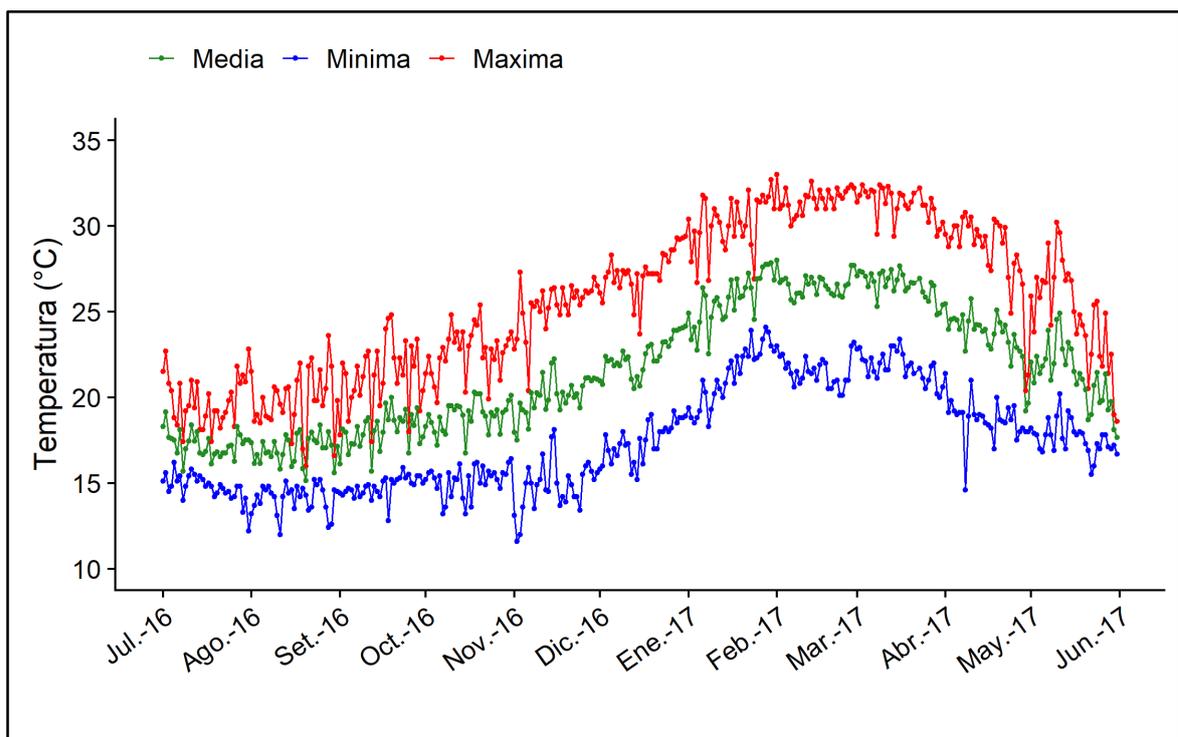


Figura 6: Condiciones meteorológica para la variable temperatura (°C) de Julio 2016 a Junio 2017.

Fuente: Estación meteorológica Von Humboldt, UNALM

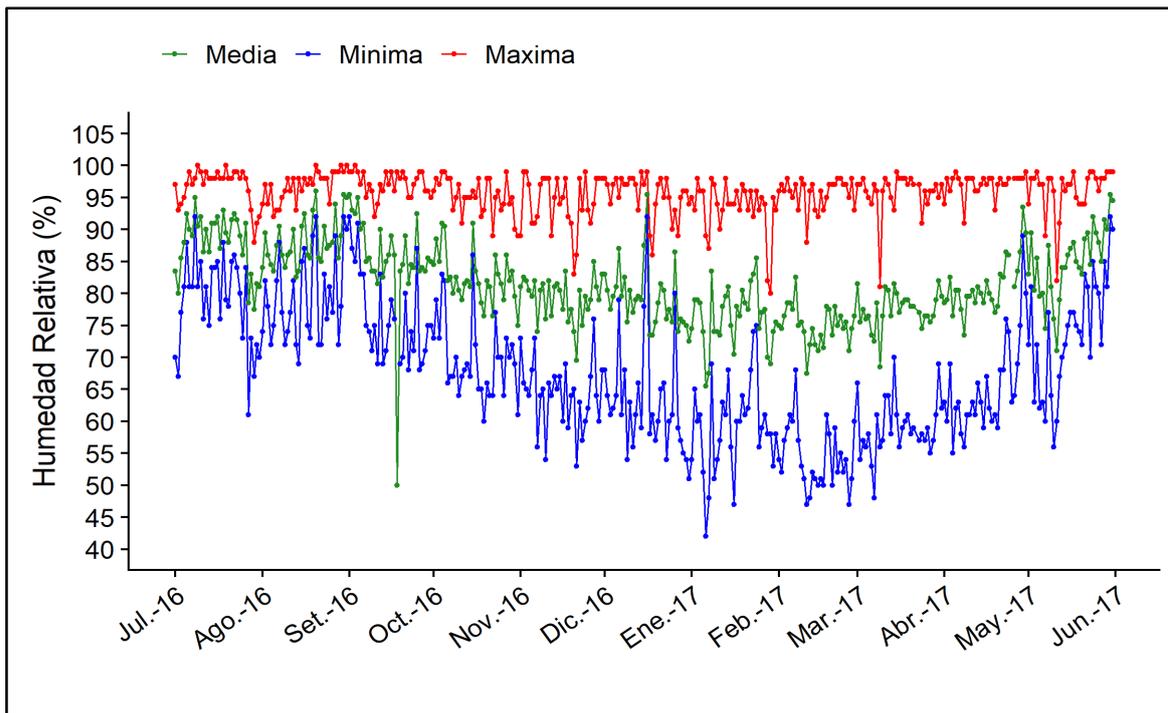


Figura 7: Condiciones meteorológica para la variable humedad relativa (%) de Julio 2016 a Junio 2017.

Fuente: Estación meteorológica Von Humboldt, UNALM.

Los datos meteorológicos durante el ciclo del cultivo para el caso de temperatura media fueron de 21.1°C, siendo que las mayores temperaturas registradas fueron de 33°C y la mínima de 11.6°C, Figura 6. En cuanto a la humedad relativa media fue de 82.9% llegando a valores máximos de 100% y valores mínimos de 42%, Figura 7.

4.2. Objetivo 1

Identificación de plantas con resistencia a la enfermedad del mildiú en una población M₃ de quinua proveniente de radiación de la semilla a dosis de 150 y 250 Gy.

La respuesta de una población M₃ de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Var. Amarilla Maranganí a la enfermedad del mildiú (*Peronospora variabilis*) en condiciones de la Molina, se realizó siguiendo el esquema presentado en la Figura 8. Se evaluaron en total 179 419 plántulas, de las cuales 92118 plántulas fueron obtenidas de semillas irradiadas con la dosis de 150 Gy y 87 301 de semillas irradiadas con 250 Gy. De este total se seleccionaron 1614 plántulas las cuales fueron trasplantadas en canteros y fueron evaluadas durante todo el ciclo de vida por la respuesta al mildiú y caracteres agronómicos. De este total se seleccionaron 44 plantas con resistencia y valor agronómico. Al final del ciclo de cultivo, las plantas

seleccionadas fueron clasificadas de acuerdo a la escala de Danielsen y Ames (2000), en moderadamente resistentes con valores de severidad de 16.67 a 23.3% y moderadamente susceptibles con valores de severidad de 26.67 a 30%. El testigo y las demás plantas tuvieron valores de severidad de 40 a 90%. En las Tablas 5 y 6 se presentan los valores de severidad promedio de tres lecturas durante el ciclo de vida de las plantas. En la Tabla 7 se presenta la frecuencia de mutación para este tipo de población bajo condiciones del cultivo. Se puede apreciar que la mayor parte de los mutantes y el de menor severidad o menor área con los síntomas de la enfermedad fueron hallados en la dosis de 250 Gray.

