

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA

LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA



**“VARIABILIDAD FENOLÓGICA Y FENOTÍPICA DE UNA
POBLACIÓN M4 DE *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho
IRRADIADA CON RAYOS GAMMA”**

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE:

INGENIERA AGRÓNOMA

JHOSELYN NORIS SEGURA ROJAS

LIMA – PERÚ

2021

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“VARIABILIDAD FENOLÓGICA Y FENOTÍPICA DE UNA
POBLACIÓN M4 DE *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho
IRRADIADA CON RAYOS GAMMA”**

JHOSELYN NORIS SEGURA ROJAS

Tesis para optar el título de:

INGENIERA AGRÓNOMA

Sustentada y Aprobada ante el siguiente jurado:

.....

Dr. Jorge Eduardo Jiménez Dávalos

PRESIDENTE

.....

Dra. Luz Rayda Gómez Pando

ASESORA

.....

Ph. D. Elizabeth Heros Aguilar

MIEMBRO

.....

Ing. M. Sc. Karín Coronado Matutti

MIEMBRO

LIMA – PERÚ

2021



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA LA MOLINA
FACULTAD DE AGRONOMÍA
DECANATO

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
AST-FA-037-2020

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para escuchar y evaluar la Sustentación del Trabajo de Tesis presentado por la Bachiller en Ciencias-Agronomía Srta. Jhoselyn Noris SEGURA ROJAS denominado: "VARIABILIDAD FENOLOGICA Y FENOTIPICA DE UNA POBLACION M4 DE *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho IRRADIADA CON RAYOS GAMMA", oídas las respuestas y observaciones formuladas lo declaramos:

APROBADA

Con el calificativo de (*)

SOBRESALIENTE

En consecuencia, queda en condición de ser calificado **APTO** por el Consejo Universitario y recibir el Título de **INGENIERA AGRÓNOMA** de conformidad con lo estipulado en el Artículo 150o. inciso b. del Reglamento General de la Universidad Nacional Agraria, La Molina.

La Molina, 17 de diciembre de 2020

Dr. Jorge Eduardo Jiménez Dávalos
PRESIDENTE

Dra. Luz Rayda Gómez Pando
ASESOR

Elizabeth Heros Aguilar Ph.D.
MIEMBRO

Ing. M. Sc. Karin Coronado Matutti
MIEMBRO

(*)De acuerdo con el Art. 48° del Reglamento de Tesis, éstas deberán ser calificadas con los términos de **SOBRESALIENTE, MUY BUENA, BUENA.**

DEDICATORIA

El presente trabajo de investigación va dedicado a mi madre querida, Noriz María Rojas Quintanilla, a quién le estaré eternamente agradecida por darme la vida, las enseñanzas y los motivos para continuar. Este logro es de ambas y es el inicio de un arduo, pero a la vez, satisfactorio camino.

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la vida por permitirme compartir este logro con las personas que más amo.

A mis abuelos Pedro Rojas Molina y María Quintanilla Pérez, ejemplo de unión y amor incondicional.

A mis padres, Ernesto Segura Cáceres y Noriz Rojas Quintanilla, por ser mi fuerza y motivación para continuar cumpliendo mis objetivos.

A mi asesora, Dra. Luz Gómez, por la confianza depositada y por cada orientación brindada en todo este proceso.

Al Organismo Internacional de Energía Atómica. Proyecto RLA5/068: “Aumento del rendimiento y del potencial comercial de los cultivos de importancia económica” (ARCAL CL). Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN) y Proyecto VLIR – UNALM. Proyecto 2: “Desarrollo de cadenas de valor para la conservación y mejora de la biodiversidad de los medios de vida rurales”, por la financiación de la presente investigación.

A las grandes personas que la Universidad y el Programa de Cereales y Granos Nativos me permitió conocer:

Ing. Patricia Deza, gracias por el apoyo y los consejos brindados.

Sra. Ruth Paucar, gracias por la buena vibra y su gran disposición para ayudar.

Ing. Martha Ibañez, gracias por facilitarme un espacio en el laboratorio de calidad.

Sr. César Inga, gracias por su orientación y ayuda en las labores de campo.

A mis profesoras y profesores, por sus enseñanzas y lecciones de vida a lo largo de la etapa universitaria.

A mis amigas y amigos que se sumaron en el camino, muchas gracias porque sin ustedes no hubiese sido posible culminar el presente trabajo.

INDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN	3
2.2 VALOR NUTRICIONAL	4
2.3 TAXONOMÍA.....	4
2.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA.....	5
2.5 FENOLOGÍA.....	6
2.5.1 Emergencia (VE).....	7
2.5.2 Fase vegetativa (V1.... Vn)	7
2.5.3 Fase reproductiva.....	7
2.6 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y FISIOLÓGICOS	8
2.7 TIEMPO TÉRMICO O UNIDADES DE CALOR ACUMULADO	9
2.7.1 Definición	9
2.7.2 Importancia	9
2.7.3 Unidades de calor en los amarantos.....	9
2.8 MUTACIONES	10
2.8.1 Tipos de mutaciones	10
2.8.2 Inducción de mutaciones.....	11
2.8.3 Agentes mutagénicos	12
2.9 CARACTERIZACIÓN DEL GERMOPLASMA.....	13
2.9.1 Definición	13
2.9.2 Importancia	13
2.9.3 Descriptores	13
2.10 ANÁLISIS MULTIVARIADO.....	14
2.10.1 Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	14
2.10.2 Análisis de clúster o agrupamiento.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS	16
3.1 MATERIALES	16
3.1.1 Ubicación de la zona experimental.....	16
3.1.2 Características climáticas de la zona	16

3.1.3 Características del suelo.....	16
3.1.4 Material vegetal.....	17
3.1.5 Materiales y equipos utilizados	17
3.2 MÉTODOS.....	17
3.2.1 Características del campo experimental.....	17
3.2.2 Manejo del cultivo.....	18
3.2.3 Cronograma de actividades.....	20
3.2.4 Diseño experimental	20
3.3 EVALUACIONES.....	22
3.3.1 Fenología del cultivo	22
3.3.2 Determinación de unidades de calor.....	26
3.3.3 Caracterización de plantas representativas.....	27
3.3.4 Rendimiento de grano.....	27
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
4.1 OBJETIVO 1: VARIACIÓN FENOLÓGICA, SEGÚN TIEMPO DE OCURRENCIA (dds) Y TIEMPO TÉRMICO (°D), DE 24 LÍNEAS MUTANTES DE <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho IRRADIADA CON RAYOS GAMMA, EN CONDICIONES DE LA MOLINA.....	29
4.1.1 Variación fenológica según tiempo de ocurrencia.....	29
4.1.2 Variación fenológica según tiempo térmico (°D).....	35
4.2 OBJETIVO 2: VARIACIÓN FENOTÍPICA, EN CARACTERES MORFOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS, DE 24 LÍNEAS MUTANTES DE <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho IRRADIADA CON RAYOS GAMMA.....	43
4.2.1 Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	43
4.2.2 Análisis de clúster jerárquico	47
4.3 OBJETIVO 3: IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES CON MEJOR COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO, EN BASE A SU PRECOCIDAD, RENDIMIENTO, ALTURA DE PLANTA Y COLOR DE GRANO.....	51
V. CONCLUSIONES.....	55
VI. RECOMENDACIONES.....	57
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	58
VIII. ANEXOS.....	63

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento “Variabilidad fenológica y fenotípica de una población M4 de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma”	21
Tabla 2: Leyenda de los descriptores de <i>Amaranthus</i> del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), (1981).....	28
Tabla 3: Cuadrados medios del ANVA para el tiempo de ocurrencia (días después de la siembra) de la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B	32
Tabla 4: Valores medios y Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del tiempo de ocurrencia (días después de la siembra) de las fases fenológicas: germinación, desarrollo vegetativo-ramificación, desarrollo del botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B	33
Tabla 5: Cuadrados medios del ANVA para el tiempo térmico (grados día) de la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B.....	38
Tabla 6: Valores medios y Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del tiempo térmico (grados día) de las fases fenológicas: germinación, desarrollo vegetativo-ramificación, desarrollo del botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B	39
Tabla 7: Dimensiones con sus respectivos valores propios, varianza absoluta y acumulada, derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de 209 plantas provenientes de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho	44
Tabla 8: ANVA del rendimiento en grano (Kg/ha) de las 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B	51
Tabla 9: Rendimientos promedio en grano (Kg/ha) de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Gráfico de sedimentación del Análisis Factorial Mixto (AFMD)..	45
Figura 2: Calidad de representación (\cos^2) en el plano factorial para las dos primeras dimensiones del Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	45
Figura 3: Contribución de las 16 variables a la primera dimensión del Análisis Factorial Mixto (AFMD).	46
Figura 4: Contribución de las 16 variables a la segunda dimensión del Análisis Factorial Mixto (AFMD).	46
Figura 5: Contribución de las 16 variables a las dos primeras dimensiones en el Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	47
Figura 6: Dendograma obtenido en base al análisis de 12 caracteres morfológicos y agronómicos de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho..	48
Figura 7: Rendimiento promedio en grano (Kg/ha) de las 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho vs. “Centenario”.....	51

