

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“RESPUESTA DE LÍNEAS MUTANTES DE KIWICHA
(*Amaranthus caudatus*) AL ESTRÉS HÍDRICO EN
CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”**

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

WILLIAM GIOVANNI TAMAYO FERNÁNDEZ

LIMA - PERU

2022

Document Information

| | |
|-------------------|---|
| Analyzed document | Tesis - W. Giovanni Tamayo F. - visado 2022.docx (D142688217) |
| Submitted | 2022-08-05 22:40:00 |
| Submitted by | Luz Rayda Gómez Pando |
| Submitter email | luzgomez@lamolina.edu.pe |
| Similarity | 13% |
| Analysis address | luzgomez.unalm@analysis.arkund.com |

Sources included in the report

| | |
|-----------|--|
| W | URL: https://www.fao.org/sustainable-development-goals/indicators/642/es/ Fetched: 2021-12-09 21:57:56 |
| SA | TESIS MARZO[206] 2.docx Document TESIS MARZO[206] 2.docx (D52702504) |
| SA | Introducción MONOGRAFIA.docx Document Introducción MONOGRAFIA.docx (D30216241) |
| SA | Monografía Cortez.docx Document Monografía Cortez.docx (D12075072) |
| SA | Anteproyecto.docx Document Anteproyecto.docx (D14854705) |
| SA | ANTEPROYECTO HEIDI GUANOLUISA.docx Document ANTEPROYECTO HEIDI GUANOLUISA.docx (D14854693) |
| SA | EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN POR EL MÉTODO SOXHLET Y DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL COLORANTE A PARTIR DE INFLORESCENCIAS DE KIWICHA (Amaranthus caudatus) Document EVALUACIÓN DE LA EXTRACCIÓN POR EL MÉTODO SOXHLET Y DETERMINACIÓN DE LA ESTABILIDAD DEL COLORANTE A PARTIR DE INFLORESCENCIAS DE KIWICHA (Amaranthus caudatus).docx (D112041575) |
| SA | PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (2).docx Document PROYECTO DE INVESTIGACIÓN (2).docx (D63869885) |
| SA | PROYECTO-INVESTIGACION-TITULACION_BYRON_TAPIA_ECOTIPOS LUPINO.docx Document PROYECTO-INVESTIGACION-TITULACION_BYRON_TAPIA_ECOTIPOS LUPINO.docx (D112041575) |
| W | URL: https://www.osti.gov/etdeweb/servlets/purl/237235 Fetched: 2022-05-30 07:53:58 |
| SA | TESIS FÓSFORO JUÁREZ 2020.docx Document TESIS FÓSFORO JUÁREZ 2020.docx (D89133652) |

Entire Document

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMIA

"RESPUESTA DE LÍNEAS MUTANTES DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) AL ESTRÉS HÍDRICO EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL"

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO AGRONOMO

WILLIAM GIOVANNI TAMAYO FERNÁNDEZ

LIMA - PERU

La UNALM es titular de los derechos patrimoniales de la presente investigación (Art. 24 – Reglamento de Propiedad Intelectual) 2021

DEDICATORIA

Este humilde trabajo va dedicado a mi familia por su singular apoyo, especial mención a mi madre: Marlene Fernández Allcca, por su apoyo diligente, humildad, y trabajo sacrificado; a mi padre: memoria se preservara en cada uno de tus hijos, espero volver a verte. A mis abuelos y todas aquellas amistades que me ayudaron con esta gran empresa, a todos mi mas grande y sincera gratitud por toda esta gran aventura, por todo tu cariño y apoyo, siempre te estaré eternamente agradecido.

AGRADECIMIENTOS

Cooperación Universitaria Institucional entre el Consejo de Universidades Flamenca (VLIR) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para el mejoramiento de su capacidad académica (2010-2019) por la financiación de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN 1 II. REVISIÓN DE LITERATURA 3 2.1. Origen 3 2.2. Clasificación Taxonómica 3 2.3. Morfología 4 2.4. Fenología 6 2.5. Requerimientos del Cultivo 7 2.6. Composición nutricional 9 2.7. Efectos de los fitoquímicos 9 2.7.1. Deficiencia hídrica y crecimiento vegetal 10 2.7.2. Deficiencia hídrica y crecimiento vegetal 10 2.7.3. Concentración de Prolina 14 2.7.4. Respuestas del amaranto al estrés hídrico 15 III. MATERIALES Y METODOS 20 3.1. Materiales y métodos de campo 20 3.1.1. Características del campo experimental 23 3.1.2. Manejo del cultivo 26 3.1.3. Cronograma de actividades 26 3.1.4. Diseño experimental 28 3.1.5. EVALUACIONES EXPERIMENTALES 29 3.1.6. Variables fisiológicas 30 3.1.7. Variables de calidad de grano 30 3.1.8. ANÁLISIS COMBINADO 39 3.1.9. Muestra 45 V. CONCLUSIONES 58 VI. RECOMENDACIONES 59 VII. BIBLIOGRAFÍA 60 VIII. ANEXOS 68

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

“RESPUESTA DE LÍNEAS MUTANTES DE KIWICHA (*Amaranthus caudatus*) AL ESTRÉS HÍDRICO EN CONDICIONES DE COSTA CENTRAL”

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

WILLIAM GIOVANNI TAMAYO FERNÁNDEZ

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

Ing. Mg. Sc. Julio Nazario Ríos

PRESIDENTE

Dra. Luz Rayda Gómez Pando

ASESORA

Ing. Mg. Sc. Ana Luzmeira Eguiluz de la Barra

MIEMBRO

Dr. Jorge Jiménez Dávalos

MIEMBRO

Lima – Perú

2022

DEDICATORIA

Este humilde trabajo va dedicado a mi familia por su singular apoyo, especial mención a mi madre: Marlene Fernández Allcca, por su apoyo diligente, humildad, y trabajo sacrificado; a mi padre: William Tamayo Vasquez, por su cariño imperecedero y que su memoria se preservara en cada uno de tus hijos... Espero volver a verte.

A mis abuelos Eduardo, Juan, Andrea y Edilberta, a mis hermanos Kevin y Yasmeen, así como todas aquellas amistades que me ayudaron con esta gran empresa, a todos mi más grande y sincera gratitud, así como mi eterno cariño.

A ti, chiquitita, por tu apoyo incondicional desde el inicio de toda esta gran aventura, por todo tu cariño y consejos, te estaré eternamente agradecido.

AGRADECIMIENTOS

Cooperación Universitaria Institucional entre el Consejo de Universidades Flamencas (VLIR) y la Universidad Nacional Agraria La Molina (UNALM) para el mejoramiento de su capacidad académica y el desarrollo rural: Proyecto: Desarrollo de Cadenas de Valor (2010-2019) por la financiación de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

| | | |
|--------|--|----|
| I. | INTRODUCCIÓN | 1 |
| II. | REVISIÓN DE LITERATURA..... | 3 |
| 2.1. | Origen | 3 |
| 2.2. | Clasificación Taxonómica | 3 |
| 2.3. | Morfología | 4 |
| 2.4. | Fenología..... | 6 |
| 2.5. | Requerimientos del Cultivo | 8 |
| 2.6. | Composición nutricional de la kiwicha..... | 9 |
| 2.7. | El estrés en las plantas | 10 |
| 2.7.1. | Tipos de estreses abióticos en las plantas | 10 |
| 2.7.2. | Déficit hídrico y crecimiento vegetal | 11 |
| 2.7.3. | Concentración de Prolina..... | 16 |
| 2.7.4. | Respuestas del amaranto al estrés hídrico | 17 |
| III. | MATERIALES Y METODOS..... | 23 |
| 3.1. | MATERIALES | 23 |
| 3.1.1. | Ubicación de la zona experimental..... | 23 |
| 3.1.2. | Análisis de suelo..... | 23 |
| 3.1.3. | Características climatológicas de la zona | 24 |
| 3.1.4. | Material genético | 27 |
| 3.1.5. | Materiales y herramientas de campo | 27 |
| 3.1.6. | Materiales de laboratorio | 27 |
| 3.1.7. | Equipos de laboratorio | 27 |
| 3.1.8. | Reactivos de laboratorio | 28 |
| 3.2. | METODOLOGIA | 28 |

| | | |
|--------|--|----|
| 3.2.1. | Características del campo experimental | 28 |
| 3.2.2. | Manejo del cultivo | 31 |
| 3.2.3. | Cronograma de actividades | 32 |
| 3.2.4. | Diseño experimental | 35 |
| 3.3. | EVALUACIONES EXPERIMENTALES | 36 |
| 3.3.1. | Variables agronómicas | 36 |
| 3.3.2. | Variables de calidad de grano..... | 37 |
| 3.3.3. | Variables fisiológicas | 37 |
| IV. | RESULTADOS Y DISCUSIÓN | 41 |
| 4.1. | OBJETIVO 1: | 41 |
| 4.1.1. | Variables agronómicas | 41 |
| 4.1.2. | Variables de Calidad de Grano..... | 47 |
| 4.1.3. | ANÁLISIS COMBINADO | 49 |
| 4.2. | OBJETIVO 2: | 55 |
| 4.2.1. | Contenido de Prolina libre (μg prolina/ μg muestra) | 55 |
| V. | CONCLUSIONES | 68 |
| VI. | RECOMENDACIONES | 69 |
| VII. | BIBLIOGRAFÍA | 70 |
| VIII. | ANEXOS | 78 |

ÍNDICE DE TABLAS

| | | |
|------------|---|----|
| Tabla N° 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 | 26 |
| Tabla N° 2 | Cronograma de actividades de campo realizadas en el desarrollo de la investigación en condiciones de La Molina 2017..... | 33 |
| Tabla N° 3 | Siete muestras de prolina purificada (ug prolina/ug muestra) con sus respectivas absorbancia promedios..... | 39 |
| Tabla N° 4 | Cuadrados Medios del ANVA de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente de Estrés Hídrico (Riego deficitario) - La Molina 2017..... | 44 |
| Tabla N° 5 | Cuadrados Medios del ANVA de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) - La Molina 2017..... | 45 |
| Tabla N° 6 | Valores Medios de los Caracteres Agronómicos de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y en un ambiente de Estrés hídrico - La Molina 2017..... | 46 |
| Tabla N° 7 | Valores Medios de los Caracteres de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y en un ambiente de Estrés hídrico - La Molina 2017..... | 48 |
| Tabla N° 8 | Cuadrados Medios del ANVA combinado de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017..... | 52 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabla N° 9 | Valores medios de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) en promedio de dos ambientes Testigo o Control (Riego Normal) y de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017..... | 53 |
| Tabla N° 10 | Valores Medios de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) en promedio de 10 genotipos de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) - La Molina 2017..... | 54 |
| Tabla N° 11 | Cuadrados Medios del ANVA de Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017. | 57 |
| Tabla N° 12 | Valores medios de Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un Ambiente de Estrés Hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017.... | 58 |
| Tabla N° 13 | Cuadrado Medio del ANVA Combinado del Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017..... | 60 |
| Tabla N° 14 | Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) del Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en promedio de variedades en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017..... | 61 |

| | | |
|-------------|---|----|
| Tabla N° 15 | Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de contenido de prolina (ug prolina/ug muestra) de diez genotipos de kiwicha (<i>Amaranthus caudatus</i>) en dos fases fenológicas en promedio de dos niveles de riego - La Molina 2017..... | 62 |
|-------------|---|----|

ÍNDICE DE FIGURAS

| | | |
|-------------|---|----|
| Figura N° 1 | Variación mensual de la temperatura máxima y mínima promedio durante el período agosto - diciembre 2017 en La Molina..... | 25 |
| Figura N° 2 | Distribución de las parcelas..... | 30 |
| Figura N° 3 | Curva estándar de prolina | 40 |

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..... | 78 |
| Anexo 2 | Randomización y dimensiones detalladas del experimento realizado durante la campaña de agosto a diciembre de 2017..... | 79 |
| Anexo 3 | Fases de la fenología de la kiwicha..... | 81 |

RESUMEN

Los daños del cambio climático en agricultura pueden ser reducidos empleando especies subutilizadas cultivadas en condiciones marginales de clima y suelo. El *Amaranthus caudatus* destaca por su alto valor nutritivo, tolerancia al calor, la sequía y su capacidad de prosperar en suelos marginales. Se requieren desarrollar nuevas variedades más adaptadas a una agricultura moderna y uno de los métodos reconocidos es la inducción de mutaciones que permiten mejorar características agronómicas, de calidad y la respuesta a factores ambientales adversos. Se evaluó el efecto de estrés hídrico aplicado en floración en ocho líneas mutantes, el material parental y la variedad comercial mutante Centenario en condiciones de La Molina. Se establecieron dos experimentos uno con riego por goteo óptimo durante todo el cultivo y otro con riego óptimo sólo hasta floración. Se empleó un diseño de bloque completos al azar con tres repeticiones en condiciones de La Molina. Los resultados mostraron variación en la respuesta de las líneas mutantes al estrés de sequía identificándose las líneas mutantes CICA36 y CICA 54 con la menor reducción de rendimiento de granos de 1.38 y 6.23%; muy por debajo del material parental que tuvo una reducción de 46.35%; mostrando la efectividad de la radiación gamma en inducir mutaciones que mejoran la tolerancia al estrés hídrico. Se observó en promedio de los diez genotipos una reducción para rendimiento, altura de planta, biomasa, días a la floración y días a la madurez fue de 24.82%, 17.80%, 40.77%, 4.33% y de 3.37%; en índice de cosecha se observó un incremento de 27%. En promedio de los genotipos evaluados la reducción para proteína y peso de mil granos por del estrés hídrico de 4.59 y 2.94. Se observó en general para casi todas las líneas mutantes de Amarantho un incremento en el contenido de prolina iniciado el estrés hídrico.

Palabras clave: *Estrés hídrico, Amaranthus caudatus, Costa central, líneas mutantes.*

ABSTRACT

The negative damages of climate change in agriculture can be reduced by using underutilized species cultivated in marginal conditions of climate and soil. Among these species the *Amaranthus caudatus* stands out, for its high nutritional value, tolerance to heat, drought and its ability to thrive in marginal soils. It is indispensable to develop new varieties more adapted to modern agriculture and one of the recognized methods is the induction of mutations that allow improving agronomic characteristics, quality and the response to adverse environmental factors. The effect of water stress applied during flowering in eight mutant lines, the parent material and the Centenario mutant commercial variety was evaluated under La Molina conditions. Two experiments were established, one with optimal drip irrigation throughout the crop and the other with optimal irrigation only until flowering. A randomized complete block design with three replications under La Molina conditions was used. The results showed variation in the response of the mutant lines to drought stress, identifying the mutant lines CICA36 and CICA 54 with the lowest grain yield reduction of 1.38 and 6.23%; respectively, well below the parent material that had a reduction of 46.35%; showing the effectiveness of gamma radiation in inducing mutations that improve tolerance to water stress. In average of the ten genotypes, a reduction was observed for yield, plant height, biomass, days to flowering and days to maturity of 24.82%, 17.80%, 40.77%, 4.33% and 3.37%; respectively, in harvest index an increase of 27% was observed. On average of the genotypes evaluated, the reduction for protein and thousand grain weight due to water stress was 4.59 and 2.94; respectively. In general, an increase in proline content initiated by water stress was observed for almost all Amaranth mutant lines.

Keywords: *Water stress, Amaranthus caudatus, central coast territory, mutants lines*

I. INTRODUCCIÓN

Tal como señala el Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo, y citamos textualmente “El riego consume actualmente el 70% del insumo total del agua. Esta cantidad aumentará en 14% en los próximos treinta años, ya que la zona de regadío se ampliará en un 20%” (UNESCO-WWAP, 2003).

Fraire-Velázquez *et al* (2013) refieren que las variables e insuficientes precipitaciones en áreas extensas de agricultura de secano, el uso insostenible de agua subterránea para la agricultura de regadío en todo el mundo, y el rápido crecimiento de la demanda de agua urbana están ejerciendo una presión extrema sobre la producción mundial de cultivos alimentarios.

De acuerdo con informaciones de diversas fuentes se señala que Perú será uno de los países más afectados por el cambio climático, dado que la costa peruana es un área fuertemente árida. El manejo eficiente del agua es la consigna y actual preocupación desde el nivel de usuario hasta el nivel gubernamental porque la actividad agrícola es una de las de mayor demanda de recursos hídricos, la consigna de ahorro y eficiencia de este preciado producto es imperativa.

Adicionalmente, el cambio climático tendrá influencia directa en la disposición de agua en varias regiones del planeta, por lo que es importante renovar esfuerzos en la búsqueda de cultivos que puedan responder de forma positiva al estrés hídrico, y que además aporten nutricionalmente la necesidad energética requerida de un ser humano promedio.

La kiwicha (*Amaranthus caudatus*) es una especie nativa de la región andina, reconocida por su alto valor nutritivo, así también por sus cualidades agronómicas: Su crecimiento rápido, rusticidad que le permite prosperar en suelos pobres y en condiciones de sequía y altas temperaturas.

Por otro lado, sus altos precios y su demanda de exportación aseguran mercado para los agricultores. Considerando lo señalado, se plantea la siguiente hipótesis: Las líneas mutantes de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) presentan tolerancia al estrés de hídrico y son eficientes en el uso del agua en condiciones de la Molina en la Costa Central del Perú.

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

Objetivo principal:

Contribuir a la identificación de especies y genotipos con tolerancia al estrés de hídrico que incrementen la diversificación de cultivos en condiciones de costa central del Perú para reducir los daños del cambio climático.

Objetivos específicos:

- Determinar el efecto del estrés hídrico en los caracteres agronómicos y la calidad e identificar líneas mutantes tolerantes.
- Determinar el efecto del estrés hídrico en el contenido de prolina de líneas mutantes.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Origen

Dentro del género *Amaranthus*, con numerosas especies distribuidas a nivel mundial, destacan tres especies domesticadas que se utilizan actualmente para la producción de granos: *A. hypocondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*. Las dos primeras cultivadas en Mesoamérica y la última en los Andes (León *et al*, 2007).

El amaranto de grano fue domesticado en América del Sur hace más de 4000 años por culturas precolombinas (Mujica, 1997).

Amaranthus caudatus recibe diferentes nombres, siendo conocido en la región andina del Perú como kiwicha en el Cusco, achita en Ayacucho, achis en Ancash, coyo en Cajamarca y qamaya en Arequipa. En Bolivia se le denomina coimi, millmi en Argentina; y en Ecuador un tipo de amaranto de color oscuro se llama sangoracha. (Sierra Exportadora, s.f.).

2.2. Clasificación Taxonómica

Peralta (2009), referenciado por Cárdenas (2015), considera las plantas de amaranto y el atacco pertenecen a la familia botánica de las *Amarantáceas* y al género *Amaranthus*, dentro de la siguiente clasificación taxonómica.

- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae

- Subfamilia: Amaranthoideae
- Género: Amaranthus

2.3. Morfología

Según Mujica (1997) *Amaranthus caudatus* es una especie anual, herbácea o arbustiva de diversos colores que van del verde al morado o púrpura con distintas coloraciones intermedias.

- Raíz: Es pivotante con abundante ramificación y múltiples raicillas delgadas, que se extienden rápidamente después que el tallo comienza a ramificarse, facilitando la absorción de agua y nutrientes, la raíz principal sirve de sostén a la planta, permitiendo mantener el peso de la panoja. Las raíces primarias llegan a tomar consistencia leñosa que anclan a la planta firmemente y que en muchos casos sobre todo cuando crece algo separada de otras, alcanza dimensiones considerables. En caso de ataque severo de nemátodos se observan nodulaciones prominentes en las raicillas.
- Tallo: Es cilíndrico y anguloso con gruesas estrías longitudinales que le dan una apariencia acanalada, alcanza de 0.4 a 3 m de longitud, su grosor disminuye de la base al ápice, presenta distintas coloraciones que generalmente coincide con el color de las hojas, aunque a veces se observa estrías de diferentes colores, presenta ramificaciones que en muchos casos empiezan desde la base o a media altura y que se originan de las axilas de las hojas. El número de ramificaciones es dependiente de la densidad de población en la que se encuentre el cultivo.
- Hojas: Son pecioladas, sin estípulas de forma oval, elíptica, opuestas o alternas con nervaduras prominentes en el envés, lisas o poco pubescentes de color verde o púrpura cuyo tamaño disminuye de la base al ápice, presentando borde entero, de tamaño variable de 6.5-15 cm (Sumar, 1993), (Tapia, 1997) referenciado por Mujica (1997), las hojas tiernas hasta la fase de ramificación se consumen como hortaliza de hoja.

- Inflorescencia: En el amaranto corresponde a panojas amarantiformes o glomeruladas muy vistosas, terminales o axilares, que pueden variar de totalmente erectas hasta decumbentes, con colores que van del amarillo, anaranjado, café, rojo, rosado, hasta el púrpura; el tamaño varía de 0.5-0.9 m pudiendo presentar diversas formas incluso figuras caprichosas y muy elegantes.

Son amarantiformes cuando los amentos de dicasios son rectilíneos o compuestos dirigidos hacia arriba o abajo según sea la inflorescencia erguida o decumbente y es glomerulado cuando estos amentos de dicasios se agrupan formando glomérulos de diferentes tamaños.

- Flores: El amaranto presenta flores unisexuales pequeñas, estaminadas y pistiladas, estando las estaminadas en el ápice del glomérulo y las pistiladas completan el glomérulo, el androceo está formado por cinco estambres que sostienen a las anteras por un punto cercano a la base, el gineceo presenta ovario esférico, súpero coronado por tres estigmas filiformes y pilosos, que aloja a una sola semilla (Tapia, 1997) referenciado por Mujica (1997).

El glomérulo es una ramificación dicasial cuya primera flor es terminal y siempre masculina, en cuya base nace dos flores laterales femeninas, cada una de las cuales origina otras dos flores laterales femeninas y así sucesivamente. Un glomérulo puede contener 250 flores femeninas, la flor masculina luego de expulsar el polen se seca y cae.

- Fruto: Es una cápsula pequeña que botánicamente corresponde a un pixidio unilocular, la que a la madurez se abre transversalmente, dejando caer la parte superior llamada opérculo, para poner al descubierto la inferior llamada urna, donde se encuentra la semilla. Siendo dehiscente por lo que deja caer fácilmente la semilla (Sánchez, 1980) referenciado por Mujica (1997). Existen algunas especies de amaranto que tienen pixidios indehiscentes, característica que puede ser transferida a cultivares comerciales de amaranto (Brenner, 1990) referenciado por Mujica (1997).

- Semilla: Es pequeña, lisa, brillante de 1-1,5 mm de diámetro, ligeramente aplanada, de color blanco, aunque existen de colores amarillentos, dorados, rojos, rosados, púrpuras y negros; el número de semillas varía de 1000 a 3000 por gramo (Nieto, 1990) referenciado por Mujica (1997), las especies silvestres presentan granos de color negro con el episperma muy duro. En el grano se distinguen cuatro partes importantes: Episperma que viene a ser la cubierta seminal, constituida por una capa de células muy finas, endospermo que viene a ser la segunda capa, embrión formado por los cotiledones que es la más rica en proteínas y una interna llamada perispermo rica en almidones (Irving *et al.*, 1981) referenciado por Mujica (1997).

2.4. Fenología

La descripción de los estados fenológicos del amaranto fue presentada por Quillahuamán (1989) y Henderson (1993) referenciados por Mujica (1997) los autores coinciden en lo siguiente:

- Emergencia (VE): Es la fase en la cual las plántulas emergen del suelo y muestran sus dos cotiledones extendidos y en el surco se observa por lo menos un 50% de población en este estado. Todas las hojas verdaderas sobre los cotiledones tienen un tamaño menor a 2 cm de largo. Este estado puede durar de 8 a 21 días dependiendo de las condiciones agroclimáticas.

Las semillas de amaranto buenas y viables suelen germinar 3-4 días después de la siembra en condiciones de campo, sin embargo, en el cultivo de amaranto se puede apreciar una emergencia de plántulas lenta e irregular, que se atribuye a los diversos grados de madurez de cosecha de los granos de los glomerulos en la inflorescencia.

Aparte de los factores ambientales como humedad del suelo, temperatura y duración del día como se mencionó anteriormente, esta emergencia podría extenderse durante un período de hasta 14 días. Un buen establecimiento de plántulas se observa en 14-21 días después de la siembra. Olufolaji *et al* (2010).

- Fase vegetativa (V1...Vn): Estas se determinan contando el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidas por lo menos 2 cm de largo. El primer nudo corresponde al estado V1 el segundo es V2 y así sucesivamente. A medida que las hojas basales fenecen, la cicatriz dejada en el tallo principal se utiliza para considerar el nudo que corresponda. La planta comienza a ramificarse en estado V4.

- Fase reproductiva:
 - Inicio de panoja (R1): El primordio de la inflorescencia es visible en el extremo del tallo. Este estado se observa entre 50 y 70 días después de siembra.

 - Panoja (R2): El primordio de la panoja tiene al menos 2 cm de largo.

 - Término de panoja (R3): La panoja tiene al menos 5 cm de largo. Si la antesis ya ha comenzado cuando se ha alcanzado esta etapa, la planta debiera ser clasificado en la etapa siguiente.

 - Antesis (R4): Al menos una flor se encuentra abierta mostrando los estambres separados y el estigma completamente visible. Las flores hermafroditas, son las primeras en abrir y generalmente la antesis comienza desde el punto medio del eje central de la panoja hacia las ramificaciones laterales de esta misma.

En esta etapa existe alta sensibilidad a las heladas y al estrés hídrico. Este estado puede ser dividido en varios sub-estados, de acuerdo con el porcentaje de flores del eje central de la panoja que han completado antesis. Por ejemplo, si 20% de las flores del eje central han completado la antesis, el estado será R 4.2 y si es 50%, el estado correspondería a R 4.5.

La floración debe observarse a medio día ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, durante esta etapa la planta comienza a eliminar las hojas inferiores más viejas y de menor eficiencia fotosintética.

- Llenado de granos (R5): La antesis se ha completado en al menos el 95% del eje central de la panoja. Esta etapa según Mujica y Quihuallamán (1989), puede ser dividida en:
 - Grano lechoso: Las semillas al ser presionadas entre los dedos, dejan salir un líquido lechoso.
 - Grano pastoso: Las semillas al ser presionadas entre los dedos presentan una consistencia pastosa de color blanquecino.
- Madurez fisiológica (R6): Un criterio definitivo para determinar madurez fisiológica aún no ha sido establecido; pero el cambio de color de la panoja es el indicador más utilizado. En panojas verdes, éstas cambian de color verde a un color oro y en panojas rojas cambian de color rojo a café-rojizo. Además, las semillas son duras y es posible enterrarles la uña. En este estado al sacudir la panoja, las semillas ya maduras caen.
- Madurez de cosecha (R7): Las hojas senescen y caen, la planta tiene un aspecto seco de color café. Generalmente se espera que caiga una helada de otoño para que disminuya la humedad de la semilla.

2.5. Requerimientos del Cultivo

Mujica (1997) refiere lo siguiente sobre los requerimientos del cultivo.

- El amaranto se cultiva principalmente en los valles interandinos de la sierra y en pequeñas extensiones; en muchos casos se observa en siembras asociadas a maíz o formando bordes en otros cultivos. Recientemente su cultivo ha tomado auge en la costa del Perú, donde se lo siembra bajo condiciones de riego por aspersión y altos niveles de fertilización, pudiendo considerarse como manejo de alta tecnología, utilizada mayormente para la agroindustria y exportación.

Se cuenta con variedades de alta producción, tecnología de cultivo aceptable y se ha avanzado considerablemente en la transformación y agroindustria de este grano, principalmente desarrollado por la actividad privada, las cuáles producen una gama de productos con adecuada presentación y de diferentes características. El potencial

de cultivo es bastante halagador sobre todo en la costa peruana, donde está siendo utilizado como cultivo de rotación y de alta producción.

En Perú, el INIA y las universidades están efectuando investigación en aspectos agronómico, utilización y de producción de semilla mejorada.

Los rendimientos de la kiwicha en el Perú varían entre 600 y 1500 Kg/ha. Los mayores rendimientos se han obtenido en Arequipa y Lima, en la zona de Majes, Arequipa. (Leon *et al*, 2007).

Kauffman *et al* (1990) indican que: “La universidad de Cuzco en Perú ha lanzado al mercado tres cultivares de *A. caudatus* L., los cuales han sido nominados como Oscar Blanco, Noel Vietmeyer y Alan Garcia, estos tres cultivares están siendo utilizados en cientos de hectáreas alrededor del territorio nacional”.

2.6. Composición nutricional de la kiwicha

Pareek *et al* (2010) indica que: “Es bien sabido de la capacidad nutricia del amaranto o kiwicha, fue un ingrediente importante en la dieta de las culturas andinas desde tiempos preincaicos”.

El amaranto o kiwicha es reconocido como una planta con alto potencial agroalimentario debido a que sus hojas y sus semillas son de alto valor nutricional y ambas pueden emplearse para la alimentación humana y animal; así también las semillas de amaranto contienen un alto contenido de proteínas y estas poseen un mejor balance de aminoácidos esenciales que la mayoría de los cereales y leguminosas. (Barba de la Rosa *et al* (1992), Schnetzler y Breene (1994)) referenciado por Huerta *et al*, (2012).

Morales *et al* (2014) indica que: “Los análisis de composición señalan que los contenidos de proteínas crudas, lípidos, fibra y cenizas del amaranto en general son más altos que en los cereales, mientras que la proporción de hidratos de carbono es más baja”.

Písarikova *et al* (2005) precisa que los granos crudos y popeados se caracterizan por su alto contenido proteína bruta (158.1 y 168.5 g/kg), por medio de extracción por éter (71.5 y 69.4 g/kg) y con una favorable composición de fibra comparada con los cereales convencionales.

2.7. El estrés en las plantas

Pareek *et al* (2010) sobre el estrés lo definen de la siguiente manera:

El estrés en lo que a biología se refiere es el cambio o variación en el normal desempeño, función o fisiología de las plantas, esta puede ser perjudicial y producir daños de manera irreversible en el sistema metabólico de la planta. Los tipos de estrés que los cultivos pueden sufrir pueden ser agrupados como “variación de temperatura en un estado crucial de crecimiento”. Hay varios parámetros abióticos alrededor de temperatura, daño por frío y estrés por evaporación.

El estrés abiótico es generado por materia/aspectos no vivos que poseen una relación de dependencia con el sistema metabólico de la planta. La temperatura de ambiente, humedad relativa, iluminación solar, microclima, nutrición del suelo, biota del suelo y otras propiedades físico-química del suelo generan estrés en la planta.

2.7.1. Tipos de estreses abióticos en las plantas

Existen varios tipos de estrés abiótico que pueden influir entre las fases de siembra y cosecha que son los siguientes:

- Lluvias fuera de estación
- Abundante y copiosa humedad de suelo o es rápidamente percolada
- Salinidad del suelo
- Escasez de micronutrientes (nutrición de suelo) en la zona de raíces.
- Cambios en los parámetros climáticos globales

Así también, varios tipos de estrés bióticos que afectan a los cultivos:

- Daños por enfermedades
- Daños por insectos o nematodos
- Amenazas invasivas

Utilizar cultivos para tolerancia abiótica específica es una de las principales actividades de los programas de mejoramiento genético. Desarrollo de variedades tolerantes a estreses

abióticos y la adopción de buenas prácticas agrícolas son los medios por el cual los agricultores minimizan el impacto de estrés abiótico sin causar una pérdida de rendimiento. Las plantas tolerantes a estreses abióticos tienen incorporado capacidad para superar el daño causado por estrés en varias etapas de crecimiento.

Si el estrés abiótico afecta solo por un breve período y si las condiciones vuelven a ser beneficiosas, la planta activa varios mecanismos de compensación y de esta forma minimiza el daño provocado por dicho estrés. A continuación, la biomasa total y el rendimiento de cultivos permanece en gran parte ilesos.

A menudo, muchos factores de estrés abiótico ocurren juntos y en ese proceso infligen pérdidas de rendimiento severo. Por ejemplo, los cultivos son en gran parte dependientes de la disponibilidad de humedad en los 10 cm superiores del perfil del suelo.

El estrés por sequía ocurre cuando el estado de humedad del suelo es bajo, la humedad relativa es baja y la temperatura alta. Cuando la humedad relativa es baja y la temperatura alta es decir cuando ambos factores de estrés ocurren juntos, se le conoce como “estrés atmosférico”.

2.7.2. Déficit hídrico y crecimiento vegetal

Pareek *et al* (2010) refieren que cuando la humedad del suelo es continuamente baja, la extracción del agua por parte de las raíces y el transporte del agua dentro de la planta se reduce y prevalece una situación de sequía. Para superar el estrés por sequía, plantas responden incrementando la eficiencia de extracción del agua y la eficacia del uso de esta por las raíces así simultáneamente reducir la tasa de transpiración.

Se están estudiando cuatro estrategias de las plantas para hacer frente al estrés hídrico:

- Gran masa de raíces
- Área foliar más pequeña
- Ajuste osmótico
- Variedades de corta duración o de maduración temprana

En general, los cultivos utilizan humedad residual o bajo situaciones de secano necesitan los siguientes caracteres para seguir siendo agrícolamente productivo:

- Capacidad radicular para extraer la humedad de los estratos más profundos del suelo
- Evapo-transpiración reducida
- Elasticidad del sistema radicular para que cuando el suelo se agriete las raíces no se maltraten
- Período de maduración ideal
- Cobertura de suelo de creación propia

Palmeros-Suárez *et al* (2012) adicionan que: “El estrés ambiental es uno de los principales factores que limitan la productividad en las plantas, causando grandes pérdidas en la producción agrícola a nivel mundial”.

Omami *et al* (2010) refieren que el crecimiento disminuye en función al incremento del estrés, sin embargo, la sensibilidad al estrés salino variara en función del nivel de estrés y el genotipo propio de cada planta.

Slabbert *et al* (2003) resaltan: “La sequía es una limitación permanente para el desarrollo agrícola en algunos países en desarrollo donde los habitantes son dependiente de la agricultura para su subsistencia. Es probablemente el estrés más común y severo que deben enfrentar los agricultores de subsistencia”.

Azcon-Bieto (2013) indica que: “El déficit hídrico es la causa más importante de la reducción del crecimiento; se puede producir en diferentes situaciones: sequia, bajas temperaturas edáficas, salinidad y escasa aireación del suelo, en combinación con factores que estimulan la transpiración”.

Aguilar-Hernández *et al* (2012) indican que: “Las plantas dependen en gran medida de los mecanismos de percepción del estrés y de la transducción de señales que les permiten encender los mecanismos de respuesta para lograr su supervivencia y reproducción en ambientes adversos. Su respuesta a condiciones de estrés como la sequía están mediados por una señalización química donde la perturbación en los niveles de Ca^{2+} citosólico activa la respuesta a este tipo de estrés”.

Fraire-Velázquez *et al* (2013) señalan que la deficiencia de agua induce a una amplia gama de alteraciones fisiológicas y/o bioquímicas en plantas; interrupción del crecimiento celular,

así como la fotosíntesis, y por último la respiración mejorada se encuentran entre los primeros efectos. La expresión del genoma se ve ampliamente remodelado, activando y reprimiendo una variedad de genes con diversas funciones. La detección del déficit de agua y la activación de los mecanismos de defensa se produce a través de señales en las que el ácido abscísico (ABA) juega un papel central. El ABA se acumula en tejidos de plantas sometido a estrés hídrico y promueve la reducción de la transpiración mediante el cierre de los estomas.

Mediante este mecanismo, las plantas minimizan las pérdidas de agua y disminuyen las lesiones por estrés. El ABA regula la expresión de muchos genes sensibles al estrés, incluida las proteínas de embriogénesis tardía abundante (LEA), lo que lleva a un refuerzo de la tolerancia al estrés por sequía en las plantas.

Como se describió anteriormente, uno de los principales mecanismos por los cuales las plantas hacen frente a los déficits hídricos es el ajuste osmótico. Estos ajustes mantienen una turgencia celular positiva a través de la acumulación activa de solutos compatibles.

Palmeros-Suárez *et al* (2012) señalan que: “Son varios los mecanismos capaces de contribuir a una mayor tolerancia a condiciones de sequía que se han identificado en amaranto. Entre estos están el cierre estomático, la presencia de barreras cuticulares, acumulación de ceras en las hojas y reducción del área foliar; además el metabolismo de asimilación de CO₂ tipo C4 que presenta, le permite tener una alta tasa fotosintética en temperaturas elevadas, sin que se pierda el agua por transpiración ni se reduzca la eficiencia de asimilación por fotorrespiración, mientras mantiene un ajuste osmótico adecuado”.

Elliot (1979) describe lo siguiente sobre el estrés hídrico:

Los efectos del estrés hídrico en los niveles de enzimas en las plantas han sido estudiados de forma tal que se miden las actividades enzimáticas de los extractos luego de que las plantas hayan sido mantenidas por distintos periodos de tiempo bajo condiciones de estrés marcado. Se observó una disminución en la liasa amonio fenilalanina y en la nitrato reductasa en plántulas de maíz con déficit de agua. Otros autores han observado un incremento en la amonialiase fenilalanina después del aumento de hidratación y/o aeración en plántulas de cebada o en los cotiledones de rábanos.

