

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



“RESPUESTA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) AL ESTRÉS DE SEQUIA Y CALOR BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA”

Presentada por:

ELIANA MATILDE ANTEZANA FEBRES

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

Lima – Perú

2019

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMIA**

**“RESPUESTA DE QUINUA (*Chenopodium quinoa*) AL ESTRÉS DE SEQUÍA Y
CALOR BAJO CONDICIONES DE LA MOLINA”**

Presentado Por:

ELIANA MATILDE ANTEZANA FEBRES

Tesis para optar el Título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....
Ing. Mg. Sc. Luis Tomassini Vidal
PRESIDENTE

.....
Dra. Luz Gómez Pando
ASESORA

.....
Dr. Hugo Soplín Villacorta
MIEMBRO

.....
Ing. Mg. Sc. Enrique Aguilar Castellanos
MIEMBRO

Lima - Perú

2019

A mis padres, Patricia y Julio.

Agradecimientos

Al Programa Nacional de Innovación Agraria – PNIA por la financiación de esta tesis a través del proyecto “Identificación de líneas con resistencia genética al Mildiu en poblaciones obtenidas por inducción de mutaciones y en el Germoplasma colectado en Pero para una producción con enfoque orgánico y sostenible del cultivo de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd).”

A la Dra. Luz Rayda Gómez Pando

A la Sra. Ruth Paucar Cerca

A la Ing. Martha Ibañez Tremolada

A la Ing. Patricia Deza Montoya

Al Dr. Gastón Zolla Benites

Al Mg. Sc Miguel Ángel Vera Vega

A los miembros del Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina

A mis amigas Ana Lucía Ortega Tasayco, Sabrina Kihara Nomura y Claudia Alcántara Lobo

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
	2.1 ORIGEN	3
	2.2 MORFOLOGÍA.....	3
	2.3 FENOLOGÍA.....	5
	2.4 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO	8
	2.4.1 Requerimientos climáticos	8
	2.4.2 Requerimiento edáficos.....	9
	2.5 EL ESTRÉS EN PLANTAS	9
	2.5.2 Estrés por calor.....	10
	2.5.3 Respuestas de la quinua al estrés por calor	11
	2.5.4 Estrés por Sequía.....	12
	2.5.5 Respuesta de la quinua a la sequía	13
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	15
	3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL.....	15
	3.2 ANÁLISIS DE SUELO	15
	3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA.....	17
	3.4 MATERIAL GENÉTICO	17
	3.5 METODOLOGÍA.....	17
	3.6 MANEJO DEL CULTIVO	21
	3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL	23
	3.8 EVALUACIONES EXPERIMENTALES	24
	3.8.1 Variables agronómicas	24
	3.8.2 Variables de calidad de grano.....	25
	3.8.3 Variables fisiológicas	25
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIONES	27
	4.1 OBJETIVO 1	27
	4.1.1 Variables agronómicas	27
	4.1.2 Mildiu (<i>Peronospora variabilis</i>).....	34
	4.1.3 Variables de calidad de grano	37
	4.2 OBJETIVO 2	41

4.2.1 Variables fisiológicas	41
V. CONCLUSIONES	48
5.1 OBJETIVO 1	48
5.2 OBJETIVO 2	48
VI. RECOMENDACIONES	50
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	51

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°1: Requerimientos de humedad y temperatura de los tipos de quinuas según las zonas agroecológicas.	9
Cuadro N° 2. Análisis de caracterización del suelo (profundidad: 5 a 25 cm.) del área experimental empleada en La Molina- 2017	16
Cuadro N° 3: Datos meteorológicos promedio del observatorio Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017).	17
Cuadro N° 4: Cronograma de actividades del Experimento en Condiciones de La Molina-2017	22
Cuadro N° 5: Cuadrados medios del ANVA combinado de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017	31
Cuadro N° 6: Valores medios de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	31
Cuadro N° 7: Valores medios de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	32
Cuadro N° 8: Cuadrados medios del ANVA combinado del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (<i>Perenospora variabilis</i>) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017	35
Cuadro N° 9: Valores medios del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (<i>Perenospora variabilis</i>) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	35
Cuadro N° 10: Valores medios y prueba de Duncan del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (<i>Perenospora variabilis</i>) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.....	36
Cuadro N° 11: Cuadrados medios del ANVA combinado de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017	39
Cuadro N° 12: Valores medios de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	39
Cuadro N° 13: Valores medios de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	40
Cuadro N° 14: Cuadrados medios del ANVA Combinado de caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos fechas de evaluación, en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017	44

Cuadro N° 15: Valores medios de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos fechas de evaluación en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	45
Cuadro N° 16: Valores medios y prueba de Duncan de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.	45

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1. Distribución del campo experimental. La Molina 2017	20
Figura N° 2. Índice de esporulación para determinar susceptibilidad o resistencia al mildiu	25
Figura N° 3: Porcentaje de área foliar afectada por la enfermedad mildiu (<i>Peronospora variabilis</i>) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en las fases fenológicas de grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso, en La Molina en 2017.....	36
Figura N° 4: Porcentaje promedio de proteína en grano en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos ambientes en la Molina en 2017.	38

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO 1	57
ANEXO 2	59
ANEXO 3	60

RESUMEN

Debido a su amplia variabilidad genética, la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) presenta aptitudes para adaptarse a las nuevas condiciones generadas por el cambio climático, como son el aumento de la temperatura y la disminución de la disponibilidad de agua. La investigación tiene como objetivos: (1) determinar el efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres agronómicos, en la respuesta al mildiú (*Perenospora variabilis*) y en los caracteres de calidad y (2) determinar el efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres fisiológicos y bioquímicos. La fase de campo se llevó a cabo en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima - Perú entre los meses de febrero a mayo del 2017. Los genotipos evaluados fueron dos variedades comerciales: INIA Salcedo y Amarilla Sacaca y dos líneas mutantes: MQ PAS 50 y MQ AM 250-283, los cuales fueron sembrados en dos ambientes; el testigo, el cual tuvo riego normal, y el ambiente sequía, el cual tuvo déficit de riego. Para las variables rendimiento, biomasa aérea, índice de cosecha, altura de planta, días a la floración y días a la madurez y el peso de mil granos no se encontraron diferencias estadísticas a nivel de los dos ambientes evaluados. Sin embargo, la variable contenido de proteína del grano sí se vio afectada por el estrés de sequía combinado con las altas temperaturas, con una reducción de 15.34 por ciento en el tratamiento riego normal a 14.25 por ciento en el tratamiento riego deficitario. Sobresale por su mayor tolerancia la línea mutante MQ AM 250-283 obtuvo el mayor rendimiento promedio con un valor de 1820.5 kg/ha, el mayor índice de cosecha con 10.95 por ciento y mayor peso de mil granos con un valor promedio de 2.547 g. Además de un contenido de proteína igual a 15.61 por ciento. En cuanto a los caracteres fisiológicos y bioquímicos, se observó un ligero incremento en el contenido de prolina de 3.868 ug/ml (Riego Normal) a 4.764 ug/ml (Riego Deficitario), una vez aplicado el estrés de sequía, no habiendo diferencias significativas entre estos valores. Para potencial osmótico el estrés de sequía determinó un incremento de -1.563 MPa (Riego normal) a -1.721 MPa (Riego Deficitario), existiendo diferencias significativas entre estos valores. El Contenido relativo de Agua (CRA) se observaron valores muy similares después del estrés de sequía iguales a 69.729 por ciento (riego deficitario) a 70.077 por ciento (riego normal). Finalmente, la evaluación de contenido de clorofila SPAD, no mostró variación por efecto del estrés de sequía.

Palabras clave: Quinua, estrés, calor, sequía, prolina

ABSTRACT

Due to its wide genetic variability, quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) has the aptitude to adapt to the new conditions generated by climate change, such as the increase in temperature and the decrease in water availability. The research aims to: (1) determine the combined effect of drought and heat stress on agronomic traits, on the response to powdery mildew (*Perenospora variabilis*) and on quality traits and (2) determine the combined effect of drought stress and heat in physiological and biochemical characters. The field phase was carried out in the Native Cereals and Grains Program of the National Agrarian University La Molina, Lima - Peru between the months of February to May 2017.

The genotypes evaluated were two commercial varieties: INIA Salcedo and Amarilla Sacaca and two mutant lines: MQ PAS 50 and MQ AM 250-283, which were planted in two environments; the witness, which had normal irrigation, and the drought environment, which had irrigation deficit. For the variables yield, aerial biomass, harvest index, plant height, days to flowering and days to maturity and the weight of a thousand grains, no statistical differences were found at the level of the two environments evaluated. However, the variable protein content of the grain itself was affected by drought stress combined with high temperatures, with a reduction of 15.34 percent in the normal irrigation treatment to 14.25 percent in the deficit irrigation treatment. The MQ AM 250-283 mutant line excels due to its greater tolerance. It obtained the highest average yield with a value of 1820.5 kg / ha, the highest harvest index with 10.95 percent and greater weight of a thousand grains with an average value of 2.547 g. In addition to a protein content equal to 15.61 percent

Regarding the physiological and biochemical characteristics, a slight increase in the proline content was observed from 3,868 ug / ml (Normal Irrigation) to 4,764 ug / ml (Deficit Irrigation), once the drought stress was applied, there being no significant differences between these values. For osmotic potential, the drought stress determined an increase of -1.563 MPa (Normal irrigation) to -1.721 MPa (Deficit irrigation), there being significant differences between these values. The Relative Water Content (CRA) showed very similar values after the drought stress equal to 69.729 percent (deficit irrigation) to 70.077 percent (normal irrigation). Finally, the SPAD chlorophyll content evaluation did not show variation due to the effect of drought stress.

Key words: Quinoa, heat, drought, proline

I. INTRODUCCIÓN

La agricultura es una actividad cada vez más riesgosa debido a la incertidumbre generada por el cambio climático. El incremento de las temperaturas reduce el rendimiento de los cultivos, aumenta la incidencia de plagas y enfermedades y cambia los patrones de lluvia. Según diferentes estudios, las poblaciones más afectadas serán las de los países en desarrollo, donde se dificultará la producción y el acceso a alimentos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria (FAO 2009).

Modelos como el de NCAR (Centro Nacional de los Estados Unidos para la Investigación Atmosférica, por sus siglas en inglés) y el de CSIRO (Organización de Investigación Científica e Industrial de la Mancomunidad Británica o “Commonwealth”, por sus siglas en inglés) pronostican un aumento de la temperatura de 2°C a 2.5°C para Perú en el 2050. Debido a esto, es necesario adoptar estrategias que se puedan aplicar en la agricultura para la mitigación y adaptación al cambio climático.

En este contexto, el cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) se presenta como una alternativa debido a su amplia variabilidad genética, la cual le permite adaptarse a múltiples pisos agroecológicos, desarrollarse en diversos climas bajo condiciones extremas de sequía y salinidad, y diferentes tipos de suelo. Sin embargo, su baja tolerancia al calor, ha sido reportada en las siembras de costa y en otras partes del mundo donde su cultivo se ha introducido (Mendoza 2013, Bazile et al. 2016). A nivel nutricional, es reconocido como un súper alimento debido a su alto porcentaje de proteína y balanceada composición de aminoácidos esenciales (Repo-Carrasco et al. 2003). En el aspecto económico, este cultivo ha cobrado mayor importancia en el país (IICA 2015) debido al incremento de la demanda a nivel mundial. Durante el período del 2000 al 2014 las exportaciones aumentaron de 0.26 mil a 36.5 mil toneladas (IICA 2015) y el precio en chacra incrementó de S/ 1.16/kg en el 2005 hasta alcanzar un valor máximo de S/ 7.88/kg en el 2014 (MINAGRI 2017). Las áreas sembradas también aumentaron significativamente debido a que el cultivo, que tradicionalmente se sembraba en los andes, se extendió a la zona yunga y la costa.

Debido a su importancia dentro de la economía familiar y como recurso genético muy valioso, para desarrollar estrategias de adaptación al cambio climático y mantener la seguridad alimentaria; especialmente en zonas marginales afectadas por sales y con problemas futuros de disponibilidad de agua e incremento de temperatura, se debe profundizar en el estudio e identificación de los genotipos que más se adecuen a las condiciones de estrés por calor y sequía, y presenten un rendimiento adecuado y buena calidad de grano.

En base a lo anteriormente expuesto, se plantea la hipótesis: Por lo menos uno o más caracteres morfológicos o fisiológicos en quinua son afectados por el efecto combinado del estrés de sequía y calor.

Para la comprobación de esta hipótesis se trazaron los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la respuesta de la quinua (*Chenopodium quinoa*) al efecto combinado del estrés de sequía y calor.

Objetivos específicos

- 1-Determinar del efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres agronómicos, respuesta al mildiú (*Perenospora variabilis*) y caracteres de calidad.
2. Determinar el efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres fisiológicos y bioquímicos.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN

La quinua pertenece al género *Chenopodium*, sub familia *Chenopodioideae*, familia *Amaranthaceae*. El género *Chenopodium* es el principal dentro de esta Sub familia y tiene amplia distribución mundial, con cerca de 250 especie. Fue domesticada hace 5000 A.C y cultivada desde Colombia hasta el sur de Chile (Tapia 1979), desde el nivel del mar hasta los 4000 m.s.n.m., dando origen a una amplia variabilidad genética (Gómez y Aguilar 2015). Se pueden clasificar en cinco grupos según las condiciones agroecológicas donde evolucionaron (Gómez y Aguilar 2015):

- Quinuas de valle: De valles interandinos entre los 2500 a 3500 m.s.n.m.
- Quinuas del Altiplano: Evolucionaron en las amplias planicies del Altiplano peruano boliviano, circundante al lago Titicaca, a una altura entre los 3600 a 4000 m.s.n.m. En esta área se encuentra la mayor variabilidad de quinua.
- Quinuas de los salares: con origen en las altas planicies del sur de Bolivia conocida como salares.
- Quinuas del nivel del mar: con origen en la región central de Chile.
- Quinuas de las yungas: con origen en las Yungas de Bolivia, entre los 1500 a 2000 m.s.n.m.

2.2 MORFOLOGÍA

Gómez y Aguilar (2015) describen a la planta de la siguiente manera:

- Raíz: La raíz de quinua es del tipo pivotante, consta de una raíz principal de la cual salen un gran número de raíces laterales muy ramificadas. La longitud de las raíces es variable, de 0.8 a 1.5 m.
- Tallo: El tallo en la unión con el cuello de raíz es cilíndrico y a medida que se aleja del suelo se vuelve anguloso en las zonas de nacimiento de hojas y ramas. La corteza es firme y compacta formada por tejidos fuertes y lignificados.