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de agosto – 2018.....	63
Anexo 2: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de setiembre – 2018.....	64
Anexo 3: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de octubre – 2018.....	65
Anexo 4: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de noviembre - 2018.....	66
Anexo 5: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de diciembre – 2018.....	67
Anexo 6: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de enero – 2019.....	68
Anexo 7: Resumen de los grados-día acumulados por etapa fenológica de las 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho.....	69
Anexo 8: Caracterización de 209 plantas derivadas de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho.....	70
Anexo 9: Caracterización de las 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho obtenida después del Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	82
Anexo 10: Calidad de representación (cos^2) de las 16 variables evaluadas en las 19 dimensiones obtenidas del Análisis Factorial Mixto (AFMD).....	83
Anexo 11: Variables morfo-agronómicas discriminantes empleadas para el Análisis de clúster (Dendograma) de 24 líneas mutantes de <i>Amaranthus cruentus</i> accesión Selección Huacho.....	84

RESUMEN

El amaranto es considerado un cultivo de alta plasticidad, por su tolerancia a las altas temperaturas y condiciones de sequía. Entre las especies para producción de grano con alto valor nutritivo, se encuentra el *Amaranthus caudatus*, originario de los andes de América del sur y el *A. cruentus*, originario de América Central. Considerando un enfoque de cambio climático y seguridad alimentaria es importante evaluar nuevas especies alternativas con características mejoradas, que permitan el incremento de la superficie cosechada y rendimiento de amaranto en nuestro país. La presente investigación tuvo como objetivos: (1) determinar la variación fenológica a partir del tiempo de ocurrencia y tiempo térmico en condiciones de La Molina (2) determinar la variación fenotípica, en caracteres morfológicos y agronómicos, de líneas mutantes (3) identificar líneas con mejor comportamiento agronómico en base a su precocidad, rendimiento, altura de planta y color de grano. Se utilizó un DBCA con 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma y como testigo referencial para evaluar rendimiento, se utilizó la variedad comercial Centenario. Se determinó las fases fenológicas de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, anthesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha, con un valor promedio de ocurrencia de: 7.35, 51.9, 71.79, 84.32, 91.74, 101.35, 113.78, 119.54 y 125.04 (dds); respectivamente. El requerimiento térmico promedio de las 24 líneas estudiadas para completar las fases fenológicas fue de: 68.36, 507.15, 728.82, 876.52, 963.95, 1087.10, 1251.09, 1327.76 y 1403.31 grados día (°D); respectivamente. El análisis factorial mixto (AFMD) mostró que las dos primeras dimensiones explican el 35.9% de la variabilidad total, las variables color de peciolo (HCP), color de estrías en el tallo (TCE), presencia de estrías en el tallo (TPE), color de inflorescencia (IC) y color de tallo (TC) presentan una mayor correlación con la primera y segunda dimensión. El dendograma obtenido en base al análisis de 12 caracteres morfo-agronómicos, muestra la conformación de 10 grupos diferentes en algunas características como, presencia y color de estrías en el tallo, color de inflorescencia y color de grano, producto de mutaciones originadas por la radiación gamma. Finalmente, bajo condiciones de La Molina, las líneas mutantes KACH3, KACH8, KACH11 y KACH14 fueron las que mostraron mejor comportamiento agronómico y por color de grano destacaron las líneas KACH6 y KACH19.

Palabras clave: Amaranto, fenología, líneas mutantes, tiempo térmico, grados día

ABSTRACT

Amaranth is considered a high plasticity crop, due to its tolerance to high temperatures and drought conditions. Among the species for grain production with high nutritional value, is *Amaranthus caudatus*, native to the Andes of South America and *A. cruentus*, native to Central America. Considering an approach to climate change and food security it is important to evaluate new alternative species with improved characteristics, that allow the increase of the harvested area and yield of this crop in our country. The objectives of this research were to: (1) determine phenological variation, from the time of occurrence (dds) and thermal time ($^{\circ}\text{D}$) under La Molina conditions (2) to determine phenotypic variation, in morphological and agronomic characters, of mutant lines (3) identify lines with better agronomic performance, based on their earliness, yield, plant height and grain color. A DBCA with 24 mutant lines of *A. cruentus* accession Selection Huacho irradiated with gamma rays was used and as a reference control to evaluate performance, the commercial variety Centenario was used. The phenological phases of germination, vegetative development, branching, development of flower bud and inflorescence, flowering, anthesis, grain growth, grain filling, physiological maturity and harvest maturity were determined, with an average occurrence value of: 7.35, 51.9, 71.79, 84.32, 91.74, 101.35, 113.78, 119.54 and 125.04 (dds); respectively. The average thermal requirement of the 24 lines studied to complete the phenological phases were: 68.36, 507.15, 728.82, 876.52, 963.95, 1087.10, 1251.09, 1327.76 and 1403.31 degrees day ($^{\circ}\text{D}$); respectively. The mixed factor analysis (FAMD) showed that the first two dimensions explain 35.9% of the total variability, the variables petiole color (HCP), color of striae on the stem (TCE), presence of striae on the stem (TPE), color inflorescence (IC) and stem color (TC) show a higher correlation with the first and second dimension. The dendrogram obtained based on the analysis of 12 morph-agronomic characters, shows the conformation of 10 different groups shows the variation in some characteristics such, as the presence and color of streaks on the stem, color of inflorescence and color of grain, product of mutations caused by gamma radiation. Finally, under La Molina conditions, the KACH3, KACH8, KACH11 and KACH14 mutant lines were those that showed the best agronomic performance and by grain color, the KACH6 and KACH19 lines stood out.

Key words: Amaranth, phenology, mutant lines, thermal weather, degrees day

I. INTRODUCCIÓN

El género *Amaranthus* comprende aproximadamente 70 especies con una amplia variabilidad genética entre éstas, *A. caudatus*, *A. hypochondriacus* y *A. cruentus* son especies domesticadas en el continente americano, por las culturas Inca y Azteca, su uso como alimento se remonta a miles de años atrás junto con el maíz. Su cultivo por cientos de años fue realizado en condiciones marginales, por agricultores de pequeña escala y mayormente para el autoconsumo; considerándose como especies sub utilizadas. Actualmente, son las tres principales especies cultivadas para la producción de grano con alto valor nutritivo.

El cambio de hábito alimenticio en la población y los problemas en agricultura ocasionados por el cambio climático han hecho necesario la búsqueda de nuevas especies para asegurar la producción de alimentos sobre todo en condiciones marginales, sobresaliendo entre ellos, los “Amarantos”.

Paredes (2018), sostiene que el amaranto es un cultivo promisorio principalmente por sus propiedades nutritivas y porque puede ser una alternativa interesante para aliviar la creciente necesidad por alimentos de algunos países del tercer mundo y por su adaptación a condiciones ambientales adversas.

En la actualidad, los principales productores de grano de amaranto son China, India, Kenia, México, Nepal, Perú, Estados Unidos, Bolivia, Pakistán, Nepal, Argentina y Rusia. En nuestro país se siembra, el *A. caudatus*, en costa-sierra, desde el nivel del mar hasta los 3400 msnm, siendo los principales productores para el 2018: Cusco, Apurímac, Ancash, Arequipa, Cajamarca, Huancavelica y Ayacucho.

Estos cultivos con alto valor nutritivo y agronómico, sin embargo, tienen características negativas para su cultivo en una agricultura de gran escala y moderna, como son su hábito arbustivo (exceso de ramificaciones), su ciclo de vida largo y su altura excesiva, entre otros caracteres, que pueden ser modificados mediante el mejoramiento genético de plantas. Entre

los métodos recomendados figuran la inducción de mutaciones que permite mejorar los caracteres negativos conservando los caracteres valiosos de los cultivos.

El presente trabajo de investigación se centró en evaluar los cambios inducidos por la aplicación de rayos gamma a una población M4 de *Amaranthus cruentus*, cuya planta madre tolerante a sequía y a sales, fue recolectada en la ciudad de Huacho, provincia de Huaura, departamento de Lima – Perú.

Considerando lo arriba señalado, se plantea la siguiente interrogante: “Existen diferencias fenológicas, fenotípicas y líneas mutantes valiosas en la población M4 de *A. cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma”.

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

1.1 OBJETIVO GENERAL

Contribuir en el desarrollo de variedades mejoradas de *Amaranthus cruentus*, empleando la inducción de mutaciones, para una agricultura sostenible del cultivo en condiciones marginales.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la variación fenológica, a partir del tiempo de ocurrencia y tiempo térmico acumulado, de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma en condiciones de La Molina.
- Determinar la variación fenotípica, en caracteres morfológicos y agronómicos, 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma.
- Identificar líneas mutantes con mejor comportamiento agronómico, en base a su precocidad, rendimiento, altura de planta y color de grano.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

Grubben y Sloten (1981), citado por Mapes et al., (1983) señalan que probablemente todas las especies para producción de grano del género *Amaranthus* son originarias de América, mientras que las especies para hoja son originarias de Asia y que se ha formado centros secundarios de diversidad en las zonas productoras.