En el presente caso existen dos efectos de déficit hídrico a considerar:

- El efecto del estrés hídrico durante la inducción: Se origina cuando la síntesis de proteínas es fácilmente reducida por un estrés hídrico leve, de esta forma la captación del precursor de la tirosina y de la síntesis de enzimas de la vía de la betacianina podrían verse afectados.
- El efecto de pretratamiento de la marchitez en la inducción posterior: El estrés hídrico permite fácilmente el desarrollo de un potencial de la subsecuente acumulación de betacianina (cuando inducción toma parte bajo condiciones de no estrés), más bien como el efecto del estrés hídrico en crear la situación de “crecimiento almacenado”. Este potencial puede seguir de la respuesta del transporte activo para cambiar la presión de la turgencia o por cambios en los niveles de ciertas enzimas.

Finalmente, el incremento de los niveles de tirosina durante el estrés hídrico puede estar a la par con una síntesis de betacianina más accesible que la tirosina exógena aplicada en el medio de inducción cuando se alivia el estrés hídrico. Este razonamiento explicaría la oxidación de prolina durante el estrés hídrico.

Sobre las diferencias en las respuestas al estrés hídrico para diferentes especies de plantas (Irmak y col. 2000) referenciado por Sarangi *et al* (2016) indican que se deben a su diversidad fenológica y procesos fisiológicos, así también la respuesta depende de las condiciones climáticas, suelo, grado y duración del estrés hídrico y buenas prácticas agrícolas.

Elhaak *et al* (1992) refieren de una disminución en el contenido de clorofila, bajo condiciones de estrés hídrico, y esta disminución ha sido reportado para distintas especies de plantas.

La respuesta de los pigmentos de las plantas (clorofila a, b y carotenoides) al estrés por sequía varían según especies. Esto indicaría que las especies de mayor amplitud de tolerancia alcanzan mayor contenido de pigmentos.

a) Efecto sobre el patrón de raíz

Pareek *et al* (2010) indican sobre los efectos del estrés hídrico sobre la raíz:

El perfil y la profundidad de la raíz de las plantas cambian para sobrevivir en condiciones de déficit de agua. La muerte de las plántulas se debe a un desarrollo deficiente de las raíces debido a que estas se verán seriamente dañadas si sufre condiciones de sequía severa.

Generalmente, las variedades de arroz con un alta de densidad de raíces largas tienden a tener un alto potencial de agua en las hojas y senescencia foliar retardada bajo condiciones de déficit hídrico. Invariablemente, el cultivar de arroz con una mayor longitud de raíz se desenvolverá mejor bajo condiciones limitantes del agua.

Bajo situación de estrés hídrico suave el enrollamiento de las hojas reduce la pérdida por transpiración, aumentando la humedad dentro de la hoja enrollada y de este modo, permitir a las plantas tolerar condiciones de déficit hídrico severo.

b) Efecto sobre el desarrollo

En cultivos frutales perennes, reducida disponibilidad de humedad en las etapas floración y en el desarrollo de los frutos recorta la fertilidad del polen, formación de bayas y en las etapas posteriores provocan desprendimiento de frutos. Incluso aquellos frutos que finalmente maduran son de mala calidad, tamaño y apariencia.

Vides, nueces, y los melones producen frutas y nueces sin relleno cuando se produce estrés por humedad. Si el estrés hídrico se da al comienzo de la temporada reduce la cantidad de hojas verdes, su tamaño, forma y número de hojas frescas de la planta.

c) Efecto sobre el estado de fertilidad

Desarrollo de orgánulos masculinos durante la meiosis en las células madre de las microesporas son extremadamente vulnerables a condiciones de déficit hídrico. Este al

afectar el desarrollo de microsporas o granos de polen generan esterilidad. En contraste, la fertilidad femenina permanece relativamente intacta por el estrés hídrico en esta etapa.

d) Tolerancia al estrés por humedad

A menudo el estrés en las primeras etapas del crecimiento del cultivo estimula un mejor sistema de raíces y hace que haya más humedad disponible en el suelo cuando regresa el clima favorable. Cuando se producen breves períodos de estrés por humedad, la pérdida de crecimiento impuesta a la planta se supera posteriormente aumentando la eficiencia funcional. Aunque los efectos de este factor adverso serán medibles en la productividad del cultivo, la magnitud de la pérdida se reduce sustancialmente. Variedades de plantas que poseen tales mecanismos alternativos de minimizar las pérdidas ocasionadas por la sequía están clasificados como "tolerantes".

2.7.3. Concentración de Prolina

Gomes *et al* (2010) referenciado por Melgarejo *et al* (2010) señalan que los azúcares y la prolina son osmolitos compatibles que disminuyen el potencial osmótico de la célula. Los osmolitos compatibles son compuestos orgánicos altamente solubles que no poseen carga a pH fisiológico y que se almacenan en altas concentraciones dentro de las células sin ser tóxicos.

La prolina es un aminoácido que se encuentra en las plantas en cantidades muy pequeñas, en condiciones adecuadas para el desarrollo y crecimiento. Bajo algunos estreses, se ha reportado que el contenido de prolina libre puede aumentar con el fin de proteger a la planta contra algunos tipos de estrés.

Muchas especies de plantas acumulan prolina libre en respuesta a la salinidad (Jimenez-Bremont *et al* (2006) referenciado por Melgarejo *et al* (2010), deficiencia hídrica (Avendaño *et al* (2005) referenciado por Melgarejo *et al* (2010)) y frío ((Konstantinova *et al* (2002) referenciado por Melgarejo *et al* (2010)).

Ferrarotto (2003) precisa que las plantas que acumulan más prolina en periodos cortos de tiempo tienen una mayor capacidad de recuperación ante condiciones de estrés que aquellas que lo hacen en periodos más prolongados. Especies más tolerantes al estrés hídrico, incrementaran su contenido de prolina libre a niveles más altos de forma más lenta que las plantas menos tolerantes o más sensibles.

Bokhari *et al* (1985) indican que: “El aumento en la concentración de prolina en plantas con estrés hídrico se dará por la inhibición de la oxidación de la prolina o la desnaturalización de proteínas. En algunas plantas la concentración de prolina aumenta debido a un incremento en la tasa de biosíntesis de los precursores de la misma”.

Por otro lado, De la Cruz-Guzman *et al* (2009) precisan que: “La acumulación de prolina podría estar relacionada con la disminución del potencial hídrico y, por consiguiente, la absorción de agua”.

Boggess *et al* (1976) refieren que a pesar de que se han reportado que varias plantas acumulen prolina libre durante el estrés hídrico, los cambios bioquímicos relacionados con estrés hídrico y la acumulación de prolina no está del todo dilucidado.

El resultado del experimento por Boggess *et al* (1976) indican que, si la síntesis de prolina es incrementada por el estrés hídrico, es por el rango de formación de P5C y no la reducción a prolina que aumenta. Es posible que el incremento en el contenido de enzimas de tejido estresado (lo cual es interesante de por sí) no sea un factor casual en la acumulación de prolina.

Sin embargo, se plantea la posibilidad que las plantas puedan diferir en el mecanismo bioquímico por el cual cada una de ellas acumulan prolina; alternativamente, sales y tratamiento de ABA puede diferir de la desecación en la secuencia de eventos que conducen a la acumulación de prolina.

2.7.4. Respuestas del amaranto al estrés hídrico

Kauffman *et al* (1990) sugieren que el grano de amaranto es tolerante a la sequía en estados tardíos de crecimiento.

Weber *et al* (1988) señalan que: “El amaranto parece tener usos únicos en áreas donde las personas de campo tienen opciones limitadas, sobre todo en lo que se refiere a la lluvia. Por su característica de tolerancia a la sequía la convierte en una opción de cultivo competitivo para zonas semi-áridas. En zonas con facilidades de irrigación, el amaranto se presenta como una alternativa de cultivo para reducir costos”, ambos autores coinciden, basados en sus experiencias de la capacidad de tolerancia a la sequía del amaranto.

El amaranto es tolerante a la sequía y crece mejor en climas calientes y secos. Es una planta con metabolismo C4 en fotosíntesis como el maíz y por su variabilidad en días luz tiene un gran potencial para adaptarse en muchas y variadas regiones del mundo. Bressani (1994).

En un estudio realizado por Ferraroto (2010) indica que: “Al comparar la respuesta de *A. dubius* y *A. cruentus* al déficit hídrico se encontró diferencias entre ambas especies. *A. dubius* resultó más afectada por la suspensión del riego a los 225 días después de siembra al evidenciar una reducción significativa del área foliar y la biomasa del sistema radical más tempranamente que *A. cruentus*, así como un acortamiento de su ciclo con incrementos en la tasa de asimilación neta como estrategia adaptativa a condiciones de déficit hídrico”.

a) Mecanismos específicos de evasión y tolerancia del Amaranto al estrés por sequia

Omami *et al* (2006) indica que, por su alto valor nutritivo y una amplia adaptación a diversos entornos, el amaranto se ha considerado un cultivo prometedor para tierras marginales y regiones semiáridas.

Whitehead y Singh (1992) referenciado por Omami *et al* (2006) describieron esta especie como tolerante a la sequía con la capacidad de adaptarse a poca humedad. Realizaron experimentos comparativos de la tolerancia a la sequía y la respuesta fisiológica al agua del suelo en ocho cultivos diferentes y señalan que las plantas de amaranto tienen una capacidad asombrosa para recuperarse después de un período de estrés por sequía severa (Myers, 1996) referenciado por Omami *et al* (2006).

Se indicó que la tolerancia al estrés hídrico del amaranto podría deberse a su capacidad de detener la transpiración a través de marchitez y a su rápida y fácil recuperación cuando hay

humedad disponible. El amaranto con estrés hídrico presentó de raíces más grandes que probablemente optimicen la absorción de agua al explorar un mayor volumen de suelo.

Varios estudios han sugerido que el ajuste osmótico después del estrés por déficit hídrico mejora la turgencia celular y posteriormente ayuda a la recuperación del crecimiento (Morgan, 1984; Turner, 1986) referenciado por Omami *et al* (2006). Ludlow y Muchow (1988) referenciado por Omami *et al* (2006), señalan que, las plantas que exhiben un ajuste osmótico pueden tener una ventaja por su mayor capacidad de extracción de agua, sin embargo, la extracción continua de agua por estas plantas podría agotar el suministro de agua del suelo y contribuir a la deshidratación prematura del mismo.

Jomo *et al* (2015) describen que la etapa vegetativa es la etapa crítica. Según Ma *et al*, (2006) referenciado por Jomo *et al* (2015), el déficit de agua del suelo durante la etapa de crecimiento vegetativo tiene poco efecto sobre el rendimiento en comparación con el déficit de agua durante la etapa reproductiva.

En el amaranto los efectos del déficit hídrico podrían no depender de su etapa de crecimiento. La aparición de déficit hídrico en la etapa vegetativa definitivamente reducirá el área foliar y materia seca como resultado de la reducción de la expansión de las hojas. Estos efectos del déficit de agua en la etapa vegetativa inhibirán la altura del brote que resulta en una reducción del área foliar, peso seco, número de hojas y diámetro del tallo.

En la experiencia realizada por Jomo *et al* (2015) se evaluó el crecimiento observándose que *Amaranthus albus*, tuvo el mayor índice seguido de *Amaranthus hipocondriacus*, *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus retroflexus*, *Amaranthus blitum*, *Amaranthus spinosus* y *Amaranthus tricolor*.

La reducción en la altura de los brotes se atribuyó a una reducción en turgencia de las células vegetales que afectó la división celular y alargamiento. Se informa que generalmente se inhibió el crecimiento de tallos y hojas en niveles bajos de agua a pesar del mantenimiento completo de la turgencia en las regiones de crecimiento como resultado del ajuste osmótico.

El aumento en el peso seco de la relación raíz-brote fue resultado de la sensibilidad diferencial de la raíz y la producción de biomasa del brote como respuesta al déficit hídrico del suelo. Se puede concluir que es una adaptación al déficit de agua del suelo en la mayoría

plantas que crecen en condiciones áridas en un intento por aumentar la superficie para la absorción de agua mientras se reduce transpiración.

- **Reacción Antioxidante:** Slabbert *et al* (2003) refieren que la disminución de la conductancia estomática durante un estrés de humedad severa resulta en una disminución de CO₂, como resultado de lo cual una alta proporción de la energía luminosa interceptada permanece fotoquímicamente inactiva. Esto conduce a la redirección de electrones normalmente utilizado en la fotosíntesis, y como el oxígeno puede ser el aceptor final de electrones, a la formación de superóxido tóxico.
- **Preservación de la turgencia:** Slabbert *et al* (2003) refieren que la desecación celular, caracterizada por menor turgencia (RWC) y potencial de agua foliar (LWP), altera el metabolismo y el crecimiento. Valores bajos de RWC y LWP coinciden con una menor actividad fotosintética y disminución del área foliar durante el estrés por sequía severo.

Mecanismos a nivel de toda la planta, como la disminución del crecimiento, área y número de hojas así también aumento del área de raíces / brotes, que contribuyen al ajuste osmótico, permitiendo evitar la desecación y el daño celular.

El amaranto modula el área foliar, ajustando la cantidad de pérdida de agua desde la parte superior de la planta lo que le permite abastecerse efectivamente por el agua del suelo existente. Ajuste del tamaño de la hoja permite un control sobre uso del agua y puede ayudar a evitar la desecación bajo condiciones severas de estrés por sequía.

La reparación y restauración tras la rehidratación es fundamental, pero componente a menudo descuidado de la tolerancia a la desecación. Las tres especies muestran tasas de recuperación muy rápidas cuando se vuelven a regar después haber sido sometido a un estrés por sequía severo. Esta es una ventaja fisiológica en áreas de intermitentes o esporádicas lluvias.

- **Preservación de la turgencia:** Slabbert *et al* (2003) refieren que la desecación celular, caracterizada por menor turgencia (RWC) y potencial de agua foliar (LWP), altera el metabolismo y el crecimiento. Valores bajos de RWC y LWP coinciden con una menor actividad fotosintética y disminución del área foliar durante el estrés por sequía severo.

Mecanismos a nivel de toda la planta, como la disminución del crecimiento, área y número de hojas así también aumento del área de raíces / brotes, que contribuyen al ajuste osmótico, permitiendo evitar la desecación y el daño celular.

El amaranto modula el área foliar, ajustando la cantidad de pérdida de agua desde la parte superior de la planta lo que le permite abastecerse efectivamente por el agua del suelo existente. Ajuste del tamaño de la hoja permite un control sobre uso del agua y puede ayudar a evitar la desecación bajo condiciones severas de estrés por sequía.

La reparación y restauración tras la rehidratación es fundamental, pero componente a menudo descuidado de la tolerancia a la desecación. Las tres especies muestran tasas de recuperación muy rápidas cuando se vuelven a regar después haber sido sometido a un estrés por sequía severo. Esta es una ventaja fisiológica en áreas de intermitentes o esporádicas lluvias.

- **Estabilidad de la membrana:** La incapacidad de las membranas para retener y transportar selectivamente los solutos celulares es un parámetro de la función de la membrana celular. La estabilidad de la membrana celular (CMS) y la reducción cloruro de trifeniltetrazolio (TTC) son indicativos que se utilizan para indicar el grado de fuga de electrolitos celulares y por lo tanto del daño de la membrana celular. *A. tricolor* mantiene un CMS más alto durante un déficit de agua severo, mientras que *A. hypocondriacus* muestra el mayor porcentaje de daño de la membrana durante el déficit de agua.

Aunque reducción de cloruro de trifeniltetrazolio (TTC) en plantas de invernadero indicó que las especies de *Amaranthus* son sensibles a la sequía y al calor, las diferencias en la tolerancia / sensibilidad a la sequía y al calor entre *A. tricolor* y *A. hypocondriacus* no siempre fue estadísticamente significativo. Debido al alto nivel de la desviación entre los tratamientos obtenidos, no se recomienda esta prueba para probar la tolerancia a la sequía y al calor en plantas de invernadero de amaranto.

- **Osmoprotección:** El análisis de la acumulación de prolina es un método para evaluar la tolerancia a la sequía de los diferentes genotipos. Hay diferencias en el momento de la acumulación de prolina, así como en la cantidad acumulada como resultado del déficit hídrico severo observado.

Algunos autores afirman que la alta producción de prolina es una indicación de tolerancia al estrés por humedad. Sin embargo, algunos autores consideran que las mayores concentraciones de prolina durante la sequía son un signo de bajo RWC y LWP, y por lo tanto muestran la sensibilidad en lugar de la tolerancia al déficit hídrico.

- **Capacidad de enraizamiento y tolerancia temprana a la sequía:** Slabbert *et al* (2003) refieren que, en el amaranto, la proporción del área raíz / brote parece ser un criterio importante de medir la tolerancia a la sequía que simplemente indicar la presencia de un gran sistema de raíces.

Las plantas tolerantes a la sequía generalmente se asocian con un sistema de raíces bien desarrollado, pero las raíces profundas, así como superficiales pueden ser afectadas por las condiciones edáficas y climáticas. Cambios en la tolerancia al déficit de agua en la planta probablemente también juegan un papel en el mantenimiento de RWC y LWP, en lugar de solo características de enraizamiento.

III. MATERIALES Y METODOS

3.1. MATERIALES

3.1.1. Ubicación de la zona experimental

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

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

3.1.2. Análisis de suelo

Los suelos de la Molina se ubican en una terraza media de origen aluvial. Para la caracterización fisicoquímica del suelo donde se llevó a cabo el experimento, se realizó un muestreo de este. El análisis se llevó a cabo en el laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Universidad Nacional Agraria la Molina. Los resultados se presentan en ANEXO- 1.

El suelo presenta una textura franco arcilloso arenoso con porcentajes de 51%, 26% y 23% de arena, limo y arcilla respectivamente, posee baja capacidad de retención de agua, alta velocidad de infiltración y drenaje, razones por las que los riegos deben ser más frecuentes.

El pH es ligeramente alcalino (pH=8.10); según el valor de la conductividad eléctrica (0.67 dS/m) lo clasifica como un suelo moderadamente salino. El porcentaje de materia orgánica es bajo (1.51%), por lo que la cantidad de nitrógeno en el suelo es limitada a su vez posee un contenido bajo de calcáreo total (1%).

La capacidad de intercambio catiónico (CIC) es de 15,36 lo que indica que la fertilidad potencial del suelo es baja. Con respecto a los cationes, la relación catiónica K/Mg fue de 0.36 meq/100g de suelo y el de Ca/Mg fue 9.64 meq/100g de suelo, respectivamente.

3.1.3. Características climatológicas de la zona

El distrito de la Molina presenta condiciones estándar de la costa central, caracterizado por un clima templado cálido. Esta zona está clasificada como un desierto subtropical árido caluroso. Se recabaron las temperaturas promedio de cada hora a lo largo de todo el ciclo del cultivo (agosto 2017 – diciembre 2017). En la Figura 1 y Tabla N° 1, la data meteorológica (Heliofania, Temperatura máxima (°C), Temperatura mínima (°C), Humedad Relativa Máxima (%) y Humedad Relativa Mínima (%)) se obtuvieron de una estación meteorológica automática de precisión marca DAVIS, la cual determina las temperaturas máximas, mínimas y promedio de cada hora, además de otras variables climáticas. Este equipo se encuentra en la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM.