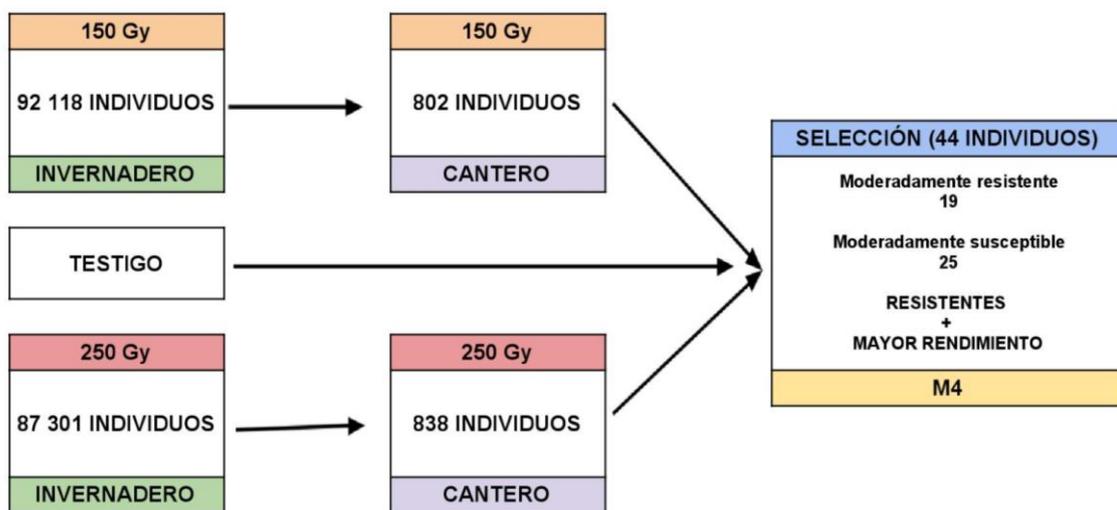


Figura 8: Proceso de selección de plantas con resistencia a mildiú (*Peronospora variabilis*) y mayor potencial de rendimiento en una población M₃ de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Var. Amarilla Maranganí desarrollada por irradiación con rayos gamma.

Tabla 5: Porcentaje de severidad de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) en plantas mutantes M_3 moderadamente resistentes, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.

Genotipo	Dosis Rayos Gamma	Severidad (%)	Escala (Danielsen y Ames, 2000)
80	150	23.33	Moderadamente resistente
183	150	23.33	Moderadamente resistente
90	150	23.33	Moderadamente resistente
1447	250	20.00	Moderadamente resistente
1762	250	20.00	Moderadamente resistente
1451	250	20.00	Moderadamente resistente
1156	250	23.33	Moderadamente resistente
1106	250	23.33	Moderadamente resistente
1453	250	23.33	Moderadamente resistente
1808	250	23.33	Moderadamente resistente
1330	250	23.33	Moderadamente resistente
1119	250	23.33	Moderadamente resistente
1242	250	21.67	Moderadamente resistente
1441	250	21.67	Moderadamente resistente
1438	250	21.67	Moderadamente resistente
1112	250	16.67	Moderadamente resistente
1133	250	23.33	Moderadamente resistente
1391	250	18.33	Moderadamente resistente
1056	250	23.33	Moderadamente resistente

Tabla 6: Porcentaje de severidad de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) en plantas mutantes M_3 moderadamente susceptible, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.

Genotipo	Dosis Rayos Gamma	Severidad (%)	Escala (Danielsen y Ames, 2000)
756	150	26.67	Moderadamente susceptible
231	150	33.33	Moderadamente susceptible
24	150	30.00	Moderadamente susceptible
745	150	26.67	Moderadamente susceptible
112	150	26.67	Moderadamente susceptible
779	150	26.67	Moderadamente susceptible
289	150	26.67	Moderadamente susceptible
435	150	30.00	Moderadamente susceptible
1006	250	30.00	Moderadamente susceptible
1875	250	30.00	Moderadamente susceptible
1450	250	28.33	Moderadamente susceptible
1439	250	30.00	Moderadamente susceptible
1848	250	26.67	Moderadamente susceptible
1064	250	26.67	Moderadamente susceptible
1369	250	26.67	Moderadamente susceptible
1231	250	26.67	Moderadamente susceptible
1610	250	30.00	Moderadamente susceptible
1800	250	26.67	Moderadamente susceptible
1210	250	26.67	Moderadamente susceptible
1071	250	30.00	Moderadamente susceptible
1428	250	26.67	Moderadamente susceptible
1764	250	30.00	Moderadamente susceptible
1859	250	30.00	Moderadamente susceptible
1674	250	26.67	Moderadamente susceptible
1105	250	30.00	Moderadamente susceptible

Tabla 7: Frecuencia de mutación de la respuesta al mildiú (*Peronospora variabilis*) en plantas mutantes M_3 moderadamente resistentes y moderadamente susceptibles, seleccionadas de una población desarrollada de la variedad Amarilla Maranganí con la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma, en condiciones de infección natural. La Molina- 2016.

Grado de Resistencia	Dosis Rayos Gamma	N° Total de Plantas evaluadas	N° de plantas resistentes	Frecuencia de mutación (%)
Moderadamente resistente	150 Gray	92118	3	0.0033
Moderadamente resistente	250 Gray	87301	16	0.0183
Moderadamente susceptible	150 Gray	92118	8	0.0087
Moderadamente susceptible	250 Gray	87301	17	0.0195

La enfermedad del mildiú ocasionado por *Peronospora variabilis* requiere humedad relativa mayor a 80 por ciento y temperaturas entre 15 y 25°C para producir la enfermedad (Alandia *et al.*, 1979; Danielsen y Ames, 2000). Las condiciones en la que se desarrolló el presente trabajo fueron favorables para el desarrollo del patógeno. Las temperaturas variaron de 11.6 a 33°C y la humedad de 42 a 100% siendo el valor promedio de 82.9% durante el ciclo del cultivo. La enfermedad alcanzó valores de severidad de 80 y 90%.

Considerando los valores de severidad de las 44 plantas seleccionadas, se puede asumir que la resistencia de las plantas mutantes es de tipo cuantitativa. Danielsen y Ames (2000), señalan que dentro del germoplasma de quinua existe una amplia variabilidad en la respuesta a la infección por mildiú, desde alta susceptibilidad a resistencia, pero hasta ahora no se conoce la base genética de esta resistencia, ni si es controlada por genes mayores (resistencia vertical) o por genes menores (resistencia horizontal).

La resistencia vertical ofrece una protección completa hacia ciertas razas del patógeno, pero este tipo de resistencia tiende a romperse relativamente rápido debido a cambios en el patógeno (mutación, selección) (Danielsen y Ames, 2008). La resistencia horizontal da una

protección incompleta pero duradera y es efectiva contra todas las razas del patógeno (Danielsen y Ames, 2000).

Según Dixit (2015), la mejora de las plantas por inducción de mutaciones no entraña la modificación de los genes, sino que utiliza el propio material genético de la planta y emula el proceso natural de mutación espontánea, que es el motor de la evolución y que de otro modo operaría a una escala de millones de años. Permitiendo validar una nueva variedad para su uso en un tiempo récord.

4.2.1. Análisis del Área Bajo la Curva de Progreso de la Enfermedad (ABCPE)

En la Tabla 8 se presenta la información de los valores hallados del ABCPE para las plantas mutantes calificadas como moderadamente resistentes, moderadamente susceptibles y para plantas del testigo referencial considerado como susceptible.

La primera evaluación fue realizada a los 92 días después de la siembra. El grupo *moderadamente resistente* tuvo un rango de ABCPE de 240 a 1840, el grupo *moderadamente susceptible*, el rango de ABCPE fue igual a 460 – 1840 y el grupo susceptible de 920 a 2760. La segunda evaluación de ABCPE fue realizada a los 108 días después de la siembra. El grupo *moderadamente resistente* tuvo un rango de ABCPE de 240 a 480, el grupo *moderadamente susceptible*, el rango de ABCPE fue igual a 320 – 560 y el grupo susceptible de 720 a 960.

La tercera evaluación fue realizada a los 123 días después de la siembra. El grupo *moderadamente resistente* tuvo un rango de ABCPE de 187.5 a 450, el grupo *moderadamente susceptible*, el rango de ABCPE fue igual a 300 a 525 y el grupo susceptible de 900 a 1125.

Los valores del cálculo de ABCPE (De Mendiburu, 2019) se observa valores menores para las líneas moderadamente resistentes, menor a 600, mientras que las líneas moderadamente susceptibles y los testigos presentan valores de ABCPE altos, mayores a 2800. Las evaluaciones individuales muestran una correlación positiva con el cálculo del ABCPE total y la selección de las líneas.

