

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA
LA MOLINA**

FACULTAD DE AGRONOMIA



**“RESPUESTA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) AL
ESTRÉS HÍDRICO EN SIEMBRAS DE INVIERNO BAJO
CONDICIONES DE LA MOLINA”**

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

KARÉN ADELA MINCHOLA VILLACORTA

LIMA - PERÚ

2020

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

**“RESPUESTA DE LA QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd) AL
ESTRÉS HÍDRICO EN SIEMBRAS DE INVIERNO BAJO
CONDICIONES DE LA MOLINA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE

INGENIERA AGRÓNOMA

KARÉN ADELA MINCHOLA VILLACORTA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg.Sc. Luis Rodrigo Tomassini Vidal
PRESIDENTE

Dra. Luz Rayda Gómez Pando
ASESORA

Dr. Jorge Eduardo Jiménez Dávalos
MIEMBRO

Ph. D. Hugo Soplín Villacorta
MIEMBRO

Lima – Perú

2020

DEDICATORIA

Con mucho amor y gratitud, este trabajo va dedicado a mis padres:
Hernan Minchola Escobedo y Erika Villacorta Contreras, por su perseverancia, humildad,
trabajo y sacrificio.

Y a mis abuelos:
Fortunato Villacorta Sifuentes y Angelica contreras Márquez, por su nobleza, ejemplo y amor
condicional.

Soy producto del esfuerzo de ellos y estaré eternamente agradecida.

AGRADECIMIENTO

A mi familia, por su apoyo en todos momentos y alentarme constantemente en lograr cada objetivo propuesto, por ser un ejemplo de perseverancia. En especial a mis abuelos que siempre creyeron en mí y me inculcaron valores que me ayudaron ser la persona que soy ahora; y a mi madre que siempre estuvo a mi lado en cada momento apoyándome. Y a Edu Torres por su tiempo, paciencia y consejos motivacionales durante todo este proceso, siendo un gran apoyo para culminar la tesis.

A la Dra. Luz Gómez, por su tiempo y el todo el apoyo brindado durante el proceso de la tesis.

A la Sra. Ruth Paucar por sus frases motivadoras y hacernos sentir que somos parte de su familia, apoyándonos en todo momento.

Al Dr. Jorge Jiménez por facilitar los equipos necesarios para el desarrollo de la tesis. Así mismo, por su tiempo brindado en resolver mis dudas e inquietudes, por su empatía y solidaridad.

A la Ing. Martha Ibañez por su tiempo dedicado en enseñarme el trabajo de laboratorio y por la paciencia que tuvo en explicarme cada metodología desarrollada.

Al Mg. Sc Miguel Vera por su tiempo dedicado en enseñarme el trabajo de laboratorio y del uso correcto de equipos.

Al Dr. Gastón Zolla por su tiempo dedicado en enseñarme el trabajo de laboratorio.

Valeria Lino por su apoyo en todas las evaluaciones durante el desarrollo de la tesis.

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

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
	2.1 EL CULTIVO DE LA QUINUA (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	3
	2.1.1 Origen	3
	2.1.2 Clasificación taxonómica.....	4
	2.1.3 Descripción morfológica.....	4
	2.1.4 Clasificación ecológica de la quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	6
	2.1.4 Fenología del cultivo de la quinua.....	7
	2.2 CONDICIONES AMBIENTALES	10
	2.3 DÉFICIT HÍDRICO DE LA PLANTA.....	11
	2.4 TOLERANCIA A LA SEQUÍA	12
	2.5 RESPUESTA DE LA QUINUA A LA SEQUÍA	13
III.	MATERIALES Y METODOS	15
	3.1 MATERIALES.....	15
	3.1.1 Ubicación de la zona experimental	15
	3.1.2 Análisis de suelo	15
	3.1.3 Características climatológicas de la zona experimental.....	16
	3.1.4 Materia vegetal.....	17
	3.1.5 Materiales de laboratorio	18
	3.1.6 Equipos de laboratorio.....	18
	3.1.7 Reactivos de laboratorio.....	18
	3.2 METODOLOGÍA.....	19
	3.2.1 Características del campo experimental.....	19
	3.2.2 Manejo del cultivo	20
	3.2.3 Cronograma de actividades	23
	3.2.4 Diseño experimental	23
	3.3 EVALUACIONES EXPERIMENTALES	25
	3.3.1 Variables agronómicas.....	25
	3.3.2 Variables fisiológicas.....	26
	3.3.3 Componentes de calidad de grano	29

IV.	RESULTADO Y DISCUSIÓN.....	30
4.1	OBJETIVO 1: CARACTERES AGRONÓMICOS Y RESPUESTA AL MILDIU.....	30
4.1.1	Caracteres agronómicos.....	30
4.1.2	Respuesta al Mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>).....	38
4.2	OBJETIVO 2: CARACTERES FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS.....	42
4.2.1	Contenido de clorofila (SPAD).....	42
4.2.2	Contenido relativo de agua (CRA).....	45
4.2.3	Contenido de prolina libre (ug prolina/ug muestra).....	49
4.3	OBJETIVO 3: COMPONENTES DE LA CALIDAD DEL GRANO.....	54
4.3.1	Contenido de proteína del grano (%).....	54
4.3.2	Peso de mil granos (g).....	55
V.	CONCLUSIONES.....	59
VI.	RECOMENDACIONES.....	61
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62
VIII.	ANEXOS.....	70

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Promedio mensual de los datos climatológicos: humedad relativa, precipitación, tanque de evaporación, velocidad del viento y radiación durante el período agosto – diciembre 2017 en La Molina	17
Tabla 2. Características del experimento.....	19
Tabla 3. Fecha y lámina de riego (agosto – diciembre, 2017) en La Molina.....	21
Tabla 4. Cronograma de actividades realizadas durante el experimento.....	23
Tabla 5. Siete muestra de prolina purificada (ug prolina/ug muestra) con sus respectivas absorbancia promedios.....	28
Tabla 6. Cuadrados medios del ANVA de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) del experimento control - riego completo en condiciones de La Molina. 2017.....	33
Tabla 7. Cuadrados medios del ANVA de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha (%) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) del experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina. 2017.....	33
Tabla 8. Cuadrados medios del ANVA COMBINADO de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) de los ambientes control-riego completo y estrés hídrico en condiciones de La Molina 2017.....	34
Tabla 9. Valores medios y Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta (cm), biomasa (kg/ha), rendimiento de grano (kg/ha) e índice de cosecha (%) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) del experimento control - riego completo y el experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina 2017.....	34
Tabla 10 Valores medios y Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta (cm), biomasa (kg/ha), rendimiento de grano (kg/ha) e índice de cosecha (%) de dos niveles de riego en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) del experimento control - riego completo y el experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina 2017.....	35

Tabla 11. Valores medios de severidad (%) de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en tres diferentes fechas de evaluación en el experimento control-riego completo y experimento estrés hídrico en La Molina 2017.....	39
Tabla 12. Cuadrado medio del ANVA de los grados de severidad de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) a los 89dds, en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina. 2017.....	40
Tabla 13. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de los grados de severidad de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	40
Tabla 14. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de la severidad (%) de la enfermedad de mildiú (<i>Peronospora variabilis</i>) evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i>) en La Molina 2017.....	41
Tabla 15. Cuadrados medios del ANVA de clorofila (SPAD) en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	43
Tabla 16. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de Clorofila (SPAD) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	44
Tabla 17. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de clorofila (SPAD) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	44
Tabla 18. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de clorofila (SPAD) evaluados en tres fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	45
Tabla 19. Cuadrados medios del ANVA de CRA (%) en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	47

Tabla 20. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de CRA (%) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	47
Tabla 21. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de CRA (%) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	48
Tabla 22. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de CRA (%) evaluados en tres fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	48
Tabla 23. Cuadrados medios del ANVA de prolina (ug prolina/ug muestra) en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	51
Tabla 24. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de prolina (ug prolina/ug muestra) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	51
Tabla 25. Valores medios y Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de Prolina (ug prolina/ug muestra) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	52
Tabla 26. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de prolina (ug prolina/ug muestra) evaluados en dos fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	52
Tabla 27. Cuadrados medios del ANVA de proteína del grano (%) y peso de mil granos (g) en cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	57
Tabla 28. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de proteína (%) y peso de mil granos (g) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	57

Tabla 29. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de de proteína (%) y peso de mil granos (g) de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	58
Tabla 30. Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de de proteína (%) y peso de mil granos (g) evaluados en dos fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.....	58

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Variación mensual de la temperatura máxima y mínima promedio durante el período agosto - diciembre 2017 en La Molina.....	17
Figura 2. Índice de esporulación para determinar la severidad del mildiú.....	28
Figura 3. Curva estándar de prolina.....	31

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Análisis de suelo emitido por el laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina.	74
Anexo 2. Dimensiones del ensayo.	75
Anexo 3. Valores medios y prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (<i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) en condiciones de La Molina. 2017.	76

RESUMEN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es considerada un alimento importante en la dieta alimenticia por su excelente calidad de proteína y una alternativa para reducir el efecto negativo del cambio climático gracias a su tolerancia a la sequía y salinidad. Es importante evaluar el grado de tolerancia al estrés hídrico de la quinua para establecer el manejo adecuado del cultivo en zonas con limitada disponibilidad de agua. La presente investigación tuvo como objetivos: (1) evaluar el efecto del estrés hídrico en caracteres agronómicos y la respuesta al mildiú (*Peronospora variabilis*) (2) determinar las variaciones en los caracteres fisiológicos y bioquímicos en respuesta al estrés hídrico y (3) determinar el efecto del estrés hídrico en los componentes de la calidad del grano. Se utilizaron dos variedades comerciales (INIA Salcedo y Amarilla Sacaca) y dos líneas mutantes (MQ AM 250-283 y MQ Pas-50); y se establecieron dos experimentos conducidos exactamente iguales los cuales fueron sembrados en dos ambientes; el testigo, el cual tuvo riego normal y el ambiente de riego deficitario o de estrés hídrico. La línea mutante MQ Pas-50 sobresale en las variables altura de planta, rendimiento e índice de cosecha para el experimento control y estrés hídrico en comparación con los otros genotipos. El genotipo más precoz fue la variedad comercial INIA Salcedo con 43 días (control) y 45 días (estrés hídrico) para la variable días a la floración y 96 días (control y estrés hídrico) para la variable días a la madurez; así mismo, presentó el menor rendimiento para ambos ambientes. Además, se observó que los genotipos no presentan tolerancia al mildiú afectando hasta el 50% de la hoja, en ambos ambientes. Con respecto a los caracteres fisiológicos y bioquímicos, el contenido de clorofila no presentó diferencias significativas entre la interacción ambiente genotipo; sin embargo, el contenido relativo de agua mostró diferencias significativas entre la interacción ambiente genotipo en la primera y segunda evaluación. Para el contenido de prolina se observó un ligero aumento en el contenido de prolina de 0.0329 ug/ug (control) a 0.0335 ug/ug (estrés hídrico), una vez aplicado el estrés hídrico. Finalmente, la línea mutante MQ Pas-50 presentó mayor peso de mil granos con 3.73 g (control) y 3.88 g (estrés hídrico).

Palabras clave: Quinua, estrés hídrico, genotipos

ABSTRACT

Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) is considered an important food in the diet for its excellent protein quality and an alternative to reduce the negative effect of climate change due to its tolerance to drought and salinity. It is important to evaluate the degree of tolerance of water stress of quinoa to recommend an adequate management in areas with limited water availability. The present research aims: (1) To determine the effect of hydric stress on the agronomic traits and on the response to mildew (*Peronospora variabilis*) (2) To determine the variations on the physiological and biochemical characters in response to hydric stress and (3) To determine the effect of hydric stress on grain quality components of four genotypes. Two commercial varieties (INIA Salcedo and Amarilla Sacaca) and two mutant lines (MQ AM 250-283 and MQ Pas-50) were used and two trials were managed exactly under two environments; the control, which had normal irrigation, and the irrigation deficit environment or hydric stress. The MQ Pas-50 mutant line excels in the variables plant height, yield and harvest index for the control and hydric stress experiment compared to the other genotypes. The earliest genotype was the commercial variety INIA Salcedo with 43 days (control) and 45 days (hydric stress) for the variable days to flowering and 96 days (control and hydric stress) for the variable days to maturity; likewise, I present the lowest performance for both environments. In addition, it was observed that the genotypes did not show tolerance to mildew affecting up to 50% of the leaf, in both environments. Regarding the physiological and biochemical characters, the chlorophyll content did not present significant differences between the genotype environment interaction; however, the relative water content showed significant differences between the genotype environment interaction in the first and second evaluation. In proline content was observed a slight increase in proline content ranging from 0.0329 ug/ug (control) to 0.0335 ug/ug (hydric stress), once applied water stress. Finally, the MQ Pas-50 mutant line presented a greater weight with 3.73 g (control) and 3.88 g (hydric stress) per thousand seeds.

Key words: Quinoa, hydric stress, genotypes

I. INTRODUCCIÓN

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) es cultivada en todos los Andes, uno de los ocho centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo y principalmente en Perú y Bolivia. Su importancia se debe a la alta calidad como alimento, gran adaptación a condiciones agroecológicas complejas, diversidad de genotipos y al aprovechamiento completo de la planta (Mujica, 2015; Mujica y Jacobsen, 2006).

Su calidad nutritiva se debe a la proteína de alta calidad en los granos que provee aminoácidos esenciales, tales como lisina, metionina, leucina, isoleucina, entre otros.

Además, porque es fuente de otros productos nutritivos de calidad como: vitamina E (antioxidante), vitamina A (carotenos), tiamina, rivotravina, etc, y por su mayor cantidad de minerales. La quinua tiene una gran diversidad de usos como: grano perlado, hojuelas, grano expandido y como harina. Se puede consumir solo o en mezclas con cereales, oleaginosas y otros alimentos. La planta puede ser empleada como forraje y en la elaboración de colorantes vegetales (Mercedes, 2005; FAO, 2011)

La quinua ha sido, también reconocida por su capacidad de prosperar en condiciones marginales y como un cultivo alternativo para reducir los efectos negativos del cambio climático. Es importante señalar que el sector agrícola, tiene entre otras estrategias valorar cultivos ancestrales, como la quinua, que garanticen la seguridad alimentaria y mejoren la calidad nutritiva de los alimentos en zonas con problemas de estrés hídrico y/o salino (FAO, 2011).

Existe una gran diversidad de genotipos en quinua, entre los cuales algunos pueden tolerar la sequía. Es importante determinar el grado de tolerancia de los genotipos de quinua al estrés hídrico para recomendar una dotación de agua adecuada para su desarrollo óptimo en condiciones con limitaciones de agua como en la costa peruana.

Considerando lo arriba señalado se plantea la siguiente interrogante: “Existen diferencias en la respuesta al estrés hídrico en los genotipos estudiados en condiciones de riego deficitario”.

Para dar respuesta a esta interrogante, se plantearon los siguientes objetivos:

Objetivo general

Contribuir al conocimiento de la respuesta de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) al efecto del estrés hídrico.

Objetivos específicos

En dos líneas mutantes (MQ – AM 250 – 283 y MQ – Pas – 50) y dos variedades comerciales (INIA Salcedo y Amarilla Sacaca) del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.):

- Evaluar el efecto del estrés hídrico en los caracteres agronómicos y la respuesta al mildiu (*Peronospora variabilis*).
- Determinar las variaciones en los caracteres fisiológicos y bioquímicos en respuesta al estrés hídrico.
- Evaluar el efecto del estrés hídrico en los componentes de la calidad del grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd)

2.1.1 Origen

La quinua es un cultivo originario de los Andes, con una alta variabilidad genética. Se presume que el origen de su domesticación está ubicada cerca al lago Titicaca del Perú y Bolivia sobre los 3800 msnm, donde existe mayor diversidad y variación genética (Mujica, 2015). Además, se hallaron restos arqueológicos en sepulturas indígenas en diferentes regiones del Perú y Chile con abundante cantidad de semillas e inflorescencias y en la cerámica de la cultura Tiahuanaco (Perú), en la que se representa a la planta de quinua con varias panojas distribuidas a lo largo del tallo (Soto *et al.* 2015).

Su domesticación tomó mucho tiempo, hasta conseguir la planta domesticada y cultivada a partir de la silvestre. Es probable que este proceso se haya iniciado con la planta usada principalmente por sus hojas en la alimentación y, luego, por las semillas (Mujica, 2015; Tapia, 1979). Fue un componente importante en la alimentación de los pueblos prehispánicos en los altos Andes debido a su alto valor nutritivo, curativo, especialmente proteico, vitamínico y poseedor de elementos minerales esenciales, y a su gran adaptabilidad a las condiciones ambientales adversas de los Andes altos, donde el maíz no crece (Mujica, 2015; Soto *et al.* 2015).

En el proceso de su domesticación la quinua se expandió en toda la región andina desde Nariño en Colombia hasta Tucumán en la Argentina y las Islas de Chiloé en Chile (Mujica *et al.* 2001c).

2.1.2 Clasificación taxonómica

- Reino: *Plantae*
- División: *Magnoliophyta*
- Clase: *Magnoliopsida*
- Orden: *Caryophyllales*
- Familia: *Amaranthaceae*
- Subfamilia: *Chenopodioideae*
- Tribu: *Chenopodieae*
- Género: *Chenopodium*
- Especie: *Chenopodium quinoa* Willdenow

(APG, 2009)

2.1.3 Descripción Morfológica

Raíz

La raíz es fasciculada, con una profundidad que varía entre 0.50 m a 2.80 m según el ecotipo, la profundidad del suelo y la altura de la planta. Después de la germinación, la radícula forma una raíz de la cual se desarrollan raíces secundarias y terciarias. Dependiendo de la altura de la planta, la raíz de la quinua puede permanecer cerca de la superficie (12.6-15 cm) o penetrar a una profundidad de 1.5 m debajo de la superficie. El sistema de raíces altamente ramificado hace a la especie más resistente a la sequía y protege a la planta en tiempos de escasez de agua (Tapia, 1997; Bhargava y Srivastava, 2013).

Tallo

Cerca al cuello de planta es de forma circular, transformándose en angular a la altura donde se insertan las ramas y hojas. Cuando la planta es joven, la médula es suave y cuando va madurando se vuelve seca con textura esponjosa, hueca sin fibra con una corteza que se lignifica. El color del tallo es variable (Tapia, 1997; Ormeño, 2015).