Las hojas y semillas del género *Amaranthus* fueron utilizadas por los habitantes de América Prehistórica, mucho antes del proceso de domesticación de estas plantas (Sauer, 1967), (Mapes et al., 1983). Las evidencias arqueológicas encontradas por Mac Neish (1964) indican que los indígenas ya cultivaban esta planta durante la fase Coxacatlán, México (5200 a 3400 años a.C.), lo cual quiere decir que la domesticación del amaranto tuvo lugar en la misma época que la del maíz (Barros y Buenrostro, 1997).

Según Grubben (1975) y Grubben y Sloten (1981), ambos citados por Mapes et al. (1983), *Amaranthus cruentus* L., especie para la producción de grano, es originaria de América Central, probablemente de Guatemala y sureste de México, donde se cultiva y se encuentra ampliamente distribuida. Mientras que *Amaranthus caudatus*, otra especie para la producción de grano; es de día corto y se adapta mejor que las otras especies a bajas temperaturas; es originaria de los andes de América del Sur y de aquí se distribuyó a otras zonas templadas y subtropicales. *Amaranthus hypochondriacus* es otra importante especie para producción de grano y es originaria de México, actualmente se sigue cultivando y se encuentra ampliamente distribuida en México; también se cultiva en los Himalayas en Nepal y en el sur de la India donde se han formado centros secundarios de diversificación. (Sauer, 1967), (Mapes et al., 1983).

Las áreas de producción en América del Sur se concentran en los valles interandinos del Perú, Bolivia y el norte de Argentina. En la región andina del Perú, *A. caudatus* es conocido

como: kiwicha en Cusco, achita en Ayacucho, achis en Ancash, coyo en Cajamarca y qamaya en Arequipa. En Bolivia le denominan coimi y en Argentina, millmi.

2.2 VALOR NUTRICIONAL

De acuerdo con Barba de la Rosa et al. (2009), el amaranto es un cultivo que produce semillas con alto valor nutricional y diversas propiedades como niveles elevados de proteína total que supera a cereales de uso común como el trigo, el arroz, la avena y el maíz.

La característica distintiva del grano de *Amaranthus* y lo que lo distingue de un verdadero cereal, es su alto contenido proteico y su composición de aminoácidos beneficiosos. En amaranto, el 65% de las proteínas se encuentran en el embrión y solo el 35% en el perispermo. Al aceptar 100 como el valor biológico más alto de una proteína con una composición equilibrada de aminoácidos, un valor de 73-77 se da para la leche de vaca, mientras que para el amaranto es 75-79 (Wolosik & Markowska, 2019).

Ratusz & Wirkowska (2006), indican un 14% de contenido de proteína, dependiendo de la variedad de planta, clima, condiciones de suelo y método de fertilización. Los análisis de la composición proximal de las harinas de las semillas de amaranto muestran que el contenido de proteína varía entre 13 y 18%, la grasa va de 6.3 a 8.1%, la fibra es de entre 2.2 y 5.8% y el contenido de cenizas es de 2.8 a 4.4% (Huerta y Barba de la Rosa, 2012).

También cabe destacar que los amarantos no contienen gluten, por lo que pueden introducirse en la dieta de los pacientes que sufren de enfermedad celíaca. Así mismo, se recomienda para personas mayores, mujeres embarazadas y personas con anemia o trastornos de hueso, ya que, su contenido de hierro (29.35 mg/100 g) es varias veces superior al de los cereales tradicionales (Palombini et al., 2013), (Wolosik & Markowska, 2019).

2.3 TAXONOMÍA

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2019) presenta la siguiente clasificación taxonómica de *A. cruentus*:

- Reino: Plantae
- Sub-reino: Tracheobionta
- Superdivisión: Spermatophyta

- División: Magnoliophyta
- Clase: Magnoliopsida
- Subclase: Caryophyllidae
- Orden: Caryophyllales
- Familia: Amaranthaceae
- Género: *Amaranthus* L.
- Especies: *Amaranthus cruentus* L.

El género *Amaranthus* ha sido objeto de muchos estudios taxonómicos, pero hasta el momento se clasifica como "difícil". Su taxonomía se complica debido a las numerosas formas híbridas existentes, a su amplia distribución geográfica y por las partes de diagnóstico pequeñas y difíciles de reconocer. La investigación genética reveló que los caracteres morfológicos y anatómicos son diferentes de las relaciones filogenéticas estudiadas en el pasado en la familia Amaranthaceae (Kadereit G et al., 2003), (Wolosik & Markowska, 2019).

2.4 DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

Amaranthus es una planta herbácea anual que se reproduce solo por semillas y tiene un período de crecimiento corto: de 4 a 5 meses. Produce una raíz central, raíz principal, grande y dominante (Makinde et al., 2010), (Wolosik & Markowska, 2019).

Los tallos gruesos son a menudo rectos y ramificados, de 0.4 a 3 m de altura, acanalado por la presencia de estrías longitudinales. Presenta distintas coloraciones, desde el verde hasta el rojo, y muchas veces coincide con el color de las hojas (FAO, 2018).

Las hojas están dispuestas en espiral, se disponen de forma opuesta o alterna, son simples, sin estípulas y su forma varía de ovada a rómbica-ovada. Pueden ser lisas o poco pubescentes de color verde, verde púrpura o rojo.

La inflorescencia del amaranto por su forma se reconoce como panojas, formadas por glomérulos con numerosas flores unisexuales terminales y laterales, con colores que van del

amarillo, anaranjado, rojo hasta el púrpura. Las flores estaminadas se ubican en el ápice del glomérulo y las pistiladas completan el glomérulo (Tapia, 1997).

El glomérulo es una ramificación dicasial cuya primera flor es terminal y siempre masculina, en cuya base nacen 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. La flor masculina está formada por cinco estambres de 1 mm de largo, mientras que la flor femenina presenta un ovario unicelular, súpero coronado por 3 estigmas filiformes y pilosos que aloja a una sola semilla (FAO, 2018).

Wolosik & Markowska (2019) mencionan que las flores de *A. cruentus* poseen 5 tépalos que son lanceolados, agudos, de 2-3 mm de largo, y una bráctea con una punta afilada y larga, lo que hace que la inflorescencia se sienta claramente espinosa.

El 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, la cual cae fácilmente por ser dehiscente (Sánchez, 1980).

Irving et al. (1981), en sus estudios de morfología afirman que el embrión de *A. cruentus* es campilótropo, causado por la forma del óvulo, y que rodea el perispermo como un anillo. El perispermo es el principal tejido de almacenamiento de reservas para el embrión y el endospermo está presente solo en el área micropilar de la semilla.

Según Álvarez et al. (2010), citado por Wolosik & Markowska (2019), los granos de amaranto son lenticulares, con un color que varía desde el blanco, rosado, dorado hasta el marrón y negro. Mide alrededor de 0.9 a 1.7 mm de diámetro y la masa de 1000 semillas es de alrededor de 0.6 a 1 g.

2.5 FENOLOGÍA

La descripción de los estados fenológicos del amaranto ha sido presentada por Mujica y Quillahuamán (1989) y Henderson (1993). Los estados fenológicos coincidentes por dichos autores son los siguientes:

2.5.1 Emergencia (VE)

Es la fase en la cual las plántulas emergen del suelo y muestran sus dos cotiledones completamente extendidos y en el surco se observa por lo menos un 50% de población en este estado. Este estado puede durar de 8 a 21 días dependiendo de las condiciones agroclimáticas.

2.5.2 Fase vegetativa (V1...Vn)

Estas se determinan contando el número de nudos en el tallo principal donde las hojas se encuentran expandidos por lo menos 2 cm de largo. El primer nudo o primer par de hojas verdaderas corresponde al estado V1 el segundo es V2 y así sucesivamente. A medida que las hojas basales senescen la cicatriz dejada en el tallo principal se utiliza para identificar el nudo correspondiente, la planta comienza a ramificarse generalmente en el estado V4.

2.5.3 Fase reproductiva

a) Inicio de panoja (R1)

El ápice de la inflorescencia es visible en el extremo del tallo. Este estado se observa entre 50 y 70 días después de la siembra aproximadamente.

b) Panoja (R2)

La panoja tiene al menos 2 cm de largo.

c) Término de la panoja (R3)

La panoja tiene como mínimo 5 cm de largo. Si la antesis ya ha comenzado cuando se ha alcanzado esta etapa, la planta debería ser clasificada en la etapa siguiente.

d) 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. Durante esta etapa la planta comienza a eliminar las hojas inferiores más viejas y de menor eficiencia fotosintética.

e) Llenado de granos (R5)

La antesis se ha completado al menos en el 95% del eje central de la panoja. Esta etapa se divide en:

- Grano lechoso

Las semillas al ser presionadas entre los dedos, dejan salir un líquido lechoso.

- Grano pastoso

Las semillas al ser presionados entre los dedos presentan consistencia pastosa de color blanquecino.

f) 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, estas cambian de color verde a un color oro y en panojas rojas cambian de color rojo a un café-rojizo. En este estado al sacudir la panoja, las semillas ya maduras caen y al poner entre los dientes ofrecen resistencia a la presión de los mismos.

g) Madurez de cosecha (R7)

Las hojas senescen y caen, la planta tiene un aspecto seco de color café.