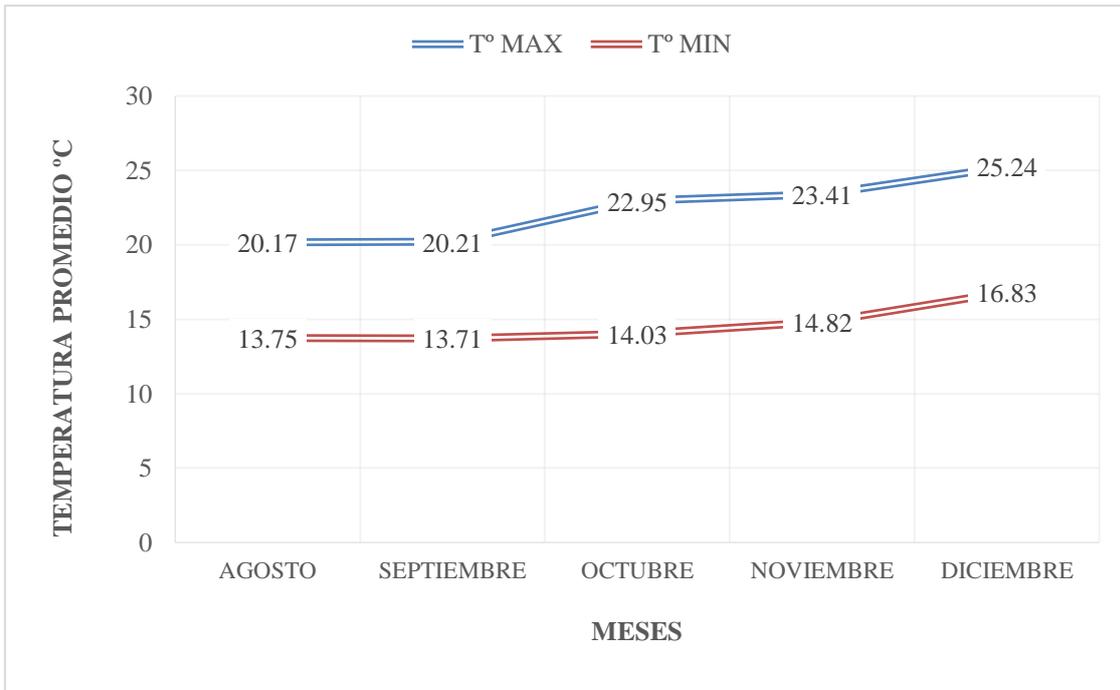


Figura N° 1: Variación mensual de la temperatura máxima y mínima promedio durante el período agosto - diciembre 2017 en La Molina.

Tabla N° 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 |

Fuente: Observatorio “Alexander Von Humboldt” – UNALM

3.1.4. Material genético

Se utilizaron los siguientes genotipos:

- Dos variedades comerciales (testigos): CICA (variedad comercial) y CENTENARIO (variedad comercial mutante desarrollada por la Universidad Nacional Agraria La Molina).
- Ocho líneas mutantes del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM: CICA 36, CICA 54, CICA 89, CICA 108, CICA 109, CICA 117, CICA 133 y CICA 145. Las líneas fueron desarrolladas mediante la irradiación con rayos gamma de semillas secas de la variedad comercial CICA desarrollada por la Universidad San Antonio Abad del Cusco

3.1.5. 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, entre otras herramientas de campo.

3.1.6. Materiales de laboratorio

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 y otros materiales de vidrio.

3.1.7. Equipos de laboratorio

- Balanza electrónica 5.1 kg máximo marca Mettler Toledo
- Balanza de precisión 0.0001 g mínimo marca Mettler Toledo (+/- 0.0001 g).

- Espectrofotómetro Thermo Spectronic (Rochester, NY, Estados Unidos). Para las pruebas de determinación de prolina.
- Determinador de proteína- INFRATEC
- Contador de granos.

3.1.8. Reactivos de laboratorio

- 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

3.2. METODOLOGÍA

3.2.1. Características del campo experimental

El experimento se instaló en dos unidades experimentales independientes, donde el agua fue proporcionada por medio de un sistema de riego por goteo. La siembra se realizó el día 03 de agosto de 2017.

- **Área 1:** Ambiente Testigo (Riego continuo): Se suministro agua en cantidades requeridas para el desarrollo fisiológico del cultivo desde siembra hasta la fase de madurez fisiológica.
- **Área 2:** Ambiente de Estrés Hídrico: estrés hídrico terminal se aplicó en plantas con inflorescencias en el estado de floración no recibiendo riego adicional durante el ciclo de cultivo.

Ambas unidades experimentales fueron sembradas el mismo día, las evaluaciones agronómicas y fisiológicas se realizaron de forma continua (semanal) en las dos áreas. La cosecha se realizó en cada parcela, teniendo en cuenta el estado de grano rayable con la uña (20% de humedad del grano). La distribución de las unidades experimentales y de las variedades dentro de los experimentos se presenta en la Figura N°2. Las características del campo experimental fueron las siguientes:

- **Área de la parcela: 12.8 m²**
 - N° de surcos: 3
 - Distanciamiento entre surcos: 0.8 m
 - Longitud de parcela: 4 m
 - Ancho de parcela: 3.2 m

- **Área por unidad experimental: 384 m²**
 - N° de bloques (repeticiones): 10

- **Área del campo experimental: 768 m²**
 - N° de unidades experimentales: 2

Figura N° 2: Distribución de las parcelas

| | 3.2 m | 0.8 m | 3.2 m | 0.8 m | 3.2 m |
|-----|-------|-------|-------|-------|-------|
| 4 m | 110 | | 201 | | 310 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 109 | | 202 | | 309 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 108 | | 203 | | 308 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 107 | | 204 | | 307 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 106 | | 205 | | 306 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 105 | | 206 | | 305 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 104 | | 207 | | 304 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 103 | | 208 | | 303 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 102 | | 209 | | 302 |
| | 0.8 m | | | | |
| 4 m | 101 | | 210 | | 301 |
| | 0.8 m | | | | |

3.2.2. Manejo del cultivo

El cronograma propio de las actividades se detalla en el Cuadro N° 3

- **Preparación del terreno:** Se realizó de la forma regular o convencional a la de cualquier terreno en la costa central, después de un cultivo de quinua.
- **Siembra:** Se realizó de forma manual a chorro continuo en el área denominada costilla del surco, cerca de la cinta de riego. Esta labor se realizó el 03 de agosto de 2017, la densidad de siembra fue 5 kg/ha para todas las accesiones. El distanciamiento entre surcos fue de 0.8 m. Al momento del tapado se trató de que las semillas mantuvieran 2 cm de profundidad aproximadamente.
- **Desahije:** Se realizó cuando las plantas presentaron 3 pares de hojas verdaderas, dejando una distancia aproximada de 2 cm entre planta y planta.
- **Control de Malezas:** Se realizó de forma manual y en simultáneo con el desahije y durante el ciclo del cultivo.
- **Aporque:** Se realizó cuando las plantas alcanzaron una altura aproximada de 40 – 50 cm de altura, lo cual permitió una mayor fijación de las plantas y controlar las malezas que crecieron entre surcos.
- **Riegos:** Este se realizó por medio de un sistema de riego por goteo. El riego de machaco se hizo para optimizar las condiciones hídricas para la germinación de las semillas. La programación de los riegos se detalla en el anexo 1.
- **Control Fitosanitario:** Se realizó el control químico para plagas y enfermedades. Las plagas encontradas fueron gusanos comedores de follaje como *Spodoptera* sp., mosca minadora (*Lyriomyza* sp.), áfidos (*Macrosiphum euphorbiae*) y chinches (*Liorhyssus hyalinus*).

- **Cosecha:** Se realizo de forma manual, se segaron las plantas de todos los tratamientos a ras del suelo para posteriormente pesarlas, trillarlas y dejar secarlas completamente.

3.2.3. Cronograma de actividades

Las labores agronómicas realizadas durante el experimento se muestran en la siguiente tabla.

Tabla N° 2: Cronograma de actividades de campo realizadas en el desarrollo de la investigación en condiciones de La Molina - 2017

| FECHA | LABOR |
|-------------------|---|
| 31/07/2017 | Instalación de las cintas de riego |
| 01/08/2017 | Control fitosanitario: Carbendazim, Lignophos, Acid Color |
| 03/08/2017 | Siembra y 1er riego |
| 10/08/2017 | Control fitosanitario: Botrizim (250 cc/15 l), Kalex (250 cc/15 l), SaltpH (50 cc/15 l), Sulfato de Cu pentahidratado (500 ml/cil) |
| 14/08/2017 | Control fitosanitario: Botrizim (250 cc/15 l), Kalex (250 cc/15 l), CipermeX (100 cc/15 l), SaltpH (50 cc/15 l) Sulfato de Cu pentahidratado (500 ml/cil) |
| 21/08/2017 | Desahije |
| 31/08/2017 | Colocación de trampas amarillas |
| 05/09/2017 | Control fitosanitario: Botrizim (250 cc/15 l), Kalex (250 cc/15 l), SaltpH (50 cc/15 l), Sulfato de Cu pentahidratado (500 ml/cil) |
| 13/09/2017 | Control fitosanitario: Botrizim (250 cc/15 l), Kalex (250 cc/15 l), SaltpH (50 cc/15 l), Sulfato de Cu pentahidratado (500 ml/cil) |
| 18/09/2017 | Aporque |
| 19/09/2017 | Control fitosanitario: Absolute (15 cc/25 l), Feno Cu-Nutrimax (70 gr/25 l), SaltpH (10 cc/25 l) |
| 02/10/2017 | Control fitosanitario: Absolute (15 cc/25 l), Feno Cu-Nutrimax (70 gr/25 l), SaltpH (10 cc/25 l) |
| 05/10/2017 | Control fitosanitario: Infinito (Propamocarb HCl y Fluopicolide (100 cc/25 l), SaltpH (10 cc/25 l) |
| 11/10/2017 | Control fitosanitario: Infinito (Propamocarb HCl y Fluopicolide (100 cc/25 l), CipermeX (50 cc/15 l), SaltpH (10 cc/25 l) |

18/10/2017 Control fitosanitario: Confidor (50 cc/25 l), SaltpH (10 cc/25 l)

27/10/2017 Control fitosanitario: Absolute (20 cc/25 l), Infinito (100 cc/25 l), SaltpH (10 cc/25 l)

08/11/2017 Control fitosanitario: Lannate (30 gr/25 l), SaltpH (10 cc/25 l)

05/12/2017 Cosecha

3.2.4. Diseño experimental

Cada experimento fue establecido en un diseño de bloques completos al azar con tres repeticiones y 10 tratamientos (genotipos), dando un total de 30 unidades experimentales en cada experimento.

Se realizaron análisis de varianza y análisis combinado para los caracteres evaluados (Días a la floración, días a la madurez, altura de planta, biomasa, rendimiento, índice de cosecha, porcentaje de proteína en el grano, peso de mil granos y contenido de prolina libre), así también se realizó la prueba de homogeneidad de varianza.

a) Modelo Aditivo Lineal

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

Dónde:

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

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.

b) Modelo aditivo lineal para el análisis combinado

$$Y_{ijk} = \mu + B_j(k)T_i + a_k + (T_a)_{ik} + e_{ijk}$$

Dónde:

$i = 1, 2, \dots, 10$ (Genotipos) $j = 1, 2, \dots, n_i$ (repeticiones)

$k = 1, 2$ (Método de riego)

Y_{ijk} = Observado en el i -ésimo genotipo 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.

$(Ta)_{ik}$ = 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 del cultivo:** Tras un tratamiento postcosecha (trilla, limpieza, venteo), se midió con precisión la masa de los granos obtenidos en cada parcela, la cual fue expresada 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:

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

- **Altura de planta (cm):** Se midió una planta representativa por cada parcela, el día de cosecha, desde la base de la planta hasta el punto apical de la panoja.
- **Biomasa aérea:** Se realizó al momento de la cosecha, se cortaron de cada parcela a la altura del cuello de las plantas y se determinó el peso fresco. Luego se calculó

la biomasa de cada surco de cada parcela experimental. Para el análisis estadístico se tomaron los valores del primer surco y se estimó en kg/ha de materia seca.

- **Días a la floración:** Son el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de plantas de cada parcela presentó la apertura de flores de la inflorescencia.
- **Días a la maduración:** Son el número de días transcurridos desde la fecha de siembra hasta que el 50 por ciento de plantas de cada parcela presentó el estado de grano pastoso rayable con la uña.

3.3.2. Variables de calidad de grano

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

- **Porcentaje de proteína en el grano:** Se realizó por medio del equipo Infratec 1241 – Grain analyzer, la cual genera estimaciones a través de un método no destructivo.
- **Peso de mil granos (g):** Se realizó un conteo manual de mil granos y se pesó utilizando una balanza de precisión marca Mettler Toledo (+/- 0.0001 g).

3.3.3. Variables fisiológicas

- **Contenido de prolina libre:** Se realizaron dos tomas de muestras previo y post aplicación de estrés hídrico por cada una de las unidades de estudio, siendo cuatro las tomas realizadas en total. Se extrajeron muestras de hojas de cada parcela estas fueron empacadas en papel aluminio y luego almacenadas en tubos de polipropileno tipo Falcon (de 50 ml marca IsoLab), posteriormente colocados en un contenedor con nitrógeno líquido para su preservación.

Todas las muestras fueron posteriormente almacenadas en un congelador a -70 °C (esta temperatura es necesaria para inactivar cualquier ruta metabólica en la hoja). En el laboratorio se realizó la medición del contenido de prolina libre de cada una de las muestras se procedió con la metodología de Bates *et al.* (1973).

De las muestras obtenidas se extrajo 0.5 g aproximadamente, se molió con ayuda de un mortero y se agregó 3 ml de ácido sulfosalicílico 3% (p/v) en frío hasta lograr una pasta fina y homogénea. Se procedió a tomar 2 ml de muestra y se centrifugó a 13000 rpm por 10 min, se extrajo el sobrenadante en un tubo eppendorf y se volvió a centrifugar por 10 minutos de esta muestra se extrajo 1 ml del sobrenadante, se le agregó 1 ml de ninhidrina 0.1 M y 1 ml de ácido acético glacial concentrado.

La solución resultante fue mezclada en un agitador vortex por espacio de 20 s, tras lo cual se llevó a baño María por espacio de una hora. La reacción fue detenida rápidamente con hielo, dejando reposar las muestras por 10 min. Posteriormente, se agregó 3 ml de tolueno para extraer el complejo cromóforo-prolina y se mezcló en el agitador vortex por 60 s.

Por último, se tomó la fase superior para ser leída en el espectrofotómetro Genezi a una absorbancia de 520 nm usando como blanco el tolueno. Nos refiere Melgarejo *et al* (2010) que: “el contenido de prolina detectable por esta metodología; se expresa el contenido: μg prolina/g material vegetal fresco ($\mu\text{g/g}$)”.

El contenido de prolina fue calculado a partir de una curva de calibración con L-Prolina (Figura 3) que se obtuvo de leer muestras de prolina purificada en el espectrofotómetro, se realizó la siguiente tabla.

Tabla N° 3: Siete muestras de prolina purificada (ug prolina/ug muestra) con sus respectivas absorbancias promedios.

| Prolina (µg prolina/µg 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 |

$$Y = 5.7743X + 0.0631$$

$$R^2 = 0.9894$$

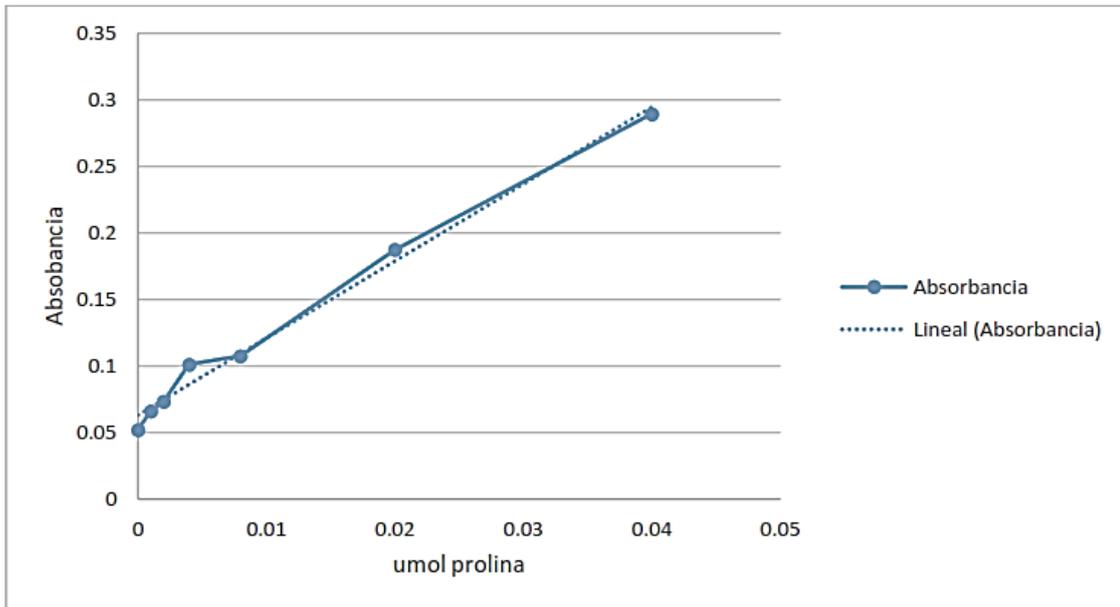


Figura N° 3: Curva estándar de prolina

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. OBJETIVO 1:

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN LOS CARACTERES AGRONÓMICOS Y LA CALIDAD DE LÍNEAS MUTANTES

4.1.1. Variables agronómicas

En la Tabla N° 4 se presentan los resultados del ANVA para el ambiente estrés hídrico (riego deficitario) se puede apreciar que hubo diferencias significativas para repeticiones en las variables rendimiento, altura de planta y biomasa. Para genotipos se observó diferencias significativas para altura de planta, floración, índice de cosecha y peso de mil granos. Los valores del coeficiente de variación para rendimiento, altura de planta, biomasa, floración, maduración y biomasa fueron: 24.065%, 8.468%, 17.120%, 1.71%, 3.79% y 9.219%, respectivamente.

Los índices del ANVA para el ambiente control (riego deficitario), se muestran en la Tabla N° 5. Se puede apreciar para repetición significación estadística en las variables rendimiento y biomasa y para genotipos significación para índice de cosecha. Los valores del coeficiente de variación para rendimiento, altura de planta, biomasa, días a la floración, días a la madurez e índice de cosecha fueron: 13.595%, 5.703%, 12.080%, 0.70%, 2.76%, 6.516%, 6.579% y 5.212% respectivamente.