Tabla 8: Valores de Área Bajo la Curva del Progreso de la Enfermedad (ABCPE) de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) en plantas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa*) obtenidas en tres evaluaciones realizadas en La Molina. Campaña 2016-2017

Resistencia	Planta Mutante	Dosis Rayos Gamma	Mildiú % Severidad	ABCPE (1)	ABCPE (2)	ABCPE (3)	ABCPE
Moderadamente Resistente	80	150	23.33	460	400	450.0	855.0
Moderadamente Resistente	183	150	23.33	460	240	225.0	582.5
Moderadamente Resistente	90	150	23.33	920	480	375.0	1127.5
Moderadamente Resistente	1447	250	20.00	1380	320	225.0	1122.5
Moderadamente Resistente	1762	250	20.00	460	240	375.0	657.5
Moderadamente Resistente	1451	250	20.00	1380	400	225.0	1202.5
Moderadamente Resistente	1156	250	23.33	1380	320	300.0	1160.0
Moderadamente Resistente	1106	250	23.33	460	400	450.0	855.0
Moderadamente Resistente	1453	250	23.33	1380	400	300.0	1240.0
Moderadamente Resistente	1808	250	23.33	460	320	450.0	775.0
Moderadamente Resistente	1330	250	23.33	920	320	375.0	967.5
Moderadamente Resistente	1119	250	23.33	920	400	375.0	1047.5
Moderadamente Resistente	1242	250	21.67	1380	480	262.5	1301.2
Moderadamente Resistente	1441	250	21.67	1380	360	262.5	1181.2
Moderadamente Resistente	1438	250	21.67	1840	360	187.5	1373.8
Moderadamente Resistente	1112	250	16.67	460	240	300.0	620.0
Moderadamente Resistente	1133	250	23.33	920	400	375.0	1047.5

«continuación»

Moderadamente Resistente	1391	250	18.33	1380	400	187.5	1183.8
Moderadamente Resistente	1056	250	23.33	460	400	450.0	855.0
Moderadamente susceptible	756	150	26.67	920	320	450.0	1005.0
Moderadamente susceptible	231	150	33.33	1840	640	450.0	1785.0
Moderadamente susceptible	745	150	26.67	920	400	450.0	1085.0
Moderadamente susceptible	112	150	26.67	920	480	450.0	1165.0
Moderadamente susceptible	779	150	26.67	460	400	525.0	892.5
Moderadamente susceptible	289	150	26.67	1380	480	375.0	1357.5
Moderadamente susceptible	435	150	30.00	1840	480	300.0	1550.0
Moderadamente susceptible	1006	250	30.00	460	400	450.0	855.0
Moderadamente susceptible	1875	250	30.00	920	400	525.0	1122.5
Moderadamente susceptible	1450	250	28.33	1380	360	412.5	1256.2
Moderadamente susceptible	1439	250	30.00	1840	560	375.0	1667.5
Moderadamente susceptible	1848	250	26.67	1840	480	300.0	1550.0
Moderadamente susceptible	1064	250	26.67	1380	560	375.0	1437.5
Moderadamente susceptible	1369	250	26.67	1380	400	375.0	1277.5
Moderadamente susceptible	1231	250	26.67	1840	480	300.0	1550.0
Moderadamente susceptible	1610	250	30.00	920	560	525.0	1282.5
Moderadamente susceptible	1800	250	26.67	1380	400	375.0	1277.5
Moderadamente susceptible	1210	250	26.67	1380	480	375.0	1357.5

«continuación»

Moderadamente susceptible	1071	250	30.00	1840	640	375.0	1747.5
Moderadamente susceptible	1428	250	26.67	1380	400	375.0	1277.5
Moderadamente susceptible	1764	250	30.00	920	400	525.0	1122.5
Moderadamente susceptible	1859	250	30.00	920	400	525.0	1122.5
Moderadamente susceptible	1674	250	26.67	1380	480	375.0	1357.5
Moderadamente susceptible	1105	250	30.00	1380	560	450.0	1475.0
Testigos	2006	0	56.70	920	720	1125.0	1742.5
Testigos	2007	0	60.00	1840	800	1050.0	2245.0
Testigos	2008	0	60.00	2760	880	900.0	2710.0
Testigos	2009	0	56.70	1840	880	975.0	2287.5
Testigos	2015	0	66.70	2760	960	1050.0	2865.0
Testigos	2018	0	56.70	920	720	1125.0	1742.5
Testigos	2019	0	60.00	1840	800	1050.0	2245.0
Testigos	2020	0	60.00	2760	880	900.0	2710.0
Testigos	2027	0	66.70	2760	960	1050.0	2865.0
Testigos	2030	0	66.70	2760	960	1050.0	2865.0

Se puede apreciar que los valores de ABCPE fueron más altos en la primera fecha y disminuyendo a los 108 días y 123 días en general para todos los grupos evaluados. León (2003) y Risco Mendoza (2014) encontraron incrementos de la enfermedad en los tratamientos estudiados entre los 55 y 60 días; lo que no se observó en el presente experimento. Kumar *et al.* (2006) señala que el valor más alto de ABCPE fue observado a los 65 días en un estudio realizado en la India con diferentes genotipos de quinua. Todos estos autores señalan la posterior disminución de la intensidad de la enfermedad expresada en un menor ABCPE; lo que también fue observado en la presente investigación. Los valores ponderados de ABCPE muestran una correlación alta entre las fechas evaluadas, independientemente del intervalo de evaluación (Campbell y Madden, 1990) que con los programas estadísticos modernos permiten hacer los cálculos de forma más precisa (De Mendiburu, 2019).

La enfermedad se vio favorecida por las condiciones climáticas de los meses de Setiembre a Noviembre. Las temperaturas mínimas estuvieron en el rango de 13°C y las máximas 25°C. La humedad ambiental tuvo un rango de 70 a 100 por ciento para estos meses.

Alandia *et al.* (1979) indicó que el mildiú para su desarrollo requiere de humedad relativa mayor a 80 por ciento y temperatura entre 15 a 25 °C. Bonifacio (2001) indicó que el mildiú es favorecido por una humedad del ambiente alta y temperaturas relativamente frescas. Por otro lado, Kitz (2008) señala que niveles de baja humedad (60 a 70 por ciento) también favorecieron el desarrollo de la enfermedad.

4.3. Objetivo 2

Caracterización de plantas seleccionadas por su valor agronómico, y su resistencia al mildiú.

La selección final fue en base al grado de resistencia de las plantas mutantes, evaluadas durante el ciclo de vida de las mismas. Del total 1614 plantas evaluadas durante todo el ciclo de cultivo, 44 plantas fueron seleccionadas por su resistencia al mildiú con valor de severidad o área foliar cubierta por síntomas de 17 a 33%.

4.3.1. Caracterización Agronómica

En la Tabla 9 se presentan las características agronómicas de las 44 plantas seleccionadas. Se identificaron 12 plantas mutantes con 89 días a la floración, calificadas como precoces para floración al compararlas con el testigo que florea a los 103 días y la variación en floración fue de 89 a 108 días. Para maduración igualmente se identificaron 12 mutantes precoces con 165 días, el testigo con 181 días y el rango de 165 a 196 días. La reducción en días de floración y/o maduración son muy importantes debido al requerimiento de variedades precoces, las cuales están menos expuestas a los estreses climáticos, los cuales reducen significativamente el rendimiento (Gómez Pando y la Barra, 2013). Valenzuela (2018) trabajando con una población M₃ de la variedad Amarilla de Maranganí informa una frecuencia de mutación para precocidad de 1.1803 para la dosis de 150Gy y de 3.2855 para la dosis de 250 Gy.

Para altura de planta una variación de 110 -230 cm, el testigo con 172 cm y se seleccionaron seis plantas con altura menor a 136 cm. La reducción de altura reduce los problemas de acame o tumbado que son negativos ya que afectan el rendimiento y la calidad.

Para rendimiento de planta se encontró un rango de 46 a 264 g., el testigo con 75 g. y tres plantas mutantes con rendimientos superiores a 100 g. Apaza *et al.* (2013), informa un rendimiento de grano por planta promedio de 85 a 97 g.

Wani *et al.* (2012), observó en un experimento de mutagénesis con rayos gamma y EMS y una combinación de ambos en garbanzo (*Cicer arietinum* L.), mutantes enanos, altos, ancho de hojas, de flores blancas y mutantes de alto rendimiento en la M₂ y la mayoría de las mutaciones se confirmaron como verdaderos en la Generación M₃.

Tabla 9: Características agronómicas de plantas mutantes de quinua desarrolladas a partir de la variedad Amarilla de Maranganí mediante la aplicación de rayos gamma seleccionadas por su resistencia al mildiú (*Peronospora variabilis*) en condiciones de La Molina 2016-2017

N° Planta Mutante	Días a la floración	Días a la maduración	Altura planta (cm)	Rendimiento planta (g)	Mildiú (%)
Planta-24	108	196	120	78.77	30.0
Planta-80	108	196	190	94.77	23.3
Planta-90	108	196	180	67.83	23.3
Planta-112	108	196	230	68.38	26.7
Planta-183	108	196	190	68.55	23.3
Planta-231	108	196	180	117.23	33.3
Planta-289	100	176	158	55.87	26.7
Planta-435	100	176	135	63.21	30.0
Planta-745	89	165	145	74.60	26.7
Planta-756	89	165	157	263.89	26.7
Planta-779	89	165	167	65.25	26.7
Planta-1006	108	196	180	107.05	30.0
Planta-1056	108	196	145	53.17	23.3
Planta-1064	108	196	150	75.59	26.7
Planta-1071	108	196	140	68.46	30.0
Planta-1105	108	196	195	60.18	30.0

«continuación»