La altura de planta, desde la base del tallo al ápice de la inflorescencia, varía de 0.5 m a más de 3 m.

- Hojas: El peciolo de las hojas es largo y acanalado. El color del peciolo puede ser verde, rosado, rojo y púrpura.

La lámina de la hoja tiene tres venas principales que se originan del peciolo. Las láminas son más grandes en el follaje y más pequeñas en la inflorescencia. Las láminas son polimórficas en la misma planta. 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.

- Inflorescencia: Es una panoja con una longitud variable de 15 – 70 cm. Generalmente se encuentra en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas. Tiene un eje principal, ejes secundarios y eje terciarios. Se pueden observar dos tipos de panoja: Las *amarantiformes* con los glomérulos directamente insertados en el eje secundario y con forma casi rectangular, muy semejantes a dedos. Las *glomeruladas* donde los glomérulos están ubicados en el eje terciario y toman la apariencia redondeada como las cuentas de un rosario.
- Flores: La quinua es una especie ginomonoica, es decir, tiene flores hermafroditas y pistiladas en la misma inflorescencia, las cuales puede ser sésiles o pistiladas y están agrupadas en glomérulos. La posición del glomérulo en la inflorescencia y la posición de las flores dentro del glomérulo, determinan el tamaño y el número de los granos o frutos.
- Fruto: Es un aquenio cubierto por el perigonio sepaloide o las envolturas florales que rodean el fruto.

El fruto está constituido del pericarpio (capa del fruto) y la semilla. En la superficie se encuentra la saponina que le da el sabor amargo al grano. El fruto puede alcanzar un diámetro de 1.5 a 3 mm.

- Semilla: Presenta tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y perispermo. El epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio. El embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye,

aproximadamente, el 30% del volumen total de la semilla y envuelve al perispermo como un anillo.

2.3 FENOLOGÍA

Gómez y Aguilar (2015) reconocen las siguientes fases fenológicas para el cultivo de quinua:

- **Germinación:** La primera estructura en emerger es la radícula la cual se alarga hacia abajo dentro del suelo y da inicio a la formación del sistema radicular. El hipocotilo sale de la semilla y crece hacia arriba y atraviesa el suelo o emerge llevando los cotiledones que se abren y se tornan verdes iniciando el proceso de fotosíntesis. En este estado puede haber daños de pájaros y podredumbre radicular. Se considera una fase crítica ya que es afectado por los estreses de agua y temperatura.
- **Desarrollo vegetativo:** Se inicia con la aparición, entre las dos hojas cotiledonales, de la primera y segunda hoja verdadera; las cuales crecen y se expanden en direcciones opuestas, simétricas y perpendiculares a los cotiledones que aún permanecen verdes. Se observan los primordios de la tercera y cuarta hojas en el ápice de crecimiento; antes de que las dos primeras hojas se hayan expandido totalmente; una vez formada la quinta hoja verdadera se observa la formación de yemas en las axilas de las primeras hojas. Alrededor de esta etapa se observa el desprendimiento de las hojas cotiledonales.

El crecimiento y desarrollo de hojas sigue este patrón simétrico descrito. En el estado de 10 pares de hojas verdaderas, las yemas axilares de las primeras hojas empiezan a formar las ramas y la planta pierde su simetría en la disposición de las hojas. Se puede observar en general en el ápice de crecimiento, la formación del primordio floral. En algunos genotipos el crecimiento es notoriamente más rápido en esta fase, lo que le da ventaja en la competencia de malezas.

- **Ramificación:** La ramificación se inicia con plantas con cinco pares de hojas verdaderas, por lo que se superpone con el desarrollo vegetativo y el desarrollo de botón floral. Las yemas formadas en las axilas de las primeras hojas se activan en forma secuencial; iniciándose con la yema axilar de la primera hoja y así sucesivamente

- **Desarrollo del Botón floral:** Esta fase fenológica se superpone con la fase de desarrollo vegetativo y con la fase de ramificación. Es fácilmente reconocible por la aparición del primordio o botón floral en el ápice de la planta, se observa como una estructura compacta protegida por hojas y cubierta por la pubescencia granular vesicular rica en oxalato de calcio. Se hace evidente, alrededor del estado de 5 pares de hojas.

Se describe considerando el tamaño del primordio floral desde su aparición hasta la formación de una estructura piramidal, que señala el inicio de la formación de la inflorescencia.

- **Desarrollo de la Inflorescencia o Panoja:** Esta fase comprende la formación y crecimiento de la inflorescencia; la estructura piramidal o cónica formada por los primordios de glomérulos empieza a elongarse, haciéndose evidente la formación del eje principal, eje secundario y terciario y el desarrollo de los primordios de glomérulos y la formación de hojas típicas de la inflorescencia, tomando la forma típica de cada tipo de inflorescencia. Se forman las flores y las estructuras reproductivas. La inflorescencia se encuentra cubierta por pubescencia vesicular granular rica en oxalato de calcio con tonos blancos, rosados y púrpuras que contribuyen a la coloración propia de la inflorescencia de cada variedad. En forma similar se desarrollan las inflorescencias en las ramificaciones del tallo. La longitud de la inflorescencia depende del genotipo y del medio ambiente y varía de 15 a 70 cm.

Es a partir de esta fase fenológica que se observa el inicio de defoliación en la base de la planta. En esta fase ocurre el ataque de mildiu y el complejo Eurysacca y otros insectos de inflorescencia.

- **Floración:** Esta fase se inicia con la apertura de las flores. Las flores hermafroditas y las pistiladas se abren al mismo tiempo y pueden observarse a simple vista, especialmente las flores hermafroditas con anteras amarillas intensas y brillantes. La apertura de las flores, en algunas variedades, se inicia en la flor hermafrodita del ápice del glomérulo y las flores localizadas en diferentes partes del glomérulo, en cualquier parte de la inflorescencia. En otras variedades, las flores se abren simultáneamente en diferentes glomérulos a lo largo de toda la panoja. Las flores permanecen abiertas durante 5 a 7 días en promedio y la máxima apertura ocurre entre las 10 a.m. y las 2:00 p.m.

En general existe asincronía en la floración, que es un mecanismo importante para tolerar temperaturas extremas durante la floración y asegurar que parte de la inflorescencia pueda tener flores viables. En la misma panoja la floración puede durar de 12 a 15 días.

En esta fase el color de las panojas se intensifica, la defoliación de hojas de la base continúa y el cultivo es bastante sensible a las temperaturas extremas y a las sequías.

- Antesis: Esta fase se superpone con la de la floración. Es la fase de liberación de polen por las flores hermafroditas. Se calcula una polinización cruzada de alrededor del 17%.

Este estado finaliza con la muerte de las anteras y el cierre del perigonio sepaloide y la eliminación de hojas en la base de la planta. Esta fase es muy sensible a las temperaturas extremas y al ataque del complejo Eurysacca y el complejo de chinches (*Liorrhysus hyalinus*, *Dagbertus fasciatus*, *Dagbertus sp*, *Nysius simulans*).

- Fruto, Crecimiento y Estado acuoso: Después de la fecundación los frutos formados empiezan a crecer y desarrollar. El crecimiento se evalúa considerando el tamaño y la proporción ocupada dentro del espacio formado por el perigonio sepaloide en 25%, 50%, 75% y 100%. Durante esta fase de crecimiento del grano, estos están llenos de una sustancia acuosa por lo que se denomina a esta fase, “estado acuoso”. Se puede observar la formación de las partes constitutivas del fruto. La duración de este periodo es variable dependiendo de la variedad y del medio ambiente.

A nivel de planta se observa la defoliación de hojas en la base de la planta y el cambio de intensidad de color de las inflorescencias.

- Fruto en estado lechoso: Esta fase se superpone con la del estado acuoso. Los granos formados y con un 100% de su tamaño empiezan a recibir fotosintatos de las hojas, y las partes verdes de las inflorescencias y la sustancia acuosa es reemplazada con una sustancia lechosa. El color del fruto se diferencia al del perigonio sepaloide o envolturas florales y al de los ejes de la inflorescencia. El perigonio sepaloide se va abriendo a medida que el grano va engrosando, notándose los cinco tépalos separados, con apariencia de una estrella y donde se puede distinguir el color del pericarpio. En este estado se aprecia que el tercio superior de hojas está verde, en plena actividad fotosintética y que los 2/3 inferiores están empezando a decolorarse o en proceso de senescencia.

El déficit de humedad y las temperaturas extremas pueden afectar significativamente el rendimiento.

- Fruto en estado masoso o pastoso: Los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco con apariencia de masa con una humedad aproximada de 45%. En esta fase la planta alcanza la madurez fisiológica. Se inicia un proceso de pérdida de humedad de los granos y la planta, hasta alcanzar la madurez de cosecha. Los frutos secos con una humedad aproximada de 20% pueden partirse fácilmente con la uña (estado rayable con la uña) y los granos con 12- 14% de humedad requieren ser partidos con los dientes (estado frágil bajo el diente). Estos porcentajes de humedad en los granos de quinua son similares a los observados en los frutos de cereales.

2.4 REQUERIMIENTOS DEL CULTIVO

2.4.1 Requerimientos climáticos

- Temperatura: Las temperaturas óptimas de crecimiento y desarrollo están entre el rango de 15 a 25°C. Puede tolerar heladas y altas temperaturas durante las fases de desarrollo vegetativo y la formación de inflorescencia y no desde la floración hasta el estado de grano pastoso (Gómez y Aguilar 2015)
- Precipitación: La quinua se cultiva dentro de un rango de precipitación de 300 mm a 1000 mm, con un óptimo que va de 500 mm a 800 mm (Gómez y Aguilar 2015)

En el Cuadro N° 1 se presenta información sobre los requerimientos de humedad y temperatura de los ecotipos de quinua.

Cuadro N°1: Requerimientos de humedad y temperatura de los tipos de quinuas según las zonas agroecológicas.

Grupo agroecológico	Precipitación mm.	Temperatura mínima
Del valle	700-1500	3 °C
Del Altiplano	400-800	0 °C
De los Salares	250-400	1 °C
De nivel del mar	800-1500	5 °C
Yungas	0-2000	11 °C

Fuente: Tapia (1996)

- Fotoperiodo: Debido a su variabilidad genética la quinua se ha clasificado como de días cortos, días largos e indiferente en relación a la sensibilidad al fotoperiodo (Bertero 2003). La respuesta tanto al fotoperiodo como a la temperatura está relacionada con el lugar de origen y puede afectar el rendimiento (Gómez y Aguilar 2015)

2.4.2 Requerimiento edáficos

La quinua puede desarrollarse en diferentes tipos de suelo, siendo óptimos los suelos francos con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica (Gómez y Aguilar 2015). Puede crecer dentro de un amplio rango de pH, desde los 4.5 hasta los 9.5 (Narra 1976; Tapia 1979 y Mujica 1994, citados por Bhargava y Srivastava 2013), en suelos de baja fertilidad y alta salinidad.

2.5 EL ESTRÉS EN PLANTAS

Larcher, citado por Reigosa y Pedrol (2003), define al estrés en las plantas como “*Un estado en el cual las crecientes demandas a las que es sometida la planta conducen a una desestabilización inicial de las funciones, seguida de un estado de normalización y una mejora de la resistencia*”, por otro lado, “*si se exceden los límites de la tolerancia y se sobrepasa la capacidad de aclimatación, el resultado puede ser un daño permanente o incluso la muerte*”. Taiz y Zeiger (2010) hace énfasis en la influencia negativa del factor externo sobre la planta, ya que una condición estresante reduce la tasa de algún proceso

fisiológico como la absorción de agua o nutrientes, la fotosíntesis, la respiración, el crecimiento, entre otros, por debajo de la tasa máxima que la planta mantendría en otras condiciones más favorables (Lambers *et al.*, citado por Reigosa y Pedrol 2003)

2.5.1 Fases inducidas por el estrés

Lichtenthaler (2003) describe cuatro fases inducidas por el estrés:

- Fase de respuesta: Se produce una reacción de alarma al inicio del estrés. Se producen anomalías en las actividades fisiológicas, desestabilización estructural de proteínas y membranas, disminución de la vitalidad y los procesos catabólicos exceden a los anabólicos.
- Fase de restitución: Se conoce como estado de resistencia porque el estrés continúa y ocurre un proceso de aclimatación, reparación y endurecimiento de las plantas estableciendo nuevos estándares fisiológicos. Es decir, se obtiene un nuevo óptimo fisiológico bajo las nuevas condiciones ambientales. Esta fase corresponde al máximo de resistencia vegetal.
- Fase final: O estado de agotamiento. Ocurre cuando el estrés es prolongado o hay una sobrecarga que permite sobreponerse al estrés. Se pierde progresivamente capacidades fisiológicas y vitalidad hasta llegar a la muerte celular. Sin embargo, si los agentes estresantes son eliminados antes de que predominen los procesos de senescencia, las plantas se regenerarán dando lugar a la fase de regeneración.
- Fase de regeneración: Tal como su nombre lo indica, ocurre una regeneración parcial o total de las funciones fisiológicas cuando desaparece el agente estresante y el daño previo no alcanzó niveles demasiado altos.

2.5.2 Estrés por calor

El estrés por calor es reconocido como una de las causas más importantes de la reducción de rendimiento y producción de materia seca en varios cultivos alrededor del mundo (Wahid et al. 2007). Se define como el incremento de la temperatura sobre el umbral por un período de tiempo suficiente para causar daños irreversibles en el crecimiento y desarrollo de la planta. Sin embargo, es importante señalar que existe una interacción en la intensidad (en °C), la duración y la tasa de incremento (Wahid et al. 2007). Un grado moderado de estrés térmico reduce el crecimiento de toda la planta, además, disminuye la tasa fotosintética más rápido que la tasa respiratoria (Taiz y Zeiger 2010).

Las altas temperaturas reducen la estabilidad de las membranas debido a la excesiva fluidez de los lípidos que la componen, siendo uno de los factores de la pérdida de su función fisiológica. Por otro lado, provoca la desnaturalización y pérdida de actividad enzimática, lo que genera disminución de la respiración y la fotosíntesis. (Taiz y Zeiger 2010).

Estudios realizados en diversos cultivos, demuestran que el estrés por calor puede ser perjudicial para el desarrollo óptimo de los cultivos. Por ejemplo, el garbanzo (*Cicer arietinum* L.), al estar bajo el estrés por calor reduce el tamaño de la canopia; además, los rendimientos disminuyen entre un 10 a 15% por cada grado de temperatura que se aumenta sobre el óptimo (Upadhyaya et al. 2011). En el caso del trigo, tanto el peso del grano y el número de granos son sensibles al estrés. El número de granos disminuye con el incremento de la temperatura (Ferris et al, citado por Wahid et al. 2007). En general, la larga exposición al calor afecta el desarrollo de las semillas, lo que puede retrasar la germinación o generar pérdida de vigor, reducir la emergencia y el establecimiento de las plántulas (Wahid et al. 2007).