2.6 REQUERIMIENTOS CLIMÁTICOS Y FISIOLÓGICOS

El *Amaranthus* pertenece al tipo NAD-ME (enzima málica dependiente de dinucleótidos de nicotinamida y adenina) de la vía C4 de la fotosíntesis. La implicación con esta vía ha permitido que el amaranto se adapte del típico clima de las zonas alto andinas a condiciones tropicales y templadas (Sage et al., 2007), (Wolosik & Markowska, 2019).

Kauffman & Weber (1990), sostienen que la ventaja ecológica de especies con esta vía fotosintética se revela no sólo en la asimilación muy eficiente de CO₂, sino también en el uso más eficiente del agua. Estas plantas consumen el 60% del agua necesaria para la producción de biomasa en comparación con una planta C3. Esto permite un rápido crecimiento del amaranto a altas temperaturas y en condiciones de sequía (incluso a una precipitación total anual de 200 mm).

Dicho de otro modo, las plantas de amaranto carecen de fotorrespiración, proceso que produce pérdida de CO₂ en las plantas que poseen la clásica vía fotosintética C3 (ciclo de Calvin), compuesto necesario para la producción de carbohidratos. Por tal motivo, poseen

una mayor tasa de transformación de carbono atmosférico a azúcares por unidad de agua perdida. Esta ventaja puede observarse aun cuando las estomas están parcialmente cerradas, tal es el caso de un estrés ambiental como puede ser sequía o salinidad.

2.7 TIEMPO TÉRMICO O UNIDADES DE CALOR ACUMULADO

2.7.1 Definición

Según Parthasarathi et al. (2013), las unidades de calor de un cultivo están relacionadas con la temperatura y en consecuencia con el crecimiento y desarrollo de la planta. Las plantas requieren una cierta cantidad de calor para pasar de una fase fenológica a otra. Dicha medida de calor acumulado se conoce como tiempo térmico y se expresa como horas día, grados hora (°hr) o grados día (°D).

Las unidades de calor o tiempo térmico es una unidad de energía térmica calculada por cada día y acumulada desde la siembra hasta cosecha. El crecimiento de la planta es dependiente de la cantidad total de calor a la que se somete durante su tiempo de vida (Parthasarathi et al., 2013).

Una unidad de calor se determina como la diferencia entre el promedio de temperaturas máxima y mínima de un día y la temperatura base. Este sistema permite cuantificar el efecto de la temperatura en el desarrollo del cultivo.

2.7.2 Importancia

Las aplicaciones de las unidades de calor en la producción de los cultivos son:

- a) Evaluar la idoneidad de una región para la producción de un cultivo en particular.
- b) Determinar las etapas de crecimiento de los cultivos.
- c) Predecir el mejor momento de fertilización o aplicación de herbicidas y reguladores de crecimiento.
- d) Estimar el estrés de calor en los cultivos.
- e) Predecir la madurez fisiológica y épocas de cosecha.

2.7.3 Unidades de calor en los amarantos

Como cada etapa de desarrollo de un cultivo tiene su propio requerimiento de calor total. Ortega et al. (2003), mencionan que se requieren de 1,629 unidades calor desde la siembra del grano hasta la madurez comercial para los genotipos de *Amaranthus hypochondriacus* L., pudiéndose obtener un rendimiento de grano en promedio 3.46 a 3.6 t/ha, a una densidad

de población de 100,000 plantas/ha en una región situada en los Valles Centrales del Estado de México.

Díaz et al. (2004), menciona que el requerimiento térmico del cultivo de amaranto en condiciones de clima templado semiárido fue de 35 unidades de calor (UC) de siembra a emergencia, de 704 UC de emergencia a inicio de floración, de 889 UC de inicio de floración a madurez fisiológica, y 1629 UC de requerimiento térmico acumulado desde la siembra hasta la madurez fisiológica.

2.8 MUTACIONES

Poehlman & Allen (2003) expresan que para que una mutación sea detectada, debe ocurrir algún cambio fenotípico en la planta. Un cambio visible en alguna característica morfológica como altura de planta, color de pericarpio, deficiencia de clorofila, entre otros, que se identifiquen más fácilmente.

Mba (2013) indica que la mutación es un cambio heredable del material genético, los individuos que muestran estos cambios heredables reciben la denominación de mutantes.

Las mutaciones inducidas en especies vegetales son procedimientos utilizados desde hace más de ochenta años, donde se emplea la radiación para reorganizar la composición genética sin modificar en forma significativa el genoma de las plantas de manera que permitan aumentar y mejorar su rendimiento (Novak y Brunner, 1992).

2.8.1 Tipos de mutaciones

Según Poehlman y Allen (2003), la mutación espontánea es aquella que ocurre en la naturaleza, mientras que una mutación inducida es la que resulta de la acción de un agente mutagénico o mutágeno. Asimismo, mencionan que las radiaciones ionizantes y los mutágenos químicos han sido los principales agentes utilizados para incrementar la frecuencia de las mutaciones en las plantas. Las radiaciones incluyen los rayos X, los neutrones, los rayos ultravioletas y los rayos láser. A su vez, indican que los efectos de los mutágenos químicos son menos fuertes que los de las radiaciones ionizantes (físicos), y generan más mutaciones génicas, pero menos alteraciones cromosómicas.

Las mutaciones también pueden ser clasificadas en función del tipo de efecto producido sobre el material genético, mencionándose las mutaciones génicas o puntuales la que afectan a una base o solo un número pequeño de estas, y que necesitan análisis moleculares para su

detección precisa, estando además incluidas en este tipo de mutaciones las adiciones, deleciones y sustituciones (Oliva y Vidal, 2006). Otro tipo de mutaciones de acuerdo al daño o cambio ocasionado son las mutaciones cromosómicas, que afectan a uno o varios de estos, implicando deleciones, inserciones, inversiones, traslocaciones o reordenamientos; siendo conocidas también como aberraciones cromosómicas y ocurriendo en una tasa de 10^{-6} por ciclo celular (Acquaah, 2012; Klug et al., 2006).

Por último, las mutaciones genómicas, son aquellas que implican el cambio de ploidía, subclasificándose en aneuploides y euploides, siendo las primeras en referencia al aumento (hiperploide) o pérdida (hipoploide) de cromosomas; mientras que los otros se refieren a variaciones del número de juego de cromosomas, pudiéndose dar una haploidía (si el juego disminuye) o poliploidía (cuando el juego aumenta) (Klug et al., 2006).

Sin embargo, no es posible dirigir el proceso de mutación de manera que produzca un tipo de mutación específica. Para cultivos propagados por semillas, estas, son tratadas con los mutagénicos y para los de propagación vegetativa se puede usar los tejidos organizados que se emplean para su propagación (Mba, 2013).

2.8.2 Inducción de mutaciones

Según Donini et al., 1984, las mutaciones incorporadas en programas de mejoramiento genético consisten, principalmente, en cambios en la arquitectura de la planta, tiempo de floración, forma y color de la flor, forma, color y tamaño del fruto y resistencia a patógenos e insectos. Así mismo, se han reportado cambios por efecto de mutaciones en caracteres, como contenido de aceite en girasol y soya; composición de ácidos grasos del aceite de lino, soya y canola o colza (Robbelen, 1990). Muchos cultivares mutantes de plantas propagadas por semilla, son de alto rendimiento. En China, cultivares exitosos basados en mutantes se siembran en millones de hectáreas. En Checoslovaquia, casi toda la cebada maltera es producida sobre la base de cultivares obtenidos por mutaciones (FAO/IAEA 1991).

Esta técnica requiere el uso de buenas variedades comerciales o material de mejoramiento promisorio que tenga uno o dos defectos. Con los agentes mutagénicos actualmente disponibles y los miles de genes expuestos al mutágeno existe la posibilidad de que se produzcan varias mutaciones inducidas (Micke; Donini, 1993).

La Agencia Internacional de Energía Atómica (IAEA) ha recogido en un banco de datos, junto con la organización de Naciones Unidas para la alimentación y la agricultura (FAO),

informaciones sobre más de 3,000 mutaciones en diferentes especies (IAEA 2016, <http://www.mvd.iaea.org/MVD/default.htm>).

2.8.3 Agentes mutagénicos

De acuerdo con Cubero (2003) un agente mutagénico debe tener la suficiente efectividad sobre el material hereditario para ocasionarle cambios estructurales, así como también debe ser inocuo, relacionándose con este último punto el término de dosis letal media (DSLO), que es la dosis que mata al 50% de los individuos tratados.

Por otro lado, los agentes mutagénicos clásicos pueden dividirse en dos grupos en función de su naturaleza, pudiendo ser físicos o químicos. Dentro de los agentes físicos, se encuentra las categorías de ionizantes y no ionizantes (Madigan et al., 2009), siendo los ionizantes las más utilizados para la inducción de alteración de caracteres en cultivos, incluyéndose en esta categoría a los rayos X, rayos gamma, rayos beta, neutrones y haces de iones de alta energía (Suprasanna et al., 2015).