Planta-1106	108	196	167	73.39	23.3
Planta-1112	108	196	140	53.13	16.7
Planta-1119	108	196	155	63.92	23.3
Planta-1133	108	196	195	52.71	23.3
Planta-1156	100	176	128	64.68	23.3
Planta-1210	100	176	164	62.57	26.7
Planta-1231	100	176	159	66.16	26.7
Planta-1242	100	176	170	61.56	21.7
Planta-1330	100	176	182	61.33	23.3
Planta-1369	100	176	150	67.48	26.7
Planta-1391	100	176	164	46.06	18.3
Planta-1428	100	176	170	58.32	26.7
Planta-1438	100	176	159	53.26	21.7
Planta-1439	100	176	166	87.82	30.0
Planta-1441	100	176	175	56.33	21.7
Planta-1447	100	176	163	94.59	20.0
Planta-1450	100	176	190	86.30	28.3
Planta-1451	100	176	174	74.64	20.0
Planta-1453	100	176	188	63.22	23.3
Planta-1610	98	165	175	77.43	30.0
Planta-1674	98	165	134	56.99	26.7
Planta-1762	89	165	195	77.08	20.0
Planta-1764	89	165	136	63.18	30.0
Planta-1800	89	165	165	62.40	26.7
Planta-1808	89	165	110	64.11	23.3
Planta-1848	89	165	160	69.31	26.7
Planta-1859	89	165	165	61.89	30.0
Planta-1875	89	165	165	98.89	30.0
AMaranganí (T)	103	181	172	51.75	70.0

4.3.2. Caracterización morfológica

En las 44 plantas evaluadas se observó variación o mutaciones en algunas características morfológicas originadas por la aplicación de 150 y 250 Gray de rayos gamma. El material original es la variedad Amarilla de Maranganí originaria de Maranganí (Cusco), seleccionada por CICA-UNSAC. Sus características originales se describen a continuación y para identificar las diferencias entre plantas de la población inducida:

4.3.2.1. Características del tallo

De las 44 plantas 19 presentan color purpura claro y 25 son de color verde y la variedad tiene un color verde oscuro característico. 13 plantas presentaron estrías de color amarillo, 9 de color verde claro y 22 purpuras. El material original presenta estrías de color purpura. Otra característica relacionada a la morfología del tallo es la presencia o ausencia de axilas coloreadas, el material original presenta y axilas pigmentadas de color púrpura y se identificaron 20 plantas sin color en las axilas (Figura 9).

Gómez Pando (2014), indica una frecuencia de mutación de 0.2002 por ciento para el color de estrías y de 0.0456 por ciento para color de axilas, para un total de 50,450 plantas de una población M₂ de quinua variedad La Molina 89, irradiada a 150 Gy de radiación gamma. Valenzuela (2018) reporta para la variedad Amarilla de Maranganí, una frecuencia de 1.2335 por ciento para color de estrías y de 1.25348 para color de axilas en 10052 plantas con una dosis de 150 Gy y una frecuencia de 1.9431 por ciento para color de estrías y de 1.87798 por ciento para color de axilas en la dosis de 250 Gy en una población de 9212 plantas en la generación M₃.

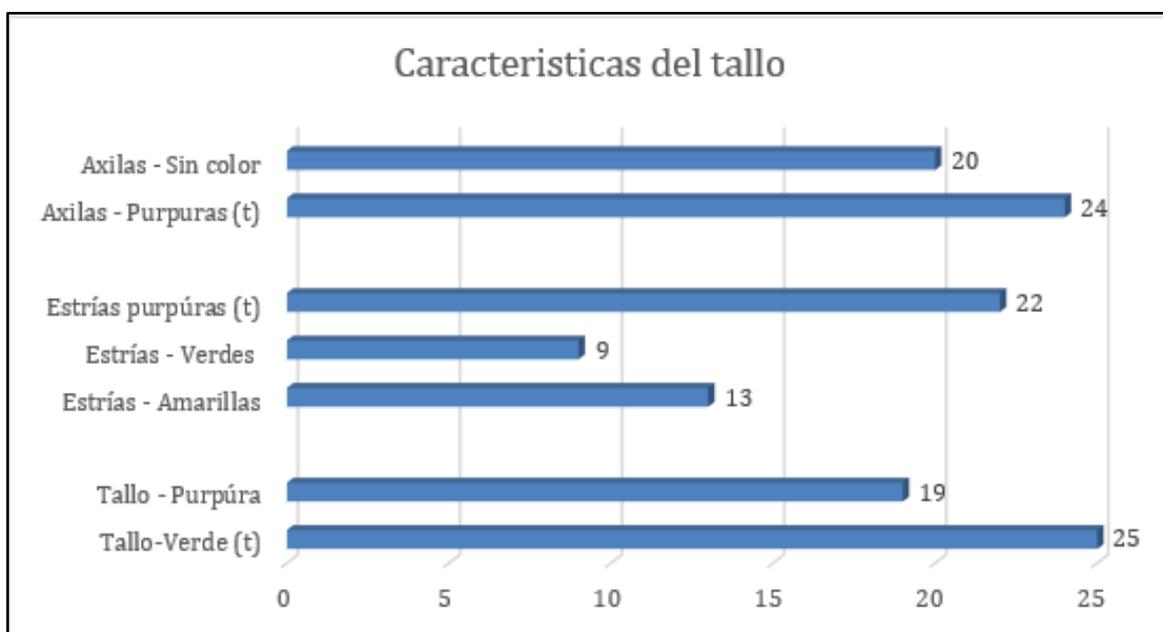


Figura 9: Variación en características morfológicas color del tallo, color de estrías del tallo, color de las axilas del tallo en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.

4.3.2.2. Características de las hojas

En la Figura 10 se presentan las características de las hojas y las variaciones observadas. No hubo variación en la forma de las hojas basales de las plantas, todas incluyendo el material original fueron romboidales. De igual modo todas las plantas presentaron hojas lanceoladas en las panojas. El número de dientes de las hojas basales en la variedad original varió de 8 a 14 dientes. Tres plantas mutantes presentaron en las hojas basales de 0 a 3 dientes, 16 plantas presentaron de 3 a 7 dientes y 25 presentaron el número de diente igual que la variedad original. No se observaron modificaciones en el color del peciolo de hoja. Se identificaron 7 plantas mutantes con color de hojas verde claro y 33 plantas y el testigo presenta hojas verdes oscuras.

Gómez Pando (2014), indica una frecuencia de mutación de 0.0297 por ciento en la característica número de dientes en hojas basales, para un total de 50,450 plantas de una población M₂ de quinua variedad La Molina 89, irradiada a 150 Gy de radiación gamma. Valenzuela (2018) informa para la variedad Amarilla de Maranganí mutaciones para número de dientes en hojas basales de pocos dientes (< 3 dientes) una frecuencia de mutación de 1.0545 por ciento en 10052 plantas y de 0.7165 por ciento en 9212 plantas en la dosis de 250 Gy e la generación M₂.

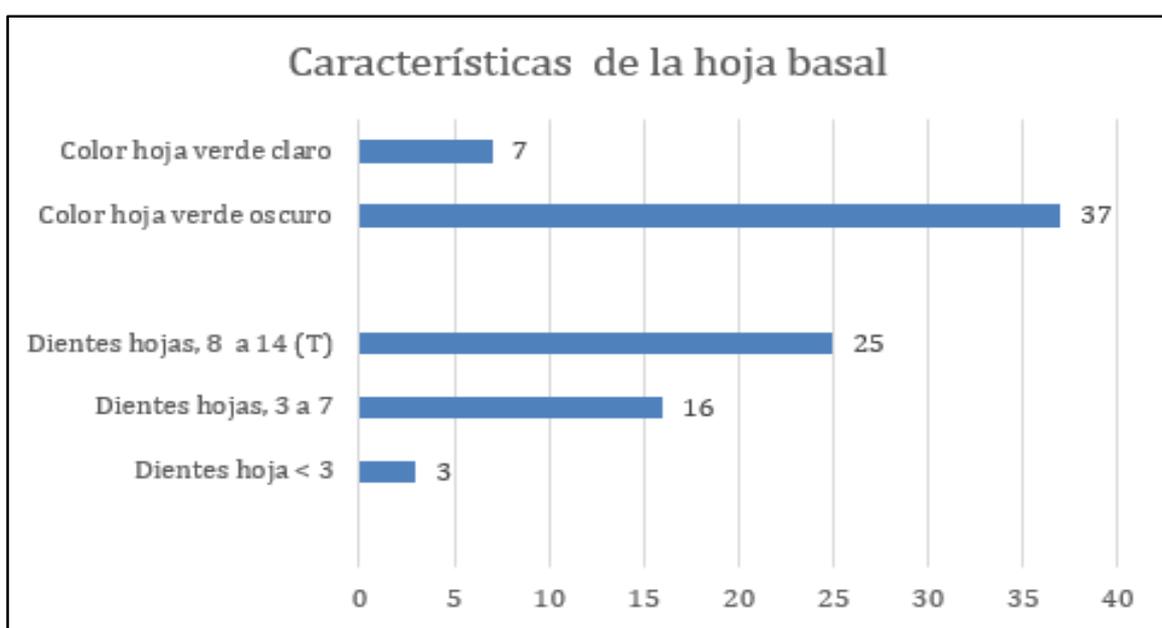


Figura 10: Variación en características morfológicas en el número de dientes de hojas basales y el color de la lámina foliar en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.