Además, se pueden encontrar variabilidad en la estructura de la planta según el desarrollo de ramificación. Se encuentran plantas con un solo tallo y ramas laterales muy cortas en los

ecotipos del altiplano, o plantas con todas las ramas de igual tamaño en los ecotipos del valle. Este desarrollo de la planta puede ser modificado según la densidad de siembra del cultivo (Tapia, 1997).

Hojas

Las hojas son dentadas en los bordes con muy pocos o hasta 25 dientes. Además, están formadas por una lámina y un peciolo. El peciolo es largo o acanalado, dependiendo de su origen. Son más largos aquellos peciolo que se originan del tallo y más cortos los que se originan de las ramas (Tapia, 1997; Gómez y Aguilar, 2016).

La lámina es polimórfica y tiene tres venas principales que se originan del peciolo. Son más grandes en el follaje, pueden ser triangulares o romboidales, y son más pequeñas en la inflorescencia de forma triangular o lanceolada. Las hojas se caracterizan por contener oxalato de calcio y gracias a su capacidad de retener la humedad del medio ambiente, aumenta la humedad relativa de la atmosfera que rodea a la hoja influyendo en la transpiración (Gómez y Aguilar, 2016).

Inflorescencia

La inflorescencia de la quinua es considerada una panoja por la disposición de las flores en el racimo, que generalmente está insertado en el ápice de la planta y en el ápice de las ramas con una longitud variable de 15 – 70 cm. Tiene un eje principal más desarrollado, de la cual se originan ejes secundarios y así sucesivamente ejes terciarios. Considerando la forma y posición de los glomérulos (grupos de flores) se clasifican en tres formas de panoja amarantiformes, glomeruladas e intermedias. En la inflorescencia de tipo amarantiforme, los glomérulos están ubicados en el eje secundario y tienen una forma casi rectangular. En las inflorescencias glomeruladas, los glomérulos están insertados en el eje terciario y presentan una forma globosa. En las intermedias, las panojas expresan características amarantiformes y glomeruladas. Cualesquiera de estos tipos pueden ser laxas o compactas dependiendo de la longitud del eje secundario y terciario. (Tapia, 1990; Gómez y Aguilar, 2016).

Flores

La quinua presenta una flor incompleta, carente de pétalos. Las flores son pequeñas de 1 a 2 mm de diámetro, se ubican en grupos formando glomérulos sésiles, de la misma coloración que los sépalos y, pueden ser hermafroditas, pistiladas o androestériles, y el porcentaje de cada

una de ellas depende de la variedad. Normalmente se observa un porcentaje similar de ambos, pero también extremos con predominancia de hermafroditas o pistiladas, o macho estéril. Los estambres, que son cinco, poseen filamentos cortos que sostienen anteras basifijas y se encuentran rodeando el ovario, cuyo estilo se caracteriza por tener 2 ó 3 estigmas plumosos. Las flores permanecen abiertas por un período que varía de 5 a 7 días y como no se abren simultáneamente, se determinó que el tiempo de duración de la floración está entre 12 a 15 días (Mina, 2014; Ormeño, 2015; Rosas, 2015).

Fruto

Es un aquenio de forma lenticular, elipsoide, cónico cubierto por las envolturas florales que rodean el fruto. La saponina se ubica en pericarpio, su contenido en los granos es muy variable y ha sido el motivo de diferentes estudios y técnicas para eliminarla, por el sabor amargo que confiere al grano (Tapia, 1997; Gómez y Aguilar, 2016).

2.1.4 Clasificación ecológica de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd)

Las evaluaciones de la variabilidad genética disponible han permitido que la quinua se clasifique en cinco grupos principales de acuerdo con sus adaptaciones y algunos rasgos morfológicos altamente heredables, que son fácilmente detectables y que se mantienen en el área de distribución (FAO, 2011).

Según su adaptación ecológica la quinua se puede clasificar en cinco grupos de acuerdo a Tapia (1997).

Quinuas de valles interandinos: Se desarrollan en los valles comprendidos entre los 2000 y 3000 metros de altitud. Son quinuas de gran tamaño y de largo periodo vegetativo. En el caso peruano, con acceso al riego se encuentran en Urubamba; y las que se cultivan en secano en Huaraz, parte alta del Mantaro, Ayacucho y Abancay. Las primeras logran alcanzar hasta una altura de 3.5 metros.

Quinuas del altiplano: Estas quinuas se hallan alrededor del lago Titicaca. Son tolerantes a las heladas y a condiciones de poca precipitación, las plantas son de porte bajo, carecen de ramas y tienen un corto periodo de crecimiento. Entre las principales variedades se consideran: “Kancolla”, “Blanca de Juli”, y “Tahuaco”; en cambio, aquellas que se adaptan a las pampas

altas son: “Cheweca” y “Witulla”, estas dos últimas con panojas coloreadas y adaptadas a temperaturas bajas:

Quinua de terrenos salinos o salares: Se desarrollan en las llanuras del altiplano boliviano y están adaptadas a suelos salinos y alcalinos. Tienen semillas amargas con un alto contenido proteico.

Quinuas de nivel del mar: Se encuentran en el sur de Chile y presentan las siguientes características morfológicas: son de tamaño mediano, generalmente sin ramas, con semillas de color amarillo y amargo. Se adaptan a temperaturas más regulares, climas húmedos y sobre todo a latitudes más allá de los 30°S.-

- Quinuas de los Yungas: Crecen en los valles interandinos de Bolivia en alturas entre los 1500 y 2000 msnm, con la característica coloración verde oscuro en floración y color naranja en la madurez. Tiene pequeñas semillas blancas y amarillas. Se adaptan a climas con altos niveles de precipitación y calor.

2.1.5 Fenología del cultivo de la quinua

Según Gómez y Aguilar (2016), las principales fases fenológicas de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) son:

Germinación: Las semillas de quinua en condiciones adecuadas de humedad, oxígeno y temperatura pueden germinar muy rápidamente. El agua es esencial para la iniciación del proceso y el mantenimiento de un metabolismo apropiado. 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. 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. 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. Se nota con mucha nitidez la presencia de cristales de oxalato de calcio en las hojas dando una apariencia cristalina e incluso de colores que caracterizan a los distintos genotipos.

Desarrollo del botón floral: Esta fase fenológica es muy rápida y se superpone con la fase de desarrollo vegetativo y con la fase de ramificación. 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: Consiste en la formación del eje principal, eje secundario y terciario, el desarrollo de los primordios de glomérulos y la formación de hojas de la inflorescencia dando lugar a formación de las flores y estructuras reproductivas. La inflorescencia puede medir entre 15 a 70 cm y presenta pubescencias ricas en oxalato de calcio de color blancos, rosados y púrpuras que contribuyen a la coloración propia de la inflorescencia de cada variedad, del mismo modo en las inflorescencias de las ramificaciones del tallo. Además, en esta fase fenológica se observa el inicio de defoliación en la base de la planta.

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. Sin embargo, existen

variedades que la apertura floral empieza en la flor hermafrodita del ápice del glomérulo y en las flores ubicadas el glomérulo. En otras variedades, las flores se abren simultáneamente en diferentes glomérulos a lo largo de toda la panoja. La floración en las panojas de las ramas puede iniciarse durante el periodo de floración de la inflorescencia principal y puede durar más que en la principal. 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. La duración de la floración es variable, en algunas variedades es corta y en otras puede tomar más tiempo.

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. Las flores hermafroditas producen abundante polen y se ha observado mucha presencia de insectos, probablemente polinizadores. También el polen es distribuido por el viento. 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.

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, principalmente el de los cotiledones. 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 son reemplazadas 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.

Fruto en estado masoso: 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 y los granos con 12- 14% de humedad requieren ser partidos con los dientes.

2.2 CONDICIONES AMBIENTALES

La quinua mayormente se cultiva en el altiplano peruano en condiciones, generalmente de clima adverso, por frecuentes sequías, inundaciones, granizadas y heladas (Aguilar y Jacobsen, 2003). Mujica *et al.* (2001) señala que la quinua prospera bien con temperaturas de 15 a 20°C y que puede tolerar en el estado vegetativo temperaturas bajas debajo de 0°C. Según Tapia (1997) las quinuas de Valle pueden tolerar temperaturas mínimas de 3°C, las del altiplano 0°C, las de los salares 1°C, las del nivel del mar 5°C y las de las Yungas 11°C. Considerando el rango de precipitación, Tapia (1997) señala que las quinuas del Valle se cultivan entre 700 a 1500 mm, las quinuas del altiplano entre 400 a 800 mm, las quinuas de los salares entre 250 a 400 mm, las quinuas del nivel del mar de 800 a 1500 mm y las quinuas de las Yungas hasta 2000 mm.

Esto ha determinado la generación de una diversidad muy alta de genotipos con buena tolerancia a la sequía (Jensen *et al.*, 2000; Bhargava *et al.*, 2006). Sin embargo, el clima ha ido cambiando en el mundo y en la región altiplánica, se calcula que las sequías serán más prolongadas, más frecuentes y más intensas (Valdivia *et al.*, 2013). También, Boulanger *et al.* (2014) señala que, en el altiplano boliviano, la precipitación puede disminuir entre el 10-30% para fines de este siglo y la temperatura puede incrementarse en 3°C para el 2100. Todos estos cambios han afectado en forma significativa la producción de quinua, mostrando la necesidad de realizar investigaciones relacionadas a identificar los grados de tolerancia a la sequía del material genético y su empleo en los programas de mejoramiento genético.

2.3 DÉFICIT HÍDRICO EN LA PLANTA

Singh (2007) y Montoliu (2010) indican que la sequía puede definirse como déficit hídrico de las plantas, causado por la escasez de precipitaciones y disponibilidad de agua del suelo (déficit de agua del suelo), exceso de evapotranspiración (déficit de agua atmosférica o que la tasa de transpiración exceda a la toma de agua) y elevada salinidad en el suelo que perjudica el crecimiento normal y desarrollo de plantas. La naturaleza del estrés por sequía para un cultivo depende de:

- Cantidad - distribución de la duración de la lluvia para un cultivo de secano,
- Disponibilidad de humedad del suelo cuando el cultivo depende de la humedad del suelo almacenada.
- Cantidad - frecuencia de riego en cultivos de regadío.
- Tipo de suelo
- Evapotranspiración en ese ambiente. Además de los anteriores factores, la aparición del déficit hídrico de las plantas depende de la biología de las plantas, es decir, las especies, genotipo y sensibilidad al déficit hídrico en diversas etapas de crecimiento y desarrollo de plantas.

Cuando las plantas se encuentran en condiciones de estrés hídrico y pierden agua, su potencial hídrico disminuye. Esto ocurre normalmente de forma simultánea a una disminución del potencial de turgencia y a una disminución del potencial osmótico, al implicar la pérdida de agua una mayor concentración de solutos. Sin embargo, en las plantas que poseen ajustes

osmóticos, la bajada del potencial hídrico no implica necesariamente una pérdida de turgencia ya que estas plantas son capaces de acumular de forma activa sustancias osmóticas que disminuye el potencial osmótico, al menos temporalmente, evitando la pérdida de turgencia y en consecuencia permitiendo el desarrollo normal de la fisiología celular (Levitt, 1980; Montoliu, 2010).

Estas alteraciones generan cambios fisiológicos en la planta provocando una disminución del alargamiento celular y una disminución del crecimiento de ápices y raíces. La inhibición de la expansión celular, generalmente es seguida por una reducción en la síntesis de pared celular; la síntesis proteica se ve disminuida. Además, el estrés hídrico reduce la fotosíntesis por cierre de estomas y por consiguiente disminuye la producción y el rendimiento de los cultivos. Bajo condiciones de campo, todas las plantas están expuestas a estrés hídrico alguna vez durante su ciclo de vida. Investigaciones y observaciones en zonas áridas han mostrado diversas adaptaciones morfológicas, fisiológicas y ecológicas, que le permiten a las plantas superar o tolerar condiciones de sequía (Muños y Acevedo, 2002).

2.4 TOLERANCIA A SEQUÍA

Mujica *et al.*, 2001b mencionan que la sequía es la falta de humedad que afecta al crecimiento y desarrollo de la planta disminuyendo su rendimiento y sus principales funciones. No todas las plantas reaccionan del mismo modo a la falta de agua, normalmente provoca disminución en la producción, sin embargo, si el déficit hídrico es severo y la planta no cuenta con mecanismos de defensa o tolerancia a la sequía genera la muerte.

Las plantas han respondido al estrés hídrico desarrollando diferentes estrategias de adaptación desde fisiológicos a morfológicos, que incluye la tolerancia, resistencia y la evitación. Las plantas que son capaces de adquirir más agua o que hacen un uso más eficiente de ésta podrán tener tolerancia al estrés por sequía (Moreno, 2009; Zurita *et al.* 2013). El mecanismo de evitación consiste en equilibrar la absorción y la pérdida de agua. En el caso de la absorción de agua mejora con el crecimiento de las raíces y la acumulación de solutos, mientras que la pérdida de agua se controla con el cierre de estomas. Sin embargo, los mecanismos de tolerancia protegen a la planta contra el daño celular en condiciones de estrés severo, estos se activan cuando los mecanismos de evitación no son suficientes. Estos mecanismos incluyen la detoxificación de las especies reactivas de oxígeno (ROS) y la acumulación de proteínas

protectoras como las proteínas LEA (Late Embryogenesis Abundant) y solutos tales como prolina, el cual tiene una doble función como osmolito y osmoprotector (Zurita *et al.*, 2013).

Además, las respuestas de la planta dependen del genotipo y el estadio de desarrollo de la misma en el momento del estrés, de la duración y la severidad del estrés y de los factores ambientales que lo provoquen. Dependiendo de la severidad y la duración del déficit hídrico, las plantas activan mecanismos de defensa anatómico, morfológico, fisiológico y celular como la respiración, fotosíntesis, las relaciones hídricas, metabolismos hormonales y antioxidantes (Peleg y Blumwald, 2011; Zurita *et al.*, 2013).

Algunas plantas presentan el metabolismo C4 y el metabolismo ácido de las crasuláceas o CAM, que le permiten tolerar ambientes áridos. Otras plantas presentan un efecto sobre el crecimiento, como el aumento del crecimiento radicular y la disminución de la expansión foliar cuando el déficit hídrico se desarrolla lentamente y también se presenta el cierre de estomas, estructura responsable de la mayor proporción de pérdida de agua en las plantas (Moreno, 2009).

2.5 RESPUESTA DE LA QUINUA A LA SEQUÍA

La quinua presenta mecanismos de defensa a la sequía porque sobrevive a condiciones de baja humedad y completa sus fases fenológicas obteniendo granos y materia verde. Los mecanismos pueden ser fisiológicos (menor pérdida de agua por los estomas), anatómicos (menor número y tamaño de estomas y ubicación en el envés de las hojas), morfológicos (menor tamaño de planta), fenológicos (acortamiento del período de floración), bioquímicos (mayor síntesis de prolina) y mayor capacidad de absorción de humedad del suelo como del ambiente, esto permite sobrevivir a los factores adversos como la sequía y acumular fotosintatos en sus órganos de reserva, como son los granos (Mujica *et al.*, 2001b).

Se ha identificado que la floración y el grano de leche son las etapas fenológicas más sensibles al estrés por sequía; por ende, la quinua presenta mecanismo de defensas como sistema radicular ramificado y profundo que penetra hasta 1,5 m en suelos arenosos que es capaz de absorber agua cuando el potencial hídrico del suelo es muy bajo, y anatómicamente presenta vesículas en las hojas que contienen oxalato de calcio, lo que podría reducir la transpiración (Zurita *et al.*, 2013; Hinojosa *et al.*, 2018). Además, se ha encontrado en la variedad de quinua

altiplano “INIA – Illpa en condiciones de estrés aumenta la concentración de ácido abscísico (ABA) en las raíces disminuyendo la turgencia de las estomas y en la variedad Titicaca se encontró que la concentración de xilema ABA se incrementó más rápido en los brotes que en las raíces (Hinojosa *et al.*, 2018). Otros mecanismos de respuesta a la sequía en la quinua son la síntesis reactiva de oxígeno (ROS); acumulación de osmolitos como defensa antioxidante, particularmente ornitina y vías rafinosas; y la acumulación de azúcares solubles y prolina, que ajustan el potencial osmótico celular. La planta también evita la sequía mediante la reducción de su superficie foliar por desprendimiento de hojas, células con paredes pequeñas y gruesas que preservan la turgencia incluso después de severas pérdidas de agua, y la regulación de las estomas (Zurita *et al.*, 2013; Hinojosa *et al.*, 2018).

Los mecanismos de resistencia le permiten resistir el déficit de humedad debido a mecanismos controlados por genes involucrados directamente en el proceso de síntesis de proteínas, almidones, acumulación de oxalato de calcio y la termoestabilidad de la clorofila, o por genes acondicionadores que le dan a la planta características especiales de resistencia al déficit hídrico, las cuales pueden ser transmitidas a sus descendientes (Mujica *et al.*, 2001b; Zurita *et al.*, 2013). Sin embargo, los mecanismos de evasión le permiten escapar de los efectos de la sequía debido a características propias de un cultivar tales como una maduración temprana (precocidad), mayor exploración de agua en las profundidades y lateralmente por la extensión rápida de sus raíces, así como otras características que le facilitan no estar presentes en el campo durante las épocas de falta de precipitación (Mujica *et al.*, 2001b).

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1 Ubicación de la zona experimental

El presente experimento se realizó en campo del PIPS en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM), en el distrito de la Molina, provincia de Lima; cuya ubicación geográfica es la siguiente:

- Latitud 12°04'41.2" Sur
- Longitud 76°56'37.0" Oeste

3.1.2 Análisis de suelo

Para la caracterización físico – química del área experimental, se muestreó el suelo y se analizó en el laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina (ANEXO 1).

Los resultados muestran que es un suelo franco arcilloso arenoso con un porcentaje de 51 %, 26 % y 23 % de arena, limo y arcilla. El pH es moderadamente alcalino (pH= 8.10), ligeramente salino con una conductividad eléctrica de 0.67 dS/m, con un contenido de materia orgánica bajo de 1.51 % y contenido de carbonato de calcio de 1 %.

Además, su capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 15.36, presenta 27.6 ppm de fósforo y 137 ppm de potasio. Con respecto a los cationes, la relación K/Mg fue 0.36 y la de Ca/Mg fue 9.64.