De acuerdo al Organismo Internacional de Energía Atómica, en *Amaranthus sp.* se informó el registro de las variedades mutantes: New Asuteka, obtenida en Japón empleando rayos gamma con una dosis de 500 Gray, las características mejoradas fueron precocidad y reducción de altura de planta. Y Centenario, obtenida en Perú empleando rayos gamma con una dosis de 400 Gray, su principal atributo mejorado fue la mejora de los rasgos de producción de semillas. Ambas variedades mutantes, fueron liberadas oficialmente en su país, en el año 2006 (<https://mvd.iaea.org/#!/Home>).

Con respecto a los mutágenos químicos, estos se clasifican de acuerdo a su modo de acción, estando entre estos los análogos de bases como el 5-Bromouracilo o la 2-Aminopurina, que se incorporan en el ADN en el lugar de las bases timina y adenina; los agentes que reaccionan con el ADN y que actúan sobre este cuando no se está replicando, ocasionando cambios químicos en sus bases constituyentes; los agentes alquilantes, afectando también al ADN que no se replica, teniendo como ejemplo al etil metano sulfonato (EMS), metil metano sulfonato (MMS), dietil sulfato (DES), etc (Novak y Brunner, 1992).

2.9 CARACTERIZACIÓN DEL GERMOPLASMA

2.9.1 Definición

Franco e Hidalgo (2003), mencionan que se entiende por caracterización a la descripción de la variación que existe en una colección de germoplasma, en términos de características morfológicas y fenológicas de alta heredabilidad; es decir características cuya expresión es poco influenciada por el ambiente. La caracterización debe permitir diferenciar a las accesiones de una especie. La caracterización es un proceso que inicia con la colección o introducción de germoplasma de una misma especie, para tomar datos mayormente cualitativos y con ello diferenciar las accesiones (Ríos, 2010).

Según Núñez-Colín y Escobedo-López (2014) se refieren a la caracterización como la determinación de los atributos peculiares de un recurso, de modo que podamos distinguirlo claramente de cualquier otro. En un programa de mejoramiento genético por inducción de mutaciones permite conocer los atributos particulares de cada individuo (padres y descendencia mutante) para identificar qué características se van a mejorar, qué individuos presentan dicha característica y cuáles presentan otras importantes, así como para conocer las diferencias entre ellos y establecer cuáles serían los mutantes más promisorias o si es mejor realizar hibridaciones o selecciones. La caracterización permite medir la variabilidad y seleccionar los individuos representativos para un programa de mejoramiento genético.

2.9.2 Importancia

Hernández (2013) concluye que la caracterización morfológica de recursos fitogenéticos es un procedimiento que permite medir y conocer la variabilidad genética del genoma de una población, diferenciar taxonómicamente a las plantas, y seleccionar los descriptores morfológicos más adecuados, confiables y discriminantes para la evaluación de las plantas.

2.9.3 Descriptores

Según Franco e Hidalgo (2003), un descriptor es una característica o atributo cuya expresión es fácil de medir, registrar o evaluar y que hace referencia a la forma, estructura o comportamiento de una accesión.

Los descriptores son aplicados en la caracterización y evaluación de las accesiones debido a que ayudan a su diferenciación y a expresar el atributo de manera precisa y uniforme, lo que simplifica la clasificación, el almacenamiento, la recuperación y el uso de los datos (Franco e Hidalgo, 2003).

En los datos de caracterización se registran caracteres que son altamente heredables, que pueden ser fácilmente detectados a simple vista y que se expresan sin variaciones mayores en todos los ambientes (Sevilla & Holle, 2004).

2.10 ANÁLISIS MULTIVARIADO

Los datos definidos después de caracterizar los genotipos con el uso de descriptores, pueden ser analizados mediante métodos estadísticos de tendencia central y dispersión, así como multivariados, para obtener conclusiones acerca de la variabilidad y la utilidad del germoplasma (Hernández, 2013).

Los métodos multivariados analizan simultáneamente medidas múltiples de cada individuo. Son una extensión de los análisis univariados y bivariados que se consideran como tal si todas las variables son aleatorias y están interrelacionadas (Hair et al., 1992). Su objetivo principal es permitir la descripción de las accesiones tomando en cuenta simultáneamente varias características, sin dejar de considerar la relación existente entre ellas. Los métodos multivariados pueden ser de dependencia y de interdependencia. Los primeros incluyen discriminante múltiple, correlación canónica, regresión múltiple, multivariante de la varianza y conjunto. Los métodos de interdependencia incluyen los componentes principales, factorial, conglomerados, multidimensional y correspondencia.

2.10.1 Análisis Factorial Mixto (AFMD)

El análisis factorial mixto (AFMD) es una técnica de análisis multivariante que estudia datos mixtos, categóricos y cuantitativos. Es una aproximación analítica doble o mixta análoga al Análisis de componentes principales para las variables continuas o cuantitativas y al Análisis de correspondencias múltiples para variables categóricas o cualitativas. El AFMD permite estudiar la similitud entre los individuos teniendo en cuenta todas las variables y respetando su naturaleza, ya sea cualitativa o cuantitativa (Zubcoff, 2017).

Las técnicas de análisis factorial muestran la existencia de variables que conjuntamente miden el mismo fenómeno, o varias de ellas distintos fenómenos subyacentes a la realidad estudiada. Es decir, los factores o dimensiones que se encuentran son combinaciones (lineales) de las variables originales, cada una de estas variables contribuirá en mayor o menor medida a configurar las nuevas variables factoriales. Por tanto, el modelo matemático sobre el que se edifica el análisis factorial es el modelo lineal y se trata de explicar las

correlaciones, la variabilidad, de un conjunto de información con un número menor de variables nuevas subyacentes que salen de la combinación de las variables originales. (López & Fachelli, 2015).

2.10.2 Análisis de clúster o agrupamiento

El análisis de clúster o agrupamiento, conocido también como Análisis de Conglomerados, es una técnica estadística multivariante cuya idea básica es agrupar un conjunto de observaciones en un número dado de clúster o grupos. Este agrupamiento se basa en la idea de distancia o similitud entre las observaciones (De la Fuente, 2011).

Se distinguen dos grandes categorías de métodos clúster: Métodos jerárquicos y Métodos no-jerárquicos. Los métodos jerárquicos se subdividen a su vez en aglomerativos y divisivos:

- Métodos jerárquicos aglomerativos: se comienza con los objetos o individuos de modo individual; de este modo, se tienen tantos clústeres iniciales como objetos. Luego se van agrupando de modo que los primeros en hacerlo son los más similares y al final, todos los subgrupos se unen en un único clúster.
- Métodos jerárquicos divididos: se actúa, al contrario. Se parte de un grupo único con todas las observaciones y se van dividiendo según lo lejanos que estén.

En cualquier caso, de ambos métodos se deriva un dendograma, que es un gráfico que ilustra cómo se van haciendo las subdivisiones o los agrupamientos, etapa a etapa (De la Fuente, 2011).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 MATERIALES

3.1.1 Ubicación de la zona experimental

El presente trabajo se realizó en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, la cual se ubica geográficamente:

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

3.1.2 Características climáticas de la zona

El distrito de La Molina presenta condiciones típicas de la Costa Central, con clima templado cálido. La zona se clasifica como un desierto subtropical árido caluroso.

Las temperaturas promedio por cada hora durante todo el ciclo del cultivo (agosto 2018 - enero 2019) en el que se desarrolló la parte experimental del presente trabajo de investigación fueron obtenidas de la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt de la UNALM.

3.1.3 Características del suelo

Los suelos de la Molina se encuentran fisiográficamente situados en una terraza media de origen aluvial. Se caracteriza por presentar buen drenaje, permeabilidad moderada textura media a ligeramente gruesa, estructura granular fina y consistencia en húmedo que va desde friable a muy friable (Quillatupa, 2009).

3.1.4 Material vegetal

Se utilizó 24 líneas mutantes de una población M4 de *Amaranthus cruentus* derivadas de un solo genotipo original, la accesión “Selección Huacho”, la cual fue irradiada con rayos gamma gracias al apoyo del Instituto Peruano de Energía Nuclear (IPEN). Cabe resaltar que, la planta de la accesión original era ramificada, de porte alto, con inflorescencia púrpura y granos de color negro.

Cada línea mutante fue descrita de la siguiente forma:

KACH_1 → K: Kiwicha, A: Amaranthus, C: Cruentus, H: accesión Selección Huacho y el dígito referente al número de línea mutante. Siendo, en total 24 líneas mutantes estudiadas.