4.3.2.3. Características de la inflorescencia

El testigo o variedad original tiene una inflorescencia o panoja amarantiforme, diferenciada y terminal compacta, color amarillo-naranja en la maduración. Se observaron 9 inflorescencias del tipo intermedia y una glomerulada diferenciadas. Con respecto a la densidad de la inflorescencia se identificaron 2 del tipo laxo y 26 del tipo intermedio. Con respecto al color se observaron 5 plantas con panojas de color amarillo (Figura 11).

Para forma de panoja, Gómez Pando (2014), indica una frecuencia de mutación de 0.1705 por ciento en la característica forma de panoja para un total de 50,450 plantas de una población M₂ de quinua variedad La Molina 89, irradiada a 150 Gy de radiación gamma. Valenzuela (2018) informa una frecuencia de mutación de 0.4676 por ciento para panoja intermedia y una frecuencia de 0.0597 por ciento para panoja glomerulada para la dosis de 150 Gy en una población de 10,052 plantas. De igual modo informa una frecuencia de mutación para panoja intermedia de 0.9769 por ciento, y una frecuencia de mutación de 0.0543 por ciento para panoja glomerulada en 9212 plantas con la dosis de 250 Gray.

Para densidad de panoja, Valenzuela (2018) informa evaluando una población M₃ de 10052 plantas una frecuencia de mutación de 0.3183 por ciento para panoja intermedia y una frecuencia de 0.0298 por ciento para panoja laxa en la dosis de 150 Gy. Por otro lado, reporta una frecuencia de 0.8359 por ciento para panoja intermedia y de 0.0868 por ciento para panoja laxa en la dosis de 250 Gy en 9212 plantas.

Para color de panoja, Gómez Pando (2014), indica una frecuencia de mutación de 0.0099 por ciento en la característica color de la inflorescencia, para un total de 50,450 plantas de una población M₂ de quinua variedad La Molina 89, irradiada a 150 Gy de radiación gamma.

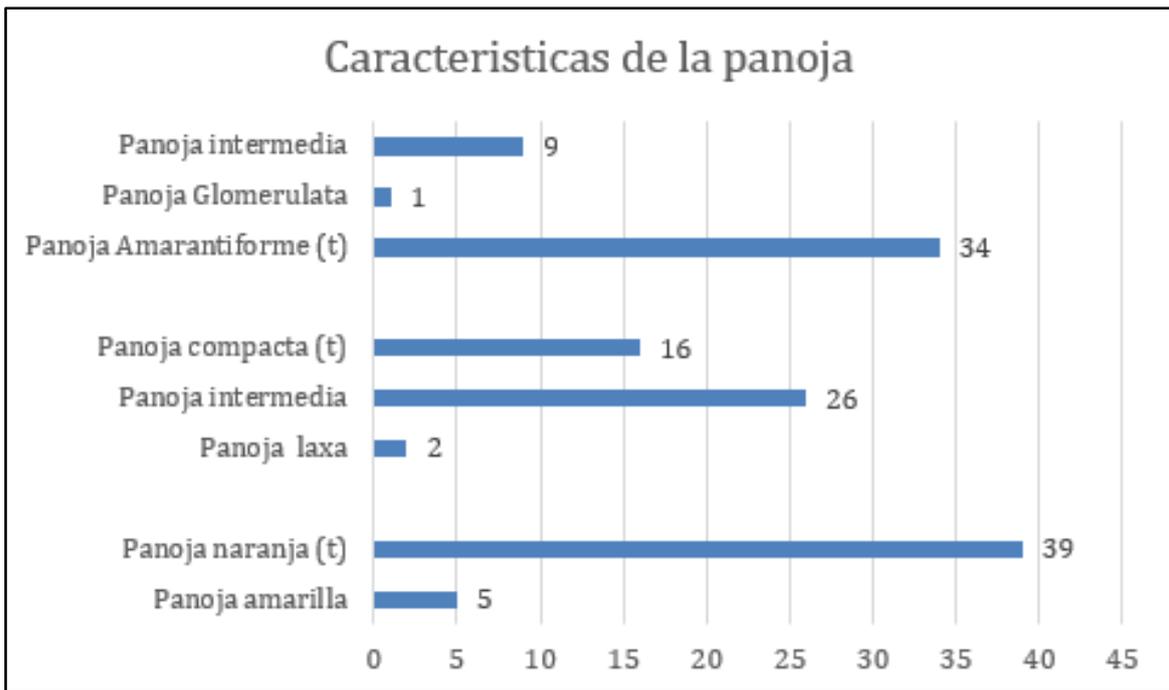


Figura 11: Variación en características morfológicas en la inflorescencia o panoja en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.

4.3.2.4. Color de los Granos-Pericarpio

El testigo se caracteriza por tener granos grandes con pericarpio (envoltura del fruto) de color naranja. En las 44 plantas mutantes se observó variaciones en el color de granos o pericarpio que se presentan en la Figura 12. Es importante señalar que la radiación tiene efecto en el color de granos y la intensidad del color va disminuyendo en relación al tiempo es expuesto a la luz.

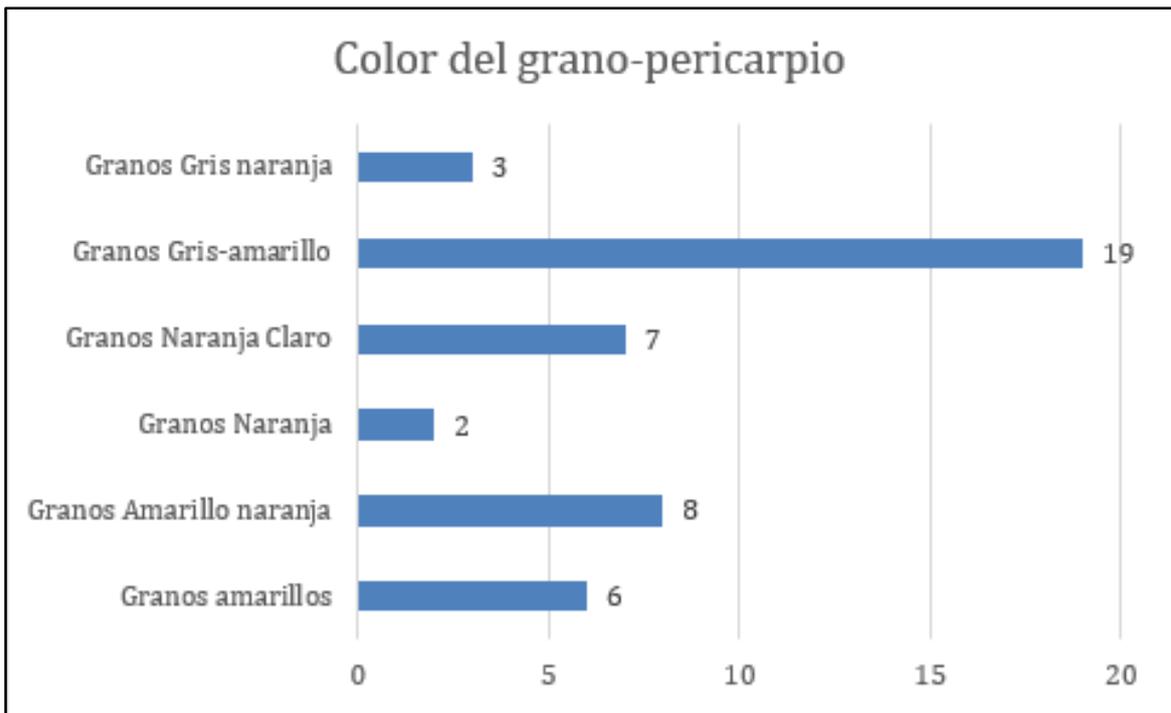


Figura 12: Variación en el color del pericarpio del fruto en plantas mutantes derivadas de la variedad Amarilla de Maranganí empleando radiación gamma. La molina 2016-2017.

V. CONCLUSIONES

Objetivo I

Del total 179 419 plántulas evaluadas de la generación M₃, tratadas con 150 y 250 Gy de rayos gamma, se identificaron 44 plantas con valor agronómico y resistentes durante todo el ciclo de vida al mildiú (*Peronospora variabilis*). Las plantas seleccionadas fueron clasificadas como moderadamente resistentes con valores de severidad de 16.67 a 23.3% y moderadamente susceptibles con valores de severidad de 26.67 a 30%, según el grado de área foliar cubierta por síntomas del patógeno.