3.1.3 Características climatológicas de la zona experimental

El clima en el distrito de La Molina es cálido, pero se caracteriza por amanecer nublado y ligera llovizna. Los datos meteorológicos registrados durante todo el experimento (agosto – diciembre del 2017) se obtuvieron de la estación meteorológica Alexander Von Humboldt de la Universidad Nacional Agraria La Molina. La Figura 1 muestra la variación mensual de la temperatura máxima y mínima promedio durante toda la campaña del cultivo y en la Tabla 1 se presenta los valores promedios mensual de humedad relativa, precipitación, tanque de evaporación, velocidad del viento y radiación.

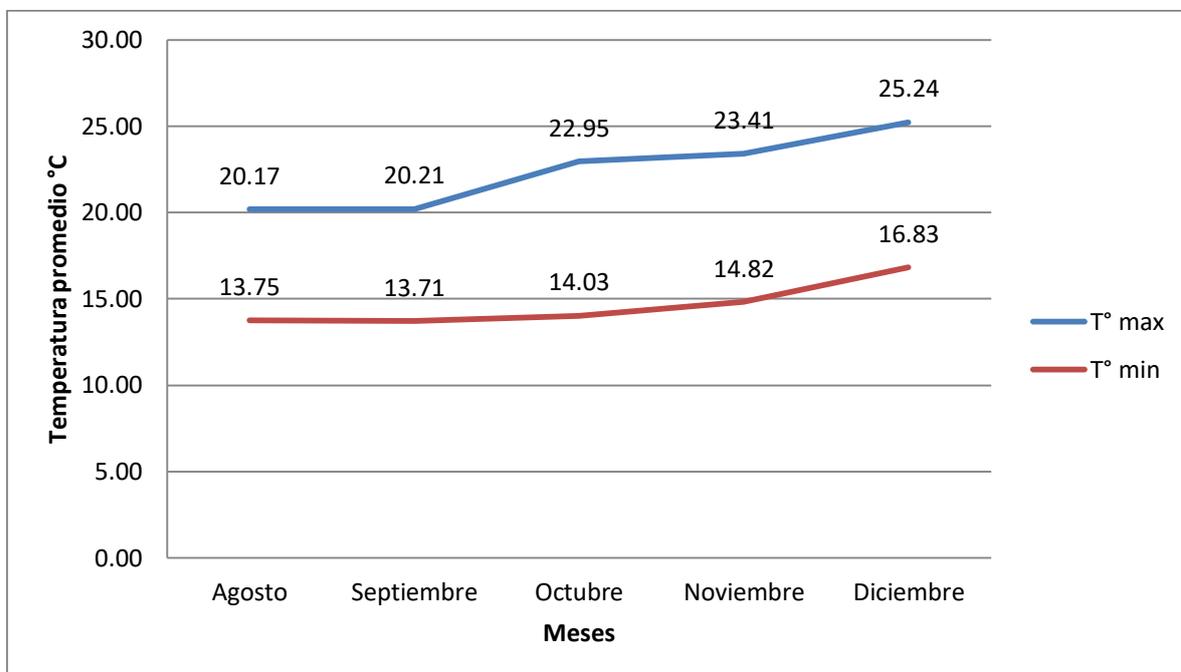


Figura 1: Variación mensual de la temperatura máxima y mínima promedio durante el período agosto - diciembre 2017 en La Molina.

Tabla 1: Promedio mensual de los datos climatológicos: humedad relativa, precipitación, tanque de evaporación, velocidad del viento y radiación durante el período agosto - diciembre 2017 en La Molina.

Meses	H.R promedio (%)	Precipitación (mm)	Evap. Tanque (mm)	Velocidad del viento (m/s)	Radiación promedio (ly)
Agosto	87.91	0.08	1.63	0.70	225.44
Septiembre	88.67	0.07	1.76	0.67	235.38
Octubre	84.06	0.00	2.64	0.79	378.07
Noviembre	82.67	0.01	2.65	0.86	369.10
Diciembre	82.93	0.02	2.78	0.98	359.92

Datos obtenidos del Observatorio “Alexander Von Humbolt” UNALM

3.1.4 Material vegetal

Se utilizaron 4 genotipos de quinua, proporcionados por el PIPS en Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina.

- INIA Salcedo: Variedad comercial que se obtuvo del Instituto Nacional de Innovación Agraria de Puno. Se utilizaron semillas de la campaña anterior.
- MQ – AM 250 – 283: Línea mutante de quinua Amarilla Marangani se obtuvo a partir de la variedad comercial Amarilla Marangani sometida a radiación gamma de 250 Gy, con posteriores siembras sucesivas.

Las semillas que se usaron en el ensayo fueron obtenidas de la campaña anterior.

- MQ – Pas – 50: Línea mutante de quinua Pasankalla se obtuvo a partir de la variedad Pasankalla del banco de germoplasma de la INIA sometida a radiación gamma de 250 Gy, con posteriores siembras sucesivas.

Las semillas que se usaron en el ensayo fueron obtenidas de la campaña anterior.

- Amarilla Sacaca: Variedad comercial que se obtuvo del Instituto Nacional de Innovación Agraria. Se utilizaron semillas de la campaña anterior.

Materiales y herramientas de campo

Insumos agrícolas (fertilizantes, pesticidas y otros), yeso, sistema de riego de goteo bomba de mochila, picota, cordel, wincha, zaranda, hoz y otros.

3.1.5 Materiales de laboratorio

- a) Viabilidad de polen: Crioviales con tapa rosca (de 2ml marca IMEC), agua destilada, gotero, papel toalla, porta objeto, cubre objeto, pinzas.
- b) Contenido de Prolina libre: Nitrógeno líquido, tubos de polipropileno de 50 ml (marca Corning Incorporated, modelo: 430828), bolsas de polipropileno, taper de 5 litros, papel aluminio, cinta masking tape, tijera.
- c) Potencial osmótico: Crioviales con tapa rosca (de 2ml marca IMEC), bolsas de polipropileno, sacabocado, papel lenspaper, agua desionizada.
- d) Contenido relativo de agua (CRA): Bolsas de papel kraf N° 20, bolsas de papel kraf N° 4, bandejas de plástico, agua destilada, cinta masketape.

3.1.6 Equipos de laboratorio

- Microscopio marca Olympus
- Balanza electrónica 5.1 kg máximo marca Mettler Toledo
- Balanza de precisión 0.0001 g mínimo marca Mettler Toledo (+/- 0.0001 g).
- Clorofilómetro (SPAD 502, Minolta) para medir el contenido de clorofila en las hojas.
- Espectrofotómetro Thermo Spectronic (Rochester, NY, Estados Unidos). Para las pruebas de determinación de prolina y la actividad de la enzima nitrato reductasa.
- Microvoltímetro HR-33T y cámara psicrométrica C-52 (Wescor Instruments) para la determinación del potencial osmótico de las hojas.
- Determinador de proteína- INFRATEC
- Contador de granos.
- Estufa con control de temperatura.

3.1.7 Reactivos de laboratorio

- Nitrato de potasio (KNO_3) 0.1 M
- di-potasio hidrogenofosfato (K_2HPO_4) 0.1 M
- Potasio dihidrogenofosfato (K_2HPO_4) 0.1 M
- N-propanol 1% v/v
- Etanol

- Sulfanilamida 1%
- Ácido clorhídrico (HCl) 1.5 M
- N-(1- Naftil) etilen diamino dihidroclorhidratado 0.02%
- Ácido sulfosalicílico al 3 % en agua
- Ninhidrina ácida
- Ácido acético glacial
- Tolueno en fase líquida
- Ácido ortofosfórico al 85% en D₂O
- Acetocarmín al 2%

3.2 METODOLOGÍA

3.2.1 Características del campo experimental

En la investigación se estudió la tolerancia al estrés hídrico de dos variedades comerciales y dos líneas mutantes, el campo fue dividido en dos partes iguales, en cada uno se usó sistema de riego por goteo. El experimento control o sin estrés hídrico se regó normalmente manteniéndolo en su capacidad de campo (CC) durante todo el ciclo de vida del cultivo. El experimento estrés hídrico se regó igual que el control hasta la fase de floración y luego se quitó el riego en gradualmente para suspenderlo en su totalidad.

En la tabla 2 se indican las características de cada experimento (zona experimental). Y el plano del experimento se muestra en el ANEXO 2.

Tabla 2: Características del experimento

N° de repeticiones (Bloques).	4
N° de genotipos	4
N° de parcelas	16
N° de surcos por parcela.	2
N° de surcos útiles por parcela.	2
Distancia entre hileras.	0.6 m
Distancia entre bloques.	1.2 m
Longitud de surcos.	7 m
Ancho de parcela.	1.2m
Área total de la parcela.	8.4m ²
Área total de cada bloque	33.6 m ²
Área total del experimento.	268.8 m ²

3.2.2 Manejo del cultivo

a. Preparación del terreno

La preparación de terreno se inició de acuerdo a la preparación convencional de la costa. Se inició con un riego de machaco, para mullir los terrones se usó un rotovator y el surcado se realizó manualmente con picota, a 60 centímetros entre surcos.

b. Fertilización

La fertilización se realizó en dos momentos:

- Durante la siembra: se incorporó urea y fosfato diamónico a la dosis de 40 – 60 – 00, considerando el contenido de nitrógeno, fósforo y potasio ya existente en el suelo.
- Antes del aporque: se aplicó 40 de nitrógeno entre los surcos de plantas una vez removido el suelo antes del aporque y se enterró con el aporque.

c. Siembra

La siembra de los 4 genotipos se realizó el 9 de agosto del 2017, de forma manual y a chorro continuo sobre el lomo, con un ligero tapado de las semillas. Se sembró 18 gramos de semillas por surco a un distanciamiento entre surco de 0.6 m.

d. Desahijé

El desahijé se realizó manualmente durante el desarrollo vegetativo, se extrajo las plantas débiles y se dejó aproximadamente 5 cm de distancia entre planta y planta.

e. Control de malezas

Esta actividad se realizó de forma manual durante tres días luego del riego.

f. Aporque

Se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura de 40 – 60 cm, permitiendo una mayor fijación de las plantas.

g. Riego

Se instaló el riego por goteo y se aplicó según los requerimientos de la planta. En el experimento estrés hídrico se redujo la lámina de riego aplicada de manera escalonada:

- En la fase de antesis se aplicó el 50% de la lámina de riego aplicado en el ambiente testigo.
- En la fase de acuso se aplicó el 25% de la lámina de riego aplicado en el ambiente testigo.
- En la fase de grano lechoso a inicios de pastoso se suspendió el riego en su totalidad.

Sin embargo, en el experimento control-riego completo se regó las cantidades necesarias en todo el ciclo del cultivo. En la Tabla 3, se presenta la frecuencia de riego con sus respectivas láminas de agua durante todo el experimento.

Tabla 3: Fecha y lámina de riego (Agosto – Diciembre, 2017) en La Molina.

Fechas de Riego	Número de riego	Campo sin estrés	Campo con estrés
		Lámina (mm)	Lámina (mm)
09/08/2017		Siembra y riego	
22/08/2017	Riego N°1	17.40	17.40
05/09/2017	Riego N°2	23.60	23.60
19/09/2017	Riego N°3	31.90	31.90
25/09/2017	Riego N°4	19.20	19.20
01/10/2017	Riego N°5	28.30	28.30
07/10/2017	Riego N°6	29.90	29.90
14/10/2017	Riego N°7	32.80	32.80
22/10/2017	Riego N°8	40.40	40.40
27/10/2017	Riego N°9	25.30	25.30
02/11/2017	Riego N°10	24.50	12.25
10/11/2017	Riego N°11	33.80	8.45
17/11/2017	Riego N°12	35.10	0.00
26/11/2017	Riego N°13	37.60	0.00
30/11/2017	Riego N°14	17.20	0.00
Lámina total (mm)		397	269.50
Volumen de agua (m³/ha)		3970	2695

h. Control fitosanitario

Las aplicaciones se realizaron de acuerdo a la incidencia de insectos y enfermedades que se presentaron durante la fase fenológica del cultivo y también se usó algunos productos químicos preventivos.

Para el control y prevención de las enfermedades más comunes en el cultivo de quinua, se usaron los siguientes productos químicos:

La aplicación de Vitavax® (Carboxin 200 g/kg + Captan 200 g/kg), fungicida sistémico y protector de semillas contra *Rizoctonia Solani* “la chupadera fungosa” que ataca durante la germinación. También se usó Botrizim® (Carbendazim 500 g/L) que es un fungicida sistémico con efecto preventivo y curativo controla un amplio rango de enfermedades fungosas una de ellas es la chupadera fungosa. Se presentaron otras enfermedades como mildiu (*Peronospora farinosa fsp. chenopodii*), la cual se controló después de la tercera evaluación con Infinito® (Propamocarb 625 g/l + Fluopicolide 62.5 g/l), que es un fungicida preventivo y curativo con acción translaminar contra hongos del género Oomycetos.

Para el control de insectos, principalmente comedores de follaje, pulgones y minadores se realizó la aplicación de los siguientes productos químicos durante el desarrollo del ensayo:

Para el control de *Spodoptera eridani* y *Spodoptera frugiperda*, se aplicó Lannate® (Methomyl 900 g/kg), insecticida sistémico de contacto y por ingestión. También se aplicó Abamex® (Abamectina 18g/l) para el control de mosca minadora (*Lyriomiza huidobrensis*) y Cypermex super® (Alpha – cypermetrina 100 g/l), para controlar insectos masticadores y picadores chupadores.

i. Cosecha

La cosecha se realizó el 27 de diciembre del año 2017, con los granos en estado grano pastoso duro o frágil bajo el diente asociado a un 14% de humedad. Primero se cortó la planta al ras del suelo, para luego pesarlas (biomasa verde); se dejó secar las plantas completamente para trillarlas.

Finalmente se limpió los granos en una venteadora, se colocaron en bolsas de papel kraff y se etiquetó según el genotipo; se obtuvo el rendimiento por parcela y se separó una muestra de 20 gramos, siendo un total de 16 muestras, que se analizaron en el laboratorio de calidad del PIPS en Cereales y Granos Nativos.

3.2.3 Cronogramas de actividades

Las labores agronómicas realizadas durante el experimento se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4: Cronograma de actividades realizadas durante el experimento

Fecha	Labores realizadas
31/07/2017	Preparación del terreno
08/08/2017	Control fitosanitario: Aplicación de Vitavax® (10 - 15 gr/l) a las semillas
09/08/2017	Fertilización: úrea y fosfato diamónico NPK (40 – 60 – 00) y siembra
09/08/2017	Primer riego
14/08/2017	Aplicación de Botrizim® (15 ml/15 Lt)
22/08/2017	Segundo riego
05/09/2017	Tercer riego
12/09/2017	Cipermex® (30ml/15Lt), Lannate® (20gr/15Lt) y Acid color® (15ml/15Lt)
19/09/2017	Cuarto riego
01/10/2017	Quinto riego
02/10/2017	Aporque
02/10/2017	Segunda fertilización: solo se agregó nitrógeno NPK (40 – 0 – 0)
04/10/2017	Cipermex® (50 ml/15 Lt), Abamex® (18 ml/15Lt) y Acid color® (15 ml/15 Lt)
07/10/2017	Sexto riego
07/10/2017	Primera evaluación de mildiú
09/10/2017 - 12/10/2017	Desahijé Manual
14/10/2017	Infinito® (56 ml/15 Lt) y Acid color® (200 ml/200 Lt)
14/10/2017	Séptimo riego
16/10/2017	Segunda evaluación de mildiú
22/10/2017	Octavo riego
22/10/2017	Tercera evaluación de mildiú
27/10/2017	Noveno riego
02/11/2017	Decimo riego y estrés hídrico
10/11/2017	Onceavo riego y estrés hídrico
17/11/2017	Doceavo riego y estrés hídrico
26/11/2017	Treceavo riego y estrés hídrico
30/11/2017	Catorceavo riego y estrés hídrico
27/12/2017	Cosecha

3.2.4 Diseño experimental

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

Se realizó análisis de variancia y análisis combinado para los caracteres evaluados (días a la floración, días a la madurez, altura de planta, biomasa, rendimiento, índice de cosecha,

proteína, peso de mil granos, contenido de clorofila, contenido relativo del agua, contenido de prolina libre y mildiu), se realizó la prueba de homogeneidad de varianza y se discute a continuación solo aquellos que cumplieron con la prueba de homogeneidad de varianza.

Modelo Aditivo Lineal

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

Dónde:

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

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

μ = Efecto de la media general.

T_i = Efecto del i-ésimo tratamiento.

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

Modelo aditivo lineal para el análisis combinado

$$Y_{ijk} = \mu + B_{j(k)}T_i + A_k + (T_a)_{ik} + e_{ijk}$$

Dónde:

$$i = 1, 2, \dots, 9 \text{ (Genotipos)} \quad j = 1, 2, \dots, n_i \text{ (repeticiones)}$$

$$k = 1, 2, 3, 4 \text{ (Método de riego)}$$

Y_{ijk} = Observado en el i-ésimo geotipo en el j-ésimo repetición en el k-ésimo ambiente.

μ = Efecto de la media general.

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

T_i = Efecto del i-ésimo genotipo.

A_k = Efecto de k-ésimo ambiente.

$(T_a)_{ik}$ = Efecto de la interacción del i-ésimo genotipo y la k-ésima ambiente.

e_{ijk} = Efecto aleatorio del error.

3.3 EVALUACIONES EXPERIMENTALES

3.3.1 Variables agronómicas

- Rendimiento: Se pesaron los granos trillados en cada parcela y se expresó en Kg/ ha.
- Índice de cosecha (IC): Relación del peso del grano entre el peso total de la biomasa expresado en porcentaje, tal como muestra la siguiente ecuación:

$$IC (\%) = (\text{Peso de grano} / \text{Peso total de biomasa (paja + grano)}) * 100$$

- Días a la floración: Se contabilizó el número de días transcurridos después de la siembra hasta el 50% de la apertura de las flores.
- Días a la madurez: Se contabilizó el número de días transcurridos después de la siembra hasta que el 50% de los granos se encuentren en pastoso duro rayable con la uña asociado a un 20% de humedad y marchitez de la planta.
- Altura de planta (cm): La evaluación se realizó un día antes de la cosecha y consistió en medir la altura de la planta desde la superficie del suelo hasta el ápice de la panoja. Se midieron 10 plantas por parcela
- Biomasa aérea (kg/ha): Se cortaron las plantas de cada parcela al cuello de planta y se pesó las plantas sin trillar determinando el peso fresco. Luego se calculó la biomasa correspondiente a cada unidad experimental.
- Mildiú (porcentaje de área foliar afectada): Se realizó tres evaluaciones cada dos semanas (59 dds, 73 dds y 89 dds), siguiendo el procedimiento descrito por Danielsen y Ames (2000). Se eligieron tres hojas al azar por parcela, una de cada tercio y se evaluó el porcentaje de área afectada de cada hoja (Figura 2). El promedio de las tres lecturas fue equivalente a la severidad de la parcela.