2.5.3 Respuestas de la quinua al estrés por calor

La tolerancia al calor está definida como la habilidad de la planta para crecer y producir rendimientos económicos bajo altas temperaturas (Wahid et al. 2007).

En quinua, las altas temperaturas causan aborto de flores y muerte del polen (Jacobsen et al. 2003). Aguilar (1968), citado por Peterson y Murphy (2015), reportó que la variedad de quinua estudiada y sujeta a una temperatura constante de 32° C redujo su altura, biomasa, llenado de grano y tiempo de desarrollo, en comparación a las otras estudiadas a una temperatura promedio. Adicionalmente, se observó el que color rojo del tallo se intensificó.

Trabajos en la Universidad de Washington State, señalan que con altas temperaturas la inflorescencia produce pocas semillas o semillas vanas (Peterson y Murphy 2015). Por otro lado, Bonifacio (1995) notó que el estrés por calor puede causar reabsorción del endosperma. Adicionalmente, en 1993 en plantaciones en Utah, observó que las altas temperaturas inhiben la dehiscencia de las anteras y que existen diferencias en la tolerancia al calor entre variedades.

Un adecuado manejo agronómico, como el proporcionar a la planta el riego necesario, ayuda a mitigar los efectos del estrés por calor (Peterson y Murphy 2015).

2.5.4 Estrés por Sequía

Desde el punto de vista agronómico o productivo, la sequía se define como la falta de humedad o el agotamiento transitorio de las reservas hídricas del suelo que afecta el normal crecimiento y desarrollo de las plantas (Reigosa y Pedrol 2003, Mujica y Jacobsen 1999).

La sequía es un factor ambiental adverso y es determinante en la distribución de la vegetación y las limitaciones en el rendimiento agrícola (Lin et al. 2006). Los síntomas de la sequía se manifiestan como: disminución de fotosíntesis, degradación de proteínas, expansión foliar lenta, disminución en la respiración y producción de biomasa, cierre de estomas, entre otros (Henriques 2008). También se asocia con el ajuste osmótico de células, el cual se logra con la acumulación de diferentes compuestos orgánicos como azúcares solubles, prolina y otros (Chai et al. 2001)

Según Elewa et al. (2017), la deficiencia de agua es un importante factor ambiental estresante, que a menudo va ligado con otros factores estresantes abióticos como la temperatura, la salinidad y otros; todos ellos reducen la productividad de los cultivos.

El déficit de agua afecta la turgencia de la célula y la apertura de los estomas de las hojas originando disminución en la transpiración y asimilación de CO₂; inhibiendo el metabolismo de las hojas (Waseem et al. 2011). De igual modo se genera cambios adversos en el sistema fotosintético (Albert et al. 2011). Produce efectos negativos en el crecimiento, fisiología y rendimiento (Yang et al. 2016)

La prolina, junto con otros osmolitos orgánicos, son los responsables del balance osmótico, ya que permiten disminuir el potencial osmótico en el citoplasma y de esta manera facilitan el ingreso de agua (Reigosa y Pedrol 2003). En tejidos turgentes, la prolina tiende a oxidarse rápido; sin embargo, en condiciones de sequía o de déficit hídrico, la oxidación es inhibida (Peterson y Murphy 2015), por lo tanto, se acumula prolina libre en el interior de la célula. Es por eso que este aminoácido se utiliza como un indicador del estado hídrico de la planta (Kramer 1989).

El ajuste osmótico es el aumento neto del contenido de solutos por célula, con el propósito de disminuir el potencial hídrico de la planta sin afectar la turgencia celular (Taiz y Zeiger 2010). Este mecanismo de aclimatación permite mantener el abastecimiento de agua en condiciones de sequía (Medrano y Flexas 2003). Si una planta se osmorregula, puede mantener la turgencia del tejido, por lo que tiene más oportunidades de sobrevivir bajo condiciones adversas, que aquella que no se ajusta osmóticamente (Delatorre 1999)

Para determinar el ajuste osmótico generalmente se mide el potencial osmótico (Delatorre 1999).

$$\psi_w = \psi_\pi + \psi_p$$

Donde: ψ_π : potencial osmótico

ψ_p : potencial de presión

La presencia de solutos en la célula origina un potencial osmótico (ψ_π), el cual se decrece para que el potencial hídrico de la planta sea menor que el del suelo y facilite el ingreso de agua.

2.5.5 Respuesta de la quinua a la sequía

La quinua está considerada como una planta resistente a la sequía (Jacobsen et al. 2003) gracias los mecanismos que ha desarrollado, los cuales le permiten obtener rendimientos aceptables bajo condiciones extremas. Estos mecanismos son: 1) Escape: La planta completa su ciclo antes del déficit hídrico o se desarrollan de manera precoz. 2) Tolerancia: Se evidencia en la plasticidad de crecimiento, elasticidad del tejido y bajo potencial osmótico. 3) Evitamiento: Aumento de la densidad radicular, disminución del área foliar, presencia de oxalato de calcio, cambio en el comportamiento estomatal (Jensen et al. 2000)

González et al. (2009), en un estudio realizado con plantas de quinua en condiciones de sequía e inundación, encontró que los pesos secos de plantas y raíces se redujeron por efecto de ambos tipos de estrés, con un menor valor a nivel de inundación. El área foliar y área específica de hoja fueron mayores en condiciones de estrés de sequía. El contenido de

clorofila total a y clorofila b fue menor en el tratamiento inundado y no hubo diferencias para esta característica entre los tratamientos de sequía y el control.

Fghire et al. (2015), estudiaron las bases fisiológicas de la tolerancia a la sequía de la quinua en Marrueco, en dos campañas agrícolas con diferentes tratamientos de irrigación (100, 50 y 33% ETe) y en condiciones de secano y encontraron que el estrés de sequía afectaba la fotosíntesis, causaba disminución en el índice de área foliar, potencial de agua de la hoja y la conductancia estomatal a medida que se incrementa la sequía.

Bascuñán-Godoy et al. (2016), estudiaron los cambios en el metabolismo del carbono y del nitrógeno en las hojas y granos de quinua de diferentes variedades, en respuesta a la deficiencia de agua. Se observó además, diferencias en el grado de recuperación de los genotipos una vez terminado el estrés y reinstaurada la dotación de agua y los cambios en la actividad de asimilación del nitrógeno asociado a enzimas, que dieron diferencias en la calidad del grano.

Según Escobar-Gutiérrez et al. (1998) y LI y LI (2007) los azúcares solubles (sucrosa, glucosa y fructosa), juegan un rol muy importante en el ajuste osmótico en muchas especies; sin embargo, la prolina juega un rol importante sólo en pocas especies como la papa y el tomate.

Elewa et al. (2017), en un estudio realizado en Egipto, señaló que la disminución en el número de riegos determinó la marcada reducción de crecimiento, de pigmentos de fotosíntesis, ácido indolacético endógeno, rendimiento y calidad. Por otro lado, incrementó el de fenoles, azúcares solubles totales, prolina y aminoácidos libres, en las hojas de quinua.

El uso de variedades tolerantes a la sequía puede ayudar a lograr reducir la pérdida de rendimiento en zonas con problemas de sequía (Waseem et al. 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 UBICACIÓN DE LA ZONA EXPERIMENTAL

El presente experimento se realizó en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, cuya ubicación geográfica es la siguiente:

Departamento:	Lima
Distrito:	La Molina
Latitud:	12° 05' 06" S
Longitud:	76° 57' 05" O
Altitud:	251 m.s.n.m.

3.2 ANÁLISIS DE SUELO

Los suelos de la Molina se encuentran fisiográficamente situados en una terraza media de origen aluvial. Se caracterizan por presentar buen drenaje, permeabilidad moderada textura media a ligeramente gruesa, estructura granular fina y consistencia en húmedo que va desde friable a muy friable.

Se realizó un análisis de caracterización de suelo en el Laboratorio de Agua, Suelo, Medio ambiente y Fertirriego de la Universidad Nacional Agraria La Molina. Los resultados se presentan en el Cuadro N°2.

El suelo presenta una textura franco arenosa arcillosa con una reacción moderadamente alcalina (pH 8.1). Está clasificado como muy ligeramente salino (0.67 dS/m) con un porcentaje de materia orgánica medio (2.14 por ciento). La CIC es clasificada como media, además, el contenido de fósforo es alto y el de potasio es medio.

Cuadro N° 2. Análisis de caracterización del suelo (profundidad: 5 a 25 cm.) del área experimental empleada en La Molina- 2017

Muestra campo	pH (1:1)	C.E. (dS/m)	CaCO ₃ (%)	M.O (%)	P (ppm)	K (ppm)	Análisis mecánico			Clase textural	CIC	Cambiables (me/100g)					Suma de cationes	Suma de bases	% de Sat. de Bases
							% Arena	% Limo	% Arcilla			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K ⁺¹	Na ⁺¹	Al ⁺³ +H ⁺			
Cereales	8.10	0.67	1.00	1.51	27.6	137	51	26	23	Franco Arenoso arcilloso	15.36	13.21	1.37	0.48	0.3	0.00	15.36	15.36	100

Fuente: Laboratorio de Agua, Suelo, Medio Ambiente y Fertirriego UNALM

3.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS DE LA ZONA

El distrito de La Molina presenta las condiciones propias de costa central peruana, con clima semi cálido. La zona es clasificada como un desierto árido subtropical. El experimento se realizó entre los meses de Febrero y Mayo de 2017. En el Cuadro N° 3, se encuentran los datos promedio de Heliofanía, Temperatura Máxima (°C), Temperatura Mínima (°C), Humedad Relativa Máxima (%) y Humedad Relativa Mínima (%) obtenidos de la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM.

Cuadro N° 3: Datos meteorológicos promedio del observatorio Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina, 2017).

VARIABLES/MES	Feb.	Mar.	Abr.	May.
Heliofanía (horas)	5.4	6.1	6.5	3.4
Temperatura Máxima (°C)	31.6	30.3	28.4	24.9
Temperatura Mínima (°C)	21.5	21.8	18.7	17.6
Humedad Relativa Máxima (%)	96	86	97	96
Humedad Relativa Mínima (%)	54	59	65	74

Fuente: Elaboración propia (2018)

3.4 MATERIAL GENÉTICO

Se utilizaron cuatro genotipos:

- Dos variedades comerciales: INIA Salcedo y Amarilla Sacaca
- Dos líneas mutantes del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM: MQPAS-50 y MQ-Amarilla Maranganí 250G-283.

3.5 METODOLOGÍA

Se instalaron dos experimentos independientes, donde el agua fue proporcionada a través de un sistema de riego por goteo. La siembra se realizó el día 02 de febrero de 2017

Experimento 1: Ambiente Testigo: Riego normal: se suministró agua en cantidades necesarias hasta la fase de madurez fisiológica. Se aplicó 185.71 mm de agua

Experimento 2: Ambiente sequía: Riego deficitario: El estrés hídrico se aplicó 131.08 mm de agua de la siguiente manera:

1. Del 21 de marzo hasta el 16 de abril, desde la floración hasta el estado de grano lechoso, se aplicó la mitad del volumen de agua aplicado al ambiente testigo.
2. Del 18 de abril hasta el 24 de abril, de grano lechoso a inicio de pastoso, el riego se suspendió en su totalidad en el ambiente sequía.

El riego se suspendió en ambos ambientes el 10 de mayo del 2017.

Ambos experimentos fueron sembrados al mismo tiempo y estuvieron afectados por el estrés de calor del verano del 2017 (Cuadro N° 3):

Las evaluaciones agronómicas y fisiológicas se realizaron en los dos ambientes. Se cosechó cada parcela, considerando el estado de grano rayable con la uña (20% de humedad del grano).

La distribución de los experimentos y de las variedades dentro de los experimentos se presenta en la Figura N° 1. Las características del campo experimental fueron:

Área de la parcela:

N° surcos:	2
Distanciamiento entre surcos:	0.6 m
Longitud de surcos:	7 m
Total de área por parcela:	8.4 m²
N° de parcelas/bloque:	4
Total de área por bloque:	33.6 m²

Área por ambiente:

N° de bloques (repeticiones):	4
Distancia entre bloques:	1.2 m
Total de área efectiva por ambiente	134.4 m²

Área del campo experimental:

N° de ambientes:	2
------------------	---

Distancia entre ambientes:	1 m
Longitud del campo experimental:	33.9
Ancho del campo experimental:	11.3
Total de área efectiva del campo experimental:	268.8 m²
Total de área del campo experimental:	383.07 m²

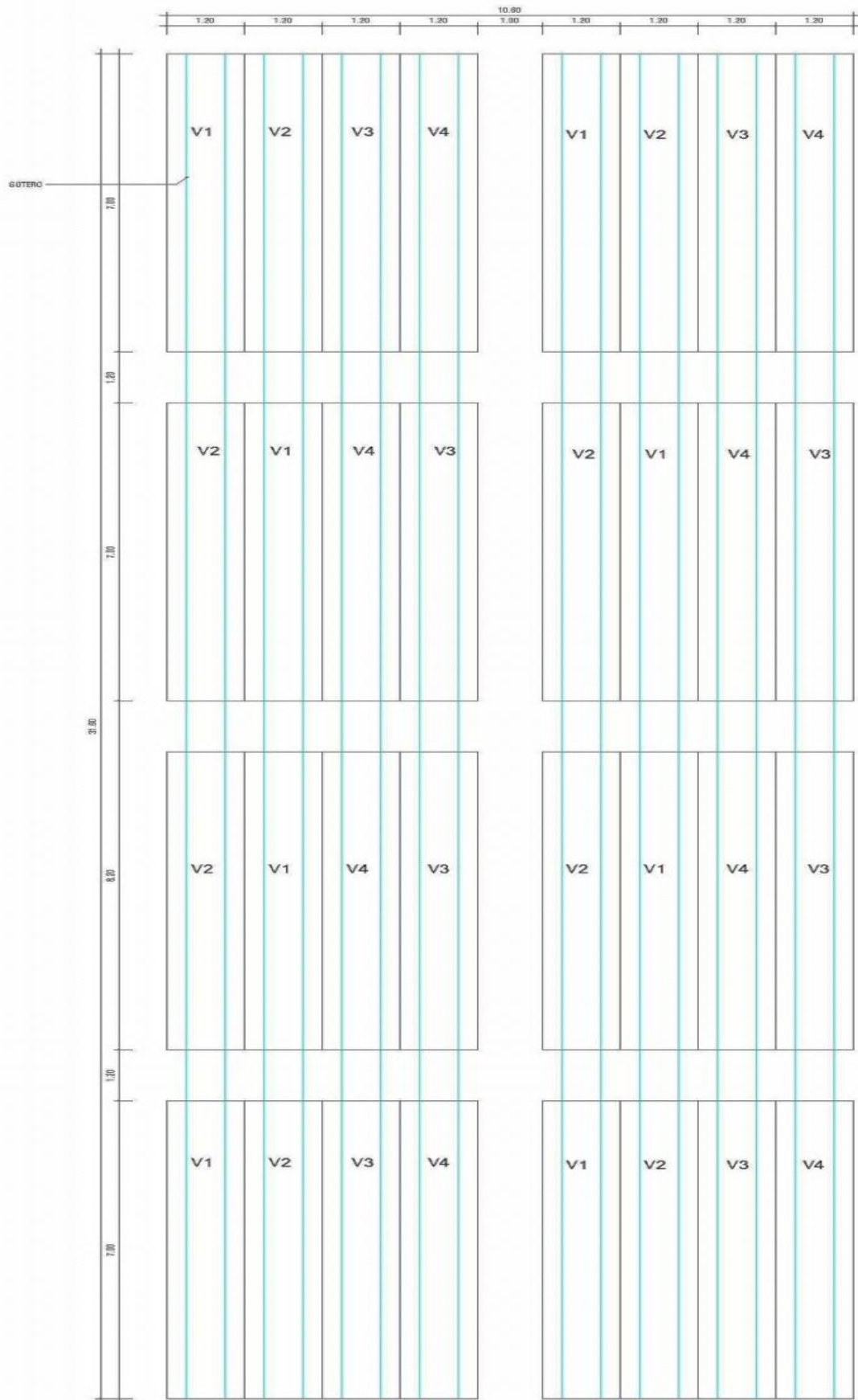


Figura N° 1. Distribución del campo experimental. La Molina 2017

3.6 MANEJO DEL CULTIVO

El cronograma de actividades se detalla en la Tabla N°4.