Objetivo II

- a. La caracterización agronómica de las plantas seleccionadas permitió identificar variaciones en caracteres agronómicos (ciclo de vida, altura de planta y rendimiento) e identificar plantas superiores al testigo. Se observó variación en la floración de 89 a 108 días, para altura de planta una variación de 110 -230 cm y para rendimiento de 46 a 264 g. El material original floreo a los 103 días, tuvo una altura de planta de 172 cm y un rendimiento de planta de 75 g.

- b. La caracterización morfológica de las plantas seleccionadas permitió identificar variaciones en características del tallo (color, color de estrías, color de axilas), de las hojas (número de dientes y color de lámina foliar), de la inflorescencia o panoja (forma, densidad y color) y de color de granos por efecto de la aplicación de la radiación gamma.

VI. RECOMENDACIONES

1. Evaluar la población total en el mismo periodo para eliminar el efecto de las diferencias en la respuesta de las plantas por efecto del cambio de clima.
2. Ratificar la resistencia de las plantas seleccionadas en otros ambientes o en épocas favorables para el desarrollo de la enfermedad del mildiú.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Adamu, A.K.; Aliyu, H. (2007). Morphological effects of sodium azide on tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill). *Science World Journal* 2(4):9-12. DOI: <https://doi.org/10.4314/swj.v2i4.51755>.
- Alandia, S.; Otazu, V.; Salas, B. (1979). *Enfermedades. Quinua y kanihua. Cultivos Andinos*. Tapia *et al.* (ed.). Bogotá, Colombia: IICA. pp. 137-144.
- Almeida Arteaga, V.H. (2009). Determinación de las condiciones adecuadas de pre-tratamiento frío y la dosis óptima de radiación gamma CO60, para realizar cultivo in vitro de microsporas aisladas de maíz de las variedades INIAP-101 e INIAP-601 (en línea). (Tesis de grado). Ecuador, Universidad de las Fuerzas Armadas. Disponible en <http://repositorio.espe.edu.ec/jspui/handle/21000/886>.
- Apaza, V.; Cáceres, G.; Estrada, R.; Pinedo, R. (2013). *Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú*. Lima, Perú, JB Grafic E.I.R.L, vol.1.
- Arbaizo Castañeda, E.K. (2017). Potencial agronómico y calidad de grano en variedades tradicionales de quinua (*Chenopodium quinoa* w.) procedentes del altiplano en condiciones edafoclimáticas de Canchan-Huánuco. (Tesis de grado). Huánuco, Perú, Universidad Nacional Hermilio Valdizán.
- Bazán de Segura, C.; Dongo, S. (1965). Lista de enfermedades y microorganismos aislados de plantas en el Perú. Lima, Asociación Latinoamericana de Fitopatología.
- Biodiversity International; Food and Agriculture Organization of the United Nations; Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos; Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal; International Fund for Agricultural

Development. (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres (en línea). s.l., Bioversity International. Consultado 7 nov. 2018. Disponible en <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/72610>.

Blumenschein, A. (1972). Induced Mutations and Plant Improvement. *In* Actas Panel Buenos Aires.

Bojanic, A. (2011). La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial.

Bonifacio, A. (2001). Resistencia de quinua al mildiú. Cultivos Andinos. FAO. Roma, Italia.

_____. (2006). Estudio de perspectiva para los productos del altiplano y valles centrales de los Andes. Organización de las naciones unidas para el desarrollo industrial subdivisión de promoción de inversión y tecnología La Paz, Bolivia. pp. 27-28.

Bonifacio, A.; Saravia, R. (1999). Evaluación de la resistencia al mildiú en quinua. Proceedings of the Tercer Taller de Preduza en Resistencia Duradera en Cultivos Altos en la Zona Andina. pp. 27-29.

Campbell, C.L.; Madden, L.V. (1990). *Introduction to plant disease epidemiology*. John Wiley & Sons.

Chart, R.C. (1966). The Royal Horticultural Society. London, revised ed.

Choi, Y-J.; Danielsen, S.; Lübeck, M.; Hong, S-B.; Delhey, R.; Shin, H-D. (2010). Morphological and Molecular Characterization of the Causal Agent of Downy Mildew on Quinoa *Chenopodium quinoa*. *Mycopathologia* 169(5):403-412. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11046-010-9272-y>.

Choi, Y-J.; Denchev, C.M.; Shin, H-D. (2008). Morphological and molecular analyses support the existence of host-specific *Peronospora* species infecting *Chenopodium*. *Mycopathologia* 165(3):155-64. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11046-007-9087-7>.

- Cillóniz, B. (2016). Quínoa, el súper alimento que gana espacio en Chile (en línea). AgroForum.pe. Consultado 20 nov. 2018. Disponible en <https://www.agroforum.pe/agro-noticias/quinoa-super-alimento-que-gana-espacio-chile-8676/?langid=1>.
- Danielsen, S.; Ames, T. (2000). El mildiú (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina: Manual práctico para el estudio de la enfermedad y el patógeno.
- _____. (2001). El mildiú de la quinua en la zona andina. Manual práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno. Lima, Perú. DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1962.9686>.
- Danielsen, S.; Ames, T. (2008). El mildiú de la quinua en la zona andina (*Peronospora farinosa*) Manual práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno.
- De Mendiburu, F. (2019). Agricolae: Statistical Procedures for Agricultural Research (en línea). Consultado 26 jun. 2019. Disponible en <https://CRAN.R-project.org/package=agricolae>.
- De Vries, H. (1909). The mutation theory. s.l., Open Court Publishing Company, vol.1.
- Dixit, A. (2015). Adaptación al cambio climático: aumento de la producción de quinua mediante técnicas nucleares.
- Exeter Software. (2018). NTSYSpc versión 2.1 (en línea). Consultado 25 ene. 2019. Disponible en <http://www.exetersoftware.com/cat/ntsyspc/ntnew21.html>.
- FAO. (2018). Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura: Alimento nutritivo | Plataforma de información de la quinua (en línea). Consultado 7 nov. 2018. Disponible en <http://www.fao.org/in-action/quinoa-platform/quinoa/alimento-nutritivo/es/>.

- Gandarillas, A.; Saravia, R.; Plata, G.; Quispe, R.; Ortiz-Romero, R. (2015). Principle quinoa pests and diseases. State of the art report on quinoa. pp. 192.
- Gandarillas, A.; Saravia, R.; Plata, G.; Reinaldo Quispe, R.; Ortiz, R. (2013). Principales plagas y enfermedades de la quinua. pp. 227-256.
- Gandarillas, H. (1968). Razas de Quinoa. Ministerio de Agricultura, Div. de Investigaciones Agrícolas, Instituto Boliviano de Cultivos Andinos. Boletín Experimental 34.
- Gómez, L.; Eguiluz, A. (2011). Catálogo del banco de germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Gómez Pando, L. (2014). Development of improved varieties of native grains through radiation-induced mutagenesis. *In.*, Wageningen Academic Publishers. pp. 105-124 DOI: https://doi.org/10.3920/978-90-8686-787-5_4.
- Gómez Pando, L.; Aguilar Castellanos, E. (2016). Guía de cultivo de la quinua. FAO. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. pp. 130.
- Gómez Pando, L.; La Barra, AE-d. (2013). Developing Genetic Variability of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) with Gamma Radiation for Use in Breeding Programs. *American Journal of Plant Sciences* 04(02):349-355. DOI: <https://doi.org/10.4236/ajps.2013.42046>.
- Hamid, M.A.; Azad, M.A.K.; Howlader, M.A.R. (2006). Development of three groundnut varieties with improved quantitative and qualitative traits through induced mutation. *Plant Mutation Reports* 1(2):14-16.
- IAEA. (2018). Official Web Site of the IAEA (en línea). International Atomic Energy Agency. Consultado 23 nov. 2018. Disponible en <https://www.iaea.org>.
- Kitz, L. (2008). Evaluation of Downy Mildew (*Peronospora farinosa* f.Sp. *Chenopodii*) Resistance among Quinoa Genotypes and Investigation of *P. farinosa* Growth using

Scanning Electron Microscopy. (en línea). All Theses and Dissertations. Disponible en <https://scholarsarchive.byu.edu/etd/1512>.

Koziol, M.M. (1992). Chemical composition and nutritional evaluation of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Food Composition and Analysis* 5(1):35-68. DOI: [https://doi.org/10.1016/0889-1575\(92\)90006-6](https://doi.org/10.1016/0889-1575(92)90006-6).

Kumar, A.; Bhargava, A.; Shukla, S.; Singh, H.B.; Ohri, D. (2006). Screening of exotic *Chenopodium quinoa* accessions for downy mildew resistance under mid-eastern conditions of India. *Crop Protection* 25(8):879-889. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cropro.2005.11.012>.

León, H. (2003). Cultivo de la quinua en Puno, Perú. Descripción, manejo y producción. Universidad Nacional del Altiplano-Facultad de Ciencias Agrarias 17.

Llorente, J.R. (2008). Quínoa: Un auténtico superalimento (en línea). Consultado 4 oct. 2017. Disponible en <https://www.dsalud.com/reportaje/quinoa-un-autentico-superalimento/>.