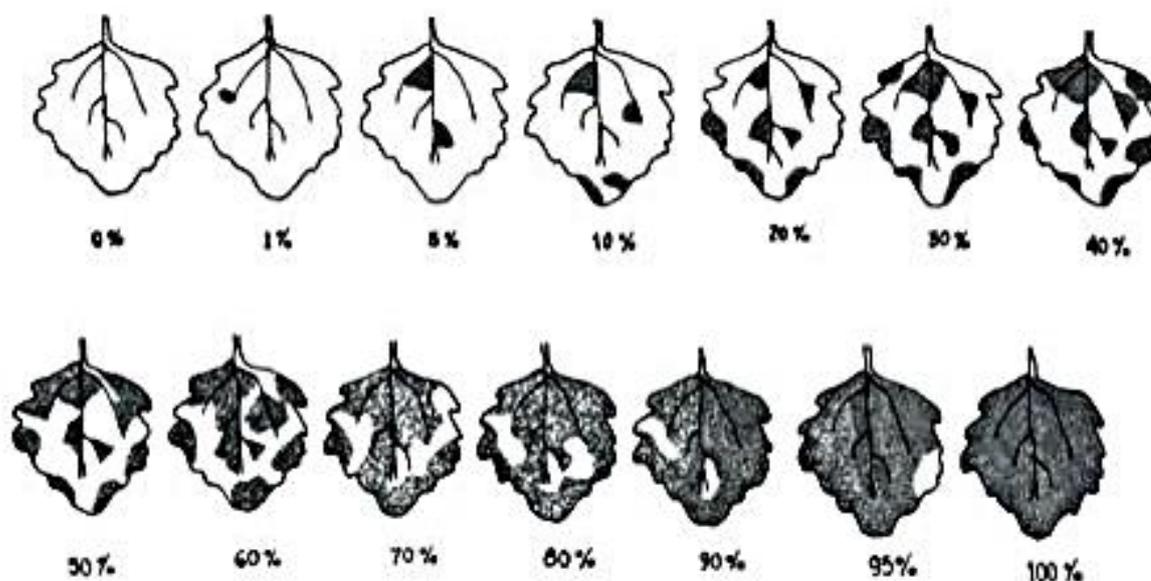


Figura 2: Índice de esporulación para determinar la severidad del mildiú.

Fuente: Danielsen y Ames (2000)

3.3.2 Variables fisiológicas

- **Contenido de Clorofila SPAD (CC):**

Se determinó con el medidor de clorofila de mano (SPAD-502 Chlorophyll Meter, Minolta Camera Co., Ltd., Japón). Se tomaron lecturas en las hojas expandidas de 10 plantas por parcela, luego el equipo promediaba los valores numéricos obteniendo el promedio final. Esta característica se expresa en unidades SPAD que se refiere a la cantidad de clorofila que presenta las hojas. El equipo determina la cantidad relativa de clorofila presente, midiendo la absorbancia de la hoja a dos longitudes de onda, en las regiones roja y cercanas a infrarrojo en un rango de 650 a 940 nm.

- **Contenido Relativo del Agua (CRA):**

Es una medida del contenido de agua de la hoja, respecto al total de agua que ésta puede almacenar; se expresa como porcentaje y permite conocer el estado hídrico de la planta. Se relaciona con el potencial hídrico porque éste y sus componentes (potencial de presión y de solutos) son función del volumen de agua del protoplasma (Acevedo, 2003). Este método se usa para evaluar la tolerancia de los cultivos al estrés hídrico.

En cada evaluación se cortaron tres hojas de cada unidad experimental, se colocaron en papel aluminio para evitar la deshidratación. Luego en el laboratorio se registró el peso fresco (PF), seco (PS) y turgente (PT) de cada hoja proveniente de cada parcela.

Inmediatamente después de la colecta, se registró el peso fresco (PF) en una balanza analítica. Luego se colocaron las hojas extendidas en una bandeja de plástico, sumergidas en agua destilada durante 24 horas, para determinar el peso turgente (PT). Finalmente se colocaron las hojas en la estufa durante 48 horas a 80°C, y se volvió a pesar para determinar el peso seco (PS).

El contenido relativo del agua (CRA) se determinó mediante el método gravimétrico según Bennett et al. (1987), utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CRA} = \frac{\text{Peso fresco (PF)} - \text{Peso seco (PS)}}{\text{Peso turgente (PT)} - \text{Peso seco (PS)}} \times 100$$

- Determinación de contenido de prolina libre:

Se realizaron cuatro evaluaciones, dos evaluaciones antes del estrés hídricos, al 50% de lámina de riego y durante la suspensión total del riego. Por la cual se realizó el siguiente procedimiento:

Se extrajo muestras de cada parcela, la muestra consistió en 0.5 g de hoja (incluyendo la nervadura) en estado fresco, por lo cual fueron guardadas inmediatamente en papel aluminio y colocadas dentro de tubos de polipropileno tipo Falcón (de 50 ml marca IsoLab), estos tubos que contienen la muestra se introdujeron de forma inmediata a nitrógeno líquido, para luego ser guardadas en un congelador de -70°C. Esto para inactivar cualquier proceso metabólico en la hoja. En el laboratorio se realizó la medición del contenido de prolina libre de cada muestra siguiendo el protocolo descrito por Bates *et al.* (1973).

Se tomaron las muestras congeladas y se pesó 0.5 gramos, se molieron las hojas en un mortero y se agregó 3 ml de ácido sulfosalicilico al 3%, se centrifugo a 13000 rpm por 10 minutos, tras lo cual se dividió en 2 fases y se extrajo el sobrenadante con una micropipeta.

Se colocó el sobrenadante en un tubo eppendorf y se volvió a centrifugar por 10 minutos. Posteriormente se extrajo 1 ml de sobrenadante lo más puro posible, sin presencia de sedimento o tejido remanente y se colocó en un tubo falcón. Las muestras se transportaban y se dejaban reposar en hielo.

Luego se agregó 1 ml de Ninhidrina ácida 0.1 M y 1 ml de ácido acético glacial, se agitaron en el Vortex por 20 segundos y se colocaron al baño maría por 1 hora.

Se retiraron las muestras del baño maría y se sumergieron en agua con hielo durante 10 minutos. Después se agregó 3 mililitros de tolueno, se agitó en el Vortex por 60 segundos y se dejó reposar por 3 minutos. Finalmente, se extrajo 2 ml de sobrenadante y se leyó la muestra en el espectrofotómetro (Genesys) a una absorbancia de 520 nm. Las unidades de medición son propias de equipo, llamadas absorbancia.

Para obtener los valores de prolina se usó una curva estándar (Figura 3) que se obtuvo de leer muestras de prolina purificada en el espectrofotómetro, se realizó las siguientes mediciones (Tabla 5):

Tabla 5: Siete muestras de prolina purificada (ug prolina/ug muestra) con sus respectivas absorbancias promedios.

Prolina (ug prolina/ug muestra)	Absorbancia
0	0.052
0.001	0.066
0.002	0.073
0.004	0.101
0.008	0.107
0.02	0.187
0.04	0.289

$Y = 5.7743X + 0.0631$	$R^2 = 0.9894$
------------------------	----------------

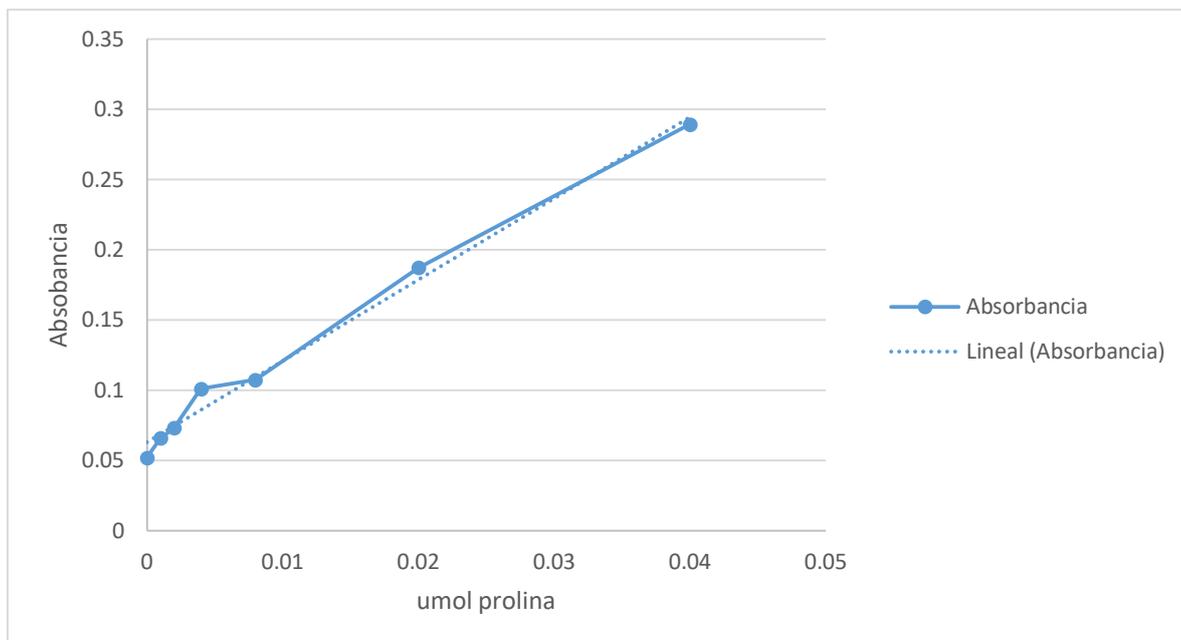


Figura 3: Curva estándar de prolina

3.3.3 Componentes de la calidad del grano

- **Porcentaje de proteína del grano:** De las muestras obtenidas de cada parcela, se calculó el porcentaje de proteína utilizando el equipo “INFRATECK 1255 Food & Feed Analyzer”. Esta evaluación se llevó a cabo en el Laboratorio de Calidad del PIPS en Cereales y granos nativos.

Se introdujo los granos de quinua en el plato del equipo, hasta que no quedara ningún espacio por donde pueda pasar la luz y las analizó automáticamente, obteniendo los resultados en porcentaje.

- **Peso de mil granos (PMG):** Se contó mil granos por parcela, se pesó en una balanza analítica y se obtuvo los resultados en gramos.

VI. RESULTADO Y DISCUSIÓN

4.1. OBJETIVO 1: EVALUACIÓN EL EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN LOS CARACTERES AGRONÓMICOS Y RESPUESTA A MILDIÚ (*Peronospora variabilis*)

4.1.1. Caracteres agronómicos

En la Tabla 6 se presenta los resultados del ANVA para el experimento control-riego Completo y muestra diferencias altamente significativas para genotipos en las variables días a la floración, días a la madurez, índice de cosecha, y rendimiento. Los valores del coeficiente de variación para días a la floración, días a la madurez, altura de planta, biomasa, rendimiento e índice de cosecha fueron 4.07%, 4.08%, 7.67%, 18.70%, 7.12% y 7.69%, respectivamente. El ANVA del experimento estrés hídrico (Tabla 7), para genotipos muestra diferencias altamente significativas en las variables días a la madurez, rendimiento e índice de cosecha. Los valores del coeficiente de variación para días a la floración, días a la madurez, altura de planta, biomasa y rendimiento e índice de cosecha fueron 6.90%, 1.92%, 3.39%, 19.16%, 7.15% y 7.27%; respectivamente.

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En la Tabla 8 se presentan los resultados del ANVA COMBINADO y se aprecia para ambientes diferencias significativas en la variable rendimiento; para genotipos diferencias altamente significativas en las variables días a la floración, días a la madurez, rendimiento e índice de cosecha, y diferencias significativas para biomasa y altura de planta; para la interacción ambiente genotipos, hubo diferencia significativa en la variable índice de cosecha. Los valores de los coeficientes de variación para días a la floración, días a la madurez, altura de planta, biomasa, rendimiento e índice de cosecha fueron 4.39%, 3.21%, 5.89%, 18.93%, 7.14% y 7.48%; respectivamente.

En la Tabla 9 se presentan los valores medios de días a la floración para los cuatro genotipos de quinua y se aprecia diferencias significativas entre estos valores según prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) en control-riego completo y no existe diferencias significativas entre los valores para estrés hídrico. Para el control se aprecia un rango de 43 a

51 días, correspondiendo el valor más bajo a la variedad INIA Salcedo y el valor más alto a la variedad Amarilla Sacaca y una media de 47.75 días. Para el experimento estrés hídrico se tuvo un rango de 45 a 49.75 días, el valor más bajo para INIA Salcedo y el más alto para MQAM 250-283 y una media de 47.38 días. Se puede apreciar un comportamiento similar de los genotipos en ambos ambientes. En la Tabla 10 se presenta los días a la floración en los dos ambientes control y estrés hídrico, en promedio de los genotipos mostrando para el control 60.81 días y para estrés hídrico 61.25 días y no hay diferencias estadísticas entre estos valores.

Para días a la maduración se aprecia diferencias significativas entre los valores medios de los genotipos estudiados (prueba de Duncan $\alpha= 0.05$) en los dos experimentos control y estrés hídrico (Tabla 9). Para el control se encontró una media igual a 105.25 días y un rango de 96 a 113.5 días, correspondiendo el valor más bajo a INIA Salcedo y el más alto a Amarilla Sacaca. En el experimento estrés hídrico el rango fue de 96 a 113.5 días, el valor más bajo se observó en la variedad INIA Salcedo y el más alto en Amarilla Sacaca y una media igual a 104 días. Si observamos los valores de la Tabla 10 se aprecia, en promedio de genotipos, diferencias significativas para días a la maduración con un valor de 105.25 días y 104 días para control y estrés hídrico, respectivamente.

En la Tabla 9 se presentan los valores medios de altura de planta para los cuatro genotipos de quinua. En el experimento control se aprecia que no hay diferencias significativas entre los valores según la prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$), una media de 151.75 cm y un rango de 144.5 a 158.5 cm, correspondiendo el valor más bajo a la variedad INIA Salcedo y el valor más alto a MQPAS-50. Para el experimento estrés hídrico se tuvo una media de 155.44 cm y rango de 146.8 a 159.3 cm, el valor más bajo para INIA Salcedo y el más alto para Amarilla Sacaca y se puede apreciar diferencias significativas entre estos valores. En la Tabla 10 se presenta los datos de altura en los dos ambientes control y estrés hídrico, en promedio de los genotipos y se aprecia para el control 151.75 cm y para estrés hídrico 155.44 cm y no hay diferencias estadísticas entre estos valores.

Para biomasa no se aprecia diferencias significativas entre los valores medios de los genotipos estudiados (prueba de Duncan $\alpha= 0.05$) en el experimento control y diferencias significativas en el experimento estrés hídrico. Para el control la media fue 9523.81 kg/ha y el rango varió de 7976 a 10774 kg/ha, correspondiendo el valor más bajo a INIA Salcedo y el más alto a MQAM 250-283. En el ambiente estrés hídrico se encontró una media igual a 8675.6 kg/ha y

el rango fue de 6786 a 10119 kg/ha, el valor más bajo se observó en la variedad INIA Salcedo y el más alto en MQAM 250-283 y Amarilla Sacaca (Tabla 9). Si observamos los promedios de variedades en dos ambientes control-riego completo y estrés hídrico no se encontró diferencias significativas para biomasa con un valor de 9523.8 kg/ha y 8675.6 kg/ha para control y estrés hídrico, respectivamente (Tabla 10).

En la Tabla 9 se presentan los valores medios de rendimiento para los cuatro genotipos de quinua y se aprecia que hay diferencias significativas entre estos valores según la prueba de significación Duncan ($\alpha=0.05$) en el ambiente control y estrés hídrico. En el ambiente control se encontró una media de 3404.78 kg/ha y un rango de 3048.3 a 3736.6 kg/ha, correspondiendo el valor más bajo a la variedad INIA Salcedo y el valor más alto a MQ PAS-50. Para el experimento estrés hídrico se tuvo una media de 3267.51 kg/ha y un rango de 2749.5 a 3446.7 kg/ha, el valor más bajo para INIA Salcedo y el más alto para MQ PAS-50. En la Tabla 10 se presenta el rendimiento promedio de las variedades en dos ambientes control-riego completo y estrés hídrico que son estadísticamente diferentes con valores de 3404.78 kg/ha para control y 3131.63 kg/ha para estrés hídrico.

Para índice de cosecha se encontró diferencias significativas entre los valores medios de los genotipos estudiados (prueba de Duncan $\alpha=0.05$) en los dos experimentos control y estrés hídrico. Para el control la media fue igual a 24.5% y el rango varió de 20.40 a 29.02%, correspondiendo el valor más bajo a Amarilla Sacaca y el más alto a MQ PAS-50. En el experimento estrés hídrico se encontró una media igual a 25.86% y el rango fue de 21.6 a 31.41%, el valor más bajo se observó en la variedad Amarilla Sacaca y el más alto en MQ PAS-50 (Tabla 9). Si observamos los valores de la Tabla 10 no se encontró, en promedio de genotipos, diferencias significativas para índice de cosecha con un valor de 24.52 y 25.86 % para control- riego completo y estrés hídrico, respectivamente.

Tabla 6: Cuadrados medios del ANVA de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del experimento control - riego completo en condiciones de La Molina. 2017.

Fuente de variación	GL	Floración (días)	Maduración (días)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Índice cosecha (%)
Rep	3	5.1666667	9.8333333	278.83	6462584.8	9458.401	14.2**
Genotipos	3	49.8333333**	233.6666667**	219.17	5338258.8	542257.149**	51.31**
Error	9	3.7777778	18.5	135.67	3171452.9	58925.764	3.56
Total	15						
Coefficiente de variabilidad (%)		4.070473	4.086615	7.67	18.70	7.12957	7.69
Raíz MSE		1.943651	4.301163	111.65	1780.86	242.7463	1.89
Media		47.75	105.25	151.75	9523.81	3404.782	24.52

Tabla 7: Cuadrados medios del ANVA de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha (%) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina. 2017.