En la Tabla N° 6 se presentan los valores medios observados para los caracteres agronómicos evaluados en los dos ambientes estudiados. La prueba de significación Duncan $\alpha= 0.05$ aplicada en el análisis de estos datos muestra que hay diferencias significativas para todas las variables evaluadas a excepción de biomasa en el ambiente testigo, los días a la floración y días a la maduración en el ambiente de estrés hídrico y en el ambiente testigo.

Para rendimiento de granos se encontró un rango de 1449 kg/ha a 2174 kg/ha para el ambiente estrés hídrico y de 2005 kg/ha a 2701 kg/ha para el ambiente Testigo. Comparado los valores de las líneas mutantes y la variedad CICA o material parental del cual se derivan las líneas mutantes mediante la irradiación con rayos gamma para rendimiento se puede apreciar una mayor tolerancia al estrés hídrico en todas las líneas mutantes que presentan un rango de reducción por estrés hídrico de 1.38 a 40.06% comparado con la variedad CICA con un 46.35% de reducción de rendimiento.

Sobresaliendo las líneas CICA 36 y CICA 54 con una reducción de 6.23% y 1.38%, respectivamente. El testigo comercial Centenario (una variedad mutante) mostro una reducción del 5.39%.

Para altura de planta en el ambiente testigo se encontró un rango de 1.32 a 1.77 m y para el ambiente testigo un rango de 1.78 a 2.01 m. Se puede apreciar una reducción en altura por efecto del estrés hídrico de 0.56% a 29%. El material original CICA presenta una reducción de 21.88% y se puede apreciar líneas mutantes con menor reducción de altura destacando CICA 36 y CICA 54 con 0.56% y 11.94 %; respectivamente. La variedad testigo Centenario presentó una reducción del 12.23%

En biomasa se observan valores en el ambiente de estrés hídrico en un rango de 10156 kg/ha a 17500 kg/ha y en el ambiente testigo de 19427 a 24427 kg/ha. Por efecto del estrés hídrico se aprecia una reducción de 16.62% a 55.22% en biomasa producida. La variedad original presento una reducción de 55.22% y las líneas mutantes con mayor tolerancia al estrés hídrico fueron CICA 36 y CICA 54 con 16.62% y 27.21% de reducción en el peso de la biomasa. La variedad Centenario redujo su biomasa en un 26.41%.

Los valores encontrados para días a la floración en el ambiente de estrés hídrico variaron de 64.70 a 68.70 días para el ambiente testigo de 69.67 a 71.0 días. Los días a la floración no fueron muy afectados por el estrés hídrico y no hubo diferencias entre los valores observados y se determinó una reducción de 2.79% a 7.13% en los días a la floración por efecto del estrés hídrico.

El material original CICA tuvo una reducción 4.20% y las líneas mutantes en las que hubo una ligera menor reducción fueron CICA 109, CICA 145 y CICA 54 con 2.79%, 3.24% y 3.79 %; respectivamente. La variedad comercial Centenario tuvo una reducción de 7.13%

La evaluación de la maduración mostró en general valores similares e igualmente no mayormente afectados por el estrés hídrico. El rango para el ambiente testigo vario de 104 -108 y para el ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) un rango de 102 a105 días. El rango de reducción vario de 1.92% a 5.56%. El material original CICA tuvo una reducción de 2.78% y entre las líneas mutantes se aprecia que CICA 54 presenta una reducción igual al material original y CICA 89 una reducción de 1.92%. La variedad Centenario presento un valor de reducción igual a 2.78%

El índice de cosecha varió de 11.80% a 15.39% en el ambiente de estrés hídrico y de 8.78 a 12.07 % en el ambiente testigo. En esta característica se observó para todas las líneas mutantes, CICA material original y la variedad Centenario un incremento en el valor de índice de cosecha en el ambiente de estrés hídrico. El porcentaje de incremento vario de 8.6% a 46.54%.

La línea mutante CICA 89 es la que presento el mayor incremento en esta variable evaluada igual a 46.54% y el material original tuvo un valor de 20.74% de incremento. La variedad Centenario tuvo un incremento de 27.01%. Probablemente se deba a una mayor pérdida de follaje o hojas y menor disminución en la cantidad de granos producidos en el total de la biomasa por efecto del estrés hídrico

Tabla N° 4: Cuadrados Medios del ANVA de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente de Estrés Hídrico (Riego deficitario) - La Molina 2017

| Fuente de variación | G.L. | Rendimiento (kg/ha) | Altura de planta (m) | Biomasa (kg/ha) | Floración | Madurez | Índice de cosecha | Proteínas | 1000 granos |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------|--------------------------|------------------|--------------------|
| Repeticiones | 2 | 0.91845303* | 0.1177 ** | 46775543.1 ** | 4.300 | 24.300 | 1.1755 | 16.179** | 0.0006 |
| Genotipos | 9 | 0.24896 | 0.077** | 16885239.60 | 3.959* | 7.200 | 4.21658734 * | 1.303 | 0.01228818** |
| Error | 18 | 0.18292 | 0.017 | 4872493.00 | 1.337 | 15.300 | 1.5958 | 0.827 | 0.0017 |
| Total | 29 | | | | | | | | |
| C.V. (%) | | 24.065 | 8.468 | 17.120 | 1.71 | 3.79 | 9.219 | 6.938 | 5.041 |
| Media | | 1.777 | 1.565 | 12893.320 | 67.70 | 103.20 | 13.702 | 13.107 | 0.826 |

$\alpha = 0.001$, hay diferencias altamente significativas entre tratamientos.

Tabla N° 5: Cuadrados Medios del ANVA de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) - La Molina 2017

| Fuente de variación | G.L. | Rendimiento (kg/ha) | Altura de planta (m) | Biomasa (kg/ha) | Floración | Madurez | Índice de cosecha | Proteínas | 1000 granos |
|----------------------------|-------------|----------------------------|-----------------------------|------------------------|------------------|----------------|--------------------------|------------------|--------------------|
| Repeticiones | 2 | 0.67481853** | 0.030 | 73167317.7 ** | 0.133 | 30.000 | 0.766 | 11.319 | 0.001 |
| Genotipos | 9 | 0.162 | 0.024 | 7096105.50 | 0.522 | 5.866 | 3.164** | 1.320 | 0.005 |
| Error | 18 | 0.103 | 0.012 | 7101056.00 | 0.244 | 8.666 | 0.491 | 0.817 | 0.002 |
| Total | 29 | | | | | | | | |
| C.V. (%) | | 13.595 | 5.703 | 12.080 | 0.70 | 2.76 | 6.516 | 6.579 | 5.212 |
| Media | | 2.364 | 1.913 | 22059.900 | 70.77 | 106.80 | 10.752 | 13.739 | 0.850 |

$\alpha = 0.001$, hay diferencias altamente significativas entre tratamientos.

Tabla N°6: Valores Medios de los Caracteres Agronómicos de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y en un ambiente de Estrés hídrico - La Molina 2017

| Genotipos | Rendimiento (kg/ha) | | | Altura de planta (m) | | | Biomasa (kg/ha) | | | Floración (días) | | | Madurez (días) | | | Índice de cosecha (%) | | |
|------------|---------------------|----------------|-------------|----------------------|----------------|-------------|-----------------|----------------|-------------|------------------|----------------|-------------|----------------|----------------|-------------|-----------------------|----------------|--------------|
| | Testigo | Estrés hídrico | % reducción | Testigo | Estrés hídrico | % reducción | Testigo | Estrés hídrico | % reducción | Testigo | Estrés hídrico | % reducción | Testigo | Estrés hídrico | % reducción | Testigo | Estrés hídrico | % incremento |
| CICA 36 | 2318.7ab | 2174.3 ab | 6.23 | 1.78 c | 1.77 a | 0.56 | 20990 a | 17500 a | 16.62 | 71.00 a | 68.00 a | 4.23 | 106.00 a | 102.00 a | 3.77 | 11.01 abc | 12.25 b | 11.26 |
| CICA 54 | 2005.3 b | 1977.7 ab | 1.38 | 2.01 a | 1.77 a | 11.94 | 22969 a | 16719 ab | 27.21 | 70.67 a | 68.30 a | 3.79 | 108.00 a | 105.00 a | 2.78 | 8.78 d | 11.80 b | 34.4 |
| CICA 89 | 2183.7 ab | 1610.7 ab | 26.24 | 1.87 abc | 1.40 cd | 25.13 | 21589 a | 10833 dc | 49.82 | 71.00 a | 68.00 a | 4.23 | 104.00 a | 102.00 a | 1.92 | 10.12 c | 14.83 a | 46.54 |
| CICA 108 | 2249.0 ab | 1566.0 ab | 30.37 | 1.82 bc | 1.32 d | 27.47 | 19427 a | 10156 d | 47.72 | 71.00 a | 67.70 a | 4.65 | 108.00 a | 105.00 a | 2.78 | 11.71 ab | 15.39 a | 31.43 |
| CICA 109 | 2660.9 a | 1595.0 ab | 40.06 | 1.87 abc | 1.57 abcd | 16.04 | 22396 a | 12344 dc | 44.88 | 70.67 a | 68.70 a | 2.79 | 106.00 a | 102.00 a | 3.77 | 11.86 a | 12.88 ab | 8.6 |
| CICA 117 | 2563.7 ab | 1616.3 ab | 36.95 | 2.00 ab | 1.42 cd | 29.00 | 23724 a | 11771 dc | 50.38 | 71.00 a | 68.00 a | 4.23 | 106.00 a | 102.00 a | 3.77 | 10.78 abc | 13.68 ab | 26.9 |
| CICA 133 | 2119.3 ab | 1659.7 ab | 21.69 | 1.92 abc | 1.53 abcd | 20.31 | 21927 a | 12188 dc | 44.42 | 71.00 a | 67.30 a | 5.21 | 106.00 a | 102.00 a | 3.77 | 9.70 dc | 13.48 ab | 38.97 |
| CICA 145 | 2382.0 ab | 1803.0 ab | 24.31 | 2.02 ab | 1.73 a | 14.36 | 22839 a | 13073 bdc | 42.76 | 71.00 a | 68.70 a | 3.24 | 108.00 a | 102.00 a | 5.56 | 10.46 bc | 13.57 ab | 29.73 |
| CICA | 2700.7 a | 1449.0 b | 46.35 | 1.92 abc | 1.50 bcd | 21.88 | 24427 a | 10938 dc | 55.22 | 70.67 a | 67.70 a | 4.20 | 108.00 a | 105.00 a | 2.78 | 11.04 abc | 13.33 ab | 20.74 |
| Centenario | 2452.8 ab | 2320.7 a | 5.39 | 1.88 abc | 1.65 abc | 12.23 | 20313 a | 14948 abc | 26.41 | 69.67 a | 64.70 b | 7.13 | 108.00 a | 105.00 a | 2.78 | 12.07 a | 15.33 a | 27.01 |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

4.1.2. Variables de Calidad de Grano

En la Tabla N° 4 se presentan los resultados del ANVA para el ambiente estrés hídrico (riego deficitario) se puede apreciar que hubo diferencias significativas para repeticiones en porcentaje de proteínas. Para genotipos se observó diferencias significativas para peso de mil granos. Los valores del coeficiente de variación para estas proteína y peso de 1000 granos fueron: 6.938% y 5.041%, respectivamente.

Los índices del ANVA para el ambiente control (riego deficitario), se muestran en la Tabla N° 4 y no se encontró significación para las variables de calidad evaluadas. Los valores del coeficiente de variación de proteínas y peso de mil granos fueron: 6.579% y 5.212% respectivamente.

En la Tabla N° 7 se observan los valores de proteína de granos y el peso de 1000 granos y se puede apreciar que en ambos ambientes para ambas variables hay diferencias en los valores observados (Duncan $\alpha= 0.05$).

Para proteína se encontró un rango de 12.08 % a 14.32% en el ambiente de estrés hídrico y de 12.81 a 14.68 % para el ambiente testigo. Se observó reducción en el contenido de proteína en los granos por efecto del estrés hídrico para la mayor parte de las líneas mutantes, el material original y la variedad Centenario en un rango de 2.1% a 9.31% y también un ligero incremento en el contenido de granos para las líneas mutantes CICA 36 y CICA 145 en el ambiente de estrés hídrico. El material original CICA tuvo una reducción de 2.49% y la variedad comercial Centenario de 8.07% (Tabla N° 7).

Para peso de 1000 granos, variable asociada al tamaño de grano se encontró un rango que varió de 0.75 a 0.95 g en el ambiente de estrés hídrico y de 0.79 a 0.90 g en el ambiente testigo. En esta variable también se aprecia una reducción en el peso de los granos por efecto del estrés hídrico que varió de 1.11% a 12.36 %.

El material original CICA es el que tuvo mayor reducción de peso de 1000 granos y se aprecian mutantes menos afectados por el estrés hídrico como CICA 36 que presenta el mismo peso en los dos ambientes y CICA 54 que tiene un incremento en el peso. La variedad comercial centenario también tuvo un mayor peso de 1000 granos en el ambiente de estrés de sequía (Tabla N° 7).

Tabla N° 7: Valores Medios de los Caracteres de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y en un ambiente de Estrés hídrico - La Molina 2017

| GENOTIPOS | Proteína (%) | | | Peso de 1000 granos (g) | | |
|-------------------|--------------|----------------|-------------|-------------------------|----------------|-------------|
| | TESTIGO | ESTRÉS HÍDRICO | % REDUCCION | TESTIGO | ESTRÉS HÍDRICO | % REDUCCION |
| CICA 36 | 14.68 a | 13.65 ab | 7.02 | 0.82 bcd | 0.82 bc | 0.00 |
| CICA 54 | 14.13 ab | 14.32 a | - 1.34 | 0.86 abcd | 0.88 ab | - 2.33 |
| CICA 89 | 13.64 ab | 13.02 ab | 4.55 | 0.80 cd | 0.75 c | 6.25 |
| CICA 108 | 12.81 b | 12.55 ab | 2.1 | 0.79 d | 0.76 c | 3.80 |
| CICA 109 | 13.41 ab | 12.64 ab | 5.74 | 0.83 abcd | 0.80 c | 3.61 |
| CICA 117 | 14.66 a | 13.40 ab | 8.6 | 0.88 abc | 0.81 bc | 7.95 |
| CICA 133 | 13.32 ab | 12.08 b | 9.31 | 0.87 abcd | 0.83 bc | 4.60 |
| CICA 145 | 12.84 b | 12.97 ab | - 1.01 | 0.90 a | 0.89 ab | 1.11 |
| CICA | 14.03 ab | 13.68 ab | 2.49 | 0.89 ab | 0.78 c | 12.36 |
| CENTENARIO | 13.87 ab | 12.75 ab | 8.07 | 0.87 abcd | 0.95 a | - 9.20 |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

4.1.3. ANÁLISIS COMBINADO

En la Tabla N° 8 se presentan los resultados del ANVA COMBINADO para las variables evaluadas. Para Ambiente se aprecia variación altamente significativa en las variables rendimiento, altura de planta, biomasa, maduración e índice de cosecha. En repetición/ambientes se aprecia diferencias altamente significativas para rendimiento, altura de planta y biomasa. Para genotipos se observa variación significativa para altura de planta e índice de cosecha. Para la interacción ambiente x genotipo se observan variación significativa para altura de planta. El coeficiente de variación fue igual a 18.27%, 6.98%, 14.19%, 1.28%, 3.30% y 8.14% para rendimiento, altura de planta, biomasa, floración, maduración e índice de cosecha respectivamente.

a) Variables Agronómicas

En la Tabla N° 9 se puede observar los valores de las variables agronómicas evaluadas de las líneas mutantes y los testigos referenciales en promedio de los dos ambientes experimentales. La Prueba de Significación Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que solo hay diferencias en los valores de los genotipos en madurez e índice de cosecha.

Para rendimiento se aprecia un rango de 1889 kg/ha a 2387 kg/ha, correspondiendo el valor más alto la variedad comercial Centenario y el valor más bajo a la línea mutante CICA 133. El material Original CICA tuvo un rendimiento promedio a nivel de los dos ambientes igual a 2075 kg/ha siendo superado ligeramente por las líneas mutantes CICA 36 y CICA 109.

Para altura de planta se encontró un rango de 1.57 a 1.92 cm, con el valor más bajo y alto observado en las líneas mutantes CICA 108 y CICA 54, respectivamente. El material original alcanzó una altura de planta igual a 1.71 cm y observándose una reducción mayor a 14 cm en la línea mutantes CICA 108 y de 8 cm en la línea CICA 89. La variedad Centenario en promedio de los dos ambientes alcanzo un valor de 1.77 cm.

En promedio de los dos ambientes el valor de biomasa de los genotipos vario de 14792 kg/ha a 19844 kg/ha. El valor más bajo corresponde a CICA 108 y el más alto a CICA 54. El material original tiene un valor promedio de 17682 kg/ha y las líneas mutantes CICA 36 y CICA 54 tienen valores mayores, pero sin diferencias significativas entre ellos. L variedad Centenario tuvo un valor de biomasa iguala 17630 kg/ha.

Los días transcurridos hasta la floración y maduración de los genotipos en promedio de los dos ambientes vario de 67.17 a 69.83 días y de 103 a 106.5 días; respectivamente. Todas las líneas mutantes alcanzaron la floración y maduración en un periodo similar al material origina CICA. Para madurez el rango observado vario de 103 a 106.5 días. De igual modo las líneas mutantes en general alcanzaron madurez en un periodo similar al material original CICA

El índice de cosecha en promedio de los dos ambientes vario de 10.29% a 13.70%, correspondiendo el valor más bajo a la línea mutante CICA 54 y el valor más alto a la variedad comercial Centenario. La variedad original CICA en promedio presento un valor de 12.19% observándose solo a la línea mutante CICA 108 con un valor mayor igual a 13.55%.

En la Tabla N° 10 se presenta los valores medios de los dos ambientes experimentales en promedio de los 10 genotipos de kiwicha estudiados. Se puede apreciar que la Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra diferencias entre los valores de altura de planta, biomasa, floración e índice de cosecha.

Si observamos los valores se puede apreciar una reducción de ellos en el ambiente estrés hídrico a excepción del índice de cosecha. La reducción para rendimiento, altura de planta, biomasa, días a la floración y días a la madurez fue de 24.82%, 17.80%, 40.77%, 4.33% y de 3.37%; respectivamente. En índice de cosecha se observó un incremento de 27%.

b) Variables de Calidad de Grano

En la Tabla N° 9 se presentan los resultados del ANVA COMBINADO para las variables de calidad evaluadas. Para Ambiente se aprecia variaciones significativas para proteína y peso de mil granos. En repetición/ambientes se aprecia diferencia altamente significativa para proteína. Para genotipos se observa variación significativa para proteína. Para la interacción ambiente x genotipo se observó variación significativa para peso de mil granos. El coeficiente de variación fue igual a 6.76%, y 5.30% para proteína y peso de mil granos; respectivamente.