Preparación del terreno: Se realizó en forma convencional a la de los terrenos en costa.

Siembra: La siembra de todas las accesiones fue en forma manual a chorro continuo en la costilla del surco, cerca de la cinta de riego. Esta labor fue realizada el 02 de Febrero de 2017. La densidad de siembra fue 15 kg/ha para todas las accesiones. El distanciamiento entre surcos fue de 0.6m. Al momento del tapado se trató de que las semillas quedaran a una profundidad no mayor de 2 cm.

Desahíje: Se realizó cuando las hojas tuvieron 3 pares de hojas verdaderas, y se dejó una distancia aproximada de 2cm entre plantas.

Control de malezas: Esta actividad se realizó de forma manual y en forma simultánea con el desahíje.

Aporque: Se realizó cuando las plantas alcanzaron 40-50 cm de altura. Permitió dar una mayor fijación a las plantas y controlar las malezas entre los surcos.

Riegos: Se aplicó riego por goteo. El primero fue inmediatamente después de la siembra para brindar las condiciones adecuadas para la germinación de las semillas. La programación de riegos se detalla en el ANEXO 1.

Control fitosanitario: Se realizó el control químico para plagas y enfermedades. Las plagas encontradas fueron gusanos comedores de follaje como *Spodoptera sp.*, mosca minadora (*Liriomyza sp.*), áfidos (*Macrosiphum euphorbiae*) y chinches (*Liorhyssus hyalinus*). Además hubo incidencia de mildiú (*Peronospora variabilis*). Para el control de plagas y enfermedades se aplicaron agroquímicos tal como se indica en el Cronograma de actividades (Cuadro N° 4)

Cosecha: Se realizó de forma manual. Primero se segaron las plantas de todos los tratamientos a ras del suelo para posteriormente pesarlas, emparvarlas y dejar secarlas completamente.

Cuadro N° 4: Cronograma de actividades del Experimento en Condiciones de La Molina- 2017

FECHA	LABOR
26/01/2017	Instalación de las cintas de riego
30/01/2017	Control fitosanitario: Carbendazim (20cc/15l), Lignophos (40cc/15l), Acid color (15cc/15l)
02/02/2017	Siembra. 1° Riego
06/02/2017	Control fitosanitario: Carbendazim (20cc/15l), Lignophos (40cc/15l), Acid color (15cc/15l)
11/02/2017	Control fitosanitario: Carbendazim (20cc/15l), Cipermax (30cc/15l), Lannate (15gr/15l), Lignophos (40cc/15l), Acid color (15cc/15l)
18/02/2017	Control fitosanitario: Carbendazim (20cc/15l), Lannate (15gr/15l), Lignophos (40cc/15l), Acid color (15cc/15l)
20/02/2017	Desahije
24/02/2017	Control fitosanitario: Cipermax (30cc/15l), Lannate (15gr/15l), Acid color (15cc/15l)
03/03/2017	Control fitosanitario: Absolute (15cc/25l), Feno Cu-Nutrimax (70gr/25l), Solt Ph (10cc/25l)
13/03/2017	Aporque
14/03/2017	Control fitosanitario: Absolute (15cc/25l), Feno Cu-Nutrimax (70gr/25l), Solt Ph (10cc/25l)
27/03/2017	Control fitosanitario: Absolute (15cc/25l), Feno Cu-Nutrimax (70gr/25l), Solt Ph (10cc/25l)
30/03/2017	Control fitosanitario: Infinito (Propamocarb HCl y Fluopicolide, 100cc/25l), Solt Ph (10cc/25l)
05/04/2017	Control fitosanitario: Infinito (Propamocarb HCl y Fluopicolide, 100cc/25l), Cipermax (50cc/15l), Solt Ph (10cc/25l)
12/04/2017	Control fitosanitario: Confidor (50cc/25l), Solt Ph (10cc/25l)
21/04/2017	Control fitosanitario: Absolute (20cc/25l), Infinito (100cc/25l), Solt Ph (10cc/25l)
25/04/2017	Control fitosanitario: Lannate (30gr/25l), Solt Ph (10cc/25l)
16/05/2017	Cosecha

3.7 DISEÑO EXPERIMENTAL

Cada experimento está planteado en un diseño de bloques completos al azar con cuatro repeticiones y cuatro tratamientos (genotipos), dando un total de 16 unidades experimentales.

Modelo Aditivo Lineal

$$Y_{ij} = \mu + T_i + B_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

$$i = 1, 2, \dots, t \quad j = 1, 2, \dots, n_i$$

Y_{ij} = Valor observado en el i-ésimo genotipo y la j-ésima repetición.

μ = media general.

T_i = Efecto del i-ésimo genotipo.

B_j = Efecto del j-ésimo repetición.

ε_{ij} = Efecto del error experimental en el i-ésimo genotipo y la j-ésima repetición.

Modelo aditivo lineal para el análisis combinado

$$Y_{ijk} = \mu + \beta_j(k) + T_i + \alpha_k + (T\alpha)_{ik} + \varepsilon_{ijk}$$

Donde:

$$i = 1, 2, 3, \dots, 9.t \text{ (Genotipos)} \quad j = 1, 2, 3.R \text{ (repetición)}$$

$$k = 1, 2, 3, 4. \quad E \text{ (Sistema)}$$

Y_{ijk} = Observación del i-ésimo genotipo en el j-ésimo repetición en el k-ésimo ambiente.

μ = Media general.

$B_{j(k)}$ = efecto del j-ésimo repetición dentro de la k-ésima ambiente.

T_i = efecto del i-ésimo genotipo.

A_k = efecto de la k-ésima ambiente.

$(T\alpha)_{ik}$ = efecto de la interacción del i-ésimo genotipo con la k-ésima ambiente.

ε_{ijk} = Efecto aleatorio del error.

3.8 EVALUACIONES EXPERIMENTALES

3.8.1 Variables agronómicas

Rendimiento del cultivo: Después de la trilla, limpieza y venteo, se determinó la masa de los granos obtenidos en cada parcela. Se expresó en kg/ha.

Altura de planta (cm): Se midió antes de la cosecha, desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja. Por cada parcela se midió una planta representativa.

Biomasa aérea: Al momento de la cosecha se cortaron las plantas de cada parcela a la altura del cuello y se determinó el peso fresco. Luego se calculó la biomasa correspondiente a cada surco de cada parcela experimental. Para el análisis estadístico se tomaron los valores del primer surco y se estimó en kg/ha de materia seca.

Índice de cosecha (IC) (%): Se obtuvo de la relación entre la masa de la semilla (rendimiento económico) y la masa en seco de toda la planta incluyendo la semilla (rendimiento biológico o Biomasa). Se expresó en porcentaje.

Días a la floración: Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de flores de la inflorescencia se abrieron.

Días a la maduración: Número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de plantas de cada parcela presentó el estado de grano pastoso rayable con la uña.

Mildiu: Se determinó el porcentaje de área foliar infectada por mildiú, siguiendo el protocolo descrito en el Protocolo 10 por Danielsen y Ames (2000):

- 1) Se seleccionó tres plantas representativas de cada parcela.
- 2) De cada planta se escogió 3 hojas al azar, una de cada tercio
- 3) Se evaluó el porcentaje de área afectada de cada hoja usando la Figura N° 2 adjunta. El promedio de las tres lecturas equivale al valor de la severidad de cada planta.

El proceso se repitió tres veces por cada parcela experimental.

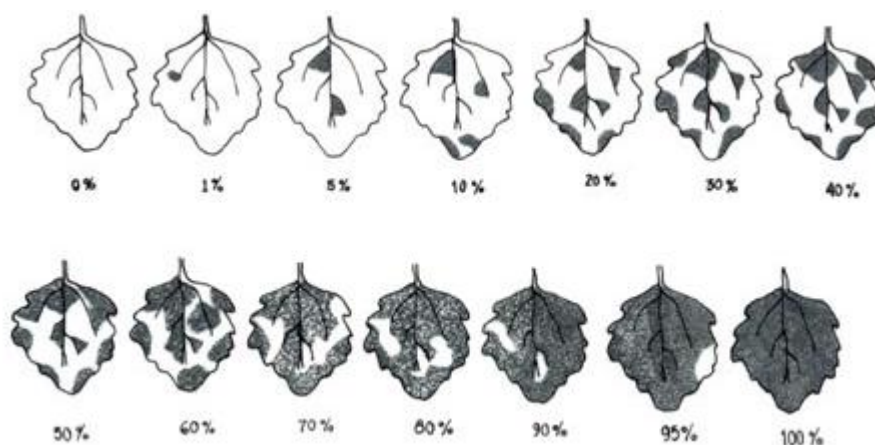


Figura N° 2. Índice de esporulación para determinar susceptibilidad o resistencia al mildiu

3.8.2 Variables de calidad de grano

Los caracteres de calidad fueron determinados en el Laboratorio de Calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM.

Peso de mil granos (g): se realizó un conteo manual de mil granos y se pesó en una balanza de precisión 0.0001 g mínimo marca Mettler Toledo (+/- 0.0001 g).

Porcentaje de proteína en el grano: Se realizó con el equipo Infratec 1241- Grain analyzer, la cual realiza estimaciones a través de un método no destructivo.

3.8.3 Variables fisiológicas

Contenido de prolina libre: Se realizó según la metodología de Bates et al. (1973). Se pesó 0.5 g de hoja y se homogenizó el tejido con 3 ml de ácido sulfosalicílico 3% (p/v) en frío hasta lograr una pasta fina. Se tomó 2 ml de muestra y se centrifugó a 13 000 rpm por 10 min, se extrajo 1 ml del sobrenadante y se agregó 1 ml de ninhidrina 0.1 M y 1 ml de ácido acético glacial concentrado. La solución resultante fue mezclada en un agitador vortex por 20 s, tras lo cual se llevó a ebullición en baño María por una hora. La reacción fue detenida bruscamente en hielo, dejando reposar las muestras por 15 min. Luego, se agregó 3 ml de tolueno para extraer el complejo cromóforo-prolina y se mezcló en el agitador vórtex por 60 s. Finalmente, se tomó la fase superior para ser leída en el

Espectrofotómetro Genezi a una absorbancia de 520 nm usando como blanco el Tolueno. El contenido de prolina fue calculado a partir de una curva de calibración con L-Prolina.

Potencial osmótico (ψ_{π}): Para calcular el potencial osmótico foliar (Mpa), se empleó el método de punto de rocío, el que consiste en colocar una muestra de la hoja en la cámara psicrométrica C-52 (Wescor), durante 30 minutos, para que la muestra entre en equilibrio, pasado este tiempo la cámara psicrométrica se conecta al microvoltímetro HR-33T (Wescor), corrigiendo la temperatura de la cámara, sobre un valor del microvoltímetro, para posteriormente realizar la lectura.

De cada unidad experimental se seleccionaron al azar tres plantas. De cada planta se extrajeron dos discos foliares de una misma hoja con un sacabocado de 7 mm de diámetro, esto debido a que es el tamaño adecuado para el porta muestra de la cámara del psicrómetro (C-52), Las muestras extraídas de las parcelas fueron congeladas inmediatamente, y llevadas a un congelador de -70 °C, hasta el momento de la medición. Las muestras se colocaron en un envase con nitrógeno líquido, para romper la membrana celular, al momento de producirse la descongelación de la muestra.

Contenido relativo de Agua (CRA): El contenido relativo de agua foliar se determinó mediante método gravimétrico según Bennett et al. (1987) utilizando la ecuación:

$$CRA (\%) = 100 \left(\frac{PF - PS}{PT - PS} \right)$$

Se tomaron tres hojas del tercio superior por parcela para determinar el peso fresco (PF), luego las muestras se colocaron en agua destilada por 20 horas para obtener el peso turgente (PT). Finalmente, el peso seco (PS) se obtiene tras secar la muestra en la estufa durante 48 horas a 70° C.

Contenido de clorofila en unidades SPAD: Se determinó con un medidor de clorofila de mano (SPAD-502 Chlorophyll Meter, Minolta Camera Co., Ltd., Japón) no destructivo. Se realizaron tres mediciones por parcela. Cada dato se obtuvo del valor promedio de seis hojas extendidas de diferentes plantas. Esta característica se expresa en unidades SPAD.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIONES

4.1 OBJETIVO 1

De terminación del efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres agronómicos, respuesta al mildiú (*Perenospora variabilis*) y caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua.