Maluszynski, M.; Nichterlein, K.; van Zanten, L.; Ahloowalia, B.S. (2000). Officially released mutant varieties-the FAO/IAEA Database.

Maluszynski, M.; Szarejko, I.; Bhatia, C.R.; Nichterlein, K.; Lagoda, P.J.L. (2009). Methodologies for generating variability. Part 4: Mutation techniques. (en línea). *Plant breeding and farmer participation*: 159-194. Consultado 20 nov. 2018. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103075056>.

Micke, A. (1981). Mejoramiento de las plantas mediante mutaciones inducidas. *Boletín OIEA*. pp. 23:50.

Micke, A. (1999). Mutations in plant breeding. *Breeding in crop plants: mutations and in vitro mutation breeding*. Kalyani Publishers, Ludhiana, India. pp. 1-19.

- MINAG. (2017). Perú se mantiene como primer productor y exportador mundial de quinua, superando a Bolivia AGRO RURAL (en línea). Consultado 20 nov. 2018. Disponible en <https://www.agrorural.gob.pe/peru-se-mantiene-como-primer-productor-y-exportador-mundial-de-quinua-superando-a-bolivia/>.
- Mujica, A.; Izquierdo, J.; Marathee, J.P. (2001). Origen y descripción de la quinua. Quinua (*Chenopodium quinoa Willd*): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO, UNA, Puno, CIP. Santiago de Chile. pp. 9-29.
- Mujica, A.; Jacobsen, S-e. (2006). La quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y sus parientes silvestres (en línea). Botánica Económica de los Andes Centrales:449-457. Disponible en [http://www.beisa.dk/Publications/BEISA Book pdfer/Capitulo 27.pdf](http://www.beisa.dk/Publications/BEISA%20Book%20pdfer/Capitulo%2027.pdf).
- Mujica, A.; Jacobsen, S-E.; Izquierdo, J.; Marathe, J.P. (2001). Prueba Americana y Europea de Quinua. Resultados (en línea). Consultado 3 oct. 2017. Disponible en <http://quinua.pe/prueba-americana-y-europea-de-quinua-resultados/>.
- Mujica, A.; Viñas, O.; Mamani, F.; De la Torre, J.; Jacobsen, S. (2008). Conservación in situ de parientes silvestres de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) con genes de resistencia a factores abióticos adversos en el altiplano peruano-boliviano-chileno. *In* Memorias 13 Congreso Latinoamericano de Genética y VI Congreso Peruano de Genética. pp. 200.
- Novak, F.J.; Brunner, H. (1992). Fitotecnia: Tecnología de mutación inducida para el mejoramiento de los cultivos. Boletín del OIEA 4:33.
- Poehlman, J.M.; Sleper, D.A.; Ortíz, M.G.; Cuapio, M.A.H. (1965). Mejoramiento genético de las cosechas. s.l., México DF: Limusa (no. 581.15 P644M 2003.).
- Repo-Carrasco, R.; Espinoza, C.; Jacobsen, S.E. (2003). Nutritional Value and Use of the Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*). *Food Reviews International* 19(1-2):179-189. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>.

- Risco Mendoza, A. (2014). Severidad de *Peronospora variabilis* GÄUM. En *Chenopodium quinoa* Willd. Pasankalla como respuesta a aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes (en línea). Universidad Nacional Agraria La Molina. Consultado 10 nov. 2018. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/2350>.
- Risi, C.; Galwey, N.W. (1984). *Chenopodium* grains of the Andes: Inca crops for modern agriculture. *Advances in applied biology*.
- Ruales, J.; Nair, B.M. (1992). Nutritional quality of the protein in quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd) seeds. *Plant Foods for Human Nutrition* 42(1):1-11. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF02196067>.
- Shu, Q.Y.; Forster, B.P.; Nakagawa, H.; Nakagawa, H. (2012). *Plant Mutation Breeding and Biotechnology*. CABI.
- Suárez, E. (2006). Mejoramiento genético mediante inducción de mutaciones. I curso de capacitación en mejoramiento genético en arroz.
- Tomlekova, N.B. (2010). Induced mutagenesis for crop improvement in Bulgaria. (en línea). *Plant Mutation Reports* 2(2):4-27. Consultado 17 nov. 2018. Disponible en <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20103239597>.
- Valenzuela Geraldino, M.C. (2018). Variación fenotípica en una población M3 de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) variedad Amarilla Maranganí desarrollada mediante aplicación de rayos gamma (en línea). (Tesis de grado). Lima, Perú, Universidad Agraria La Molina. Consultado 21 nov. 2018. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3444>.
- Wani, M.R.; Lone, M.A.; Sheikh, S.A.; Dar, M.S.; Tak, M.A.; Ahmad, P.; Khan, S. (2012). Induction and assessment of genetic variability for yield and yield contributing traits of chickpea (*Cicer arietinum* L.). *J Plant Genomics* 2(1):28-33.

Wright, K.H.; Pike, O.A.; Fairbanks, D.J.; Huber, C.S. (2002). Composition of *Atriplex hortensis*, Sweet and Bitter *Chenopodium quinoa* Seeds. *Journal of Food Science* 67(4):1383-1385. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.2002.tb10294.x>.

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Preparación de sustrato



Figura 13: Preparación del sustrato para siembra de experimentos con mezcla de compost y suelo de chacra.

Anexo 2: Siembra de las semillas de quinua var. Amarilla de Maranganí

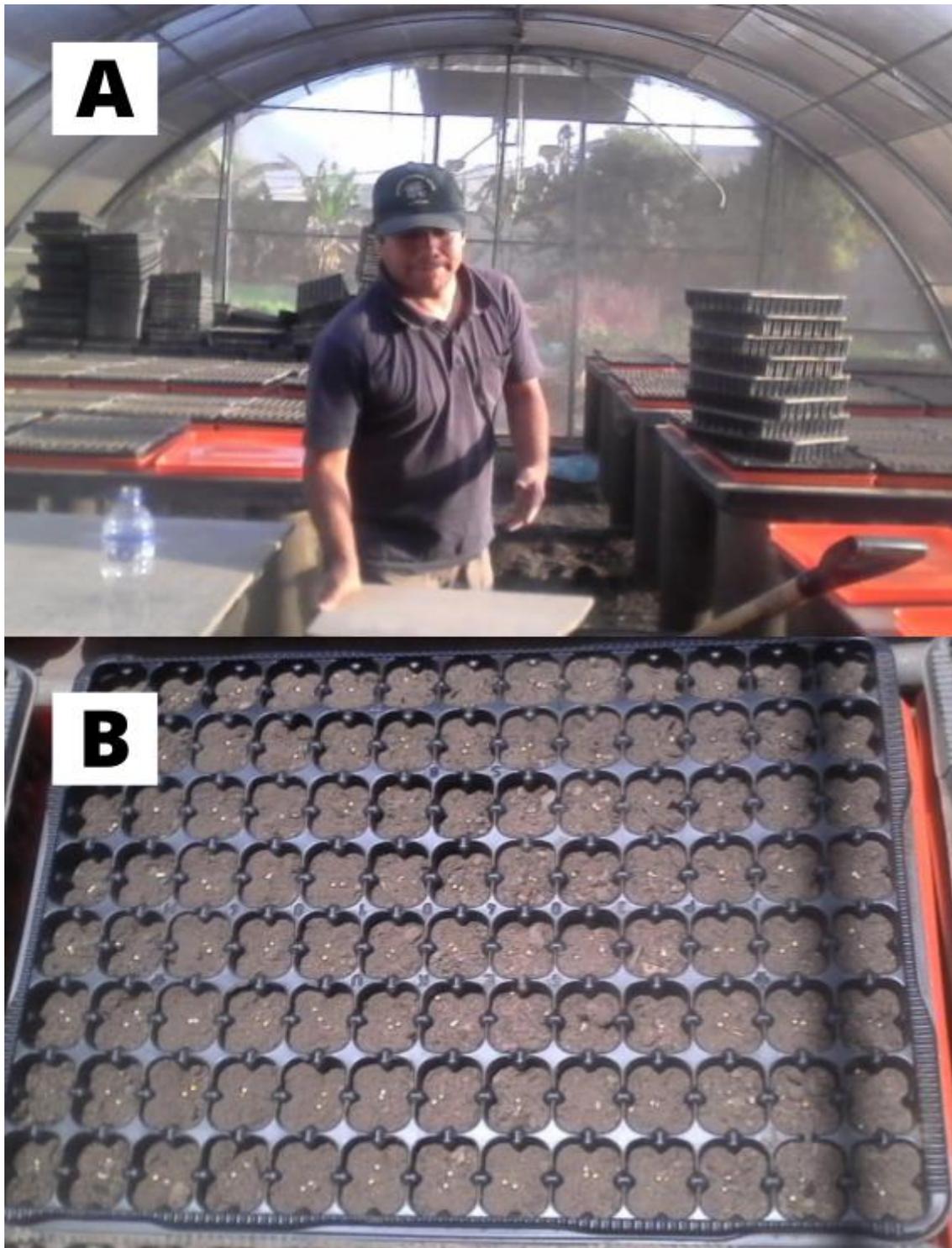


Figura 14: A. Organización de bandejas en el invernadero con sustrato listo para la siembra; B. Siembra de las semillas de quinua var. Amarilla de Maranganí, 2 semillas por celda.