3.1.5 Materiales y equipos utilizados

Los materiales y equipos utilizados en la presente investigación fueron:

- Tractor y herramientas de preparación de terreno
- Wincha 30 m
- Bolsas de papel kraft
- Cuaderno de campo y lapicero
- Tabla de código decimal para la evaluación fenológica
- Rafia y tijeras
- Stickers pegables
- Regla graduada
- Tabla de caracterización del Banco de Germoplasma de *Amaranthus*
- Balanza de campo y analítica
- Placas Petri y/o recipientes de aluminio
- Cámara fotográfica
- Datos meteorológicos

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Características del campo experimental

Las dimensiones y características del campo experimental fueron las siguientes:

Nº de parcelas estudiadas por bloque: 24

Nº de repeticiones/línea mutante: 3

Nº surcos/parcela: 4

Longitud de surco: 2 m
Distancia entre surcos: 0.8 m
Distancia entre parcelas: 0.8 m
Distancia entre bloques: 1 m
Área efectiva del experimento: 480 m²
Área total del terreno: 750 m²

3.2.2 Manejo del cultivo

Preparación del terreno

Esta actividad se ejecutó de acuerdo a la preparación de terrenos convencional dos días antes de la siembra. Primero se realizó una aradura seguida de 2 pasadas de rastra, luego se procedió a nivelar con rastrillos y finalmente se surcó el terreno. El distanciamiento entre surcos fue de 80 cm.

Fertilización

Se utilizó una dosis de fertilización de 180-80-50, un nivel recomendado para kiwicha en costa, específicamente una dosis utilizada en experimentos anteriores dentro del campo del Programa de Cereales. Las fuentes utilizadas fueron urea, superfosfato triple de calcio y cloruro de potasio. Todo se aplicó al momento de la siembra.

Siembra

La siembra de las 24 líneas mutantes se realizó de forma manual a chorro continuo, con una densidad de 5 Kg/ha, sobre el lomo del surco procurando que las semillas queden a una profundidad no mayor a 2 cm. Dicha labor fue realizada el 20 de agosto del 2018.

Desahíje

Se realizó cuando las plantas completaron su segundo par de hojas verdaderas, dejando una distancia entre plantas seleccionadas de 6 a 7 cm.

Control de malezas

Se realizó manualmente en forma simultánea con el desahíje, aprovechando el suelo húmedo gracias al tercer riego.

Aporque

Se realizó cuando la mayoría de plantas tuvieron entre 30 y 40 cm de altura. Esta labor fue importante porque permitió dar mayor estabilidad a las plantas y controlar las malezas entre los surcos.

Riegos

Se aplicó riego por goteo, para ello se extendieron cintas de riego a lo largo de los surcos. El primer riego se realizó al día siguiente de la siembra con el fin de asegurar una buena germinación. Los demás riegos se programaron con una frecuencia quincenal y semanal en algunos casos, dependiendo de las temperaturas diarias y evapotranspiración del cultivo. El tiempo de riego fue de 4 horas y en las primeras horas del día.

Control Fitosanitario

Desde la aparición de las hojas cotiledonales se observó un continuo ataque de mosca minadora (*Liriomyza huidobrensis*) y pulgón (*Aphis spp*) sobre los brotes y las hojas de las plantas. Dichas plagas no ocasionaron mayor problema, pero, con la finalidad de reducir su población se instalaron aleatoriamente trampas amarillas en toda el área del terreno y se aplicó Cipermax (0.4 mL/ha) en dos momentos. Además, se identificó thrips, que migraron del cultivo de quinua sembrado al costado, cuyo control se realizó con una aplicación de Perfekthion (1L/ha), a mediados del mes de octubre, días antes de que las plantas ingresen a floración.

En cuanto a enfermedades, se observó la aparición de chupadera fungosa de forma aislada en las parcelas. Así mismo, se observaron incidencias menores de la podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua*) en algunas parcelas. Ambas fueron controladas con prácticas culturales.

Cosecha

Se efectuó de forma escalonada, según la madurez fisiológica y el porcentaje adecuado de humedad del grano de cada accesión. Primero se cortó, con la ayuda de una tijera de injertar y bandejas de plástico, las panojas de las plantas representativas de las variantes observadas en las parcelas, posteriormente se dejó secar, se trillaron y ventilaron los granos. Por otro lado, las plantas remanentes de las parcelas fueron cosechadas y trilladas en grupo con una máquina cosechadora-trilladora.

3.2.3 Cronograma de actividades

Las principales labores realizadas en la conducción del experimento se encuentran en la Tabla 1.

3.2.4 Diseño experimental

El experimento constó de 24 tratamientos (24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma), el diseño experimental empleado fue el de Bloques Completamente al Azar (DBCA) con tres repeticiones. Para el análisis de varianza (ANVA) se utilizó el paquete estadístico SAS versión 6.12. Posteriormente, la comparación de medias entre los tratamientos, se realizó mediante la prueba de DUNCAN a un nivel de significación del 5%.

Tabla 1: Cronograma de actividades realizadas en la conducción del experimento “Variabilidad fenológica y fenotípica de una población M4 de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho irradiada con rayos gamma”

Fecha	Labor realizada
19/08/18	Arado, gradeo, nivelación y surcado del terreno
20/08/18	Fertilización de fondo con N, P y K
20/08/18	Siembra del campo e instalación de las cintas de riego
21/08/18	Primer riego
28/08/18	Instalación de trampas amarillas
29/08/18	1ra aplicación de Ciperhex para mosca minadora
04/09/18	Segundo riego
11/09/18	Tercer riego
12/09/18	Inicio del desahije y desmalezado de las parcelas
14/09/18	2da aplicación de Ciperhex para mosca minadora
17/09/18	Cuarto riego
25/09/18	Quinto riego
02/10/18	Aporque
04/10/18	Sexto riego
10/10/18	Séptimo riego y aplicación de Perfektion para thrips
17/10/18	Octavo riego
24/10/18	Noveno riego
02/11/18	Décimo riego
17/11/18	Undécimo riego
26/11/18	Duodécimo riego
07/12/18	Último riego
14/12/18	Caracterización de plantas representativas
17/12/18	Inicio de cosecha
19/01/19	Inicio del conteo y pesado de 1000 granos

3.3 EVALUACIONES

3.3.1 Fenología del cultivo

Para las observaciones de fenología se tomaron como base la descripción de los estados fenológicos según Mujica y Quillahuamán (1989) y Henderson (1993). Además, se tomó como referencia la descripción de sub-fases de desarrollo de la quinua, realizada por Quillatupa (2009).

Todas las evaluaciones y datos se registraron en los dos surcos centrales de las parcelas. En cada surco central se marcaron tres plantas referenciales, en total se seleccionaron seis plantas por parcela. Cada observación de fenología se realizó en las mañanas, entre las nueve y el medio día, con el fin de obtener una data homogénea.

Los datos fueron registrados según el tiempo de ocurrencia, es decir, se anotaron los días después de la siembra en que el 50% de plantas de los dos surcos centrales de cada parcela cambiaron de una fase fenológica a otra o el día en que se observó alguna estructura morfológica o fisiológica representativa de la fase fenológica. Con toda la información colectada se elaboró una base de datos en Excel, a partir de los promedios generados.

A continuación, se describen las 9 fases fenológicas observadas, cada una con sus sub fases respectivas, determinadas durante la evaluación, para efectos de la presente investigación:

Fase de Germinación

Inició con la absorción de agua por parte de las semillas y posterior emisión de la radícula, así mismo se observó el crecimiento del hipocótilo hasta su emergencia del suelo.

a. Sub fase de emergencia. Seguido del crecimiento del hipocótilo, se observó el crecimiento de los cotiledones, las plántulas emergieron del suelo con las dos hojas cotiledonales pegadas por la envoltura de la semilla en el ápice.

b. Sub fase de hojas cotiledonales extendidas. Las hojas cotiledonales se separaron posteriormente y se extendieron de forma opuesta. El fin de la fase de germinación fue determinada por la extensión total de los cotiledones.

Fase de Desarrollo Vegetativo y Ramificación

Se apreció superposición entre la fase de desarrollo vegetativo y ramificación. A continuación, se describen las sub fases observadas:

- a. Sub fase del primer par de hojas verdaderas desplegadas.** Empezó con la formación del botón vegetativo de las hojas verdaderas 1 y 2 sobre las hojas cotiledonales, para luego crecer y expandirse en forma alterna, perpendiculares a las hojas cotiledonales. La formación del botón vegetativo de las hojas verdaderas 3 y 4 fue visible antes de la extensión completa del primer par de hojas verdaderas.
- b. Sub fase del segundo par de hojas verdaderas desplegadas.** Se pudo apreciar que las hojas 3 y 4 se dispusieron en el mismo plano que las hojas cotiledonales, que aún continuaban verdes en la base de la planta. La formación del botón foliar de las hojas 5 y 6 fueron visibles antes que el segundo par de hojas verdaderas estuviesen completamente extendidas.
- c. Sub fase del tercer par de hojas verdaderas desplegadas.** Esto ocurrió cuando las hojas 5 y 6 se dispusieron en el mismo plano que el primer par de hojas verdaderas. Además, se observó que las hojas cotiledonales de la mayoría de accesiones empezaron a perder color. Las yemas foliares axilares del primer par de hojas se hicieron evidentes en algunas accesiones. Aquellas accesiones que presentaron yemas foliares axilares durante esta sub fase empezaron a desplegar las primeras hojas axilares.
- d. Sub fase del cuarto par de hojas verdaderas desplegadas.** En esta sub fase las hojas 7 y 8 se dispusieron en el mismo plano que el segundo par de hojas verdaderas.
- e. Sub fase del quinto par de hojas verdaderas desplegadas.** Ocurrió el despliegue de las hojas 9 y 10. Las accesiones más precoces se encontraban en pleno desarrollo de ramificación y las más tardías recién mostraban la aparición de su botón foliar.
- f. Sub fase del sexto par de hojas verdaderas desplegadas.** Ocurrió el despliegue de las hojas 11 y 12 y la aparición del primordio floral en algunas accesiones. Todas las accesiones se encontraban en pleno desarrollo y apertura de las hojas axilares. Luego de esta sub fase se formaron más hojas verdaderas que se emitieron de manera simultánea con la ramificación de la planta y dando lugar a

la pérdida de la simetría observada en la formación de las primeras hojas verdaderas.