4.1.1 Variables agronómicas

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias, se efectuó el análisis combinado de ambos ambientes. En el Cuadro N° 5 se presenta el ANOVA combinado para rendimiento, altura de planta, biomasa, índice de cosecha, número de días al 50 por ciento de floración y número de días a la madurez. Para la variable rendimiento existen diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) en repeticiones y genotipos; el coeficiente de variación fue 21.49 por ciento. Para la variable altura de planta se observa diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) en genotipos, con un coeficiente de variación de 5.97 por ciento. En la variable biomasa se presenta diferencias altamente significativas a nivel de genotipo ($\alpha=0.001$); el coeficiente de variación fue igual a 33.02 por ciento. La variable índice de cosecha muestra diferencias altamente significativas a ($\alpha=0.001$) a nivel de repeticiones, y diferencias significativas ($\alpha=0.05$) a nivel de genotipo; con un coeficiente de variabilidad de 22.24 por ciento. En cuanto a la variable número de días a la floración se aprecian diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) a nivel de genotipos, con un coeficiente de variabilidad de 3.22 por ciento. Finalmente, en la variable número de días a la madurez se encuentran diferencias significativas en las repeticiones ($\alpha=0.05$) y altamente significativas en los genotipos ($\alpha=0.001$), con un coeficiente de variabilidad de 1.68 por ciento. No se observaron diferencias estadísticas para la interacción ambiente y genotipos.

RENDIMIENTO

En el Cuadro N° 6 se presentan los valores medios de rendimiento de grano de los cuatro genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de rendimiento varió de 907 kg/ha a 1820.5 kg/ha. El valor más bajo fue observado en la línea mutante MQ Pas-50 y el más alto en la línea mutante MQ AM 250-283. Los testigos comerciales INIA Salcedo y Amarilla Sacaca rindieron 925.3 kg/ha y 1260.7 kg/ha; respectivamente, existiendo diferencias significativas entre estos valores y el del genotipo de mayor rendimiento.

Los genotipos que presentaron menor rendimiento por efecto del riego deficitario fueron INIA Salcedo y MQ Pas-50 con una reducción de 7 por ciento a 11 por ciento, respectivamente (Anexo 3). Los que no fueron afectados por el riego deficitario fueron mutante MQ AM 250-283 y Amarilla Sacaca.

El rendimiento de grano observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 7), varió de 1201.5 kg/ha (riego normal) a 1233.3 kg/ha (riego deficitario). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

ALTURA DE PLANTA

Los valores medios de altura de planta de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego se presentan en el Cuadro N° 6. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El valor más alto fue observado en el testigo comercial Amarilla Sacaca con 166.9 cm y el más bajo en el testigo comercial INIA Salcedo con 197.5 cm. Las líneas mutantes MQ Pas-50 y MQ AM 250-283 alcanzaron una altura igual a 178.8 cm y 195 cm, respectivamente.

Los genotipos que presentaron disminución de altura por efecto del riego deficitario fueron la variedad comercial Amarilla Sacaca y la línea mutante MQ AM 250-283 con una reducción de 1.25 por ciento a 2.5 por ciento (Anexo 3). La variedad INIA Salcedo y la línea mutante MQ PAS-50 no fueron afectadas.

La altura de planta observada a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 7), varió de 184.4 cm (riego normal) a 184.7 cm (riego deficitario). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

BIOMASA

En el Cuadro N° 6 se presentan los valores medios de biomasa de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de biomasa varió de 4650 kg/ha a 7593.8 kg/ha. El valor más alto fue observado en el testigo comercial Amarilla Sacaca y el más bajo en la línea mutante MQ PAS-50. El testigo comercial INIA Salcedo y la línea mutante MQ AM 250-283 alcanzaron un valor de 5075.0 kg/ha y 6187.5 kg/ha, respectivamente.

Los genotipos que mostraron una disminución en los kilogramos de biomasa por efecto del riego deficitario fueron la variedad comercial Amarilla Sacaca, la línea mutante MQ AM 250-283 y la línea mutante MQ PAS-50 con una reducción de 6.22, 13.21 y 23.7 por ciento, respectivamente (Anexo 3). La variedad INIA Salcedo no fue afectada.

La biomasa observada a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos, varió de 5638 kg/ha (riego deficitario) a 6116 kg/ha (riego normal) (Cuadro N° 7). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

ÍNDICE DE COSECHA (IC)

En el Cuadro N° 6 se presentan los valores medios de índice de cosecha de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de índice de cosecha varió de 10.95 por ciento a 6.65 por ciento. El valor más alto fue observado en la línea mutante MQ AM 250-283 y el más bajo en la variedad comercial Amarilla Sacaca. La línea mutante MQ Pas-50 y el testigo comercial INIA Salcedo alcanzaron un valor de 7.81 por ciento y 7.17 por ciento, respectivamente.

El genotipo que presentó una disminución en el porcentaje de índice de cosecha por efecto del riego deficitario fue la variedad comercial INIA Salcedo con una reducción de 11.56 por ciento (Anexo 3). Las líneas mutantes MQ AM 250-283 y MQ PAS-50, y la variedad comercial Amarilla Sacaca no fueron afectadas.

El índice de cosecha observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos, varió de 7.7 por ciento (riego normal) a 8.59 por ciento (riego deficitario)

(Cuadro N° 7). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

NÚMERO DE DÍAS A LA FLORACIÓN

En el Cuadro N° 6 se presentan los valores medios de número de días al 50 por ciento de floración de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de número días varió de 46 días a 51.63 días. El genotipo más precoz fue la variedad comercial INIA Salcedo y la más tardía la variedad comercial Amarilla Sacaca. Las líneas mutantes MQ Pas-50 y MQ AM 250-283 alcanzaron valores iguales a 46.25 días y 49.88 días, respectivamente.

El número de días al 50 por ciento de floración observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 7), varió de 48.83 días (riego deficitario) a 48.5 días (riego normal). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

NÚMERO DE DÍAS A LA MADUREZ

En el Cuadro N° 6 se muestran los valores medios de número de días a la madurez de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de número días varió de 86.5 días a 93.25 días. La línea mutante MQ Pas-50 fue el genotipo más precoz, mientras que el más tardío fue la línea mutante MQ AM 250-283. Las variedades comerciales INIA Salcedo y Amarilla Sacaca presentaron valores iguales a 91.75 días y 93.25 días, respectivamente.

El número de días a la madurez observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos, alcanzó un valor de 90.88 días en ambos (Cuadro N° 7). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

Cuadro N° 5: Cuadrados medios del ANVA combinado de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017

Fuente de las variaciones	G.L	Rendimiento	Altura Planta	Biomasa S1	Índice de cosecha	50% floración	50% madurez
Ambiente	1	23166.28	0.78	1828828.13	6.20400313	0.125	0
Rep	6	310247.4**	95.57	9142369.79	15.1389448 *	1.125	2.92*
Genotipos	3	1458259.54 **	1661.2 **	13846328.13 **	29.8339698 **	61.20833**	71.5**
Amb*Genotipos	3	54856.55	59.11	1427578.13	3.02021979	0.54166	0.33
Error	18	69711.01	121.27	3765564.20	3.2820198	2.4305556	2.36
Total	31						
Coefficiente de variabilidad (%)		21.49	5.97	33.02	22.24	3.22	1.68
Raíz MSE		264.03	11.01	1940.51	1.811635	1.56	1.54
Media		1228.4	184.53	5876.56	8.14	48.44	90.88

Fuente: Elaboración propia (2018).

Cuadro N° 6: Valores medios de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Genotipos	Rendimiento (kg/ha)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Índice de cosecha (%)	50% floración	50% madurez
INIA Salcedo	925.3 c	166.87c	5075.0b	7.17b	46.0c	91.75a
MQ AM 250-283	1820.5 a	195a	6187.5ab	10.95a	49.88b	93.25a
MQ Pas-50	907.0 c	178.75b	4650.0b	7.81b	46.25c	86.5b
Amarilla Sacaca	1260.7 b	197.5a	7593.8a	6.65b	51.63a	92.0a

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cuadro N° 7: Valores medios de los caracteres agronómicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Ambiente	Rendimiento (kg/ha)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Índice de cosecha	50% floración	50% madurez
Sequia	1233.3a	184.69a	5638a	8.59a	48.38a	90.88a
Testigo	1201.5a	184.37a	6116a	7.7a	48.5a	90.875a

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Comparando los resultados observados para los caracteres agronómicos evaluados con aquellos realizados en condiciones de la región andina y otros se puede apreciar:

Para rendimiento, en condiciones de La Molina, Quillatupa (2009) obtuvo un rendimiento promedio de 2976.56 kg/ha en la campaña de octubre de 2007 a mayo de 2008. Adicionalmente, León (2014) en la campaña de agosto de 2013 a enero de 2014 obtuvo un rendimiento promedio de 2965 kg/ha y Deza (2018), en la campaña de setiembre de 2014 a enero de 2015, reportó un valor de 2921.9 kg/ha para la variedad INIA Salcedo y 3231.6 kg/ha para la línea mutante MQ PAS 50. Por otro lado, Mercedes (2005) instaló un experimento donde se comparó la respuesta de cuatro variedades de quinua bajo dos ambientes, uno con régimen de riego normal y otro con estrés hídrico, obteniendo un rendimiento promedio de 2030 kg/ha y 1340 kg/ha respectivamente. Geerts et al. (2008) encontraron que el estrés aplicado desde el estadio de seis hojas hasta 12 hojas verdaderas no tiene efecto negativo en el crecimiento. Sin embargo, Jensen et al (2000) encontraron que el rendimiento disminuye cuando el estrés se aplica durante la etapa de floración y llenado de grano. Por lo que el efecto de la sequía en el rendimiento depende de qué etapa fenológica se vea afectada.

El valor promedio de la variable altura de planta, igual a 184.5 cm, observado en la presente investigación fue comparativamente superior a los promedios obtenidos por Julón (2016), Burin (2016) y Mercedes (2005), que en condiciones de La Molina encontraron alturas de 160 cm, 141 cm y 117 cm respectivamente. Es posible que el incremento de altura de se haya debido a las altas temperaturas experimentadas durante la campaña.

Para biomasa, Deza (2018) encontró diferencias significativas en los cuatro genotipos que evaluó, con un rango entre 4043.0 kg/ ha y 6707.0 kg/ha, donde la variedad INIA Salcedo, obtuvo el valor más bajo y la línea mutante MQ PAS-50, 4089.8 kg/ha. Estos valores son superiores a los reportados en el presente experimento. Por otro lado, Mendoza (2013), en su trabajo comparativo de 23 accesiones de quinua en condiciones de costa central, obtuvo diferencias altamente significativas en los 17 genotipos que sí formaron grano, en un rango entre 3482 kg/ha a 16163 kg/ha, y señala que en esas condiciones, debido a las altas temperaturas, el cultivo alcanza mayor altura y biomasa.

En cuanto al Índice de cosecha, León (2014), obtuvo un valor promedio de 45.75 por ciento en la campaña de agosto de 2013 a enero de 2014 con la variedad La Molina 89-77. Por otro lado, Quillatupa (2009), obtuvo un índice de cosecha promedio de 21.63 por ciento al evaluar 16 accesiones de quinua. Deza (2018), reportó un rango entre 23.45 a 39.47 por ciento, donde la MQ PAS 50 alcanzó el mayor valor y la INIA Salcedo obtuvo un valor de 34.9 por ciento. Burin (2016) evaluó 4 variedades comerciales de quinua con tres láminas de agua diferentes (L1= 420 mm, L2= 336 mm y L3=252 mm) en la campaña de setiembre de 2014 a febrero de 2015, y obtuvo un índice de cosecha promedio de 16.9 por ciento, donde la variedad INIA Salcedo obtuvo un promedio de 15.4 por ciento, superior al obtenido en este experimento. El índice de cosecha de este experimento realizado durante la campaña febrero de 2017 a mayo de 2017 es menor al encontrado en otros trabajos en condiciones de La Molina.

El promedio de días a la floración encontrados por Quillatupa (2009) y Julón (2016) fueron iguales a 76.88 días y 64 días, respectivamente, los cuales son comparativamente mayores al de este experimento que fue de 48.4 días.

En cuanto al promedio de días a la madurez, no se encontraron diferencias significativas en ambos ambientes. Este resultado fue similar al obtenido en el ensayo de Mercedes (2005), donde se comparó la respuesta de cuatro variedades de quinua con riego normal y con déficit de riego. El promedio de días a la madurez en el presente experimento fue igual a 90.9 días. Este valor es menor a los descritos por Julón (2014) y León (2014), quienes reportaron valores de 103.89 y 106.9 días para maduración, respectivamente.

Es importante señalar que en el presente experimento se tuvo el efecto combinado de sequía y calor. Las temperaturas reportadas estuvieron en un rango de 24.9 a 31.6 °C, que afectaron los caracteres agronómicos estudiados, sobre todo el ciclo de vida de los

genotipos estudiados. Jacobsen et al. (2003), sostienen que uno de los mecanismos de escape a la sequía es la maduración temprana. Aguilar (1968), citado por Peterson y Murphy (2015), reportó que la variedad de quinua estudiada y sujeta a una temperatura constante de 32° C redujo su altura, biomasa, llenado de grano y tiempo de desarrollo o ciclo de vida. Los resultados de estas variables, salvo la altura, se repitieron en este experimento

4.1.2 Mildiu (*Peronospora variabilis*)

Considerando su importancia como factor limitante biótico del cultivo de la quinua se evaluó su incidencia y severidad en los genotipos estudiados. En la Figura N°3 se presentan las evaluaciones realizadas en tres fases de desarrollo del cultivo (grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso). Se aprecia un incremento de la severidad desde la fase de grano acuoso a la fase de grano lechoso y una disminución de la misma desde la fase de grano lechoso a grano pastoso para todos los genotipos evaluados y con valores similares. En la Tabla N° 8 se presenta el ANOVA combinado para la variable grado de severidad de la enfermedad en el estado de grano pastoso. El análisis de los datos muestra que no existen diferencias estadísticas a nivel de la interacción ambiente*genotipo, ambiente y genotipo. Sin embargo, se aprecia que existen diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) en las repeticiones y un coeficiente de variación igual a 34.55 por ciento.

En el Cuadro N° 9 se presentan los valores medios del porcentaje del área foliar afectada por mildiu de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que no existen diferencias significativas entre los genotipos. El rango de porcentaje de mildiú varió de 22.5 por ciento a 27.5 por ciento. El valor más alto fue observado en la línea mutante MQ AM 250-283 y el más bajo en la MQ PAS-50. La variedad comercial Amarilla Sacaca y la INIA Salcedo alcanzaron valores iguales a 23.75 por ciento y 25.6 por ciento, respectivamente.