Anexo 3: Riego, germinación, selección y plántulas infectadas en invernadero

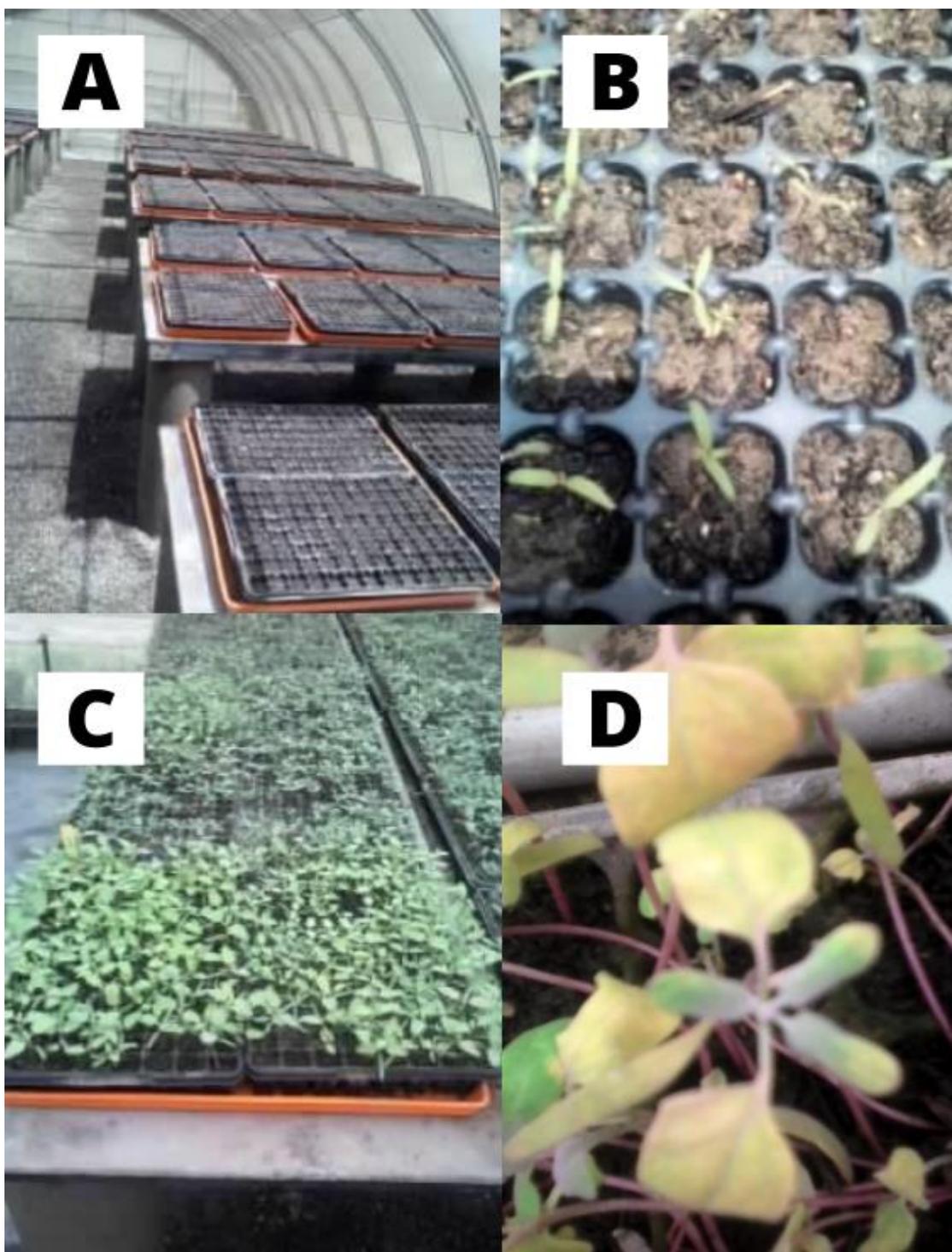


Figura 15: A. Primer riego a las bandejas de quinua var. Amarilla Maranganí; B. Germinación de quinua var. Amarilla Maranganí; C. Plantas de quinua listas para el trasplante; D. Plántulas de quinua infectadas con mildiú en el invernadero.

Anexo 4: Comparación de plantas de la incidencia del mildiú



Figura 16: A. Plantas adultas con alta incidencia de mildiú; B. Plántulas sin presencia de mildiú; C. Riego después del trasplante en los canteros.

Anexo 5: Variaciones en características del tallo, hoja e inflorescencia

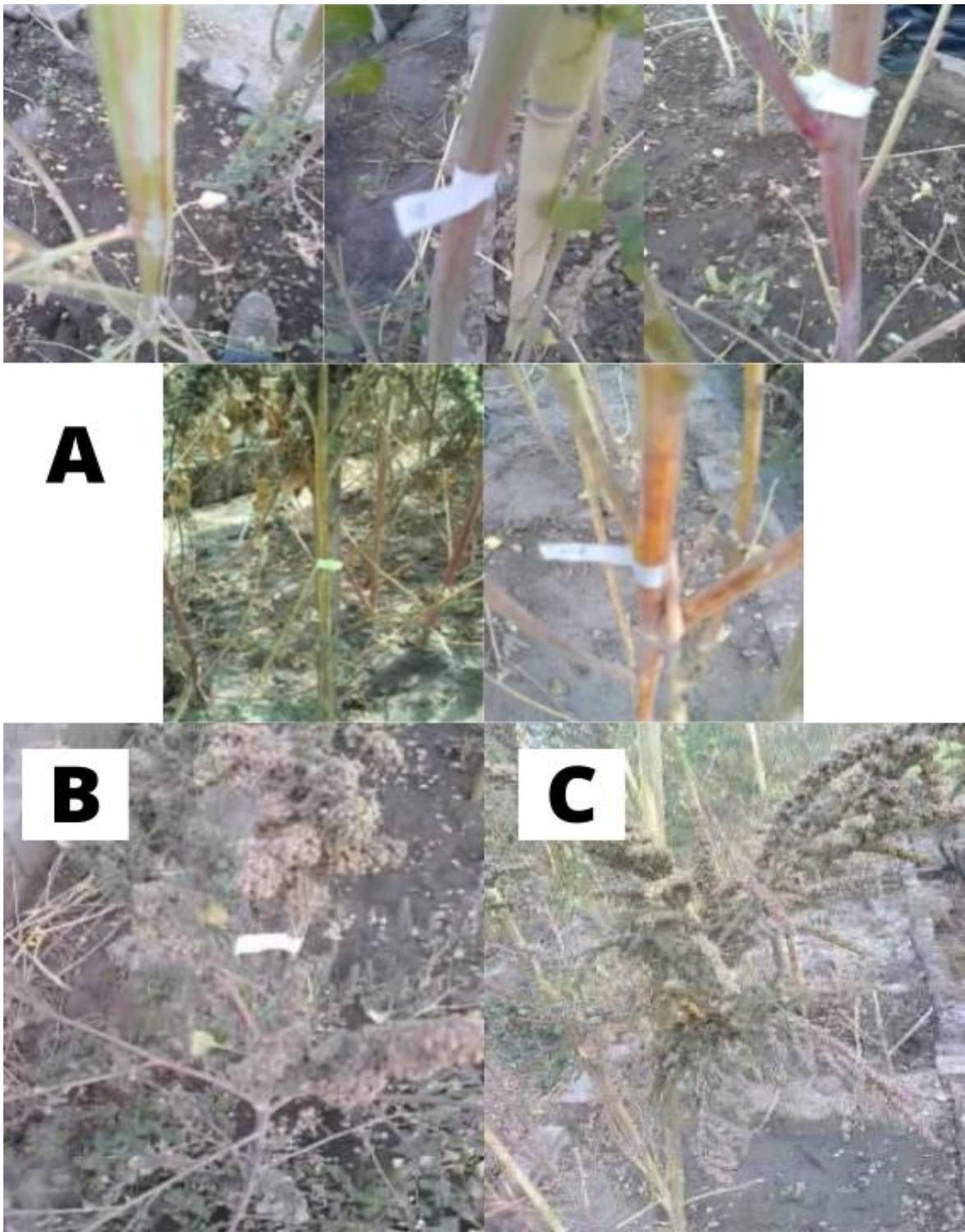


Figura 17: A. Diferentes colores de los tallos de quinua var. Amarilla Maranganí M₃; B. Panoja glomerulada; C. Panoja amarantiforme.