Fuente variación	GL	Floración (días)	Maduración (días)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Índice Cosecha (%)
Rep	3	3.4166667	6	88.8958	11643747.4*	8717.023	3.0169063
Genotipos	3	15.08333333	347.3333333**	135.895	5644121.8	394021.405**	101.7829896**
Error	9	10.6944444	4	27.7292	2765572.4	50078.718	3.5361951
Total	15						
Coefficiente de variabilidad (%)		6.902873	1.923077	3.389	19.16	7.145888	7.271234
Raíz MSE		3.270236	2	5.2658	1663	223.7827	1.880477
Media		47.375	104	155.44	8675.6	3131.629	25.86188

Tabla 8: Cuadrados medios del ANVA COMBINADO de las de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta, biomasa, rendimiento de grano e índice de cosecha de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de los ambientes control-riego completo y estrés hídrico en condiciones de La Molina. 2017.

Fuente de las variaciones	GL	Floración (días)	Maduración (días)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Índice cosecha (%)
Ambiente	1	1.53125	12.5	108.781	5755749.5	596896.83**	14.365
Rep /ambientes	6	17.78125	7.92	183.8645	6053353.3	9087.71	8.609
Genotipos	3	494.864583**	555.5**	275.114*	14981932.5*	910387.39**	141.116**
Amb*Genotipos	3	1.53125	25.5	79.9479	2000073.6	25891.16	11.984*
Error	18	7.20	11.25	81.697	2968512.7	54502.241	3.550
Total	31						
Coefficiente de variabilidad (%)		4.39	3.21	5.885	18.93	7.14	7.480
Raíz MSE		2.682893	3.354	9.0386	1722.94	233.46	1.884
Media		61.031	104.63	153.59	9099.703	3268.206	25.192

Tabla 9: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha=0.05$) de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta (cm), biomasa (kg/ha), rendimiento de grano (kg/ha) e índice de cosecha (%) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del experimento control - riego completo y el experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina 2017.

Variedades	Floración (días)		Maduración (días)		Altura Planta (cm)		Biomasa (kg/ha)		Rendimiento (kg/ha)		Índice Cosecha (%)	
	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés
INIA SALCEDO	43 c	45 a	96 c	96 b	144.5 a	146.8 b	7976 a	6786 b	3048.3 b	2749.5 c	25.11 b	28.87 a
MQAM 250-283	49.75 ab	49.75 a	109 ab	110.5 a	157.8 a	157.8 a	10774 a	10119 a	3708.0 a	3320 ab	23.57 b	21.60 b
MQ PAS-50	47.25 b	47.25 a	102.5 bc	96 b	158.5 a	158 a	9643 a	7679 ab	3736.6 a	3446.7 a	29.02 a	31.41 a
AMARILLA SACACA	51 a	47.5 a	113.5 a	113.5 a	146.3 a	159.3 a	9702 a	10119 a	3126.2 b	3010.2 bc	20.40 c	21.58 b

Dentro de cada columna, las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$)

Tabla 10: Valores medios y Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de las variables agronómicas días a la floración, días a la maduración, altura de planta (cm), biomasa (kg/ha), rendimiento de grano (kg/ha) e índice de cosecha (%) de dos niveles de riego en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) del experimento control - riego completo y el experimento estrés hídrico en condiciones de La Molina 2017.

Ambiente	Floración (días)	Maduración (días)	Altura Planta (cm)	Biomasa (kg/ha)	Rendimiento (kg/ha)	Índice cosecha (%)
Control	60.81 a	105.25 a	151.75 a	9523.8 a	3404.78 a	24.52 a
Estrés hídrico	61.25 a	104 a	155.44 a	8675.6 a	3131.63 b	25.86 a

Dentro de cada columna, las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$)

Comparando los resultados obtenidos en la presente investigación en condiciones de la costa central en siembra de invierno-primavera se puede apreciar:

Para la característica floración los valores encontrados son similares a los de Mendoza (2013) que en condiciones de la costa central reportó un rango de floración de 43.33 a 67.33 días para 17 genotipos de quinua. A sí mismo, Quispe (2015) reportó un rango en mutantes de quinua de la variedad Pasankalla de 73.8 y 62 días en condiciones de la costa central. Arana (2014) en un experimento comparativo de rendimiento de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en siembra de primavera en Tacna, encontró el inicio de la floración a los 55 días para la variedad INIA Salcedo. Antezana (2019) determinó que el promedio del número de días al 50% emergencia de floración de los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca son 46, 49.88, 46.25 y 51.63 días, respectivamente bajo condiciones de estrés por sequía y calor, valores muy similares a los obtenidos en ensayo.

Por otro lado, en condiciones de sierra la floración ocurre en un periodo más largo al observado en condiciones de costa. Según FAO e INIA (2013), los días a la floración para la variedad INIA Salcedo es de 95 días, para la variedad Amarilla Sacaca de 125 días, para la variedad Pasankalla de 116 días y para la variedad Amarilla Marangani de 135 días. Igualmente, en un experimento con diez variedades de quinua bajo dos sistemas de riego en condiciones de la sierra de Tarma, Rosas (2015) observó la floración a los 115 días para la variedad Amarilla Marangani y 84 días para la variedad INIA y un rango promedio total superior de 70 a 115 días. León (2017) evaluó el rendimiento de cuatro variedades de quinua en el valle del Mantaro y menciona que la variedad más precoz fue Pasankalla con 80 días.

Para la característica madurez, Deza (2018) reportó un valor similar en la variedad INIA Salcedo con 100 días y para la línea mutante MQPas-50 115 días. Antezana (2019) en condiciones de estrés por sequía y calor registró los siguientes valores promedio 91.75, 93.25, 86.5 y 92 días para los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca; respectivamente, estos valores son inferiores a los obtenidos en esta investigación. León (2014) desarrolló una investigación sobre la respuesta de la línea mutante La Molina 89-77 a tres regímenes de riego e informó maduración a los 105 días con una lámina de 50% de riego y 107.67 días con 100% de lámina de riego.

Los valores de altura de planta obtenidos en este experimento están dentro de los rangos hallados por Mendoza (2013), en condiciones de La Molina, indicó que el rango promedio de la altura de planta de 17 genotipos de quinua fue de 118 a 166 cm con una altura promedio de 144 cm. Por otro lado, FAO e INIA (2013) indican que la altura de planta de la variedad INIA Salcedo se encuentra en un rango de 148 a 170 cm y de la Amarilla Sacaca entre 150 a 170 cm, valores superiores a los obtenidos en esta investigación. Rosas (2015) reportó una altura de 91 cm en la variedad INIA Salcedo en un sistema tradicional. Antezana (2018) obtuvo una altura promedio de 166.87, 195, 178.75 y 197.5 cm para la variedad INIA Salcedo, línea mutante MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y la variedad Amarilla Sacaca; respectivamente.

En cuanto a la biomasa, en la presente investigación comparando los dos niveles de riego se pudo apreciar una reducción por efecto del estrés hídrico en la variedad INIA Salcedo y la línea mutante MQ Pas-50. Estudios realizados por Mujica *et al.* (2001b) indican que el déficit hídrico afecta significativamente la biomasa y Mendoza (2013) menciona que cada genotipo presenta características morfológicas propias y que su comportamiento difiere de acuerdo a las condiciones, reportando un rango de biomasa entre 3482 a 16163 kg/ha en de 17 genotipos de quinua. Deza (2018) encontró un rango entre 4089.8 a 6707 kg/ha, siendo la variedad INIA Salcedo el genotipo con menor biomasa y la línea mutante MQ Pas-50 con 4089.8 kg/ha. Antezana (2019) reportó diferencias significativas en cuatro genotipos de quinua con 5075, 6187.5, 4650 y 7593.8 kg/ha de biomasa promedio para los genotipos INIA Salcedo, la línea mutante MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca, respectivamente. Ambos autores reportan valores inferiores a los obtenido en esta investigación.

Mujica *et al.* (2011a), señalan que el rendimiento potencial de la quinua podría ser 11 t/ha; sin embargo, el mayor rendimiento comercial que se ha obtenido es aproximadamente 6000

kg/ha, en condiciones óptimas. El rendimiento depende la variedad, época de siembra, presencia de heladas, granizas, nivel tecnológico, fertilización, tratamiento de semillas, control de malezas, control de plagas y enfermedades; así como labores culturales oportunas. En condiciones de costa es posible mejorar rendimientos por encima de los 3,500 y 4,500 kg/ha. En condiciones de sierra y manejo de cultivo tradicional se tiene un rendimiento entre 600 a 800 kg/ha; sin embargo, según el material genético y un mejor manejo de cultivo se puede tener rendimientos hasta 3000 kg/ha (Tapia *et al.*, 2000; Mujica *et al.*, 2001a; Canahua y Mujica, 2013). El rendimiento medio obtenido en este experimento en condiciones del control-riego completo fue de 3404.72 kg/ha y en condiciones de estrés hídrico, fue 3131.62 kg/ha. A nivel de genotipos, el rendimiento más alto observado fue 3736.6 kg/ha con la mutante MQ PAS-50 en el experimento control.

Estudios realizados por Geerts *et al.* (2008) indican que el rendimiento disminuye al aumentar el estrés hídrico, particularmente cuando el estrés hídrico ocurre en prefloración, floración y grano lechoso. Esta afirmación es corroborada por Garrido *et al.* (2013), reportaron que el rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) disminuyó en dos temporadas distintas en condiciones de déficit hídrico en comparación con las dos temporadas bien regadas durante toda la campaña, concluyendo que es de suma importancia seleccionar genotipos tolerantes al estrés hídrico.

Antezana (2019) evaluó el rendimiento de los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas – 50 y Amarilla Sacaca en condiciones de estrés por sequía y por calor obteniendo rendimientos 925.3, 1820.5, 907 y 1260.7 kg/ha en cada genotipo, respectivamente. Por otro lado, Quispe (2015) realizó un estudio en líneas mutante de quinua var. Pasankalla en condiciones de la costa central y menciona que el rango de rendimiento promedio varió entre 1631.6 kg/ha y 4133.5 kg/ha y de las 78 líneas mutantes de la variedad Pasankalla, las MQPas-302 MQPas-296 MQPas-222 presentan un rendimiento promedio de 2087.5 kg/ha, 2065.3 kg/ha y 2050.3 kg/ha, respectivamente, todos valores inferiores al obtenido en este ensayo. Sin embargo, Deza (2018) reportó un rendimiento de 2921.6 kg/ha para la variedad INIA Salcedo y 3231.6 kg/ha para el genotipo MQ Pas – 50, bajo las mismas condiciones de La Molina, valores similares a los rendimientos de los genotipos evaluados.

Según FAO e INIA (2013) mencionan que la variedad Amarilla Sacaca y la variedad Amarilla Marangani presentan un rendimiento promedio de 3500 kg/ha, valor superior al obtenido en

el experimento estrés hídrico. Gómez y Aguilar (2016) indican que la variedad INIA Salcedo tiene un rendimiento promedio 2500 kg/ha y la variedad Pasankalla presenta un rendimiento mayor a 3000 kg/ha. Por otro lado, Gutierrez y Roque (2018) estudiaron ocho variedades de quinua en condiciones de Yanahuanca - Pasco y reportaron en la variedad INIA Salcedo un promedio de 2793 kg/ha, valor similar al obtenido en el experimento estrés hídrico.

Rosas (2015) estudió diez variedades de quinua bajo dos sistemas de cultivo (sistema tradicional y sistema de tecnología media) y menciona que el rendimiento promedio de la variedad INIA Salcedo bajo sistema tradicional fue 2454.1 kg/ha y que la variedad Pasankalla tuvo un rendimiento de 2373.3 kg/ha, valor inferior a la mutante MQ Pas-50. Gámez (2018) en un estudio realizado con dos variedades de quinua, Rainbow e Illpa, en condiciones de invernadero concluye que el déficit hídrico moderado y severo, aplicado en la fase de inicio de llenado de grano, no tuvo un efecto significativo en el rendimiento y que ambas variedades presentan estrategias de tolerancia al estrés hídrico.

Los índices de cosecha obtenidos en este experimento están dentro de los rangos hallados por Mendoza (2013), en condiciones de La Molina; indicó que el rango promedio de índice de cosecha de 17 genotipos de quinua fue de 12 a 30.5 por ciento. Antezana (2019) obtuvo índices de cosecha promedio de 7.17, 10.95, 7.81 y 6.65 por ciento en los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca, respectivamente. Deza (2018) reportó que el índice de cosecha de la variedad INIA Salcedo es de 34.9 por ciento y de la línea mutante MQ Pas-50 es 39.47 por ciento.

En el ensayo de multiplicación de semillas de variedades y ecotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en Valle de Majes - Arequipa, Marca *et al.* (2015) encontraron un índice de cosecha de 36 por ciento para la variedad INIA Salcedo, siendo superior a lo obtenido en el presente trabajo en ambos ambientes. Arana (2014) en un ensayo comparativo de 10 genotipos de quinua reportó un valor similar para esta variedad (34 por ciento).

4.1.2 Respuesta al Mildiú (*Peronospora variabilis*)

El mildiú, la enfermedad más importante de la quinua fue evaluada en tres fechas (59 dds, 73 dds y 89 dds); su desarrollo fue favorecido por una humedad ambiental sobre 80% (Tabla 1). En la Tabla 11, se presentan los valores de severidad (porcentaje de área foliar con síntomas) y se aprecia una evolución de la enfermedad con un patrón similar para los genotipos estudiados en los dos experimentos. Los valores de severidad fueron bajos al inicio (59 dds)

y luego se incrementan durante el desarrollo vegetativo (89 dds). La formación de numerosas hojas en la primera fase de desarrollo propicia un microambiente favorable para el desarrollo del mildiú. Este mismo comportamiento fue observado por León (2003), Kumar *et al.* (2006), Risco (2014), Calixtro (2017) y Torres (2019).

En la Tabla 12 se presentan los resultados del ANVA de la tercera evaluación (89 dds) y no se observaron diferencias significativas para ninguna de las fuentes de variación en los dos experimentos. El coeficiente de variación en el experimento control-riego completo fue 6.545%, con una media de 53.979% y en el experimento estrés hídrico se tuvo un coeficiente de variación de 6.89% y una media de 49.02%.

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En la Tabla 13 se presentan los resultados del ANVA COMBINADO de la tercera evaluación (89dds) y se aprecia diferencias altamente significativas sólo a nivel de ambiente, un coeficiente de variación de 6.7% y una media de severidad de 51.5%. En la Tabla 14 se presentan los valores medios de severidad en promedio de genotipos y se puede apreciar que existen diferencias significativas entre los valores del control-riego completo y estrés hídrico de 53.979% y 49.018%; respectivamente.

Tabla 11. Valores medios de severidad (%) de mildiú (*Peronospora variabilis*) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en tres diferentes fechas de evaluación en el experimento control-riego completo y experimento estrés hídrico. La Molina 2017.

Genotipos	7-Oct (59 dds)		21-Oct (73 dds)		04-Nov (89 dds)	
	Control	Estrés	Control	Estrés	Control	Estrés
INIA Salcedo	24.3 a	29.2 a	32.2 a	35.6 ab	53.8 a	52.2 a
MQ AM 250-283	19.6 b	30.2 a	32.6 a	36.4 a	51.4 a	46.8 a
MQ Pas-50	20.2 b	26.0 b	26.6 b	33.3 bc	56.1 a	48.5 a
Amarilla Sacaca	25.1 a	29.5 a	32.0 a	31.9 c	54.6 a	48.6 a

Dentro de cada columna, las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$)

Tabla 12. Cuadrado medio del ANVA de los grados de severidad de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) a los 89 dds (4-Nov), en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente variación	GL	Control	Estrés hídrico
Rep	3	10.477	1.988
Genotipos	3	15.166	20.437
Error	9	12.483	11.413
Total	15		
Coeficiente de variabilidad (%)		6.545	6.89
Raíz MSE		3.533	3.378
Media		53.979	49.01813

Tabla 13. Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de los grados de severidad de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) a los 89 dds (4-Nov), en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	CM	F-Valor	Pr>F
Ambiente	1	196.912**	16.48	0.0007
Rep/ambientes	6	6.2323	0.52	0.7845
Genotipos	3	23.112	1.93	0.1602
Amb*Genotipos	3	12.491	1.05	0.3965
Error	18	11.948		
Total	31			
Coeficiente de variabilidad (%)		6.712		
Raíz MSE		3.456		
Media		51.498		

Tabla 14: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de la severidad (%) de la enfermedad de mildiú (*Peronospora variabilis*) a los 89 dds (4-Nov), evaluados en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en La Molina 2017.

Ambiente	Mildiu (%)	Duncan
Control	53.979	B
Estrés hídrico	49.018	A

El mildiu es un patógeno que causa daños severos en la quinua provocando la reducción del área fotosintética de la planta, y consecuentemente afecta negativamente el rendimiento en un 10 a 30 por ciento (Gómez, y Aguilar 2016). Asimismo, Ortiz *et al.* (2001) mencionan que el mildiu afecta a cualquier estado fenológico de la planta afectando el desarrollo y la fructificación; además, bajo condiciones de alta humedad y alta presión de la enfermedad reduce los rendimientos de 33 a 58% en varios cultivares de quinua.

Mendoza (2013) estudio 17 accesiones de quinua en condiciones de la costa central e indico que la infección promedio fue de 35 por ciento y con un rango de infección de 26.67 a 50 por ciento, valores muy parecido a los que se obtuvieron en ese ensayo. Quispe (2015) estudio 81 genotipos mutantes derivados de la variedad Pasankalla y reporta una severidad para Pasankalla igual a 5.6 por ciento y un rango de infección en mutantes de Pasankalla entre 2.9 a 23 por ciento, valores similares al obtenido en este experimento en la primera evaluación de severidad o porcentaje de área foliar con síntomas de mildiú.

La FAO e INIA (2013) mencionan que las variedades INIA Salcedo, Amarilla Sacaca, Pasankalla y Amarilla Maranagani son tolerante al mildiu. Sin embargo, en un experimento realizado en el Valle de Majes – Arequipa por Marca *et al.* (2015) indican que la variedad INIA Salcedo es susceptible al mildiu y que las variedades resistentes presentan semillas con menor diámetro.

OBJETIVO 2: DETERMINACIÓN DE LAS VARIACIONES EN LOS CARACTERES FISIOLÓGICOS Y BIOQUÍMICOS EN RESPUESTA AL ESTRÉS HÍDRICO.