- g. Sub fase de 1ras yemas axilares.** Se inició con las yemas foliares axilares del primer par de hojas verdaderas seguido casi de manera simultánea por las yemas foliares del segundo par de hojas verdaderas y así sucesivamente lo hicieron las yemas foliares siguientes de las 10 primeras hojas, conforme éstas se iban extendiendo.
- h. Sub fase de 1ras hojas axilares.** Las hojas axilares brotaron de las yemas foliares, de las axilas de las hojas verdaderas del tallo principal en orden secuencial con la formación de las hojas verdaderas.

Fase de Desarrollo del Botón Floral e Inflorescencia

En esta fase se diferencia el primordio floral y se presenta como una estructura compacta y de apariencia dura encerrada dentro de hojas protectoras. En la mayoría de accesiones esta estructura se notó luego del inicio de la ramificación.

a. Sub fase del botón floral de 0.5 cm. El botón floral ubicado en el ápice del tallo principal, medía 0,5 cm. desde la base de inserción al ápice.

b. Sub fase del botón floral de 1 cm. El botón floral continuó su crecimiento y midió desde el punto de inserción al ápice 1 cm. aproximadamente.

a. Sub Fase de Inicio de Piramidación de la Inflorescencia: Se caracteriza por la diferenciación visible de la inflorescencia o panoja en el ápice del tallo principal, en forma de una pirámide. Luego a medida que fue creciendo la panoja se fueron diferenciando los ejes de la inflorescencia y los glomérulos con los grupos de flores. La longitud de las panojas fueron variables alcanzando algunas de ellas más de 90 cm.

Fase de Floración

Esta fase se caracterizó por la apertura de las flores. Las primeras en abrirse fueron las flores apicales de las panojas. En algunas panojas solo una flor fue la precursora de la floración para luego ser seguida por la apertura de las demás flores. Así mismo, se observó que las hojas inferiores de las plantas empezaron a caerse en las líneas precoces. Sin embargo, en algunas líneas tardías hubo emisión de hojas hasta esta etapa.

Se determinó la fecha de plena floración, cuando el 50% de las flores pistiladas llegaron a abrirse. Se observó polen de color amarillo y tecas vacías. El polen quedó impregnado en los dedos cuando se tocaron las panojas en esta fase.

Fase de Antesis

Las flores de la panoja principal permanecieron abiertas entre 4 a 7 días aproximadamente. Una vez realizada la liberación del polen, las anteras se fueron marchitando, las anteras marchitas fueron notorias por varios días, incluso algunos permanecieron adheridos hasta cuando los granos empezaron a ser más evidentes. Al mismo tiempo se observó el cierre del perigonio sepaloide para proteger el embrión ya fecundado. Los tallos y ramas de las plantas en algunas accesiones continuaron elongándose, excepto en las accesiones más precoces donde se alcanzó la máxima altura. La floración en las panojas axilares y sub axilares continuó aun cuando la panoja principal ya había finalizado la fase de antesis. En esta fase se observó eliminación de hojas en forma ascendente en la planta por efecto de la senescencia.

Fase de Crecimiento del Grano

Una vez producida la fecundación se inició el crecimiento del grano, esta fase incluye el estado acuoso y lechoso del grano.

En todas las accesiones estudiadas se apreció una superposición del estado de grano acuoso y grano lechoso. Se consideró como dato que el 50% de los granos llegaron al estado lechoso. Las hojas del tercio superior de la mayoría de accesiones seguían verdes y aquellas de los dos tercios inferiores en proceso de decoloración y claros signos de senescencia y caída.

Fase de Llenado de Granos

Esta fase incluye el estado pastoso suave y duro del grano:

a. Sub fase de grano pastoso suave: En esta sub fase al presionar los granos se observó una masa de color blanco sólida.

b. Sub fase de grano pastoso duro: Se caracterizó por la pérdida de humedad de los granos, identificados del siguiente modo: 50% de los granos en la panoja se partieron presionando con la uña, este estado es conocido como “grano rayable con la uña” y 50% de los granos secos para partirse requerían ser presionados entre los dientes, este

estado fue identificado como “grano frágil bajo el diente”. En general, la maduración de los granos fue desuniforme dentro de una misma panoja. Se detectaron granos en estado rayable y granos secos, demostrando que la floración y maduración es asincrónica.

Los tallos empezaron a decolorarse paulatinamente perdiendo sus colores originales.

La maduración de los brotes florales axilares se dio en todos los casos, después de las panojas principales. Las panojas axilares, sub axilares y brotes, presentaron granos en estado acuoso, lechoso y pastoso, cuando ya las panojas principales habían llegado a la fase de grano pastoso duro.

Fase de Madurez Fisiológica

Se consideró el cambio de color de la panoja, como resultado del inicio de secado de la misma, el indicador para determinar la madurez fisiológica. Las panojas verdes cambiaron a un color oro y las panojas rojas se tornaron de color café-rojizo.

Fase de Madurez de Cosecha

Para esta fase se consideró la panoja totalmente seca, así mismo, se observó caída y senescencia de hojas. La planta tomó un aspecto marchito y seco.

3.3.2 Determinación de unidades de calor

Los datos meteorológicos de temperaturas medias-horarias fueron obtenidos de la Estación Meteorológica Alexander Von Humboldt, ubicada en la Universidad Nacional Agraria La Molina, para la determinación del tiempo térmico o unidades térmicas acumuladas para cada fase fenológica.

Para los cálculos del tiempo térmico, en grados día, se utilizaron plantillas de Excel (Anexos N°1 - 6), de acuerdo a lo planteado por Snyder et al. (1999), quienes calculan grados día (°D) en base a grados hora (°H):

$$^{\circ}\text{D}=(\sum^{\circ}\text{H}) /24 \quad \text{Siendo} \quad ^{\circ}\text{H}=(\text{T}^{\circ}\text{máx} + \text{T}^{\circ}\text{mín})/2 - \text{T}^{\circ}\text{base}=\text{T}^{\circ}\text{m} -\text{Tb}$$

Dónde: T°máx= temperatura máxima (°C), T°mín= temperatura mínima (°C) y T°base = temperatura base o umbral mínimo de desarrollo, considerada como 6 °C para amaranto (Merrien, 1986).

3.3.3 Caracterización de plantas representativas

Esta actividad se realizó cuando las plantas alcanzaron la etapa de desarrollo de grano acuoso, para ello se procedió a marcar plantas representativas en cada parcela, así como plantas fenotípicamente diferentes, producto de la mutación. En total se caracterizaron 209 plantas derivadas de las 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho (Anexo 8).

En la generación M4 se evaluó el tipo y frecuencia de mutaciones en caracteres morfológicos, color de grano, altura de planta y rendimiento (peso de 1000 granos). Se siguió el procedimiento descrito en el Manual de Mutaciones del OIEA (IAEA, 1977) y se emplearon los descriptores de *Amaranthus* del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), (1981) (Tabla 2).

Las variables morfo-agronómicas evaluadas fueron: forma de hoja (HF), borde de hoja (HB), color de hoja (HC), color de venas (HVC), pigmentación en la hoja (HP), color de peciolo (HCP), color de tallo (TC), presencia de estrías en el tallo (TPE), color de estrías en el tallo (TCE), presencia de ramas (TPR), densidad de inflorescencia (ID), color de inflorescencia (IC) y actitud de inflorescencia (IA), color de grano, altura de planta (cm) y peso de 1000 granos (g).

3.3.4 Rendimiento de grano

Los datos de rendimiento se obtuvieron cosechando un área de 4.8 m² equivalente a los cuatro surcos que conformaron cada unidad experimental o repetición. Los promedios de rendimiento obtenidos por cada línea mutante fueron expresados finalmente en kg/ha.