En la Tabla N°10 se puede observar en promedio de los dos ambientes experimentales que el rango para contenido de proteína de los granos vario de 12.68% a 14.23%. El valor más bajo se observó en las líneas mutantes CICA 108 y el valor más alto en CICA 54. El material original CICA tuvo 13.86% de proteína y las líneas mutantes CICA 36, CICA 54 y CICA 117 tienen

valores de 14.17%, 14.23% y 14.03%. La variedad Centenario tuvo granos con 13.03% de proteína.

En el peso de 1000 granos en promedio de los dos ambientes se encontró un rango de 0.77g a 0.91g. El valor más bajo se identificó en las líneas mutantes CICA 89 y CICA 108 y el valor más alto en la Variedad Centenario. CICA original tuvo 0.83g y cinco las líneas tuvieron valores similares o ligeramente superiores.

En la Tabla N° 11 se presenta los valores medios de los dos ambientes experimentales en promedio de los 10 genotipos de kiwicha estudiados. Se puede apreciar que la Prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra diferencias entre los valores de peso de 1000 granos. Se observó una reducción por efecto del estrés hídrico de 4.59 y 2.94% para proteína y peso de mil granos.

Tabla N° 8: Cuadrados Medios del ANVA combinado de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| FUENTE | GL | RENDIMIENTO | ALTURA | BIOMASA | FLORACION | MADUREZ | INDICE DE | PROTEINAS | 1000 |
|--|-----------|--------------------|---------------|----------------|------------------|----------------|------------------|------------------|---------------|
| VARIACION | | (kg/ha) | PLANTA | (Kg/ha) | | | COSECHA | (%) | GRANOS |
| | | | (m) | | | | (%) | | (g) |
| AMBIENTE | 1 | 5.15856082 ** | 1.82004 ** | 1221336365** | 141.066 | 194.4 ** | 127.843 ** | 5.99136 * | 0.0089 * |
| REP/AMBIENTES | 4 | 0.79663578 ** | 0.074 ** | 56862386** | 2.216 | 27.150 | 1.116 | 13.749 ** | 0.001 |
| GENOTIPOS | 9 | 0.154 | 0.064** | 11909327 | 3.415 | 11.333 | 5.6315392 | 2.182 * | 0.0129 ** |
| | | | | | | | ** | | |
| AMB*GENOTIPOS | 9 | 0.257 | 0.0383* | 14045376* | 1.067 | 1.733 | 1.815 | 0.441 | 0.004 * |
| ERROR | 36 | 0.143 | 0.015 | 6198685 | 0.791 | 11.983 | 0.988 | 0.822 | 0.001 |
| TOTAL | 59 | | | | | | | | |
| COEFICIENTE DE VARIABILIDAD (%) | | 18.269 | 6.979 | 14.187 | 1.284 | 3.297 | 8.141 | 6.755 | 5.130 |
| MEDIA | | 2.070 | 1.739 | 17548.180 | 69.233 | 105.000 | 12.212 | 13.423 | 0.838 |

$\alpha = 0.001$, hay diferencias altamente significativas entre tratamientos

Tabla N° 9: Valores medios de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano de Líneas Mutantes de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en promedio de dos ambientes Testigo o Control (Riego Normal) y de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| GENOTIPOS | RENDIMIENTO (Kg/ha) | ALTURA PLANTA (m) | BIOMASA (Kg/ha) | FLORACION (días) | MADUREZ (días) | INDICE DE COSECHA (%) | PROTEINAS (%) | 1000 GRANOS (g) |
|-------------------|--------------------------------|----------------------------------|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| CICA 36 | 2246.7 a | 1.78a | 19193 a | 69.5 a | 104.0 bc | 11.72 bcd | 14.17 a | 0.82 bc |
| CICA 54 | 1991.5 a | 1.92a | 19844 a | 69.5 a | 106.5 a | 10.29 d | 14.23 a | 0.87 ab |
| CICA 89 | 1897.2 a | 1.63a | 16211 a | 69.5 a | 103.0c | 12.47 abc | 13.33 abc | 0.77 c |
| CICA 108 | 1907.5 a | 1.57a | 14792 a | 69.33 a | 106.5 a | 13.55 ab | 12.68 c | 0.77 c |
| CICA 109 | 2128.0 a | 1.72a | 17370 a | 69.67 a | 104.0 bc | 12.37 abc | 13.03 bc | 0.81 bc |
| CICA 117 | 2090.0 a | 1.71a | 17747 a | 69.5 a | 104.0 bc | 12.23 abc | 14.03 a | 0.84 abc |
| CICA 133 | 1889.5 a | 1.73a | 17057 a | 69.17 a | 104.0 bc | 11.59 cd | 12.70 c | 0.85 abc |
| CICA 145 | 2092.5 a | 1.88a | 17956 a | 69.83 a | 105.0 ab | 12.01 abcd | 12.91 c | 0.89 ab |
| CICA | 2074.8 a | 1.71a | 17682 a | 69.17 a | 106.5 a | 12.19 abcd | 13.86 ab | 0.83 abc |
| CENTENARIO | 2386.8 a | 1.77a | 17630 a | 67.17 a | 106.5 a | 13.70 a | 13.03 abc | 0.91 a |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

Tabla N° 10: Valores Medios de los Caracteres Agronómicos y de Calidad de Grano Bajo un Ambiente de Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) en promedio de 10 genotipos de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) - La Molina 2017

| AMBIENTE | RENDIMIENTO (Kg/ha) | ALTURA DE PLANTA (m) | BIOMASA (Kg/ha) | FLORACION (días) | MADUREZ (días) | INDICE DE COSECHA (%) | PROTEINAS (%) | 1000 GRANOS (g) |
|---------------------------|--------------------------------|---|----------------------------|-----------------------------|---------------------------|--------------------------------------|--------------------------|--------------------------------|
| ESTRÉS HÍDRICO | 1777.0 a | 1.565 b | 13066.0 b | 67.7 b | 103.2 a | 13.702 a | 13.11 a | 0.826 b |
| TESTIGO | 2363.6 a | 1.913 a | 22060.0 a | 70.77 a | 106.8 a | 10.752 b | 13.74 a | 0.851 a |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

4.2. OBJETIVO 2:

DETERMINACIÓN DEL EFECTO DEL ESTRÉS HÍDRICO EN EL CONTENIDO DE PROLINA

4.2.1. Contenido de Prolina libre (μg prolina/ μg muestra)

La prolina se evaluó en dos fases fenológicas: floración (antes del estrés hídrico) y en la fase de anthesis- grano acuoso (estrés hídrico). El análisis del ANVA para el ambiente testigo y estrés hídrico se presenta en la Tabla N°11. Se puede apreciar para el experimento testigo y el experimento de estrés hídrico diferencias altamente significativas a nivel de genotipos en la fecha de la primera determinación.

Los coeficientes de variación para la floración y fecundación-grano acuoso en el experimento testigo fueron 12.17% y de 24.27%; respectivamente. En el tratamiento estrés hídrico los coeficientes de variación para floración y fecundación-grano acuoso fueron 16.89% y 15.981%; respectivamente.

En la Tabla N° 12 se presenta la concentración de prolina en las diferentes líneas mutantes, el material original CICA y el testigo comercial Centenario y se puede apreciar que hubo diferencias significativas en la acumulación de prolina en la primera fecha de evaluación tanto en el experimento testigo y en el experimento de estrés hídrico tal como se demuestra con la prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$).

En el experimento testigo, en la primera fase de evaluación al inicio de floración, se observa en el material genético un contenido de prolina que varía de 0.00000430 a 0.00000687 μg prolina/ μg muestra, correspondiendo el valor bajo a la línea mutante CICA 109 y el valor más alto a la línea mutante CICA 36. El material original CICA tuvo un valor de 0.00000480 μg prolina/ μg muestra.

El testigo comercial Centenario presentó un contenido de 0.00000637 μg prolina/ μg muestra. En la segunda fase de evaluación en fecundación-grano acuoso, en este mismo experimento se observó un rango de contenido de prolina de 0.00000553 a 0.00000710 μg prolina/ μg muestra, en el material parental u original un valor de 0.00000663 μg prolina/ μg muestra y en la variedad comercial Centenario un valor igual a 0.00000660 μg prolina/ μg

muestra. A excepción de la línea mutante CICA 36 todas las líneas presentaron un incremento en su contenido de prolina (Tabla N° 12).

En el experimento de Estrés Hídrico, las líneas mutantes, el material original CICA y la variedad comercial antes de aplicado el estrés hídrico presentaron un contenido de prolina que vario de 0.00000410 a 0.00000983 μg prolina/ μg muestra; el valor más bajo se midió en la variedad comercial Centenario y el valor más alto en las líneas mutantes CICA 36 y CICA 54.

El material original presento un valor de prolina igual a 0.00000443 μg prolina/ μg muestra. Una vez tomadas las muestras en floración se aplicó el estrés hídrico terminal y se encontró un contenido de prolina que varió de 0.00000677 a 0.00000897 μg prolina/ μg muestra. Observando los valores se puede apreciar que con excepción de las líneas mutantes CICA 36 y CICA 54 todas las demás incrementaron su contenido de prolina incluyendo el material original y la variedad comercial Centenario (Tabla N° 12).

Tabla N° 11: Cuadrados Medios del ANVA de Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| FUENTE VARIACION | G L | TESTIGO (µg prolina/µg muestra) | | ESTRÉS HIDRICO (µg prolina/µg muestra) | |
|------------------|-----|---------------------------------|--------------------------|--|--------------------------|
| | | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso |
| REPETICIONES | 2 | 0.0000000000002 | 0.00000000000002 | 0.0000000000004 | 0.0000000000004 |
| GENOTIPOS | 9 | 0.000000000000234 ** | 0.00000000000008 | 0.00000000000131 ** | 0.00000000000002 1 |
| ERROR | 18 | 0.00000000000004 | 0.00000000000024 | 0.00000000000011 | 0.00000000000001 7 |
| TOTAL | 59 | | | | |
| CV (%) | | 12.174 | 24.266 | 16.899 | 15.981 |
| MEDIA | | 0.0000052 | 0.0000064 | 0.0000061 | 0.0000081 |

$\alpha = 0.001$, hay diferencias altamente significativas entre tratamientos

Tabla N° 12: Valores medios de Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un Ambiente de Estrés Hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| GENOTIPOS | TESTIGO (μg prolina/ μg muestra) | | ESTRÉS HIDRICO (μg prolina/ μg muestra) | |
|-------------------|---|--------------------------|--|--------------------------|
| | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso |
| CICA 36 | 6.87e-06 a | 5.97e-06 a | 9.83e-06 a | 8.10e-06 a |
| CICA 54 | 6.03e-06 abc | 7.10e-06 a | 9.83e-06 a | 8.90e-06 a |
| CICA 89 | 5.27e-06 bcd | 6.70e-06 a | 6.27e-06 b | 6.77e-06 a |
| CICA 108 | 4.73e-06 d | 7.07e-06 a | 5.17e-06 bc | 8.30e-06 a |
| CICA 109 | 4.30e-06 d | 5.90e-06 a | 5.73e-06 bc | 7.13e-06 a |
| CICA 117 | 4.73e-06 d | 6.37e-06 a | 5.07e-06 bc | 6.97e-06 a |
| CICA 133 | 4.33e-06 d | 5.53e-06 a | 5.63e-06 bc | 8.97e-06 a |
| CICA 145 | 5.00e-06 dc | 6.27e-06 a | 4.57e-06 bc | 7.90e-06 a |
| CICA | 4.80e-06 d | 6.63e-06 a | 4.43e-06 bc | 8.77e-06 a |
| CENTENARIO | 6.37e-06 ab | 6.60e-06 a | 4.10e-06 c | 8.83e-06 a |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

En la Tabla N° 13 se presenta los resultados del análisis combinado de las evaluaciones del contenido de prolina en los genotipos de kiwicha evaluados en ambos ambientes testigo y el de estrés hídrico. Se puede apreciar que, en la fase de inicio de floración, fase en la que se aplica el estrés hídrico, hubo diferencia estadística significativamente alta para ambiente, genotipos y la interacción ambiente-genotipos y un Coeficiente de Variación igual a 15.099% y una media igual a 0.00000565333 μg prolina/ μg muestra.

Por otro lado, en la fase de fecundación-grano acuoso se encuentra significación estadística altamente significativa solo para ambiente, con un coeficiente de variación igual a 19.74% y una media igual a 0.00000724 μg prolina/ μg muestra.

En la Tabla N° 14 se presentan los valores medios del contenido de prolina observado en promedio de las variedades en los dos ambientes. En el inicio de floración, etapa de aplicación del estrés, se observan diferencias entre los valores de prolina con el valor más bajo e igual a 0.00000524333 en el testigo y con el valor más alto e igual a 0.00000606333 en el experimento con estrés hídrico.

De igual modo en la fase de fecundación-grano acuoso el valor de prolina en las muestras de las plantas fue más bajo en el testigo con un valor de 0.00000641333 μg prolina/ μg muestra y el valor más alto en el ambiente estrés hídrico de 0.00000806333 μg prolina/ μg muestra. En ambas fechas de evaluación de prolina los valores muestran diferencias significativas (Duncan $\alpha= 0.05$).

Comparando los valores de los dos ambientes en ambas fechas de muestreo hay un incremento en el contenido de prolina, siendo mayor para el ambiente de estrés hídrico. El incremento en el testigo probablemente fue originado por otro tipo de estrés no identificado, pero presente en el campo.

En la Tabla N° 15 se presentan los datos del contenido de prolina de las líneas mutantes avanzadas, el material original CICA y la variedad comercial Centenario en promedio de los dos ambientes. En la fase de floración la Prueba de Significación Duncan ($\alpha= 0.05$) muestra que hubo diferencias significativas en el contenido de prolina del material genético observándose el valor más bajo en el material original CICA igual a 0.00000461667 μg prolina/ μg muestra y el valor más alto en la línea mutante CICA 36 igual a 0.00000835 μg prolina/ μg muestra y el testigo centenario tuvo un valor de prolina igual a 0.00000523333 μg prolina/ μg muestra.

En la fase de fecundación-grano acuoso no se aprecian diferencias significativas en los valores de prolina del material genético y el rango observado vario de 0.00000652 μg prolina/ μg muestra a 0.00000800 μg prolina/ μg muestra; ambos valores se encontraron en líneas mutantes. Es importante señalar que con excepción de la línea mutante CICA 36 en todas las líneas, el material original y la variedad Centenario hubo un incremento en el contenido de prolina de la fase de floración a la fase de fecundación- grano acuoso.

Tabla N° 13: Cuadrado Medio del ANVA Combinado del Contenido de Prolina (μg prolina/ μg muestra) en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| FUENTE DE LAS VARIACIONES | GL | Fechas de colecta | |
|---------------------------|----|---|---|
| | | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso |
| | | Prolina (μg prolina/ μg muestra) | Prolina (μg prolina/ μg muestra) |
| AMBIENTE | 1 | 0.000000000010086** | 0.0000000000408** |
| REP/AMBIENTES | 4 | 0.00000000000033 | 0.00000000000247 |
| GENOTIPOS | 9 | 0.00000000001093844** | 0.000000000002 |
| AMB*GENOTIPOS | 9 | 0.000000000004503407** | 0.000000000001 |
| ERROR | 36 | 0.000000000001 | 0.000000000002 |
| TOTAL | | | |
| CV (%) | | 15.099790000000 | 19.738240000000 |
| MEDIA | | 0.000005653330 | 0.000007240000 |

$\alpha = 0.001$, hay diferencias altamente significativas entre tratamientos

Tabla N° 14: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) del Contenido de Prolina (ug prolina/ug muestra) en promedio de variedades en la Fase de Floración y la Fase de Fecundación-Grano Acuoso de Kiwicha (*Amaranthus caudatus*) Bajo un Ambiente Testigo o Control (Riego Normal) y un ambiente de estrés hídrico (riego deficitario) - La Molina 2017

| FECHAS DE COLECTAS | | |
|---------------------------|--|--|
| AMBIENTE | Inicio floración | Fecundación-Grano Acuoso |
| | Prolina (μg prolina/μg muestra) | Prolina (μg prolina/μg muestra) |
| TESTIGO | 0.00000524333 b | 0.00000641333 b |
| ESTRÉS HIDRICO | 0.00000606333 a | 0.00000806333 a |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

Tabla N° 15: Valores medios y prueba de significación Duncan ($\alpha= 0.05$) de contenido de prolina (ug prolina/ug muestra) de diez genotipos de kiwicha (*Amaranthus caudatus*) en dos fases fenológicas en promedio de dos niveles de riego - La Molina 2017

| | Tratamientos | Floración - Prolina (μg prolina/μg muestra) | Fecundación - Prolina (μg prolina/μg muestra) |
|-----------|---------------------|--|--|
| 1 | CICA 36 | 0.00000835 a | 0.00000703333 a |
| 2 | CICA 54 | 0.00000793333 ab | 0.000008 a |
| 3 | CICA 89 | 0.00000576667 abc | 0.00000673333 a |
| 4 | CICA 108 | 0.00000495 bc | 0.00000768333 a |
| 5 | CICA 109 | 0.00000501667 bc | 0.00000651667 a |
| 6 | CICA 117 | 0.0000049 bc | 0.00000666667 a |
| 7 | CICA 133 | 0.00000498333 bc | 0.00000725 a |
| 8 | CICA 145 | 0.00000478333 c | 0.00000708333 a |
| 9 | CICA | 0.00000461667 c | 0.0000077 a |
| 10 | CENTENARIO | 0.00000523333 bc | 0.00000771667 a |

Medias con una misma letra no son significativamente diferentes, según la prueba de Duncan ($\alpha = 0.05$)

La sequía es un estrés abiótico importante responsable de graves pérdidas de cultivos en todo el mundo. El desarrollo de nuevas variedades de cultivos con mayor tolerancia a la sequía es una forma de aumentar la productividad de los cultivos y asegurar la producción de alimentos en zonas marginales de clima y suelo.

Los amarantos son una alternativa importante para solucionar estos factores limitantes para la agricultura por su comprobada tolerancia a altas temperaturas, sequía, suelos pobres en nutrientes (Jacobsen *et al* 2003). Diversos autores reconocen la capacidad de especies de amaranto de prosperar en condiciones marginales de clima y suelo y se informa de su cultivo en campos de agricultura de subsistencia (Palada and Chang, 2003; Achigan-Dake *et al*, 2014; Alemayehu *et al*, 2014).

Esta buena tolerancia a condiciones de sequía y climas calurosos se debe probablemente a su fotosíntesis C4 y se señala que se recuperan muy bien del déficit hídrico reduciendo su transpiración por conservar el agua marchitándose (Luoh *et al*, 2014).