El porcentaje de mildiú observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos, varió de 23.43 por ciento (riego normal) a 26.25 por ciento (riego deficitario) (Cuadro N° 10). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

Cuadro N° 8: Cuadrados medios del ANVA combinado del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (*Peronospora variabilis*) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017

Fuente de las variaciones	G.L	Mildiú
Ambiente	1	63.28
Rep	6	477.86**
Genotipos	3	38.28
Amb*Genotipos	3	34.11
Error	18	73.69
Total	31	
Coeficiente de variabilidad (%)		34.55
Raíz MSE		8.5
Media		24.84

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cuadro N° 9: Valores medios del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (*Peronospora variabilis*) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Genotipos	Mildiú %
INIA Salcedo	25.6 a
MQ AM 250-283	27.5 a
MQ Pas-50	22.5 a
Amarilla Sacaca	23.75 a

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cuadro N° 10: Valores medios del porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú (*Peronospora variabilis*) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Ambiente	Mildiú %
Sequia	26.25 a
Testigo	23.43 a

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

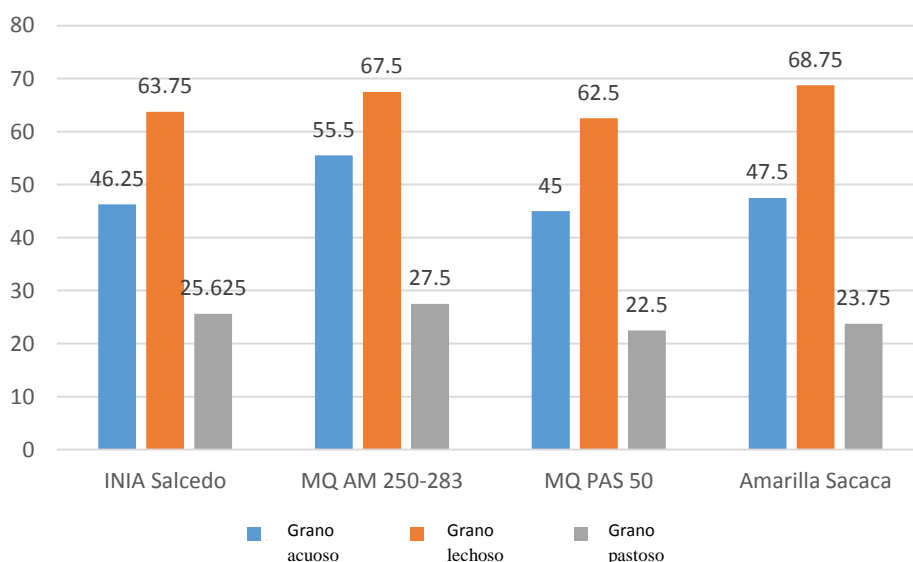


Figura N° 3: Valores medios del porcentaje de área foliar afectada por la enfermedad mildiú (*Peronospora variabilis*) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en las fases fenológicas de grano acuoso, grano lechoso y grano pastoso, en La Molina en 2017.

Los resultados en las tres evaluaciones varían en un rango de valor de 22.5 por ciento a 68.75 por ciento de área foliar afectada por síntomas del patógeno. Se puede observar que en todas las evaluaciones, la línea mutante MQ PAS 50, fue la que obtuvo los resultados más bajos. Además, se aprecia un incremento de severidad en las fases iniciales del cultivo para disminuir en la parte final del ciclo. 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 (Danielsen y Ames, 2000). Cabe señalar que durante el periodo vegetativo no se presentaron las condiciones climatológicas que permitieran el adecuado desarrollo de la enfermedad.

4.1.3 Variables de calidad de grano

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En el Cuadro N° 11 se presenta el ANOVA combinado para contenido de proteína de grano y peso de 1000 granos. Para la variable contenido de proteína se observa que existen diferencias significativas ($\alpha= 0.05$) a nivel de ambiente y altamente significativas ($\alpha=0.001$) en genotipos, y que el coeficiente de variación fue igual a 6.61 por ciento. Para la variable peso de mil granos se aprecia diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) en las repeticiones y los genotipos; el coeficiente de variación fue igual a 5.02 por ciento. No existió efecto de interacción entre ambiente*genotipo.

CONTENIDO DE PROTEÍNA

En la Cuadro N° 12 se presentan los valores medios de contenido de proteína de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.001$) comprueba que existen diferencias altamente significativas entre los genotipos. El valor más bajo de proteína se encontró en la línea mutante MQ Pas-50 con 10.74 por ciento y el más alto en la variedad comercial Amarilla Sacaca con 16.47 por ciento. La línea mutante MQ AM 250-283 y el testigo comercial INIA Salcedo alcanzaron valores iguales a 15.61 por ciento y 16.36 por ciento, respectivamente.

Al analizar el contenido de proteína observado a nivel de los dos niveles de riego, en promedio de los genotipos, se observó que el ambiente testigo (riego normal) obtuvo el mayor valor con 15.34 por ciento en comparación al 14.25 por ciento obtenido en el ambiente sequía (riego deficitario) (Cuadro N° 13), es decir, una disminución de 7.11 por ciento de proteína en el ambiente sequía. Estos valores presentan diferencias significativas según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Todos los genotipos presentaron menor porcentaje de proteína por efecto del riego deficitario con una reducción de 0.65 por ciento para la línea mutante MQ PAS-50, 4.7 por ciento para la variedad INIA Salcedo, 6.7 por ciento para la línea mutante MQ AM 250-283 y 13.8 por ciento para la variedad Amarilla Sacaca (Figura N° 4).

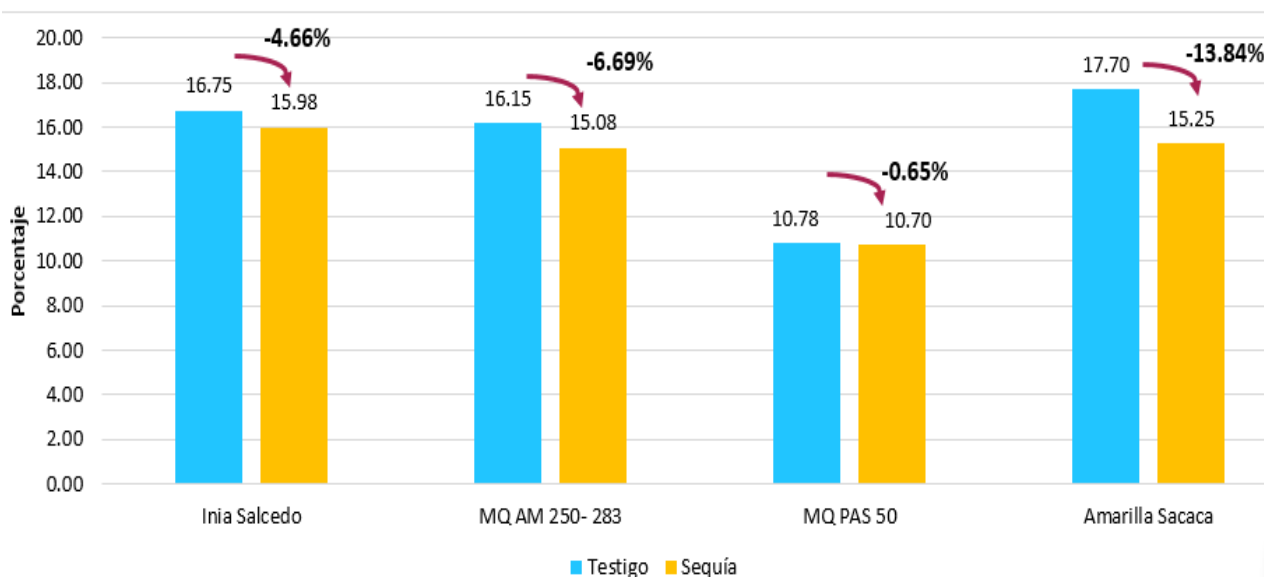


Figura N° 4: Porcentaje promedio de proteína en grano en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos ambientes en la Molina en 2017.

PESO DE MIL GRANOS

Los valores medios de peso de mil granos de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego, se presentan en el Cuadro N° 12. Según la prueba Duncan ($\alpha= 0.001$) diferencias altamente significativas a nivel de repeticiones y a nivel de genotipos ($\alpha= 0.001$). El rango de peso de mil granos varió de 2.0 g a 2.55 g. El valor más alto fue observado en la línea mutante MQ AM 250-283 y el más bajo en el testigo comercial Amarilla Sacaca. La línea mutante MQ PAS-50 y el testigo comercial INIA Salcedo alcanzaron valores iguales a 2.08 g y 2.24 g, respectivamente.

El peso de mil granos observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 13), varió de 2.16 g (riego normal) a 2.28 g (riego deficitario). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

Cuadro N° 11: Cuadrados medios del ANVA combinado de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017

Fuente de las variaciones	G.L	Proteína	1000 granos
Ambiente	1	9.57*	0.12
Rep	6	0.71	0.10 **
Genotipos	3	59.76**	0.47**
Amb*Genotipos	3	1.99	0.02
Error	18	0.96	0.01
Total	31		
Coeficiente de variabilidad (%)		6.61	5.02
Raíz MSE		0.98	0.11
Media		14.80	2.22

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cuadro N° 12: Valores medios de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Genotipos	Proteína Grano (%)	1000 granos (g)
INIA Salcedo	16.36a	2.24b
MQ AM 250-283	15.61a	2.55a
MQ Pas-50	10.74b	2.08c
Amarilla Sacaca	16.47a	2.00c

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cuadro N° 13: Valores medios de los caracteres de calidad de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Ambiente	Proteína de Grano (%)	1000 granos (g)
Sequia	14.25b	2.28a
Testigo	15.34a	2.16a

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia (2018)

Cardozo y Tapia, citados por Bhargava y Srivastava (2013), reportaron que el porcentaje de proteína en grano de la quinua varía entre 7.47 a 22.08. Gómez y Aguilar (2016), señalaron que el rango se varía entre 14 a 22 por ciento, siendo significativamente mayor que el de los cereales. Por otro lado, León (2014) encontró los tratamientos con mayores regímenes de riego tuvieron mayor contenido de proteína (15.37 y 15.30 por ciento) en comparación a los tratamientos con láminas de riego al 75 y 50 por ciento (14.86 y 13.11 por ciento de proteína, respectivamente).

Investigaciones realizadas en diferentes partes del mundo sostienen que las altas temperaturas tienen como efecto la disminución del rendimiento y el llenado de grano (Peterson y Murphy 2015). Adicionalmente, otros estudios realizados en cultivos como el trigo, señalan que las altas temperaturas durante el llenado de grano pueden modificar la calidad de la harina y el pan, además de otras cualidades fisicoquímicas (Perrotta, citado por Wahid et al 2007).

En el ensayo realizado por Quillatupa (2009) se evaluaron 16 accesiones de quinua en condiciones de La Molina. El rango de peso de mil granos varió entre 4.65 g para la accesión Cuzco 1 y 1.15 para la accesión Arequipa 1, con un promedio de 2.25 g para todo el experimento. León (2014), obtuvo en promedio un peso de 2.89 g. Los valores promedio del presente experimento se encuentran dentro del rango reportado por Canahua et al. (2001), donde el peso de mil granos varía entre 1.93 a 3.35 g con un promedio de 2.30 g.

4.2 OBJETIVO 2

Determinación del efecto combinado del estrés de sequía y calor en caracteres fisiológicos y bioquímicos de cuatro genotipos de quinua

4.2.1 Variables fisiológicas

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En el Cuadro N° 14 se presenta el ANOVA combinado de la primera y segunda evaluación de los caracteres fisiológicos: contenido de prolina (07 de abril y 12 de abril, grano acuoso y grano lechoso, respectivamente), potencial osmótico de la hoja (11 de abril y 18 de abril, grano lechoso en ambas fechas), contenido relativo de agua – CRA (04 de abril y 11 de abril, grano acuoso y grano lechoso, respectivamente) y contenido de clorofila en unidades SPAD (04 de abril y 11 de abril, grano acuoso y grano lechoso, respectivamente).

Para la variable contenido de prolina en la primera fecha se aprecia que existen diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en genotipos, con un coeficiente de variación igual a 17.31 por ciento. En cuanto a la segunda fecha se aprecian diferencias altamente significativas ($\alpha=0.001$) en genotipos, con un coeficiente de variación de 15.01 por ciento. Por otro lado, para la variable potencial osmótico de la hoja en la primera fecha se aprecia diferencias significativas en repeticiones, el coeficiente de variación fue igual a 9.03 por ciento. Para la segunda fecha se aprecia diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en ambiente y genotipo, con un coeficiente de variación de 10.52 por ciento. En cuanto a la variable contenido relativo de agua se aprecia diferencias significativas ($\alpha=0.05$) en el genotipo en la primera fecha, con un coeficiente de variación igual a 6.33 por ciento, en la segunda fecha no se aprecia diferencias significativas y el coeficiente de variabilidad fue de 6.1 por ciento. Finalmente, para la variable contenido de clorofila en unidades SPAD se aprecia diferencias significativas ($\alpha=0.05$) entre genotipo para ambas fechas, con un coeficiente de variación de 3.97 por ciento en la primera y 4.01 por ciento en la segunda. No se observaron diferencias estadísticas para la interacción ambiente y genotipos

CONTENIDO DE PROLINA

En el Cuadro N° 15 se presentan los valores medios de contenido de prolina de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos. En la primera fecha, el rango de contenido de prolina varió de 3.018 ug/ml a 4.346 ug/ml. El valor más alto fue observado en la línea mutante MQ PAS-50 y el más bajo en la variedad comercial INIA Salcedo. La línea mutante MQ AM 250-283 y la variedad comercial Amarilla Sacaca alcanzaron valores de 3.277 ug/ml y 3.602 ug/ml, respectivamente. En la segunda fecha, el valor más alto también fue observado en la línea mutante MQ PAS-50 con 5.185 ug/ml y el más bajo en la línea mutante MQ AM 250-283 con 3.539 ug/ml. Los testigos comerciales INIA Salcedo y Amarilla Sacaca obtuvieron valores de 4.033 ug/ml y 4.507 ug/ml, respectivamente.