4.2 Variables fisiológicas y bioquímicas

Las variables fisiológicas y bioquímicas se evaluaron en tres fechas: 28 de octubre (antes del estrés hídrico), el 9 de noviembre (50% de dotación de agua) y el 30 de noviembre (suspensión total del agua).

4.2.1. Contenido de Clorofila (SPAD)

El análisis del ANVA para el experimento control-riego completo se presenta en la Tabla 15 y muestra solo diferencias altamente significativas para genotipos el 28/10 y el 30/10 y los coeficientes de variación para el 28/10, 9 /11 y 30/11 fueron 3.34%, 6.91% y 8.43%; respectivamente. El tratamiento estrés hídrico solo muestra diferencias altamente significativas para genotipos el 30/11 y los coeficientes de variación para el 28/10, 9 /11 y 30/11 fueron 2.92%, 2.72% y 2.48%; respectivamente.

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En la Tabla 16 se presenta los resultados del ANVA COMBINADO y se aprecia para ambiente diferencias significativas en la segunda evaluación (9/11) y altamente significativas en la tercera evaluación (30/11). Para genotipos diferencias significativas en la primera evaluación (28/10) y altamente significativas en la tercera evaluación (30/11). El coeficiente de variación para la primera, segunda y tercera evaluación fueron 5.01%, 6.43% y 8%; respectivamente.

En la Tabla 17 en experimento control y estrés hídrico, la prueba de Significación Duncan ($\alpha=0.05$), muestra diferencias significativas entre los valores de clorofila de los genotipos en las tres fechas de evaluación. En el experimento control para los cuatro genotipos los valores más altos fueron observados en la primera fecha y los valores más bajos en la última fecha, es decir se observa una tendencia a la disminución de los valores de clorofila con el avance del ciclo. En el tratamiento estrés hídrico se observa la misma tendencia a la disminución a medida de avance del ciclo de vida del cultivo con excepción del mutante MQ AM 250-283 que presentó un valor ligeramente más alto en la segunda fecha de lectura.

Para INIA Salcedo los valores variaron de 30.86 a 48.09 SPAD en el Control y de 27.85 a 46.49 SPAD en estrés hídrico. MQAM250-283 mostró un rango de 39.82 a 45.34 SPAD en el experimento control y de 36.55 a 44.81 SPAD en el experimento estrés hídrico. Para MQ PAS-50 se observó en el tratamiento control un rango de 37.21 a 49.32 SPAD y en el experimento estrés hídrico el rango fue 33.24 a 48.63 SPAD. Por otro lado, en Amarilla Sacaca se encontró un rango de 36.94 a 46.18 SPAD en el experimento control y de 35.37 a 48.62 SPAD en el experimento estrés hídrico (Tabla 17).

En la Tabla 18 se presentan los valores de clorofila en unidades SPAD en los dos experimentos, en promedio de las variedades, y se observa que no hay diferencias significativas entre los valores del experimento control y el experimento estrés hídrico, con valores ligeramente más altos en el tratamiento estrés hídrico a excepción de la última fecha de lectura. De igual modo se observa una tendencia a la disminución de los valores con el avance del ciclo en ambos ambientes. En el control la disminución fue de 43.23 SPAD a 36.20 SPAD y en estrés hídrico de 46.51 SPAD a 33.25 SPAD.

Tabla 15: Cuadrados medios del ANVA de clorofila (SPAD) en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	G.L	Control			Estrés hídrico		
		28-Oct	9-Nov	30-Nov	28-Oct	9-Nov	30-Nov
Rep	3	9.14	20.73	39.04*	4.15	3.99	3.57
Genotipos	3	13.03**	22.47	57.59**	17.73	12.92	59.41**
Error	9	2.49	8.82	9.31	8.55	7.38	6.17
Total	15						
Coefficiente de variabilidad (%)		3.34	6.91	8.43	6.29	5.96	7.47
Raíz MSE		1.58	2.97	3.05	2.92	2.72	2.48
Media		47.23	42.98	36.21	46.51	45.59	33.25

Tabla 16: Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de clorofila (SPAD) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de las variaciones	G L	Clorofila 28/10/2017	Clorofila (09/11/17)	Clorofila (30/11/17)
Ambiente	1	4.15	54.871 *	69.829 **
Rep/ambientes	6	6.64	12.366	21.322 *
Genotipos	3	27.37*	22.203	115.007 **
Amb*Genotipos	3	3.4	13.161	2.031
Error	18	5.52	8.105	7.735
Total	31			
Coeficiente de variabilidad (%)		5.01	6.43	8.00
Raíz MSE		2.35	2.85	2.78
Media		46.87	44.28	34.72

Tabla 17: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de Clorofila (SPAD) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Genotipos	Control			Estrés hídrico		
	28-Oct	9-Nov	30-Nov	28-Oct	9-Nov	30-Nov
INIA SALCEDO	48.09ab	41.0b	30.86b	46.49 ^a	43.56 ^a	27.85b
MQAM 250-283	45.34c	43.06ab	39.82 ^a	43.64 ^a	44.81 ^a	36.55a
MQ PAS-50	49.32 ^a	46.29 ^a	37.21 ^a	48.62 ^a	46.31 ^a	33.24a
AMARILLA SACACA	46.18bc	41.57ab	36.94 ^a	48.62 ^a	47.7 ^a	35.37a

Dentro de cada columna, las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$)

Tabla 18: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de clorofila (SPAD) evaluados en tres fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Ambiente	Clorofila (28/10/17)	Clorofila (09/11/17)	Clorofila (30/11/17)
Estrés hídrico	46.51 a	45.59 a	33.25 a
Testigo	43.23 a	42.98 a	36.20 a

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

El medidor SPAD determina el contenido de clorofila en tejido vegetal, el cual puede variar con el estado fenológico del cultivo. Tiene directa relación con el color de la hoja, el cual varía desde la emergencia a la senescencia (Ferri *et al.*, 2004).

Antezana (2019) evaluó el contenido de clorofila del mismo material genético en verano-otoño y reporta que el contenido de clorofila de la línea a mutante MQ AM 250 – 283 varió de 56.95 SPAD a 54.22 SPAD, del genotipo MQ Pas -50 de 55.76 SPAD a 53.62 SPAD y de la variedad Amarilla Sacaca de 55.15 SPAD a 54.09 SPAD, valores superiores a los reportados en el presente trabajo. Adicionalmente evaluó el contenido de clorofila de la quinua en condiciones de estrés hídrico y calor, obtuvo en la primera evaluación que el contenido de clorofila promedio en dos niveles de riego vario entre 55.154 SPAD a 58.99 SPAD, y en la segunda evaluación vario entre 56.72 SPAD a 53.62 SPAD, mostrando diferencias entre genotipo mas no en la interacción con el ambiente (estrés hídrico y calor). En ambas evaluaciones, la variedad INIA Salcedo presento el mayor contenido de clorofila.

Lozano (2015) menciona que hay una reducción en el contenido relativo de clorofila después de aplicado el estrés de sequía en un estudio del uso eficiente del agua en quince genotipos de papa. Adicionalmente, observo una interacción genotipo con el tratamiento hídrico, lo que muestra el efecto de la sequía en cada uno de los genotipos estudiados.

4.2.2 Contenido Relativo de Agua (CRA)

El análisis del ANVA para el experimento control-riego completo y estrés hídrico se presenta en la Tabla 19 y no muestra diferencias significativas para las fuentes de variación en ninguna de las fechas evaluadas. Los coeficientes de variación para la primera (28/10), segunda (9/11)

y tercera evaluación (30/11) en el experimento control fueron 5.26%, 4.48% y 6.83%; respectivamente. En el tratamiento estrés hídrico los coeficientes de variación para la primera (28/10), segunda (9 /11) y tercera evaluación (30/11) fueron 5.7%, 4.75% y 5.68%; respectivamente.

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En la Tabla 20 se presenta los resultados del ANVA COMBINADO y se aprecia para ambiente diferencias altamente significativas en la segunda evaluación (9/11). Para genotipos diferencias significativas en la primera evaluación (28/10). Para la interacción ambiente genotipo se encontró diferencias significativas en la primera (28/10) y segunda evaluación (9/11). El coeficiente de variación para la primera (28/10), segunda (9 /11) y tercera evaluación (30/11) fueron 5.47%, 4.63% y 6.29%; respectivamente.

En la Tabla 21 en experimento control y estrés hídrico, la prueba de Significación Duncan ($\alpha=0.05$), muestra solo diferencias significativas entre los valores CRA de los genotipos en la primera fecha de evaluación (28/10). En el experimento control, en general, los genotipos presentan los valores más altos en la primera fecha y los valores más bajos en la última fecha a excepción de Amarilla Sacaca que muestra valores similares en las dos últimas fechas de evaluación. En el tratamiento estrés hídrico se observa la misma tendencia a la disminución a medida de avance del ciclo de vida del cultivo con excepción del mutante MQ PAS-50 que presentó un valor ligeramente más alto en la segunda fecha de lectura.

Para INIA Salcedo los valores variaron de 59.52 a 66.62% en el control y de 56.61 a 71.02% en estrés hídrico. MQAM250-283 mostró un rango de 59.68 a 69.49% en el experimento control y de 57.54 a 73.16% en el experimento estrés hídrico. Para MQ PAS-50 se observó en el tratamiento control un rango de 60.97 a 70.72% y en el experimento estrés hídrico el rango de 61.95 a 66.30% (segunda fecha 9/11). Por otro lado, en Amarilla Sacaca se encontró un rango de 60.77 a 73.51% en el experimento control y de 60.99 a 72.48% en el experimento estrés hídrico (Tabla 21).

En la Tabla 22 se presentan los valores de CRA en los dos experimentos, en promedio de las variedades, y se observa que no hay diferencias significativas entre los valores del control-riego completo y el experimento estrés hídrico en la primera y tercera evaluación y diferencias significativas para la segunda evaluación. Los valores de la primera evaluación son similares

entre los dos tratamientos igual a 70.07% (estrés hídrico) y 70.09% (control). En la segunda evaluación fueron 68.01% para estrés hídrico y 62.38% para control-riego completo. En la tercera evaluación los valores del experimento control y estrés hídrico fueron 60.23 y 59.27%; respectivamente.

Tabla 19: Cuadrados medios del ANVA de CRA (%) en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	Control			Estrés hídrico		
		28-Oct	9-Nov	30-Nov	28-Oct	9-Nov	30-Nov
Rep	3	6.33	13.61	12.4	14.8	4.72	17.04
Genotipos	3	32.68	19.11	2.19	77.1	14.64	26.93
Error	9	13.6	7.8	16.9	15.8	10.43	11.32
Total	15						
<hr/>							
Coefficiente de variabilidad (%)		5.26	4.48	6.83	5.7	4.75	5.68
Raíz MSE		2.79	3.82	4.11	4.0	3.23	3.37
Media		62.38	63.24	60.23	70.1	68.01	59.27

Tabla 20: Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de CRA (%) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en tres fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	CRA 28/10/2017	CRA (09/11/17)	CRA (30/11/17)
Ambiente	1	0.0020	254.082**	7.4498
Rep/ambientes	6	10.5520	9.1641	14.7191
Genotipos	3	53.627*	3.1630	22.2203
Amb*Genotipos	3	56.151*	30.590*	6.8980
Error	18	14.6834	9.1169	14.1124
Total	31			
<hr/>				
Coefficiente de variabilidad (%)		5.47	4.63	6.29
Raíz MSE		3.83	3.02	3.76
Media		70.08	65.19	59.75

Tabla 21: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de CRA (%) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Genotipos	Control			Estrés hídrico		
	28-Oct	9-Nov	30-Nov	28-Oct	9-Nov	30-Nov
INIA SALCEDO	66.62 b	60.23 a	59.52 a	71.02 a	68.33 a	56.61 a
MQAM 250-283	69.49 ab	64.23 a	59.68 a	73.16 a	66.84 a	57.54 a
MQ PAS-50	70.72 ab	64.29 a	60.97 a	63.623 b	66.30 a	61.95 a
AMARILLA SACACA	73.513 a	60.76 a	60.77 a	72.483 a	71.58 a	60.99 a

Dentro de cada columna, las medias con letras iguales no difieren estadísticamente según la prueba de Duncan ($\alpha=0.05$)

Tabla 22: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de CRA (%) evaluados en tres fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Ambiente	28/10/2017	09/11/17	30/11/17
Estrés hídrico	70.07 a	68.01 a	59.27 a
Control	70.09 a	62.38 b	60.23 a

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

Antezana (2019), evaluó el contenido relativo de agua de los mismos genotipos para determinar su respuesta al estrés hídrico y calor, obtuvo en la primera evaluación que contenido relativo de agua promedio en dos niveles de riego vario entre 75.48 por ciento a 82.44 por ciento, y en la segunda evaluación vario entre 69.35 por ciento a 70.93 por ciento, mostrando diferencias entre genotipo solo en la primera evaluación, mas no en la interacción con el ambiente (estrés hídrico y calor). Además, menciona que el contenido relativo de agua de la variedad INIA Salcedo varió de 75.56 por ciento a 70.93 por ciento, la línea a mutante MQ AM 250 – 283 varió de 75.48 por ciento a 69.40 por ciento, el genotipo MQ Pas -50 de 82.44 por ciento a 69.35 por ciento y la variedad Amarilla Sacaca de 79.02 por ciento a 69.95 por ciento, valores superiores a los reportados en el presente trabajo; sin embargo, se cumple la tendencia que a mayor estrés menor es el contenido relativo de agua, por ende el tratamiento testigo presento valores mayores.

Villalobos *et al.* (1990) señalan que el contenido relativo de agua es el método más usado para medir el nivel del agua en los tejidos como un indicador de la tolerancia de desecación.

Además, menciona que es una característica de alta heredabilidad y la proponen como un criterio de selección de cultivares tolerantes a la sequía.

Lozano (2015) evaluó quince genotipos de papa bajo condiciones de estrés hídrico y reporta que el contenido relativo de agua (CRA) de las plantas del tratamiento bien regado fue de 69.36 por ciento y de las plantas del tratamiento de sequía fue de 39 por ciento; así mismo menciona a genotipos que presentaron altos valores de contenido relativo de agua bajo sequía controlada. Por otro lado, Montenegro (2006) en un ensayo de tres especies de proteáceas chilenas en respuesta al déficit hídrico reportó una disminución en el contenido relativo de agua foliar en las tres especies evaluadas en comparación con la primera evaluación, siendo un descenso más marcado a los 27 días después del déficit hídrico, luego descendió en menor proporción. A sí mismo, Domínguez *et al.* 2014 reportaron que el contenido relativo de agua entre los tratamientos 70% capacidad de campo y a 20% capacidad de campo disminuyó significativamente en los cultivares susceptibles, a diferencia de los tolerantes cuyos valores para dichos tratamientos no mostraron diferencia significativa. Muchos autores reportan una relación entre el contenido relativo de agua y el estrés hídrico, a mayor estrés menor es el porcentaje de contenido relativo de agua; esa misma tendencia se observó en este ensayo.

Asimismo, Díaz (2016) evaluó dos variedades de papa criolla en condiciones de estrés hídrico y determinó que en la variedad Criolla Galeras presentó una disminución marcada en el contenido relativo de agua conforme transcurrían los días debido a que la planta mostró dificultad en absorber agua. Además, a pesar que la disminución del contenido relativo de agua en la variedad Criolla Latina fue menor, presentó diferencias estadísticas entre las tres evaluaciones, siendo ambas variedades no tolerantes al estrés hídrico. Por tanto, concluyó que la variable contenido relativo de agua es un indicador para determinar si un genotipo presenta o no presenta tolerancia al estrés hídrico.

4.2.3 Contenido de prolina libre (ug prolina/ug muestra)

La prolina se evaluó en dos fechas; el 28 de octubre (antes del estrés hídrico) y el 30 de noviembre (suspensión total del riego). El análisis del ANVA para el experimento control-riego completo y estrés hídrico se presenta en la Tabla 23 y no muestra diferencias significativas para las fuentes de variación en ninguna de las fechas evaluadas. Los coeficientes de variación para la primera (28/10) y segunda evaluación (30/11) en el

experimento control fueron 5.54% y 4.9%; respectivamente. En el tratamiento estrés hídrico los coeficientes de variación para la primera (28/10) y segunda evaluación (30/11) fueron 5.27% y 5.05%; respectivamente (Tabla N° 23).

En la Tabla 24 en el experimento control y estrés hídrico, la prueba de significación Duncan ($\alpha=0.05$), no muestra diferencias significativas entre los valores de prolina de los genotipos solo en la segunda evaluación (30/11) del experimento control y si diferencias significativas en las otras evaluaciones en ambos ambientes. En el experimento control, hubo un incremento en el contenido de prolina en la segunda evaluación con respecto a la primera evaluación en los genotipos INIA Salcedo, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca; sin embargo, la línea mutante MQAM 250-283 muestra valores similares en ambas evaluaciones. En el tratamiento estrés hídrico se observa la misma tendencia de incremento a medida de avance del ciclo de vida del cultivo y el efecto del estrés hídrico.

Para el genotipo INIA Salcedo los valores de contenido de prolina libre entre la primera y segunda evaluación fueron 0.0206 ug/ug a 0.0369 ug/ug en el Control y 0.0243 ug/ug a 0.325 ug/ug en estrés hídrico; para la línea mutante MQAM250-283 fueron 0.0326 ug/ug a 0.0327 ug/ug en el experimento control y de 0.0195 ug/ug a 0.0309 ug/ug en el experimento estrés hídrico. Para MQ PAS-50 se observó en el tratamiento control un rango de 0.0192 ug/ug a 0.358 ug/ug y en el experimento estrés hídrico el rango fue 0.0189 ug/ug a 0.309 ug/ug. Por otro lado, en Amarilla Sacaca se encontró un rango de 0.0223 ug/ug a 0.0313 ug/ug en el experimento control y de 0.0218 ug/ug a 0.0399 ug/ug en el experimento estrés hídrico (Tabla 24).

Luego de realizar la prueba de homogeneidad de variancias se procedió a efectuar el análisis combinado de ambos ambientes. En la Tabla 25 se presenta los resultados del ANVA COMBINADO y se aprecia en la primera evaluación (28/10) diferencias altamente significativas para ambiente. Para genotipo diferencias altamente significativas en ambas evaluaciones. Para la interacción ambiente genotipos se encontró diferencias altamente significativas también en ambas evaluaciones. El coeficiente de variación para la primera evaluación (28/10) y segunda evaluación (30/11) fueron 5.43% y 4.97% respectivamente.