En el Perú tenemos zonas con condiciones ambientales adversas y suelos pobres y en el futuro se requerirán especies para la costa en áreas con alto déficit de agua en condiciones de verano con altas temperaturas por lo que es sumamente importante el desarrollo de variedades de *Amaranthus caudatus* para reducir los impactos negativos del cambio climático.

Una de las técnicas de desarrollo de nuevas variedades es la inducción de mutaciones empleando variedades comerciales con amplia adaptación y valor nutritivo. Considerando lo señalado el objetivo de este estudio fue caracterizar la respuesta de 8 líneas mutantes, el material original o parental (CICA) y la variedad comercial Centenario en condiciones de estrés hídrico aplicado en la fase fenológica de floración.

Los resultados mostraron variación en la respuesta de las líneas mutantes al estrés de sequía identificándose las líneas mutantes CICA36 y CIA 54 con la menor reducción de rendimiento de granos de 1.38 y 6.23%; respectivamente muy por debajo del material original o parental que tuvo una reducción de 46.35%; mostrando la efectividad de la radiación gamma en inducir mutaciones que mejoran la tolerancia al estrés hídrico.

Resultados similares fueron reportados por Kgang (2010) que evaluó el comportamiento de dos líneas mutantes (N° 2 y N° 5) obtenidas con irradiación gamma (160 Gy) y un testigo

referencial de *Amaranthus tricolor* por tolerancia a la sequía en invernadero en macetas de plástico. Las plantas fueron cultivadas con 21 días de buen riego, 19 días de condiciones de estrés hídrico y 7 días de re-riego. La altura de los brotes, el área foliar, el número de hojas por planta y el contenido de proteínas se redujeron significativamente en condiciones de estrés hídrico.

En condiciones de buen riego, el mutante N. ° 5 creció más rápido con una longitud de brote significativamente mayor que el mutante N. ° 2 y el control. A pesar de que la sequía afectó negativamente la longitud de los brotes, el mutante N. ° 5 aún se desempeñó mejor que el mutante N. ° 2 y el control en condiciones de estrés por sequía. Después de 16 días de condiciones de estrés hídrico, todas las hojas de las plantas del control se secaron y no se recuperó ninguna planta del control después de 8 días de re-riego.

Mientras tanto, las plantas mutantes N° 2 y N° 5 se recuperaron significativamente después de 8 días de re-riego. Slabbert *et al* (2013) evaluaron siete líneas mutantes seleccionadas de amaranto (*Amaranthus tricolor*) fueron evaluadas por su respuesta en tierras secas por rendimiento y pruebas de palatabilidad. La línea mutante de amaranto de mayor rendimiento fue A19, y A5 tuvo el rendimiento más bajo. Hubo muchas diferencias morfológicas entre las líneas mutantes de amaranto.

En muchos experimentos se ha visto en forma general una respuesta diferencial de genotipos de especies de amaranto graníferos o de hojas en diversos estudios de estrés hídrico. Jamalluddin *et al* (2018) estudiaron la respuesta al estrés por sequía de nueve accesiones pertenecientes a *Amaranthus tricolor* y *A. cruentus* y observaron diferencias genotípicas significativas para la tasa de crecimiento y el índice de susceptibilidad al estrés (SSI) y destacan la necesidad de identificar la variación genotípica en la eficiencia del uso del agua en el amaranto.

Ahrar *et al* (2020) observaron la respuesta de tres genotipos forrajeros de amaranto al estrés hídrico y señalan que el genotipo Loura presenta un mejor rendimiento bajo condiciones de estrés leve, el genotipo Cim tiene el mayor rendimiento en condiciones moderadas y condiciones de estrés por sequía severa.

En el presente estudio se evaluó el efecto del estrés hídrico aplicado en la floración en caracteres agronómicos como rendimiento, altura de planta, biomasa, floración, madurez e índice de cosecha y se observó en promedio de los diez genotipos una reducción para

rendimiento, altura de planta, biomasa, días a la floración y días a la madurez fue de 24.82%, 17.80%, 40.77%, 4.33% y de 3.37%; respectivamente y en índice de cosecha se observó un incremento de 27%. Diversos autores informan de resultados similares en diferentes especies de amaranto.

Grobelnik Mlakar *et al* (2012) estudiaron el efecto del estrés hídrico inducida en diferentes etapas fenológicas de *Amaranthus cruentus* G6. El estrés hídrico se aplicó durante todo el período de crecimiento, inicio de formación de la inflorescencia del cultivo, durante la formación de pre-inflorescencia y en el período formación de la inflorescencia - comienzo de la floración.

El estrés hídrico a lo largo del período de crecimiento redujo el rendimiento de grano y biomasa en un 51% y 50%, respectivamente. Déficit hídrico durante la formación de inflorescencias fue crítica por que influye en el rendimiento de grano, mientras que el estrés hídrico en las etapas de crecimiento vegetativo. mejoró la asignación de asimilación en la biomasa aérea y, en particular, al grano.

Ajayi *et al* (2016) evaluando la respuesta de 30 accesiones de Amaranto de granos (*Amaranthus spp*) sometidas a un estrés hídrico de 4, 6 y 8 semanas después del trasplante encontraron reducción significativa de la altura de planta, numero de hojas y ramas. El rendimiento disminuyo de 54g/planta en el testigo control a 25 g/planta en el material estresado por 8 semanas y se reporta la muerte de algunas accesiones sometidas al estrés por 4 y 6 semanas.

Sarker y Oba (2018 a) estudiaron la respuesta al estrés hídrico de cuatro cultivares seleccionados de *Amaranthus tricolor* bajo cuatro regímenes de riego (25, 50, 80 y 100% de capacidad de campo) para evaluar los mecanismos de crecimiento y las respuestas fisiológicas y bioquímicas contra el estrés por sequía. Informan que el estrés por sequía produjo una disminución en la biomasa total, área foliar específica entre otros caracteres morfológicos y bioquímicos.

Da Silva *et al* (2019) estudiaron la respuesta de genotipos de *Amaranthus caudatus* y *A. cruentus* al déficit hídrico encontrando que a medida que el estrés hídrico se incrementaba reducía el peso seco de las raíces e incrementaba la producción de brotes y que la Productividad de *A. cruentus* disminuyo con el aumento del estrés hídrico.

Pulvento *et al* (2021) en estudios evaluando el comportamiento de amaranto en suelos con problemas de sales y déficit hídrico durante tres campañas agrícolas encontraron que los componentes del rendimiento del grano de amaranto no se vieron afectados negativamente ni por los diferentes volúmenes de riego ni por el tiempo del riego, observaron diferencias en el rendimiento por la calidad del agua y que la salinidad reducía significativamente el rendimiento.

El efecto combinado de la época de irrigación y señalan que el efecto combinado del tiempo de riego y el volumen de riego influyeron significativamente en el rendimiento de semillas. Se conservó la calidad de las semillas de amaranto; No se encontraron diferencias significativas debido a estreses simples o combinadas durante el experimento de campo de tres años.

Ahrar *et al* (2020) en un estudio del efecto de diferentes niveles de disponibilidad de agua (50, 60, 70, y 80% del agotamiento de agua disponible de la planta) en tres variedades de amaranto forrajero (Cim, Kharkovski y Loura.) observaron una mayor reducción del rendimiento de biomasa fresca y seca en los valores más altos del agotamiento o un 80% de déficit de agua.

La investigación realizada también permitió determinar el efecto del estrés hídrico en características de calidad de las líneas mutantes, el material original o parental y un testigo de comparación. En el material original CICA se encontró una reducción de 2.49% en el contenido de proteína del grano y en el mutante CICA 108 una reducción similar de 2.1% y mucho más alta en el resto de las líneas mutantes variando de 4.55 a 9.31%. En promedio de los genotipos evaluados la reducción por efecto del estrés hídrico fue de 4.59 y 2.94% para proteína y peso de mil granos.

Por otro lado, en un trabajo de investigación los resultados fueron diferentes como el reportado por Sarker y Oba (2018 b) que estudiando la respuesta a cuatro niveles de estrés hídrico de *Amaranthus tricolor* (amaranto de hojas) genotipo VA3 informan el incremento del contenido de proteína, ceniza, energía, fibra dietética, Ca, K, Cu, S, Mg, Mn, Mo, Na, contenido de B, carotenoides totales, TFC, vitamina C, TPC, TAC (DPPH), betacaroteno, TAC (ABTS +), dieciséis ácidos fenólicos y flavonoides y que el incremento en condiciones de estrés por sequía moderada y severa fueron más preponderantes.

La determinación del contenido de prolina en plantas sometidas a estrés hídrico es una evaluación muy común para determinar tolerancia a la sequía en muchas especies ya que se asocia una alta acumulación con tolerancia al estrés hídrico. En la presente investigación se observó en general para casi todas las líneas mutantes de Amarantho un incremento en el contenido de prolina iniciado el estrés hídrico.

Slabbert *et al* (2004) realizaron estudios para determinar los mecanismos de tolerancia al estrés hídrico en amaranto (*Amaranthus tricolor*, *A. hybridus*, *A. hypochondriacus*) y encontraron que los altos contenidos de prolina eran signos de un bajo contenido relativo de agua y potencial hídrico foliar y por lo tanto concluyeron que el contenido de prolina está asociado a la sensibilidad más que a la tolerancia al déficit hídrico.

Sarker y Oba (2018 a) estudiaron la respuesta al estrés hídrico de cuatro cultivares seleccionados de *Amaranthus tricolor* bajo cuatro regímenes de riego (25, 50, 80 y 100% de capacidad de campo) para evaluar los mecanismos de crecimiento y las respuestas fisiológicas y bioquímicas contra el estrés por sequía. Informan que el estrés por sequía produjo aumento en MDA, H₂O₂, EL, prolina, carotenoide total, ácido ascórbico, polifenoles, flavonoides y actividad antioxidante.

Y que hubo respuesta diferencial de los cultivares siendo los cultivares VA14 y VA16 se identificaron como más tolerantes a la sequía y podrían usarse para evaluaciones adicionales en futuros programas de mejoramiento y programas de liberación de nuevos cultivares.

González -Rodríguez *et al* (2019) evaluaron el nivel de tolerancia al estrés hídrico de *Amaranthus hypochondriacus*, *A. caudatus*, *A. cruentus* y *A. hybridus* (ancestro compartido) de las tres especies primeras. Se observó que *A. hybridus* fue la más tolerante al estrés por déficit hídrico debido a un mejor ajuste osmótico, una expresión más fuerte de genes marcadores de ácido abscísico y una mejor respuesta a la deficiencia de azúcar.

Se observó una mayor acumulación de prolina, rafinosa y otros oligosacáridos probables de la familia de la rafinosa de estructura desconocida en hojas y / o raíces.

V. CONCLUSIONES

- 1) Se observó reducción de caracteres agronómicos y de calidad por efecto del estrés hídrico en condiciones del presente experimento y una respuesta diferencial de los genotipos estudiados de *Amaranthus caudatus* variedad CICA. Destacan las líneas mutantes CICA 36 y CICA 54 con mejor tolerancia al material original o parental con una reducción menor en rendimiento, altura de planta, biomasa.
- 2) El estrés hídrico en general incremento el contenido de prolina en la mayor parte de las líneas mutantes y a nivel del promedio de los genotipos evaluados.

VI. RECOMENDACIONES

- 1) Se recomienda evaluar las líneas con mayor tolerancia en otros ambientes y con estreses hídricos en otras fases fenológicas.
- 2) Realizar estudios de caracterización de genes específicos para poder proseguir con el desarrollo de nuevas variedades de kiwicha empleando como material genético las líneas mutantes de mejor tolerancia.

VII. BIBLIOGRAFÍA

- Achigan-Dake, E.G., Sogbohossou, O.E.D. and Maundu, P. (2014). Current knowledge on *Amaranthus* spp.: Research avenues for improved nutritional value and yield in leafy amaranthus in sub-Saharan Africa. *Euphytica* 197,303-317
- Aguilar-Hernández, H.; Barba de la Rosa, A.; Espitia-Rangel, E.; Huerta-Ocampo, J. (2012). “Identificación de genes de respuesta a estrés por calcio y sequía en amaranto” INIFAP/SINAREFI. Recuperado de https://www.researchgate.net/publication/256422672_AMARANTO_Ciencia_y_Tecnologia_2012
- Ahrar, A., Paknejad, F., Tabatabaei, S. A., Aghayari, F., Soltani, E. (2020) Evaluation of forage Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) yield via comparing drought tolerance and susceptibility indices. *Italian Journal of Agrometeorology* (3): 31-40. doi: 10.13128/ijam-868
- Ajayi, E.O., Sakariyawo, O.S., Okeleye K.A., Ariyo O.J. 2016. Preliminary Evaluation of Grain Amaranth (*Amaranthus* spp.) Accessions for Drought Tolerance by Multivariate Technique. *Agronomski Glasnik* 5-6. ISSN 0002-1954.
- Alemayehu, F.R., Bendevis, M.A. and Jacobsen, S.E. (2014). The potential for utilizing the seed crop Amaranth (*Amaranthus* spp.) in East Africa as an alternative crop to support food security and climate change mitigation. *J Agron Crop Sci.* 201: 321-329.

- Antezana (2019). Respuesta de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) al estrés de sequía y calor bajo condiciones de La Molina. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. 42 p. Azcon-Bieto, J; Talon M. (2013). Fundamentos de Fisiología Vegetal. Recuperado de: <http://exa.unne.edu.ar/biologia/fisiologia.vegetal/FundamentosdeFisiologiaVegetal2008Azcon..pdf>
- Bohnert, H.; Sheveleva, E.; (1998). “Plant stress adaptations – making metabolism move”. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/222480944_Plant_stress_adaptations_-_making_metabolism_move_Curr_Opin_Plant_Biol_1_267-274
- Bogges, S.; Stewart, C; Aspinall, D.; Paleg, L. (1976) “Effect of water stress on proline synthesis from radioactive precursors”. Recuperado de: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC542254/>
- Bokhari, U.; Trent, J. (1985). “Proline concentrations in water stressed grasses”. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/270127817_Proline_Concentrations_in_Water_Stressed_Grasses
- Bressani, R. (1994). “El amaranto y su potencial en la industria alimentaria”. Revista Alimentos de Hoy. Vol 7 N° 7. Recuperado de: <https://alimentos hoy.acta.org.co/index.php/hoy/article/view/180/174>
- Chauhan, B.; Abugho, S.; (2013). “Effect of Water Stress on the Growth and Development of *Amaranthus spinosus*, *Leptochloa chinensis*, and Rice”. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/271298161_Effect_of_Water_Stress_on_the_Growth_and_Development_of_Amaranthus_spinosus_Leptochloa_chinensis_and_Rice

- Da Silva J.G., Bianchini A., Costa P.M.C., de Almeida Lobo F., de Almeida J.P.M., de Moraes M.F., 2019. Amaranth Response to Water Stress. *Journal of Experimental Agriculture International*, 1-9.
- De la Cruz-Guzmán, G.; Arriaga-Frías, A.; Mandujano-Piña, M.; González, S. (2010). “Efecto de la sequía sobre algunas variables hídricas y morfométricas en cinco genotipos de *Amaranthus*”. Recuperado de: <https://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CL2010F00011>
- Elhaak, M.; Migahid, M.; Wegmann, K. (1992) “Response on photosynthetic pigments to drought and salt stress in some desert species”. Recuperado de: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fedr.19921030719>
- Elliott, D. 1979. “Analysis of variability in the *Amaranthus* bioassay for cytokinins”. Recuperado de: <http://www.plantphysiol.org/content/63/2/269>
- Ferrarotto, M. (2003). “Proline accumulation in pigweed plants (*Amaranthus dubius* Mart, and *Amaranthus cruentus* L.) growing under water stress conditions”. Recuperado de: http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0378-78182003000400005&lng=en&nrm=iso&tlng=en
- Ferrarotto, M. (2010). “Respuesta de pira (*Amaranthus dubius* Mart. Ex Tell) y amaranto (*Amaranthus cruentus* L.) al déficit hídrico”. Recuperado de: [https://www.semanticscholar.org/paper/Respuesta-de-pira-\(Amaranthus-dubius-Mart.-ex-y-L.\)-Ferrarotto-Mar%C3%ADa/283bc369b2dab706031ec90ea91c7514e3d7f426](https://www.semanticscholar.org/paper/Respuesta-de-pira-(Amaranthus-dubius-Mart.-ex-y-L.)-Ferrarotto-Mar%C3%ADa/283bc369b2dab706031ec90ea91c7514e3d7f426)
- Fraire-Velázquez, S.; Balderas-Hernández, V. (2013). Abiotic stress – Plant responses and applications in agriculture. DOI: 10.5772/45842

- González-Rodríguez, T., Cisneros-Hernández, I., Acosta Bayona, J., Ramírez-Chavez, E., Martínez-Gallardo, N., Mellado-Mojica, E., López-Pérez, MG., Molina-Torres J., Délano-Frier J. 2019. Identification of Factors Linked to Higher Water-Deficit Stress Tolerance in *Amaranthus hypochondriacus* Compared to Other Grain Amaranths and *A. hybridus*, Their Shared Ancestor. *Plants* 2019, 8, 239: (1 -28); doi:10.3390/plants8070239
- Grobelnik Mlakar, S. Bavec, M., Jakop, M., Bavec F. 2012. The Effect of Drought Occurring at Different Growth Stages on Productivity of Grain Amaranth *Amaranthus cruentus* G6. *Journal of Life Sciences* 6 (2012) 283-286.
- Huamanchumo, K.; Marin, A. (2020). Comparativo de rendimiento de dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) en dos densidades de siembra en Santa, Ancash. Tesis para optar el título profesional de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional del Santa. Ancash, Perú. 68 p
- Huerta, J. A.; Barba de la Rosa, A. P; Maldonado-Cervantes, E. (2012). “Amaranto: Propiedades benéficas para la salud”. INIFAP/SINAREFI. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/256422672_AMARANTO_Ciencia_y_Tecnologia_2012
- Huillca, J. (2013). Comparativo de rendimiento de cinco compuestos y dos variedades de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.) en condiciones de K´ayra. Tesis para optar el título de ingeniero agrónomo. Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco. K´ayra - Cusco, Perú. 115 p
- Jacobsen, S.-E., and A. Mujica, 2003: The genetic resources of Andean grain amaranths (*Amaranthus caudatus* L, *A. cruentus* and *A. hypochondriacus* L) in America. *Plant Genet. Resour. Newsl.* 133, 41–44.