El contenido de prolina observado a nivel de dos niveles de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 16), en la primera fecha, varió de 3.382 ug/ml (riego deficitario) a 3.740 ug/ml (riego normal). En cuanto a la segunda fecha, varió de 3.868 ug/ml (riego normal) a 4.764 ug/ml (riego deficitario). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

POTENCIAL OSMÓTICO DE LA HOJA

En el Cuadro N°15 se presentan los valores medios de potencial osmótico de la hoja de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. Los resultados de la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) indican que no existen diferencias significativas entre los genotipos en la primera fecha. La variedad comercial Amarilla Sacaca alcanzó el valor más bajo con -1.487 MPa y la variedad comercial INIA Salcedo obtuvo el valor más alto con -1.351 MPa. La línea mutante MQ AM 250-283 y la MQ Pas-50 alcanzaron valores de -1.478 MPa y -1.453 MPa, respectivamente. Sin embargo, en la segunda fecha la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que sí existen diferencias significativas entre los genotipos. El valor más bajo fue observado otra vez en la variedad comercial Amarilla Sacaca con -1.785 MPa, y el más alto en la línea mutante MQ AM 250-283, con un valor de -1.549 MPa. El testigo comercial INIA Salcedo obtuvo un valor de -1.683 MPa y la línea mutante MQ PAS-50 con -1.550 MPa

El potencial osmótico de la hoja observado a nivel de dos tipos de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 16), en la primera fecha, varió de -1.477 MPa (riego deficitario) a -1.408 MPa (riego normal). En cuanto a la segunda fecha, varió de -1.721 MPa (riego normal) a -1.563 MPa (riego deficitario). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

CONTENIDO RELATIVO DE AGUA (CRA)

En el Cuadro N° 15 se presentan los valores medios del contenido relativo de agua de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos en la primera fecha. El rango de contenido relativo de agua varió de 75.480 por ciento a 82.438 por ciento. El valor más alto fue observado en la línea mutante MQ PAS-50 y el más bajo en la MQ AM 250-283. Las variedades comerciales INIA Salcedo y Amarilla Sacaca obtuvieron valores iguales a 75.558 por ciento y 79.024 por ciento, respectivamente. En la segunda fecha, a diferencia de la primera, la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que no existen diferencias significativas entre los genotipos. El valor más bajo fue observado en la línea mutante MQ Pas-50 con 69.345 por ciento y el más alto en la variedad comercial INIA Salcedo con 70.925 por ciento. La línea mutante MQ AM 250-283 y la variedad comercial Amarilla Sacaca obtuvieron valores de 69.395 por ciento y 69.946 por ciento, respectivamente.

El contenido relativo de agua observado a nivel de dos tipos de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 16), en la primera fecha, varió de 77.438 por ciento (riego deficitario) a 78.812 por ciento (riego normal). En cuanto a la segunda fecha, varió de 69.729 por ciento (riego deficitario) a 70.077 por ciento (riego normal). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

CONTENIDO DE CLOROFILA EN UNIDADES SPAD

En el Cuadro N° 15 se presentan los valores medios del contenido de clorofila en unidades SPAD de los genotipos, en promedio de los dos niveles de riego. La prueba Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que existen diferencias significativas entre los genotipos en ambas fechas. En la primera fecha, el rango de unidades SPAD varió de 55.154 SPAD a 58.996 SPAD. El valor más alto fue observado en la variedad comercial INIA Salcedo y el más bajo en la Amarilla Sacaca. Las líneas mutantes MQ Pas-50 y MQ AM 250-283 obtuvieron valores

de 55.763 SPAD y 56.054 SPAD, respectivamente. Para la segunda fecha, el valor más alto fue observado en la variedad comercial INIA Salcedo con 56.720 SPAD y el más bajo, en la línea mutante MQ Pas 50 con 53.621 SPAD. La variedad comercial Amarilla Sacaca y la línea mutante MQ AM 250-283 obtuvieron valores de 54.092 SPAD y 54.229 SPAD, respectivamente.

Las unidades SPAD observadas a nivel de dos tipos de riego, en promedio de los genotipos (Cuadro N° 16), en la primera fecha, varió de 56.298 SPAD (riego normal) a 56.685 SPAD (riego deficitario). En cuanto a la segunda fecha, varió de 54.550 SPAD (riego deficitario) a 54.781 SPAD (riego normal). Estos valores no difieren estadísticamente de acuerdo a la prueba Duncan ($\alpha= 0.05$).

Cuadro N° 14: Cuadrados medios del ANVA Combinado de caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos fechas de evaluación, en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017

Fuente de las variaciones	G. L	Primera fecha				Segunda fecha			
		Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD	Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD
Ambiente	1	1.029	0.0377	15.108	1.201	6.421	0.199*	0.965	0.428
Rep	6	0.918	0.771*	22.792	3.129	1.227	0.025	27.027	9.255
Genotipos	3	2.647*	0.0315	87.988 *	23.421 *	3.932 **	0.104*	4.309	15.557 *
Amb*Genotipo	3	0.435	0.0187	19.729	2.665	1.584	0.065	16.875	3.972
Error	18	0.38	0.0169	24.47	5.033	0.419	0.0298	18.199	4.802
Total	31								
Coefficiente de variabilidad (%)		17.306	9.027	6.332	3.971	15.005	10.516	6.103	4.008
Raíz MSE		0.616	0.130197	4.94676 1	2.244	0.648	0.172674	4.26597 3	2.191
Media		3.561	-1.442	78.125	56.492	4.316	1.642	69.903	54.665

Primera fecha: Prolina: 07 de abril. Potencial osmótico: 11 de abril. CRA y SPAD: 04 de abril.

Segunda Fecha: Prolina: 12 de abril. Potencial osmótico: 18 de abril. CRA y SPAD: 11 de abril.

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 15: Valores medios de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos fechas de evaluación en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Fase fenológica	Primera fecha				Segunda fecha			
	Grano acuoso	Grano lechoso	Grano acuoso	Grano acuoso	Grano lechoso	Grano lechoso	Grano lechoso	Grano lechoso
Genotipo	Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD	Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD
INIA Salcedo	3.018b	-1.351a	75.558b	58.996a	4.033bc	-1.683ab	70.925a	56.720a
MQ AM 250-283	3.277b	-1.478a	75.480b	56.054b	3.5394c	-1.549a	69.395a	54.229b
MQ Pas-50	4.346a	-1.453a	82.438a	55.763b	5.185a	-1.550a	69.345a	53.621b
Amarilla Sacaca	3.602b	-1.487a	79.024ab	55.154b	4.507ab	-1.785b	69.946a	54.092b

Primera fecha: Prolina: 07 de abril. Potencial osmótico: 11 de abril. CRA y SPAD: 04 de abril.

Segunda Fecha: Prolina: 12 de abril. Potencial osmótico: 18 de abril. CRA y SPAD: 11 de abril.

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Cuadro N° 16: Valores medios de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) a nivel de dos ambientes en condiciones de estrés de sequía y calor. La Molina 2017.

Fase fenológica	Primera fecha				Segunda fecha			
	Grano acuoso	Grano lechoso	Grano acuoso	Grano acuoso	Grano lechoso	Grano lechoso	Grano lechoso	Grano lechoso
Ambiente	Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD	Prolina ug/ml	P. osmótico MPa	CRA	SPAD
Sequia	3.382a	-1.477a	77.438a	56.685a	4.764a	-1.721b	69.729a	54.550a
Testigo	3.740a	-1.408a	78.812a	56.298a	3.868a	-1.563a	70.077a	54.781a

Primera fecha: Prolina: 07 de abril. Potencial osmótico: 11 de abril. CRA y SPAD: 04 de abril.

Segunda Fecha: Prolina: 12 de abril. Potencial osmótico: 18 de abril. CRA y SPAD: 11 de abril.

Las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha= 0.05$).

Fuente: Elaboración propia

Aguilar et al. (2003), estudiando la respuesta al estrés de sequía de quinua, en dos zonas agroecológicas de Puno, encontró diferencia estadística por efecto del ambiente y de variedad y significancia en la interacción ambiente*variedad. Las quinuas provenientes de waru-warus sometidos a estrés hídrico presentaron valores más altos de prolina, a diferencia de los waru-warus ubicados en las zonas cercanas al Lago Titicaca, además, se reportó mayor cantidad de prolina en las variedades provenientes de zonas con condiciones desfavorables de sequía. Por otro lado, Mercedes (2005), en condiciones de La Molina, encontró diferencias significativas entre el efecto del ambiente estrés hídrico y el testigo, mas no entre las variedades evaluadas. Estos resultados difieren de los encontrados en este experimento, ya que no hubo diferencias significativas entre los dos ambientes pero sí entre los genotipos. Sin embargo, en ambos trabajos la interacción ambiente*variedad no fue significativa. Mercedes (2005) reportó que el ambiente estrés hídrico presentó valores superiores de prolina libre en comparación al testigo, resultado similar obtenido en la segunda evaluación de este experimento.

Jerez et al., citado por Mercedes (2005), indicaron que la disminución del agua en el suelo hasta el 40% de humedad disponible, provocó una mayor acumulación de aminoácidos en la planta; además, reportó un incremento de prolina debido al aumento de la temperatura.

Se reportó que el contenido de prolina fue mayor bajo condiciones de estrés de sequía que en el tratamiento inundado y el control pero sin diferencias significativas (Gonzalez et al., citado por Bhargava y Srivastava 2013).

En cuanto al potencial osmótico, Jensen et al. (2000) encontró que disminuye de -1.1 MPa a -2.7 MPa durante la ramificación, de -1.4 MPa a -2.7 MPa durante la floración y de -1.4 a -3.5 MPa durante el llenado de grano.

García et al., citado por Bhargava y Srivastava (2013), mostró que bajo riego, el potencial de agua antes del amanecer (ψ_1) varió de -0.5 MPa a -1.0 MPa y en condiciones de estrés disminuyó a -1.5.

Mercedes (2005) reportó diferencias altamente significativas para el efecto del ambiente y el efecto de genotipo, con un rango que varía entre -1.598 MPa hasta -2.088 MPa. Valores inferiores a estos fueron reportados en la primera evaluación de este experimento. Sin embargo, en la segunda evaluación, los valores de las dos líneas comerciales se encuentran dentro del rango.

Elewa et. al (2017) reportó que el estrés por sequía reduce significativamente el contenido relativo de agua (CRA %), y Mercedes (2005) estableció que en su experimento el contenido relativo de agua siempre fue mayor en la zona no estresada, al igual que en este estudio.

El estado de funcionamiento del aparato fotosintético es un indicador muy útil para estudiar la sensibilidad de las plantas a la sequía (Tsonev et al. 2014). Elewa (2017) demostró que el estrés por sequía disminuye significativamente la clorofila a y la clorofila b, así como otros pigmentos, afectando el proceso de fotosíntesis. Si bien en este estudio no se presentaron diferencias significativas en ambas fechas de evaluación, en la segunda hay una ligera disminución de la cantidad de clorofila en el ambiente con riego deficitario.

Durante el estrés, la acumulación de osmolitos orgánicos como la prolina, permite disminuir el potencial osmótico en el citoplasma para facilitar la toma de agua para así evitar la deshidratación y las funciones celulares no se vean afectadas (Reigosa y Pedrol 2003).

V. CONCLUSIONES

5.1 OBJETIVO 1

- Los valores promedios de los caracteres agronómicos (rendimiento, biomasa aérea, índice de cosecha, altura de planta, días a la floración y días a la madurez) y el peso de mil granos en el ambiente de riego normal (testigo) y el riego deficitario, presentan valores similares, que aparentemente mostraría la tolerancia de la quinua al estrés de sequía y al estrés de calor en los cuatro genotipos estudiados, en este experimento y para las condiciones ambientales de la campaña agrícola.
- El estrés de sequía combinado con las temperaturas altas, afectó el contenido de proteína del grano, observándose una reducción de 15.34 por ciento en el tratamiento riego normal a 14.25 por ciento en el tratamiento riego deficitario.
- Los genotipos estudiados mostraron un grado de susceptibilidad similar al mildiú (*Perenospora variabilis*) durante todo el ciclo de vida de las plantas y en los dos tratamientos de estrés de sequía; con valores promedios que varían de 22.5 a 27.5%.
- Se observó una respuesta diferencial de los genotipos estudiados al estrés de calor y sequía. Sobresale por su mayor tolerancia la línea mutante MQ AM 250-283 obtuvo el mayor rendimiento promedio con un valor de 1820.5 kg/ha, el mayor índice de cosecha con 10.95 por ciento y mayor peso de mil granos con un valor promedio de 2.547 g. Además de un contenido de proteína igual a 15.61 por ciento.

5.2 OBJETIVO 2

- Se observó un ligero incremento en el contenido de prolina de 3.868 ug/ml (Riego Normal) a 4.764 ug/ml (Riego Deficitario), una vez aplicado el estrés de sequía, no habiendo diferencias significativas entre estos valores. Estos valores de prolina,

fueron ligeramente mayores a los observados al inicio del estrés de sequía; que variaron de 3.740 a 3.82 ug/ml.

- La mayor cantidad de prolina libre en las hojas se encontró en el ambiente sequía para la MQ AM 250-283, MQ PAS 50 y Amarilla Sacaca. Este incremento de prolina se interpreta como una respuesta al estrés hídrico. Solo la variedad INIA Salcedo presentó un valor ligeramente mayor en el ambiente testigo (Testigo: 4.05 y Sequía 4.02).
- Para potencial osmótico el estrés de sequía determinó un incremento de -1.563 (Riego normal) a -1.721 (Riego Deficitario), existiendo diferencias significativas entre estos valores. Al inicio del estrés los valores observados fueron de -1.408 a -1.477.
- Para Contenido relativo de Agua (CRA) se observaron valores muy similares después del estrés de sequía iguales a 69.729 (riego deficitario) a 70.077 (riego normal). Los valores al inicio del periodo de estrés fueron iguales a 77.438 y 78.812 para riego deficitario y riego normal; respectivamente.
- La evaluación de contenido de clorofila SPAD, no mostró variación por efecto del estrés de sequía. Los valores fueron iguales a 54.550 (riego deficitario) y 54.781 (riego normal).

VI. RECOMENDACIONES

Realizar un experimento similar en condiciones óptimas del cultivo para diferenciar el estrés de sequía del estrés de calor

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguilar, PC; Cutipa, Z; Machaca, E; López, M; Jacobsen, SE. 2003. Variation of proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in high beds (Waru Waru). Food Reviews International 19(1-2):121-127. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018878>.

Albert, KR; Mikkelsen, TN; Michelsen, A; Ro-Poulsen, H; van der Linden, L. 2011. Interactive effects of drought, elevated CO₂ and warming on photosynthetic capacity and photosystem performance in temperate heath plants (en línea). Journal of Plant Physiology 168(13):1550-1561. DOI: <https://doi.org/10.1016/J.JPLPH.2011.02.011>.

Bascuñán-Godoy, L; Reguera, M; Abdel-Tawab, YM; Blumwald, E. 2016. Water deficit stress-induced changes in carbon and nitrogen partitioning in *Chenopodium quinoa* Willd. (en línea). Planta 243(3):591-603. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00425-015-2424-z>.

Bates, LS; Waldren, RP; Teare, ID. 1973. Rapid Determination of Free Proline for Water-Stress Studies. s.l., s.e., vol.39. 205-207 p. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00018060>.