En la Tabla 26 se presentan los valores de prolina en los dos experimentos, en promedio de las variedades, y se observa que hay diferencias significativas entre los valores del Control-

Riego completo y el experimento estrés hídrico en la primera evaluación (antes del estrés hídrico) y no en la segunda evaluación (después del estrés hídrico). Los valores de la primera fecha son similares entre los dos tratamientos igual a 0.0211 ug/ug (estrés hídrico) 0.0237 ug/ug (control). En la última fecha fueron para estrés hídrico igual a 0.0335 ug/ug y para el control igual a 0.0329 ug/ug; respectivamente.

Tabla 23: Cuadrados medios del ANVA de prolina (ug prolina/ug muestra) en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	Control		Estrés hídrico	
		28-Oct	30-Nov	28-Oct	30-Nov
Rep	3	0.0000087	0.0000091	0.00000141	0.00000257
Genotipos	3	0.00015073	0.00001572	0.00002383	0.00007312
Error	9	0.00000173	0.0000026	0.00000124	0.00000286
Total	15				
Coefficiente de variabilidad (%)		5.549077	4.900784	5.269879	5.046246
Raíz MSE		0.001315	0.001611	0.001113	0.001692
Media		0.023701	0.032881	0.021118	0.033538

Tabla 24: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de Prolina (ug prolina/ug muestra) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Genotipos	Control		Estrés hídrico	
	28-Oct	30-Nov	28-Oct	30-Nov
INIA SALCEDO	0.0206 bc	0.0369 a	0.0243 a	0.0325 b
MQAM 250-283	0.0327 a	0.0326 a	0.0195 c	0.0309 b
MQ PAS-50	0.0192 c	0.0358 a	0.0189 c	0.0309 b
AMARILLA				
SACACA	0.0223 b	0.0313 a	0.0218 b	0.0399 a

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

Tabla 25: Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de prolina (ug prolina/ug muestra) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	28-Oct	30-Nov
Ambiente	1	0.0000533**	0.00000345
Rep/ambientes	6	0.00000505*	0.00000174
Genotipos	3	0.00006582**	0.00002493**
Amb*Genotipos	3	0.00010875**	0.0000639**
Error	18	0.00000148	0.00000273
Total	31		
Coeficiente de variabilidad (%)		5.429	4.976
Raíz MSE		0.001	0.002
Media		0.022	0.033

Tabla 26: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de prolina (ug prolina/ug muestra) evaluados en dos fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Ambiente	28-Oct	30-Nov
Estrés hídrico	0.0211 b	0.0335 a
Control	0.0237 a	0.0329 a

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

Durante el estrés hídrico en los tejidos de las plantas se genera una acumulación activa de solutos como respuesta de sobrevivencia. Uno de los principales solutos registrados durante este estrés es la prolina, cuya función ha sido asociada a sostener la turgencia de los tejidos para mantener la función celular (Avendaño *et al.* 2005). Aumenta su concentración como una respuesta regulada y se acumula en tejidos sometidos a sequía. En el tejido turgente, la prolina se oxida rápidamente, mientras que en periodo de estrés la concentración de prolina aumenta debido a la inhibición de su oxidación. La acumulación de prolina bajo estrés por sequía es 10 a 100 veces mayor que el nivel de prolina de una célula turgente. Esta acumulación es evidentemente causada más por la nueva síntesis que por la ruptura de proteínas. En plantas sometidas a estrés, la prolina participa en el ajuste osmótico, protege las membranas y regula

el pH del citoplasma. La síntesis de prolina está conectada al metabolismo del azúcar y actúa como una reserva de N durante la recuperación del estrés (Díaz *et al.*, 1999; Aguilar *et al.*, 2003).

Domínguez *et al.* (2014), evaluando la concentración de prolina de *Phaseolus vulgaris* L., observaron un incremento significativo en la concentración de prolina, en condiciones de estrés severo (20 % CC), en todas las variedades en comparación a las hojas no estresadas. También, Avendaño *et al.* 2005 encontraron resultados semejantes, mencionando que la acumulación de prolina en el tratamiento de riego mantuvo un valor promedio de 1,48 nmol en las cuatro variedades sin diferencia estadística entre ellas. Por el contrario, en los tratamientos de sequía se observó una acumulación de aproximadamente cuatro veces, en comparación con el tratamiento de riego. Por ello, altas concentraciones de prolina en plantas bajo estrés hídrico han sido consideradas como un criterio de selección de materiales tolerantes a la sequía.

Antezana (2019) evaluó el contenido de prolina en los mismos genotipos de quinua evaluados en la presente investigación en un ambiente de estrés hídrico y calor antes y después del estrés. Antes del estrés el contenido de prolina promedio en dos niveles de riego vario de 3.018 ug/ml a 4.346 ug/ml, y en la segunda evaluación varió entre 5.185 ug/ml a 3.539, mostrando diferencias entre genotipo, mas no en la interacción con el ambiente (estrés por sequía y calor). Además, menciona que el contenido de prolina de la variedad INIA Salcedo aumento de 3.018 ug/ml a 4.033 ug/ml, la línea a mutante MQ AM 250 – 283 aumento de 3.277 ug/ml a 3.539 ug/ml, el genotipo MQ Pas -50 de 4.346 ug/ml a 5.185 ug/ml y la variedad Amarilla Sacaca de 3.602 ug/ml a 4.507 ug/ml.

Gamez (2018) en un estudio con dos variedades de quinua en invernadero, observó en un ambiente con déficit hídrico que la variedad Rainbow disminuye el contenido de azúcares solubles, pero incrementa los contenidos del aminoácido glutamina y el sodio. En la variedad Illpa los contenidos de azúcares solubles aumentan junto con los niveles de los aminoácidos arginina, GABA, prolina y de los minerales sodio y potasio. Además, en las dos variedades se produjo disminución en el contenido relativo de rubisco. Señalando que las dos variedades de quinua emplean diferentes estrategias de tolerancia al déficit hídrico que impiden la disminución del rendimiento y calidad del grano.

OBJETIVO 3: EVALUACIÓN EL EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN LOS COMPONENTES DE LA CALIDAD DEL GRANO

4.3 Componentes de la calidad del grano

4.3.1 Contenido de proteína de los granos (%)

El análisis del ANVA para proteína de granos en el experimento control-riego completo y estrés hídrico se presenta en la Tabla 27. En ambos experimentos se observa diferencias altamente significativas para genotipos. Los coeficientes de variación para el experimento control-riego completo y el experimento estrés hídrico fueron 3.912% y 5.388%; respectivamente. En la Tabla 28 se presenta los resultados del ANVA COMBINADO para proteína y se aprecia diferencias altamente significativas a nivel de genotipos. El coeficiente de variación fue igual a 4.702%.

En la Tabla 29 en experimento control-riego completo y estrés hídrico, la prueba de significación Duncan ($\alpha=0.05$), muestra diferencias significativas entre los valores de proteína de los genotipos en los dos experimentos evaluados. En el experimento control, se aprecia un rango de 8.15% a 14.97% correspondiendo el valor más bajo a MQ PAS-50 y el más alto a INIA Salcedo y la media del experimento control fue 12.95%. En el experimento estrés hídrico el rango de proteína fue 7.425% a 15.375%, el valor más bajo se encontró en MQ PAS-50 y el valor más alto en Amarilla Sacaca y la media general fue 12.843%. Además, se observó una ligera disminución en el contenido de proteína por efecto del riego deficitario en los genotipos INIA Salcedo, MQAM 250-283 y MQ Pas-50 excepto en la variedad Amarilla Sacaca se observó un ligero aumento en el contenido de proteína en el tratamiento estrés hídrico.

En la Tabla 30 se presentan los datos de proteína de los granos en los ambientes control y estrés hídrico en promedio de las cuatro variedades estudiadas y se aprecia que no hay diferencias significativas entre estos valores que para el control fue 12.95% y para estrés hídrico fue 12.84%.

Canahua y Mujica (2013) reportaron un rango de 13.7 a 17 por ciento de proteína en quinua con un buen balance de aminoácidos esenciales: lisina, isoleucina y treonina. Además de su

contribución con vitaminas y minerales con valores superiores a los cereales. FAO (2011) indica que el contenido de proteína de la quinua varía entre 13.81 y 21.9 por ciento, dependiendo de la variedad. El contenido de proteína obtenido en este ensayo se encuentra dentro de los rangos mencionado por estos autores excepto la línea mutante MQ PAS-50.

Según FAO e INIA (2013), las variedades de quinua presentan los siguientes contenidos de proteínas: la variedad INIA Salcedo con 16.23 por ciento, la variedad Amarilla Sacaca con 14.58 por ciento, la variedad Pasankalla con 17.83 por ciento y la variedad Amarilla Marangani con 13.85 por ciento.

Mendoza (2013) en la evaluación de 17 accesiones de quinua bajo condiciones de costa central reportó un rango de contenido de proteína de 8.27 a 15.56 por ciento, con un porcentaje promedio de 11.53 por ciento. Por otro lado, Rosas (2015) reportó que la variedad INIA Salcedo tiene 14.53 por ciento de contenido de proteína, la variedad Amarilla Marangani con 12.63 por ciento y la variedad Pasankalla con 10.8 por ciento bajo sistema tradicional. Todos los valores similares a los que se obtuvieron en este experimento. Quispe (2015) menciona un rango de 9.92 a 13.27 por ciento para 79 mutantes de la variedad Pasankalla, también valores superiores a los obtenidos en el genotipo MQ Pas-50 en el presente estudio.

Antezana (2019), comparó el contenido de proteína de dos ambientes (estrés hídrico y control) de los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca y encontró una disminución en el porcentaje del contenido de proteína en el tratamiento estrés hídrico con respecto al control. Además, reportó que el porcentaje promedio para la variedad INIA Salcedo fue de 16.36 por ciento, para el genotipo MQ AM 250-283 es de 15.61 por ciento, de la línea mutante MQ Pas-50 es 10.74 por ciento y del genotipo Amarilla Sacaca es 16.47 por ciento. Sin embargo, Deza (2018) menciona que la variedad INIA Salcedo presenta 13.10 por ciento de contenido de proteína y la línea mutante MQ Pas-50 un 12.93 por ciento.

4.3.2 Peso de mil granos (g)

El análisis del ANVA para peso de mil granos en el experimento control-riego completo y estrés se presenta en la Tabla 27. En el experimento control y el experimento estrés hídrico se aprecian diferencias altamente significativas para genotipos. Los coeficientes de variación para el experimento control y el experimento estrés hídrico fueron 6.78% y 5.16%,

respectivamente. En la Tabla 28 se presenta los resultados del ANVA COMBINADO y se aprecia diferencias altamente significativas a nivel de genotipos. El coeficiente de variación fue 5.998%.

En la Tabla 29 en experimento control y estrés hídrico, la prueba de significación de Duncan ($\alpha=0.05$), muestra diferencias significativas entre los valores de peso de mil granos de los genotipos en los dos experimentos evaluados. En el experimento control, se aprecia un rango de 2.42 g a 3.71 g correspondiendo el valor más bajo a Amarilla Sacaca y el más alto a MQ PAS-50 y la media del experimento control fue 3.172 g. En el experimento estrés hídrico el rango de peso de mil granos fue 2.76 g a 3.89 g, corresponde el valor más bajo a Amarilla Sacaca y el más alto a MQ PAS-50 y la media general fue 3.28 g.

En la Tabla 30 se presentan los datos de peso de mil granos en los ambientes control y estrés hídrico en promedio de las cuatro variedades estudiadas y se aprecia que no hay diferencias significativas entre estos valores que para el control el valor fue 3.17 g y para estrés hídrico fue 3.28g.

Deza (2018) reporta que el peso de mil granos de la variedad comercial INIA Salcedo es 3.16 gramos y de la línea mutante MQ Pas-50 es 3.60 gramos. Estos valores son similares a los encontrados en la presente investigación. Por otro lado, Antezana (2019) menciona que el peso de mil granos de los genotipos INIA Salcedo, MQ AM 250-283, MQ Pas-50 y Amarilla Sacaca fueron 2.24 gramos, 2.55 gramos, 2.08 gramos y 2 gramos, respectivamente; valores inferiores lo que se han encontrado en el presente estudio.

León (2014), indica que el peso de mil granos de la línea mutante 'La Molina 89-77' sometido a tres láminas de riego fue de 2.89 gramos. Rosas (2015) reportó para la variedad Pasankalla un peso de mil granos de 3.42 gramos, para la variedad Amarilla Marangani 2.36 gramos y para la variedad INIA Salcedo 3.18 gramos. Gutierrez y Roque (2018) reportaron 3.32 gramos el peso de la variedad INIA Salcedo y para la variedad Amarilla Sacaca un promedio de 3.40 gramos, valor similar y superior al obtenido en este experimento. Gámez (2018) señala que el peso de mil granos de la variedad Illpa se reduce significativamente bajo un estrés hídrico severo.

Tabla 27: Cuadrados medios del ANVA de proteína (%) y peso de mil granos (g) en cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	Proteína		Peso mil granos	
		Control	Estrés hídrico	Control	Estrés hídrico
Rep	3	0.1817	0.40063	0.0838	0.07296
Genotipos	3	41.342**	53.822291**	1.1678**	0.874699**
Error	9	0.257	0.47895	0.0463	0.028621
Total	15				
Coeficiente de variabilidad (%)		3.912	5.3886	6.782	5.1557
Raíz MSE		0.506	0.6921	0.2152	0.169178
Media		12.95	12.843	3.172	3.2813

Tabla 28: Cuadrado medio DEL ANVA COMBINADO de proteína (%) y peso de mil granos (g) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Fuente de variación	GL	Proteína	Peso 1000granos
Ambiente	1	0.090	0.094
Rep/ambientes	6	0.291	0.078
Genotipos	3	93.726**	1.968**
Amb*Genotipos	3	1.438	0.076
Error	18	0.368	0.037
Total	31		
Coeficiente de variabilidad (%)		4.702	5.998
Raíz MSE		0.606	0.194
Media		12.897	3.227

Tabla 29: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de proteína (%) y peso de mil granos (g) de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa*) evaluados en dos fechas en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Genotipos	Proteína (%)		Peso 1000 granos (g)	
	Control	Estrés hídrico	Control	Estrés hídrico
INIA SALCEDO	14.97 a	14.75 ab	3.28 b	3.27 b
MQAM 250-283	14.42 a	13.82 b	3.27 b	3.18 b
MQ PAS-50	8.15 b	7.425 c	3.71 a	3.89 a
AMARILLA SACACA	14.25 a	15.375 a	2.42 c	2.76 c

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

Tabla 30: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de proteína (%) y peso de mil granos (g) evaluados en dos fechas en promedio de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa*) en dos niveles de riego (control-riego completo y estrés hídrico) en La Molina 2017.

Ambiente	Proteína Grano (%)	Peso de mil granos (g)
Control	12.95 a	3.17 a
Estrés hídrico	12.84 a	3.28 a

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

V. CONCLUSIONES

5.1 OBJETIVO 1

- Los valores promedios de los caracteres agronómicos de ambos tratamientos (control-riego completo y estrés hídrico), en general, presentan valores similares, lo que aparentemente mostraría la tolerancia de la quinua al estrés hídrico en los cuatro genotipos estudiados. La línea mutante MQ Pas-50 obtuvo el mayor rendimiento promedio con 3591.60 kg/ha y el mayor porcentaje de índice de cosecha con 30.21 por ciento, tanto en el control-riego normal y el estrés hídrico, en comparación con los otros genotipos estudiados. Mostró mayor tolerancia al déficit hídrico.
- Los cuatro genotipos de quinua son susceptibles al mildiu (*Peronospora variabilis*) y el valor más alto observado fue de 50% de severidad o porcentaje de área foliar con síntomas en ambos tratamientos (control-riego completo y estrés hídrico).

5.2 OBJETIVO 2

- Los valores de clorofila (SPAD) más altos fueron observados en la primera fase del ciclo y fueron disminuyendo con el avance del mismo para los cuatro genotipos estudiados en los dos experimentos control y estrés hídrico. La línea mutante MQ Pas-50 presentó un valor ligeramente mayor de clorofila. No hubo diferencias significativas entre los valores de clorofila del control-riego completo y estrés hídrico en promedio de las variedades.
- El contenido relativo de agua (CRA) promedio disminuyó en los cuatro genotipos evaluados conforme avanzó el ciclo de vida del cultivo en los dos experimentos control y estrés hídrico. Los valores de CRA, en promedio de los cuatro genotipos, fueron similares en la primera fecha y última fecha de evaluación en los dos experimentos y ligeramente diferentes en la segunda fecha de lectura.

- El contenido de prolina incremento con el avance del ciclo de vida mostrando valores similares en ambos experimentos. En los dos experimentos, en promedio de las variedades se observa que hay diferencias significativas entre los valores del control-riego completo y el experimento estrés hídrico en la primera fecha (antes del estrés hídrico) y no en la última fecha (después del estrés hídrico).

5.3 OBJETIVO 3

- Se ha observado que el estrés hídrico no afectó el contenido de proteína de los genotipos estudiados.
- El peso de mil granos fue ligeramente mayor en el experimento estrés hídrico. La línea mutante MQ Pas-50 fue la que presentó el valor más alto para peso de mil granos.

VI. RECOMENDACIONES

- Se recomienda continuar realizando investigaciones relacionadas con estrés hídrico en condiciones de buen manejo agronómico.
- Se sugiere evaluar otros indicadores de estrés hídricos para reforzar los resultados obtenidos en el presente ensayo.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Acevedo, E. 2003. Resistance to abiotic stresses. In: Hayward, M.D, Bosemark, N.O. y Romagosa, I. (Ed.) Plant Breeding: Principles and Prospect. Chapman & Hall, London, pp. 406-418.

Aguilar, P; Cutipa, Z; Machaca, E; Lopez, M; Jacobsen, S. 2003. Variation of proline content of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in high beds (Waru Waru). Food Reviews International. pp. 121–127.

Antezana, E. 2019. Respuesta de quinua (*Chenopodium quinoa*) al estrés de sequía y de calor bajo condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 71 p.

APG 111, 2009. An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. Botanical Journal of the Linnean Society. Vol. 161. Pp. 105- 121.

Arana, J. 2014. Comparativo de rendimiento de 10 variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en siembra de primavera, en el centro experimental agrícola III. Tesis Ing. Agr. Los Pichones – Tacna, UNJBH. 121 p.