- Jamalluddin N., Massawe F.J., Symonds R.C. 2019. Transpiration efficiency of Amaranth (*Amaranthus sp.*) in response to drought stress. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*. Vol 94-(4) 448-459. <https://doi.org/10.1080/14620316.2018.1537725>
- Jomo, O.; Netondo, G.; Musyimi, D. (2015). "Growth changes of seven *Amaranthus* (spp) during the vegetative and reproductive stages of development as influenced by variations in soil water deficit". Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/313779280_Vegetative_growth_of_Amaranthus_hybridus_and_Amaranthus_tricolor_under_different_watering_regimes_in_different_seasons_in_southern_Mozambique
- Kauffman, C. S.; Weber, L.E. (1990). Grain Amaranth. Recuperado de: <https://hort.purdue.edu/newcrop/proceedings1990/V1-127.html>
- Kgang I.E. 2010. Characterisation of *Amaranthus tricolor* Mutant Plants with Increased Drought-Tolerance. Tesis Magister Technologiae Biotechnology. Faculty of Applied and Computer Sciences Vaal University of Technology
- León, A.; Rosell, C. (2007). De tales harinas, tales panes. Recuperado de: <http://digital.csic.es/handle/10261/17118>
- Luoh, J.W., Begg, C.B., Symonds, R.C., Ledesma, D. and Yang, R.Y. (2014). Nutritional Yield of African Indigenous Vegetables in Water-Deficient and Water-Sufficient Conditions. *Food Nutr Sci*. 5,812-822.
- Mendoza (2011). Respuesta de Quinoa (*Chenopodium quinoa*) al estrés de sequía y calor bajo condiciones de La Molina. Tesis para obtener el grado de maestro en ciencias en biología molecular. Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica A.C. 10 p

- Mejía, R. (2020). Análisis proteómico de la hoja de amaranto bajo condiciones de estrés salino. Tesis para optar el grado de Doctoris Philosophiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 40 p
- Melgarejo, L.; Pérez, W.; Crespo, S.; Moreno, L; (2010). Experimentos en Fisiología Vegetal. Recuperado de: http://bdigital.unal.edu.co/8545/27/12_Cap10.pdf
- Miñano, D. (2015). Estudio del comportamiento de líneas avanzadas mutantes de kiwicha (*Amaranthus caudatus L.*) bajo distintos sistemas de cultivo. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 7 p.
- Morales, J.; Vasquez, N.; Bressani, R. (2014). El amaranto características y aporte nutricio. Mexico D.F., Mexico. Editorial Trillas.
- Mujica, A. (1997). El cultivo del amaranto (*Amaranthus spp.*): Producción, mejoramiento genético y utilización. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/podveg/cdrom/contenido/libro01/home1.htm
- Organismo Público Sierra Exportadora. (s.f.). Perfil Comercial Kiwicha. Recuperado de: <https://pdfslide.net/food/kiwicha-sierra-exportadora.html>
- Olufolaji, A; Ojo, O. (2010). “Effect of soil moisture stress on the emergence, establishment and productivity of Amaranthus (*Amaranthus Cruentus L.*)”. Recuperado de: https://www.ishs.org/ishs-article/911_12
- Omami, E.; Hammes, P.; Robbertse, P. 2010. “Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus spp.*) genotypes”. Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01140671.2006.9514382>

- Omami, E.; Hammes, P. 2010. “Interactive effects of salinity and water stress on growth, leaf water relations, and gas exchange in amaranth (*Amaranthus spp.*)” Recuperado de: <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/01140671.2006.9514385>
- Palada, M.C. and Chang, L.C. (2003). Suggesting cultural practices for vegetable amaranth. AVRDC International Co-operators’ Guide. Asian Vegetable Research and Development Center, Shanhua, Taiwan.
- Palmeros-Suarez, P.; Massange-Sanchez, J.; Délano-Frier, J. (2012). “Caracterización funcional de genes novedosos de *Amaranthus hypochondriacus* L.: Explorando su aplicación en la generación de cultivos resistentes al estrés”. INIFAP/SINAREFI. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/256422672_AMARANTO_Ciencia_y_Tecnologia_2012
- Pareek, A.; Sopory, S.K.; Bohnert, H. J.; Govindjee. (2010). Abiotic Stress Adaptation in Plants. DOI: 10.1007/978-90-481-3112-9_1
- Pisarikova, B., Zraly, Z., Kracmar, S., Trckova, M., Herzig, I. (2005). “Nutritional value of amaranth (genus *Amaranthus* L.) grain in diets for broiler chickens”. Ministry. Czech journal of animal science. N° 50, Ministry of Agriculture of Czech Republic, 568-573.
- Pulvento, C., Mohamed houssemeddine Sellami M, Lavini A. 2021. Yield and quality of *Amaranthus hypochondriacus* grain amaranth under drought and salinity at various phenological stages in southern Italy. J Sci Food Agric: 1-12 (wileyonlinelibrary.com) DOI 10.1002/jsfa.11088
- Reyes, P. (2007). Aislado y caracterización físico química del almidón de kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). Tesis para optar el grado de Magister Scientiae. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú. 78 p.

- Sarangi, D.; Irmak, S.; Lindquist, J.; Knezevic, S.; Jhala, A. (2016). “Effect of wáter stress on the growth fecundity of common waterhemp (*Amaranthus rudis*)”. Recuperado de:
https://www.researchgate.net/publication/281434085_Effect_of_Water_Stress_on_the_Growth_and_Fecundity_of_Common_Waterhemp_Amaranthus_rudis
- Sarker, U., Oba, S. Drought Stress Effects on Growth, ROS Markers, Compatible Solutes, Phenolics, Flavonoids, and Antioxidant Activity in *Amaranthus tricolor*. *Appl Biochem Biotechnol* 186, 999–1016 (2018). <https://doi.org/10.1007/s12010-018-2784-5>
- Sarker, U., Oba, S. Drought stress enhances nutritional and bioactive compounds, phenolic acids and antioxidant capacity of *Amaranthus* leafy vegetable. *BMC Plant Biol* 18, 258 (2018). <https://doi.org/10.1186/s12870-018-1484-1>
- Slabbert, R.; Spreeth, M.; Kruger, G. (2003). “Drought tolerance, traditional crops and biotechnology: breeding towards sustainable development”. Recuperado de:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0254629915302714>
- Slabbert, M.M., Jansen van Rensburg, W.S. and Spreeth, M.H. (2013). Screening for Improved Drought Tolerance in the Mutant Germplasm of African Leafy Vegetables: Amaranth (*Amaranthus tricolor*) and Cowpea (*Vigna inguiculata*). *Acta Hort.* 979, 477-484 DOI: 10.17660/ActaHortic.2013.979.51
<https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2013.979.51>
- UNESCO/DIVISION OF WATER SCIENCES. (2003). Agua para todos, Agua para la vida (Water for people, water for life). Recuperado de:
<https://www.un.org/esa/sustdev/sdissues/water/WWDR-spanish-129556s.pdf>

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



LABORATORIO DE SUELOS UNALM
 FACULTAD DE AGRONOMIA

ANALISIS DE SUELOS : CARACTERIZACION

Solicitante LIA RAMOS FERNANDEZ

Departamento LIMA

Distrito LA MOLINA

Referencia H.R. 59644-091SC-17

Provincia LIMA

Predio

Fecha 21/07/17

Bolt. 599

| Lab | Número de Muestra Claves | pH (1.1) | C.E. (1.1) dS/m | CaCO ₃ % | M.O. % | P ppm | K ppm | Análisis Mecánico | | | Clase Textural | CIC | Cationes Cambiables | | | | Suma de Cationes Bases | Suma de Sat. De Bases | % | |
|------|-----------------------------|-------------|-----------------------|------------------------|-----------|----------|----------|-------------------|-----------|--------------|-------------------|-------|--------------------------------------|----------------|--|------|---------------------------------|--------------------------------|-------|-----|
| | | | | | | | | Arena % | Limo % | Arcilla % | | | Ca ²⁺ Mg ²⁺ | K ⁺ | Na ⁺ Al ³⁺ + H ⁺ | Suma | | | | |
| 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 |

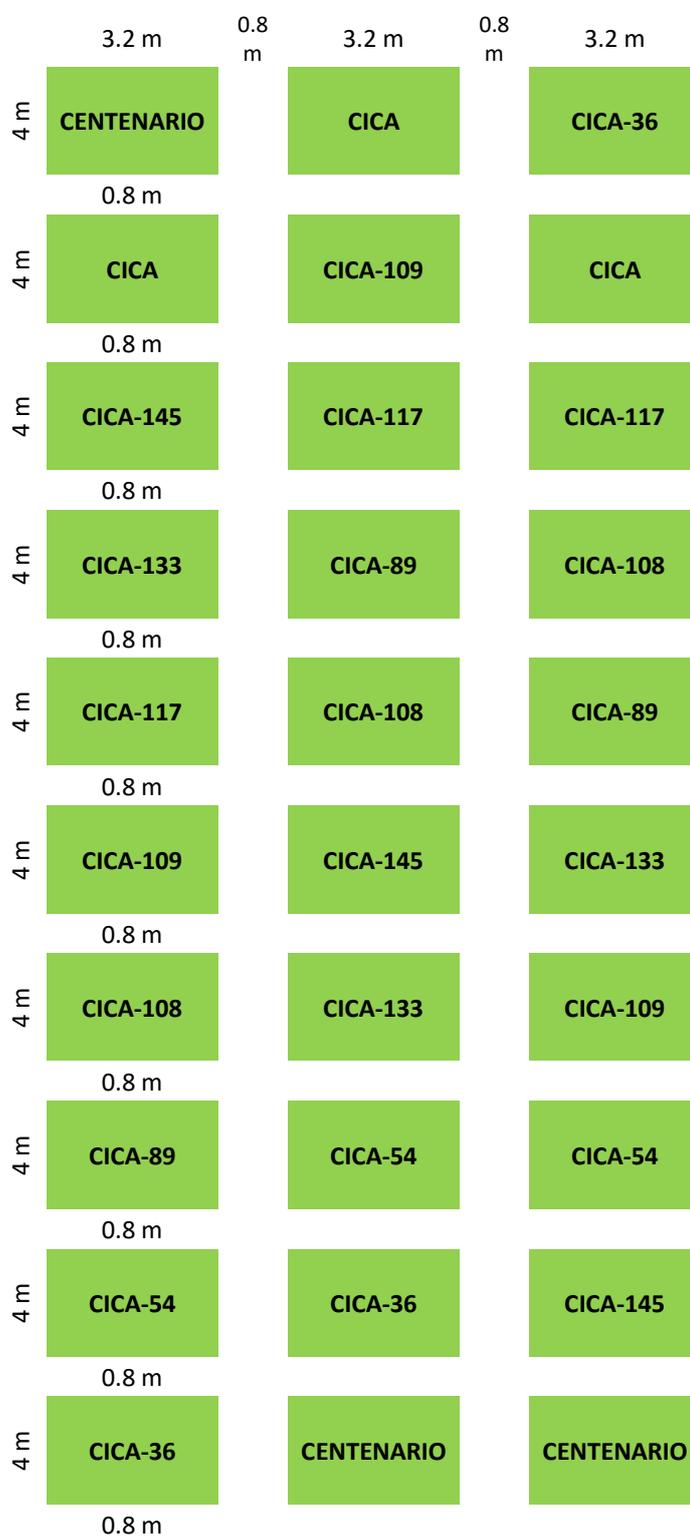
A = Arena A.Fr. = Franco Arenoso Fr. = Franco Limoso L = Limoso Fr.Ar.A. = Franco Arcillo Arenoso Fr.Ar. = Franco Arcilloso;
 Fr.Ar.L. = Franco Arcillo Limoso Ar.A. = Arcillo Arenoso Ar.L. = Arcillo Limoso Ar. = Arcilloso

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

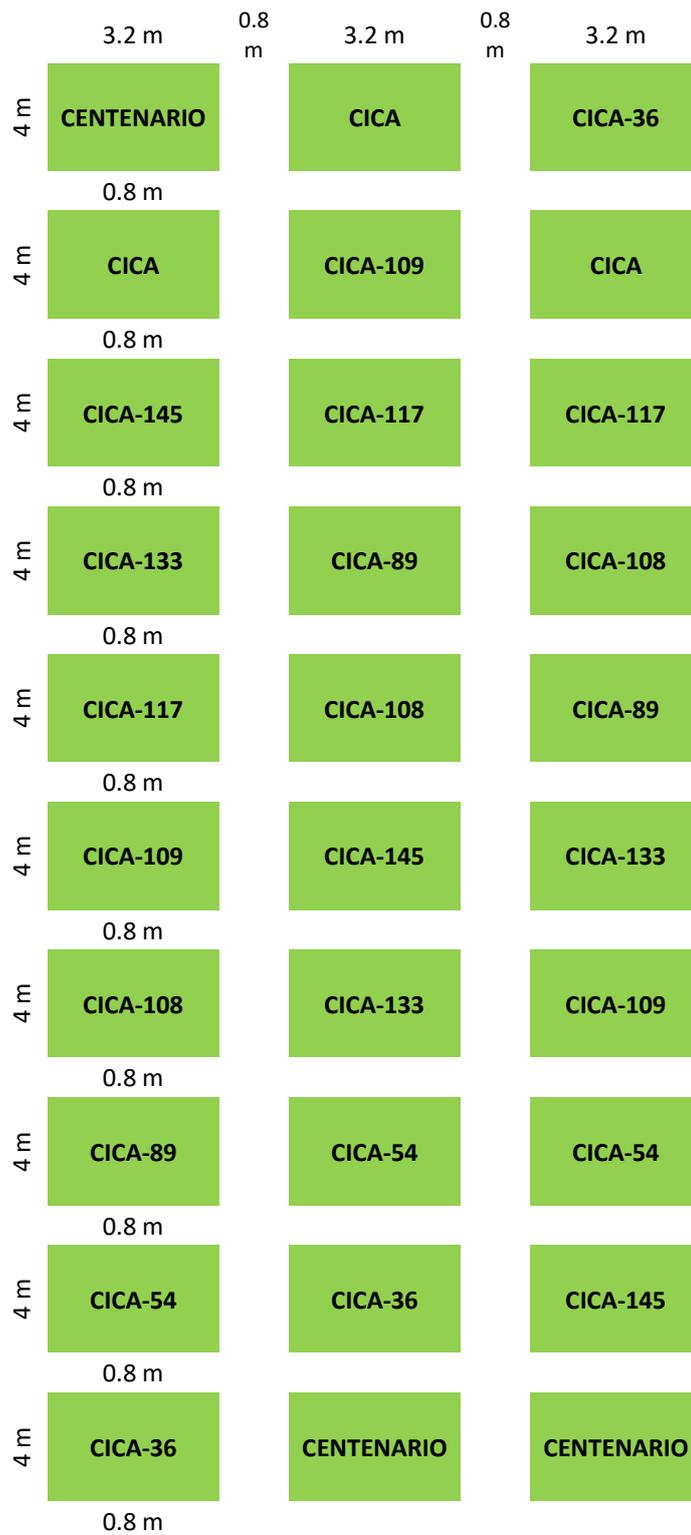
Av. La Molina s/n Campus UNALM - Telf.: 614-7800 Anexo 222 Teléfono Directo: 349-5622 e-mail: labsuelo@lamolina.edu.pe

ANEXO 2: Randomización y dimensiones detalladas del experimento realizado durante la campaña de agosto a diciembre de 2017

Unidad Experimental: Ambiente Testigo (Riego continuo)

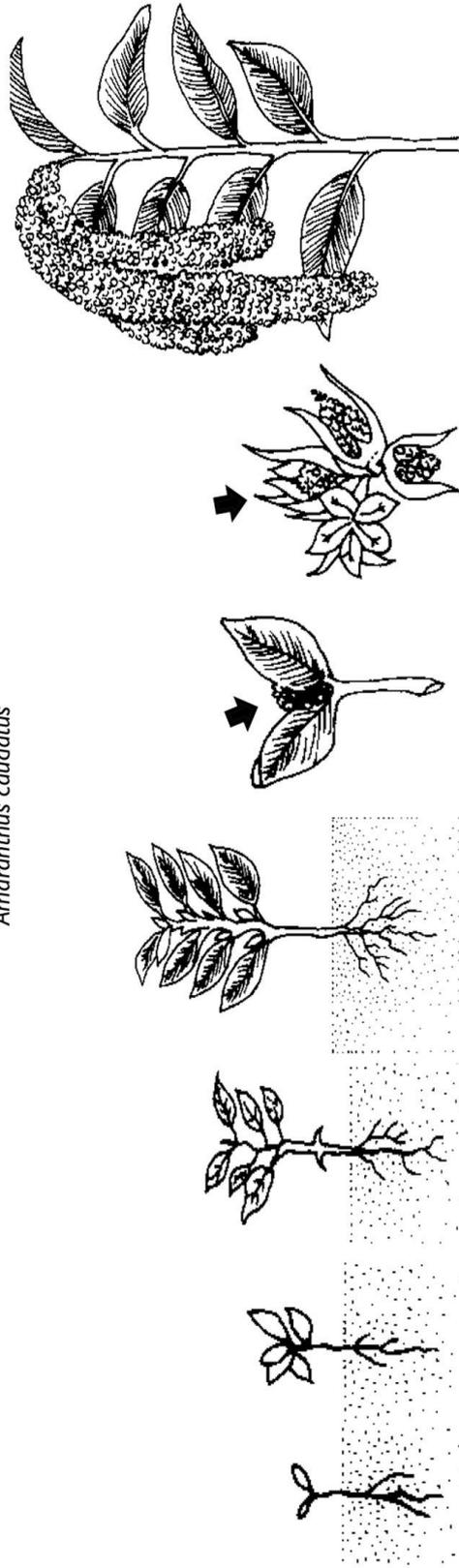


Unidad Experimental: Ambiente de Estrés Hídrico (Riego interrumpido)



ANEXO 3: Fases de la fenología de la kiwicha (*Amaranthus caudatus*)

FASES FENOLÓGICAS DE LA KIWICHA
Amaranthus caudatus



| EMERGENCIA | ↑ DOS HOJAS VERDADERAS | ↑ SEIS HOJAS VERDADERAS | ↑ RAMIFICACIÓN | ↑ PANOJA | ↑ FLORACIÓN | ↑ GRANO LECHOSO | ↑ GRANO PASTOSO | ↑ MADURACIÓN |
|---|--|--|--|---|--|--|--|---|
| Se observan dos hojas cotiledónales extendidas sobre el terreno.. | Aparecen dos hojas verdaderas extendidas | Tres pares de hojas verdaderas extendidas, las hojas cotiledónales se tornan de color amarillento. | Ocho pares de hojas verdaderas extendidas. Las hojas cotiledónales se caen y dejan cicatrices en el tallo. | Se observan las primeras panojas que luego sobresalen con claridad por encima de las hojas de la planta | Se abren las primeras flores de la panoja. | Los granos al ser pre-sionados presentan un líquido lechoso. | Los granos al ser pre-sionados presentan una consistencia pastosa de color blanco. | Las plantas adquieren una coloración amarillenta, caso contrario ocurre la dehiscencia de la semilla; momento de efectuar la cosecha. |