Bazile, D; Jacobsen, S-E; Verniau, A. 2016. The Global Expansion of Quinoa: Trends and Limits (en línea). Frontiers in Plant Science 7(May):1-6. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpls.2016.00622>.

Bennett, JM; Sinclair, TR; Muchow, RC; Costello, SR. 1987. Dependence of Stomatal Conductance on leaf Water Potential, Turgor Potential, and Relative Water Content in Field-Grown Soybean and Maize1 (en línea). Crop Science 27:984-990. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci1987.0011183X002700050033x>.

Bertero, HD. 2003. Response of Developmental Processes to Temperature and Photoperiod in Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) (en línea). Food Reviews International 19(1-2):87-97. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018870>.

Bhargava, A; Srivastava, S. 2013. Quinoa: botany, production and uses (en línea).

Bhargava, A; Srivastava, S (eds.). Wallingford, CABI, vol.12. 247 p. DOI: <https://doi.org/10.1079/9781780642260.0000>.

- Bonifacio, A. 1995. Interspecific and intergeneric hybridization in chenopod species. s.l., Brigham Young University. 150 p.
- Burin, Y. 2016. Rendimiento de cuatro variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo tres láminas de riego por goteo. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. 111 p.
- Canahua, A; Mujica, A; Saravia. 2001. Agronomía del cultivo de la Quinoa. s.l., Food and Agricultural Organization (FAO).
- Chai, C; Li, S; Xu, Y. 2001. Carbohydrate metabolism in peach leaves during water stress and after stress relief. *Plant Physiol Commun* 37:495-498.
- Danielsen, S; Ames, T. 2000. El mildiú (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en la zona andina. (June). DOI: <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.1962.9686>.
- Delatorre, J. 1999. Efecto del estrés hídrico en la fotosíntesis. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP). p. 79.
- Deza Montoya, DP. 2018. Rendimiento y calidad de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) con dos densidades de siembra y dos sistemas de fertilización en condiciones de La Molina. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. .
- Elewa, TA; Sadak, MS; Saad, AM. 2017. Proline treatment improves physiological responses in quinoa plants under drought stress. *Bioscience Research* 14(1):21-33.
- Escobar-Gutiérrez, AJ; Zipperlin, B; Carbonne, F; Moing, A; Gaudillière, JP. 1998. Photosynthesis, carbon partitioning and metabolite content during drought stress in peach seedlings (en línea). *Functional Plant Biology* 25(2):197-205. Disponible en <https://doi.org/10.1071/PP97121>.
- FAO. 2009. Cambio Climático: El impacto en la agricultura y los costos de adaptación (en línea). *Política Alimentaria: Informe* :1-30. DOI: <https://doi.org/10.2499/0896295370>.
- Fghire, R; Anaya, F; Ali, OI; Benhabib, O; Ragab, R; Wahbi, S. 2015. Physiological and

- photosynthetic response of quinoa to drought stress (en línea). Chilean journal of agricultural research 75(2):174-183. DOI: <https://doi.org/10.4067/S0718-58392015000200006>.
- Geerts, S; Raes, D; Garcia, M; Mendoza, J; Huanca, R. 2008. Crop water use indicators to quantify the flexible phenology of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in response to drought stress. Field Crops Research 108(2):150-156. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2008.04.008>.
- Gómez, L; Aguilar, E. 2015. Guía del cultivo de quinua. 1 ed. Lima, Universidad Nacional Agraria La Molina. 121 p.
- González, JA; Gallardo, M; Hilal, M; Rosa, M; Prado, FE. 2009. Physiological responses of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to drought and waterlogging stresses: Dry matter partitioning. Botanical Studies 50(1):35-42.
- Henriques, FS. 2008. Photosynthetic characteristics of light-sensitive, chlorophyll-deficient leaves from sectorially chimeric stinging-nettle. Botanical Studies 49(3):235-241.
- Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA). 2015. El Mercado Y La Producción De Quinoa En El Perú. s.l., s.e. 172 p.
- Jacobsen, S-E; Mujica, A; Jensen, CR. 2003. The Resistance of Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) to Adverse Abiotic Factors (en línea). Online) FOOD REVIEWS INTERNATIONAL 19(2):8755-9129. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018872>.
- Jensen, CR; Jacobsen, S-E; Andersen, MN; Núñez, N; Andersen, SD; Rasmussen, L; Mogensen, VO. 2000. Leaf gas exchange and water relation characteristics of field quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) during soil drying (en línea). European Journal of Agronomy 13(1):11-25. DOI: [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00055-1](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00055-1).
- Julón, W. 2016. Resultado de dos sistemas de cultivo en el rendimiento, calidad y rentabilidad de Quinoa (*Chenopodium quinoa* WILLD) en Costa Central (en línea). s.l.,

- Universidad Nacional Agraria La Molina. . Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/UNALM/2435/T01-C517-T.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Kramer, PJ. 1989. Relaciones hídricas de suelo y plantas: una síntesis moderna (en línea). México, Edit. Edutex. 538 p. Disponible en <https://books.google.com.pe/books?id=WoldAAAACAAJ>.
- León, R. 2014. Respuesta del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) línea mutante «La Molina 89-77» a tres regímenes de riego, en condiciones de la Molina (en línea). s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. 93 p. Disponible en <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1387>.
- LI, T hong; LI, S hua. 2007. Leaf Responses of Micropropagated Apple Plants to Water Stress: Changes in Endogenous Hormones and Their Influence on Carbohydrate Metabolism. *Agricultural Sciences in China* 6(1):58-67. DOI: [https://doi.org/10.1016/S1671-2927\(07\)60017-0](https://doi.org/10.1016/S1671-2927(07)60017-0).
- Lichtenthaler, HK. 2003. El estrés y la medida del estrés en plantas. *In Reigosa, MJ; Pedrol, N; Sánchez, A (eds.)*. España, Thomson-Paraninfo. p. 59-112.
- Lin, KH; Chao, PY; Yang, CM; Cheng, WC; Lo, HF; Chang, TR. 2006. The effects of flooding and drought stresses on the antioxidant constituents in sweet potato leaves. *Botanical Studies* 47(4):417-426.
- Medrano, H; Flexas, J. 2003. Respuesta de las plantas al estrés hídrico. *In Reigosa, MJ; Pedrol, N; Sánchez, A (eds.)*. España, Thomson-Paraninfo. p. 1193.
- Mendoza, V. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. No Title. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. .
- Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. 72 p.

- MINAGRI. 2017. Análisis Económico de la Producción Nacional de la Quinoa
DIRECCIÓN GENERAL DE POLÍTICAS AGRARIAS I N F O R M E. Perú, s.e.
- Mujica, A; Jacobsen, S-E. 1999. Resistencia de la quinua a la sequía y otros factores
abióticos adversos, y su mejoramiento. Lima, Centro Internacional de la Papa (CIP). p. 79.
- Peterson, AJ; Murphy, KM. 2015. Quinoa Cultivation for Temperate North America:
Considerations and Areas for Investigation (en línea). *In Murphy, K; Matanguihan, J*
(eds.). s.l., s.e. p. 173 DOI: <https://doi.org/10.1002/9781118628041.ch5>.
- Quillatupa, C. 2009. Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades
de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en
condiciones de la molina. Lima – Perú. s.l., Universidad Nacional Agraria La Molina. 158
p.
- Reigosa, MJ; Pedrol, N. 2003. La ecofisiología vegetal. *In Reigosa, MJ; Pedrol, N;*
Sánchez, A (eds.). España, Thomsom-Paraninfo. p. 1-58.
- Repo-Carrasco, R; Espinoza, C; Jacobsen, S-E. 2003. Nutritional Value and Use of the
Andean Crops Quinoa (*Chenopodium quinoa*) and Kañiwa (*Chenopodium pallidicaule*) (en
línea). *Food Reviews International* 19(1-2):179-189. DOI: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018884>.
- Taiz, L; Zeiger, E. 2010. *Plant Physiology, Fifth Edition* (en línea). Cell 1:782. Disponible
en <http://www.amazon.com/dp/0878938567>.
- Tapia, M. 1979. Historia y distribución geográfica. *In Tapia, M; Gandarillas, H; Alandina,*
S; Cardozo, A; Mujica, Á (eds.). Bogotá, Centro De Investigación para el Desarrollo -
CIID- e Instituto interamericano de Ciencias Agrícolas-ICCA-. p. 255.
- _____. 1996. *Eco desarrollo en los Andes*. Lima, Fundación Friedrich Ebert.
- Tsonev, T; Wahbi, S; PengSen, S; Sorrentino, G; Centritto, M. 2014. Gas exchange, water
relations and their relationships with photochemical reflectance index in *Quercus ilex*
plants during water stress and recovery. (En author affiliation: institute of plant physiology

and genetics, bulgarian academy of sciences, acad. g. bonchev str., bl. 21, 1113 sofia, bulgaria.author email: mauro.centritto@cnr.it). *International Journal of Agriculture and Biology* 16(2):335-341.

Upadhyaya, HD; Dronavalli, N; Gowda, CLL; Singh, S. 2011. Identification and evaluation of chickpea germplasm for tolerance to heat stress. *Crop Science* 51(5):2079-2094. DOI: <https://doi.org/10.2135/cropsci2011.01.0018>.

Wahid, A; Gelani, S; Ashraf, M; Foolad, MR. 2007. Heat tolerance in plants: An overview. *Environmental and Experimental Botany* 61(3):199-223. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2007.05.011>.

Waseem, M; Ali, A; Tahir, M; Nadeem, M a; Ayub, M; Tanveer, A; Ahmad, R; Hussain, M. 2011. Mechanism of Drought Tolerance in Plant and Its Management Through (en línea). *Continental Journal of Agricultural Sciences* 5(1):10-25. DOI: <https://doi.org/10.5707/cjagricsci.v5i1.269>.

Yang, A; Akhtar, SS; Amjad, M; Iqbal, S; Jacobsen, S-E. 2016. Growth and Physiological Responses of Quinoa to Drought and Temperature Stress (en línea). *Journal of Agronomy and Crop Science* 202(6):445-453. DOI: <https://doi.org/10.1111/jac.12167>.

ANEXO 1

Cronograma de riego para el ambiente Testigo y el ambiente Sequía.

Fecha	Número de riego	Testigo (mm/ha)	Sequía (mm/ha)
02/02/2017		Siembra y riego	
09/02/2017	Riego N° 1	6.330	6.330
12/02/2017	Riego N° 2	2.705	2.705
15/02/2017	Riego N° 3	2.662	2.662
18/02/2017	Riego N° 4	3.156	3.156
21/02/2017	Riego N° 5	3.118	3.118
24/02/2017	Riego N° 6	4.416	4.416
27/02/2017	Riego N° 7	4.310	4.310
01/03/2017	Riego N° 8	3.885	3.885
03/03/2017	Riego N° 9	3.828	3.828
05/03/2017	Riego N° 10	3.953	3.953
07/03/2017	Riego N° 11	5.002	5.002
09/03/2017	Riego N° 12	5.039	5.039
11/03/2017	Riego N° 13	4.978	4.978
13/03/2017	Riego N° 14	5.020	5.020
15/03/2017	Riego N° 15	6.021	6.021
17/03/2017	Riego N° 16	5.699	5.699
19/03/2017	Riego N° 17	5.469	5.469
21/03/2017	Riego N° 18	5.548	2.774
23/03/2017	Riego N° 19	5.498	2.749
25/03/2017	Riego N° 20	5.319	2.659
27/03/2017	Riego N° 21	5.541	2.770
29/03/2017	Riego N° 22	5.605	2.803
31/03/2017	Riego N° 23	5.634	2.817
02/04/2017	Riego N° 24	5.376	2.688
04/04/2017	Riego N° 25	5.268	2.634
06/04/2017	Riego N° 26	5.240	2.620
08/04/2017	Riego N° 27	5.419	2.710

10/04/2017	Riego N° 28	5.104	2.552
12/04/2017	Riego N° 29	4.486	2.243
14/04/2017	Riego N° 30	4.307	2.154
16/04/2017	Riego N° 31	4.147	2.073
18/04/2017	Riego N° 32	4.058	0.000
20/04/2017	Riego N° 33	3.962	0.000
22/04/2017	Riego N° 34	4.040	0.000
24/04/2017	Riego N° 35	3.986	0.000
27/04/2017	Riego N° 36	4.673	2.336
30/04/2017	Riego N° 37	4.548	4.548
03/05/2017	Riego N° 38	4.231	4.231
06/05/2017	Riego N° 39	4.217	4.217
09/05/2017	Riego N° 40	3.914	3.914
10/05/2017		Suspensión del riego	
	Volumen empleado	185.711	131.083

En el ambiente Sequía se aplicó estrés hídrico desde el 21 de marzo hasta el 24 de abril: desde 21 de marzo hasta el 16 de abril se aplicó la mitad del volumen de agua aplicado al ambiente Testigo y desde el 18 de abril hasta el 24 de abril, el riego se suspendió en su totalidad.

ANEXO 2

Randomización detallada del experimento realizado durante la campaña febrero a mayo de 2017

Ambiente Testigo: Riego Normal

Ambiente Sequía: Riego Deficitario

INIA Salcedo	MQ AM 250-283	MQ PAS-50	Amarill a Sacaca
MQ AM 250-283	INIA Salcedo	Amarill a Sacaca	MQ PAS-50
MQ PAS-50	Amarill a Sacaca	INIA Salcedo	MQ AM 250-283
Amarill a Sacaca	MQ PAS-50	MQ AM 250-283	INIA Salcedo

INIA Salcedo	MQ AM 250-283	MQ PAS-50	Amarill a Sacaca
MQ AM 250-283	INIA Salcedo	Amarill a Sacaca	MQ PAS-50
MQ PAS-50	Amarill a Sacaca	INIA Salcedo	MQ AM 250-283
Amarill a Sacaca	MQ PAS-50	MQ AM 250-283	INIA Salcedo

ANEXO 3

Cuadro:

	Rendimiento (kg/ha)			Altura Planta (cm)			Biomasa (kg/ha)			Índice de cosecha (%)		
	Testigo	Sequia	Variación (%)	Testigo	Sequia	Variación (%)	Testigo	Sequia	Variación (%)	Testigo	Sequia	Variación (%)
INIA Salcedo	958.90	891.7	-7.01	166.25	167.5	0.75	4725	5425	14.81	7.61	6.73	-11.56
MQ AM 250-283	1705.70	1935.4	13.47	197.5	192.5	-2.53	6625	5750	-13.21	9.97	11.94	19.76
MQ Pas-50	960.10	853.9	-11.06	175	182.5	4.29	5275	4025	-23.70	7.21	8.4	16.50
Amarilla Sacaca	1181.30	1340.2	13.45	198.75	196.25	-1.26	7838	7350	-6.23	6.03	7.28	20.73