Avendaño, C; Trejo, C; Lopez, C; Santacruz, A. 2005. Comparación de la tolerancia a la sequía de cuatro variedades de maíz (*Zea Mays* L.) y su relación con la acumulación de prolina. Interciencia: Revista de ciencia y tecnología de América. Caracas – Venezuela. Pp. 560-564.

Bates, L., Waldren R; Teare, I. 1973. Rapid determination of free proline for water stress studies. Plant Soil 39: 205-207

Bennett, J.; Sinclair, T.; Muchow, R.; Costello, S. 1987. Dependence of stomatal conductance on leaf water potential, turgor potential and relative water content in field grown bean dried maize. Crop Science. pp. 984-990.

Bhargava, A; Srivastava, S. 2013. Quinoa: Botany, production and uses. Boston – USA. 262 p.

Bhargava, V; Chuhan, P; Claessens, S; Varma, S; Goldin, I; Anderson, K; Nash, J; Cleaver, K; Okidegbe, N; De Nys, E; Balachander, J; Kagia, R; Shekar, M; Lee, Y; Noble, I; Watson, R; Saghir, J; O'Sullivan, K; Sadoff, C; Kemper, K; Grey, D; Kelleher, K; Weber, M; Kuroda, K; Avalle, O; Curioni, G; Gurkhan, A. 2006. *Global issues for global citizens: an introduction to key development challenges (English)*. Washington, DC: World Bank. Disponible en: <http://documents.worldbank.org/curated/en/390361468319746301/Global-issues-for-global-citizens-an-introduction-to-key-development-challenges>

Boulanger, J; Buckeridge, M; Castellanos, E; Poveda, G; Scarano, F; Vicuna, S. 2014. Central and South America, In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability, Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University, Cambridge, United Kingdom and New York - USA. 102 p.

Calixtro, G. 2017. Respuesta de 100 accesiones de quinua a la infección natural de mildiú (*Peronospora variabilis* Gäum) en el Valle del Mantaro. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 61 p.

Canahua, A; Mujica, A. 2013. Quinoa: pasado, presente y futuro. Agronomía del cultivo de la Quinoa. Food and Agricultural Organization (FAO).

Cerrón, F.; Palacin, D. 2018. Adaptación y rendimiento de ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de Yanahuanca-Pasco. Tesis Ing. Agr. Yanahuanca-Pasco, UNDAC. 114 p.

Danielsen, S; Ames, T. 2000. “El mildiú (*Peronospora farinosa*) de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la zona andina”. Manual práctico para el estudio de la enfermedad y del patógeno. Centro Internacional de La Papa (CIP). Lima-Perú. 61 p.

Deza, D. 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. Tesis Ing. Agr. Lima-Perú, UNALM. 90 p.

Díaz, P; Borsani, O; Monza, J. 1999. Acumulación de prolina en plantas en respuesta al estrés osmótico. *Agrociencia* 3(1): 1-10.

Díaz, P. 2016. Evaluación de la tolerancia al estrés hídrica en genotipos de papa criolla (*Solanum phureja* Juz et Buk). Tesis Mg. Sc. Especialidad en Ciencias Agrarias. Medellín – Colombia, UNAL. 102 p.

Domínguez, A.; Pérez, Y.; Alemán, S.; Sosa, M.; Fuentes, L.; Darías, R.; Demey, J.; Rea, R. y Sosa, D 2014. Respuesta de cultivares de *Phaseolus vulgaris* L. al estrés por sequía. *Bioteología Vegetal* 14 (1): 29-36.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación); INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú. Lima - Perú. 82 p.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación); University of Cordoba and IAS –CSIC, KU Leuven University; University of California. 2012. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. FAO IRRIGATION AND DRAINAGE. PAPER 66: 230 – 235.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). 2011. La quinua: Cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial, informe técnico. pp. 7-17.

Ferri, C; Formaggio, A; Schiavinato, M. 2004. Narrow band spectral indexes for chlorophyll determination in soybean canopies. *Plant Physiology*. Brazil.

Gámez, A. 2018. Evaluación del rendimiento y caracterización fisiológica de dos variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) sometidas a déficit hídrico bajo condiciones de invernadero. Universidad Pública de Navarra. Chile. 55 p.

Garrido, M.; Muñoz, R.; Silva, H.; Baginsky, C. 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. ResearchGate. Chile. 3: 69 – 76. Disponible en:

https://www.researchgate.net/publication/262746846_Evaluacion_del_rendimiento_de_nueve_genotipos_de_quinua_Chenopodium_quinoa_Willdj_bajo_diferentes_disponibilidades_hidricas_en_ambiente_mediterraneo

Geerts, S.; Raes, D.; García, M.; Vacher, J.; Mamani, R.; Mendoza, J.; Huanca, R.; Morales, B.; Miranda, R.; Cusicanqui, J.; Taboada, C. 2008 Introducing deficit irrigation to stabilize yields of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Eur. J. Agron., 28: 427-436

Gómez, P; Aguilar, E. 2016. Guía del cultivo de la quinua. FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima – Perú. 130 p.

Gutiérrez, F; Roque, D. 2018. Adaptación y rendimiento de ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de Yanahuanca - Pasco. Tesis Ing. Agr. Yanahuanca – Perú, UNDAC. 114 p.

Hinojosa, L; Barrios, F; Fuentes, F; Gonzales, J. 2018. Quinoa abiotic stress responses: A review. Plants. 33 pag. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/329280200_Quinoa_Abiotic_Stress_Responses_A_Review.

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).

Kumar, A., Bhargava, A., Shukla, S., Singh, H.B., Ohri, D. 2006. Screening of exotic *Chenopodium quinoa* accessions for downy mildew resistance under mid-eastern conditions of India. *Crop Protection* 5: 879–889.

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. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 101 p.

León, J. 2003. Cultivo de la quinua en Puno-Perú. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. Perú. p. 3, 5, 24 y 31.

León, G. 2017. Los biofertilizantes en el rendimiento de cuatro variedades de quinua (*chenopodium quinoa* willd.) en el Valle del Mantaro. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 101

Levitt, J. 1980. Responses of plant to environmental stresses. Vol 1. (2 ed.). Academic Press. New York – United States.

Lozano, F. 2015. Eficiencia de uso de agua en quince genotipos de papa (*Solanum tuberosum* L.) bajo condiciones de estrés hídrico por sequía. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 64 p.

Marca, S; Espinoza, P; Espinoza, P. 2015. Multiplicación de Semilla de Variedades y Ecotipos de Quinua en Valle de Majes-Arequipa. Revista de investigación Alto Andina. Vol 17. N°3: 355 – 368.

Mendoza, V. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 149 p.

Mercedes, W. 2005. Efecto del estrés hídrico en la fisiología y rendimiento de cuatro variedades del cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis Mag. Sc. Especialidad en producción agrícola. Lima – Perú, UNALM. 102 p.

Mina, D. 2014. Evaluación agronómica de líneas F5 de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en dos localidades de la serranía. Tesis Ing. Agr. Quito – Ecuador, UCE. 93 p.

Montenegro, R. 2006. Caracterización fisiológica de tres proteáceas chilenas en respuesta al déficit hídrico. Tesis Licenciado en Ciencias Biológicas. Valdivia - Chile, UACH.53 p.

Moreno, L. 2009. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión Agronomía Colombiana, vol. 27, núm. 2: 179-191.

Montoliu, A. 2010. Respuesta fisiológica de los cítricos sometidos a condiciones de estrés biótico y abiótico. Tesis Ing. Agr. Castellón de la plana – España, UJI. 213 p.

Mujica, A. 2015. Quinoa: Un súper alimento para Chile y el mundo. Edición especial. El origen de la quinoa y la historia de su domesticación. Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). Santiago – Chile. pp. 14-17.

Mujica, A; Jacobsen, S. 2006. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. Universidad Mayor de San Andrés. La Paz, - Bolivia.

Mujica, A; Canahua, A; Saravia, R. 2001a. "Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro". Capítulo 2: Agronomía del cultivo de la Quinoa. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Santiago - Chile.

Mujica, A; Jacobsen, S; Izquierdo, J. 2001b. "Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) Ancestral cultivo Andino, alimento del presente y futuro". Capítulo 7: Resistencia a factores adversos de la quinua. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Santiago – Chile

Mujica, A; Jacobsen, S; Izquierdo, J; Marathee, J. 2001c. Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Capítulo 1: Origen y descripción de la Quinoa. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Santiago - Chile.

Muñoz, R; Acevedo, E. 2002. Evaluación del rendimiento potencial y bajo estrés hídrico de 11 genotipos de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Laboratorio de Relación Suelo-Agua- Planta. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile.

Ormeño, J. 2015. Agrupamiento de 16 accesiones peruanas de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) En relación al origen utilizando marcadores SSR. Tesis Lic. Biólogo. Lima – Perú, UNALM. 88 p.

Ortiz, R; Danielsen, S; Ames, T; Castro, A. 2001. Plagas y enfermedades. En: Food and Agriculture Organization (FAO), "Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

Peleg, Z; Blumwald, E. 2011. Hormone balance and abiotic stress tolerance in crop plants. Current Opinion in Plant Biology. University of California, Davis. United State. 6 p.

Risco, A. 2014. Severidad de *Peronospora variabilis* Gaum. en *Chenopodium quinoa* Willd. "Pasankalla" como respuesta aplicaciones de fungicidas sintéticos y bioestimulantes. Tesis M. Sc. Especialidad de fitopatología. Lima-Perú, UNALM. 92 p.

Rodríguez, L. 2006. Implicaciones fisiológicas de la osmorregulación en plantas. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá – Colombia. vol. 24, núm. 1, pp. 28-37.

Quispe, L. 2015. Evaluación del potencial de rendimiento y calidad de líneas mutantes de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 99 p.

Rosas, G. 2015. Evaluación agronómica de diez variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo dos sistemas de cultivo en la Unión-Leticia, Tarma. Tesis Ing. Agr. Lima – Perú, UNALM. 128 p.

Singh, A. 2007. Water and Plant Growth. Water Technology Centre. Indian Agricultural Research Intitute. New Delhi – India. 16 paginas.

Soto, E., Mercado, W., Estrada, R., Repo, R., Díaz, F.; Díaz, G. 2015. El mercado y la producción de quinua en el Perú. IICA (Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura). Lima – Perú. 172 páginas.

Tapia, M; Sánchez, L; Morón., C; Ayala, G; Fries, A; Bacigalupo, A. 2000. Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Food and Agriculture Organization (FAO). Segunda Edición. Santiago - Chile. 170 páginas.

Tapia, M. 1997. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. FAO. Ediciones Gegra S.A. Santiago Chile, pp. 56-59.

Tapia, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. FAO. Ediciones Gegra S.A. Santiago Chile, pp. 56-59.

Tapia, M. 1979. Quinoa y la Kañiwa: cultivos andinos. Bogotá - Colombia. 228 páginas.

Torres, J. 2019. Caracterización de poblaciones F₃ provenientes de cruzamientos entre especies del género *Chenopodium* en condiciones de La Molina. Tesis Ing. Agr. Lima-Perú, UNALM. 116 p.

Valdivia, C., Thibeault, J., Gilles, J., Garcia, M. and A. Seth 2013. Climate trends and projections for the Andean Altiplano and strategies for adaptation, *Advances in Geosciences*. 33: 69-77.

Villalobos, E., Umaña C. H. y Sterling, F. 1990. Determinacion del contenido relativo de agua en progenies de palma aceitera (*Elaeis guineensis*), durante la época seca en Quepos, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 14(1): 73-78.

Zurita, A., Jacobsen S., Razzagui F., Alvarez R., Ruiz, K., Morales, A.; Silva, H. 2013. “Estado del arte de la quinua en el mundo”: Capítulo 2.4: Respuesta a la sequía y adaptación de la Quinoa. FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación). Santiago – Chile. pp. 185 – 202.

VIII. ANEXOS

ANEXO 1: Análisis de suelo emitido por el laboratorio de Análisis de Suelos y Plantas de la Universidad Nacional Agraria La Molina.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
 FACULTAD DE AGRONOMIA - DEPARTAMENTO DE SUELOS
 LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS, PLANTAS, AGUAS Y FERTILIZANTES



LASPAF
 LABORATORIO DE SUELOS - FACULTAD DE AGRONOMIA - UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante: LIA RAMOS FERNANDEZ

Departamento: LIMA

Districto: LA MOLINA

Referencia: H.R. 59644-091SC-17

Provincia: LIMA
 Predio: 21/07/17
 Fecha: 21/07/17

Bolt.: 599

Lab	Número de Muestra Claves	pH (11)	CE (11) dS/m	CaCO ₃ %	M.O. %	P ppm	K ppm	Análisis Mecánico		Clase	CIC	Cationes Cambiables meq/100g					Suma de Cationes Bases	% Sat De Bases		
								Arena %	Limo %			Ca ⁺²	Mg ⁺²	K	Na ⁺	Al ⁺³ + H ⁺				
6636		8.10	0.67	1.00	1.51	27.6	137	51	26	23	Fr.Ar.A.	15.36	13.21	1.37	0.49	0.30	0.00	15.36	15.36	100

A = Arena A.Fr. = Arena Franca Fr.A. = Franco Arenoso Fr. = Franco Limoso L = Limoso Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso Ar.A. = Arcillo Arenoso Ar.L. = Arcillo Limoso Ar. = Arcilloso

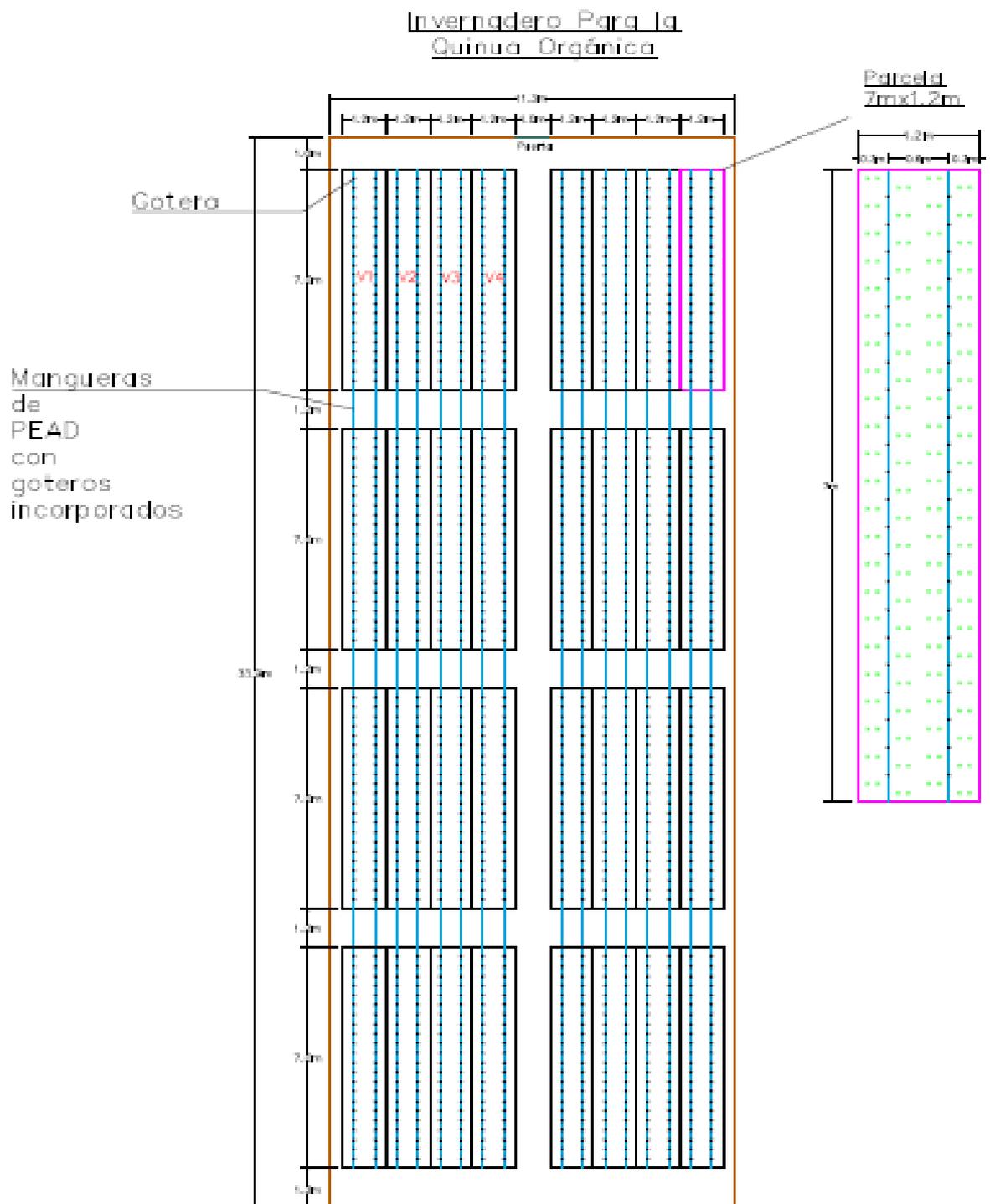
Lab	Número de Muestra Claves	C.C. %	P.M %
6636		20.34	11.20

recibido el 24/07/17
 por Buen Montoya Montoya


Dr. Selva Garcia Bendezy
 Jefe del Laboratorio

Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telef.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 2: Dimensiones del ensayo



ANEXO 3: Valores medios y prueba de Duncan ($\alpha=0,05$) de los caracteres fisiológicos de cuatro genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de La Molina. 2017

Genotipos	Contenido de clorofila (09/11/17)	Contenido de clorofila (30/11/17)	Contenido Relativo del Agua (28/10/11)	Contenido Relativo del Agua (09/11/17)	Contenido Relativo del Agua (30/11/17)	Contenido de prolina libre (19/10/17)	Contenido de prolina libre (28/10/17)	Contenido de prolina libre (30/11/17)
INIA Salcedo	42.28 b	29.35 b	68.82 ab	64.28 a	58.06 a	0.0224 b	0.0228 d	0.0338 ab
MQ AM 250-283	43.93 ab	38.18 a	71.33 ab	65.54 a	58.61 a	0.0261 a	0.0309 b	0.0313 c
MQ Pas-50	46.29 a	35.22 a	67.17 b	65.29 a	61.46 a	0.0191 c	0.0266 c	0.0323 bc
Amarilla Sacaca	44.63 ab	36.15 a	72.99 a	65.67 a	60.88 a	0.0221 b	0.0346 a	0.0353 a