Tabla 2: Leyenda de los descriptores de *Amaranthus* del Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI), (1981)

LEYENDA										
HF	Forma de Hoja			TC	Color de Tallo		ID	Densidad de Inflorescencia		
	1	Lanceolada			1	Verde		1	Laxa	
	2	Elíptica			2	Rojo		2	Intermedia	
	3	Cuneolada			3	Púrpura	3	Densa		
	4	Aovada			4	Amarillo	Color de Inflorescencia			
	5	Ovotainada		5	Verde claro	1	Amarillo			
	6	Rómbica		TPE	Presencia de estrías		2	Verde		
7	Oval		0		Ausencia	3	Rojo			
HB	Borde de Hoja			TCE	Color de estrías		IC	4	Púrpura	
	1	Entera			1	Amarillo		5	Púrpura/verde	
	2	Carenada			2	Verde		6	Rosado	
3	Ondulada		3		Gris	7		Púrpura/verde claro		
HC	Color de Hoja				4	Rojo		8	Púrpura/amarilla	
	1	Verde claro			5	Púrpura		9	Púrpura/rosada	
	2	Verde		6	Verde claro	11		Verde/rosado		
	3	Púrpura		TPR	Presencia de ramas			12	Rosado/amarillo	
	4	Verde oscuro			0	Ausencia		13	Verde púrpura/rosado	
5	Verde púrpura		1	Presencia	14	Amarillo/rojo				
HVC	Color de Venas			IA	Actitud de Inflorescencia			15	Amarillo/púrpura	
	1	Verde oscuro			1	Erecta		IA	1	Erecta
	2	Rosado			2	Intermedia			2	Intermedia
	3	Púrpura			3	Decumbente			3	Decumbente
	4	Rojo			Pigmentación de la Hoja			1	Color entero	
	6	Verde claro			2	Área basal pigmentada	2	Área basal pigmentada		
	7	Verde rosado			3	Parte central con manchas	3	Parte central con manchas		
HP	Color de Pecíolo				4	Dos estrías en forma de V	4	Dos estrías en forma de V		
	1	Verde claro			5	Una estría en forma de V	5	Una estría en forma de V		
	2	Verde			6	Margen y vena pigmentada	6	Margen y vena pigmentada		
	3	Rojo			7	Mancha irregular envés	7	Mancha irregular envés		
	4	Púrpura			8	Mancha irregular haz y envés	8	Mancha irregular haz y envés		
	5	Rosado			Color de Pecíolo		1	Verde claro		
	6	Amarillo			2	Verde	2	Verde		
	7	Púrpura verde			3	Rojo	3	Rojo		
HCP	8	Rosado verde		4	Púrpura	4	Púrpura			
	9	Rojo verde		5	Rosado	5	Rosado			

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 OBJETIVO 1: VARIACIÓN FENOLÓGICA, SEGÚN TIEMPO DE OCURRENCIA (dds) Y TIEMPO TÉRMICO (°D), DE 24 LÍNEAS MUTANTES DE *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho IRRADIADA CON RAYOS GAMMA, EN CONDICIONES DE LA MOLINA.

4.1.1 Variación fenológica según tiempo de ocurrencia

En la Tabla 3 se muestran los resultados del ANVA para los días a la ocurrencia (días después de la siembra) de la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha. Se observa para repetición, diferencias altamente significativas para desarrollo vegetativo y para tratamiento se aprecia diferencias altamente significativas para todas las fases fenológicas evaluadas. El coeficiente de variación para germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha fue de 5.73%, 2.69%, 2.25%, 1.93%, 1.65%, 1.52%, 1.14%, 0.91% y 0.78%; respectivamente.

Fase de germinación

En la Tabla 4, se presentan el número de días que duró la germinación de las líneas estudiadas, observándose un rango de 7.0 a 10.67 días existiendo diferencias significativas entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$); el valor más bajo se observa en las líneas mutantes KACH4, KACH6, KACH7, KACH8, KACH10, KACH11, KACH15, KACH16, KACH 20, KACH 21 y KACH 23 y el valor más alto en la línea KACH2. La media general fue 7.35 días.

Fase de desarrollo vegetativo y ramificación

El crecimiento vegetativo y la ramificación se superponen por lo que en estudio se consideraron las dos fases juntas. En la Tabla 4, se observa un rango de 47 a 61 días,

correspondiendo el valor más bajo a KACH3 y el más alto a KACH10. La Prueba de significancia Duncan $\alpha=0.05$, muestra las diferencias significativas encontradas para los valores de cada línea mutante. La media general para las fases de desarrollo vegetativo-ramificación fue de 51.9 días.

Fase de desarrollo del botón floral e inflorescencia

La fase de desarrollo del botón floral e inflorescencia presentó un rango de 60.33 a 98.33 días y un valor medio general igual a 71.79 días (Tabla 3). Según la prueba Duncan ($\alpha=0.05$) (Tabla 4) existen diferencias significativas entre estos valores. KACH8 y KACH10 fueron los que tuvieron los valores más bajo y alto; respectivamente.

Fase de floración

La floración o apertura de flores se produjo entre los 72.33 a 110.33 días (Tabla 4). El valor más bajo corresponde KACH8 y el más alto a KACH10 existiendo diferencias significativas entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). La media general fue igual a 84.32 días.

Fase de antesis

En la Tabla 4 se presentan el número de días para la antesis en las líneas mutantes estudiadas. Así mismo, se aprecian diferencias significativas para los valores observados (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$) y un rango de antesis de 79.33 a 119.33 días; correspondiendo estos valores a las líneas mutantes KACH 8 y KACH 10; respectivamente. La media para antesis del experimento fue igual a 91.74 días.

Fase de crecimiento del grano

Los días para crecimiento del grano, que incluye el estado acuoso y lechoso varió de 86.67 a 128.67 días (Tabla 4). Se aprecian diferencias significativas entre estos valores observados (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). El valor más bajo corresponde a KACH 8 y KACH24 y el más alto a la línea mutante KACH5. La media general del experimento fue igual a 101.35 días.

Fase de llenado de granos

Comparando las líneas mutantes mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), Tabla 4, se determina que existen diferencias significativas. La fase de llenado de granos incluye el grano pastoso suave y pastoso duro, cuyo rango varió de 98.33 a 140.67 días, el valor más

bajo fue observado en las líneas mutantes KACH8 y KACH24, mientras que el más alto en KACH5 y KACH10. La media general fue igual a 113.78 días

Fase de madurez fisiológica

Este estado se relacionó a los granos secos con 30 a 40% de humedad y se observó un rango de 104.33 a 146.67 días. La Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) muestra que hay diferencias para madurez fisiológica entre las líneas mutantes. El valor más bajo corresponde a KACH24 y el más alto a KACH5. La media general fue igual a 119.54 días.

Fase de madurez de cosecha

Para este estado se consideró la panoja totalmente seca con caída y senescencia de hojas, se observó un rango de 109.00 a 152.67 días (Tabla 4). El valor más bajo corresponde KACH8 y el más alto a KACH5 existiendo diferencias entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). La media general fue igual a 125.04 días.

Tabla 3: Cuadrados medios del ANVA para el tiempo de ocurrencia (días después de la siembra) de la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Fuente de variación	G.L.	Germinación	Desarrollo vegetativo y Ramificación	Desarrollo del botón floral e inflorescencia	Floración	Antesis	Crecimiento del Grano	Llenado de Granos	Madurez Fisiológica	Madurez de Cosecha
Repetición	2	0.264	15.056**	6.125	4.847	7.389	3.014	2.764	0.792	0.792
Tratamiento	23	1.637**	36.709**	343.125**	365.898**	406.956**	428.072**	399.208**	383.386**	385.458**
Error	46	0.177	1.954	2.603	2.659	2.287	2.362	1.677	1.183	0.951
Total	71									
C.V. (%)		5.73	2.69	2.25	1.93	1.65	1.52	1.14	0.91	0.78
Media (Días)		7.35	51.9	71.79	84.32	91.74	101.35	113.78	119.54	125.04

Tabla 4: Valores medios y Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del tiempo de ocurrencia (días después de la siembra) de las fases fenológicas: germinación, desarrollo vegetativo-ramificación, desarrollo del botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Línea Mutante	Germinación (dds)	Crecimiento Vegetativo - Ramificación (dds)	Desarrollo del Botón floral e Inflorescencia (dds)	Floración (dds)	Antesis (dds)	Crecimiento del Grano (dds)	Llenado de Granos (dds)	Madurez Fisiológica (dds)	Madurez de Cosecha (dds)
KACH1	7.33b	50.67ed	78.00d	88.67c	96.33c	105.33c	117.00c	124.00c	130.00d
KACH2	10.67 ^a	48.67eghf	69.33gf	81.33ed	88.67egdf	105.67d	114.67d	118.67d	123.67f
KACH3	7.67b	47.00h	65.33ih	79.67ef	86.00hjk	91.67lm	105.33j	112.00h	115.00l
KACH4	7.00b	57.67bc	93.67b	107.67ba	113.67b	122.67b	133.33b	138.33b	143.33c
KACH5	7.33b	57.67bc	92.00cb	105.67b	117.67a	127.67a	140.67a	146.67 ^a	152.67a
KACH6	7.00b	48.67eghf	63.67i	76.33g	82.67lm	90.67m	107.67ihj	115.00f	121.00ih
KACH7	7.00b	51.33ed	65.33ih	80.00ef	85.33jlik	93.33lkm	107.33ij	114.33gf	120.33ij
KACH8	7.00b	48.00ghf	60.33j	72.33h	79.33n	86.67n	98.33k	104.67i	109.00m
KACH9	7.33b	50.67ed	67.67hg	80.67ed	87.33hjk	96.33ihj	110.00fhg	115.67ef	121.67gih
KACH10	7.00b	61.00a	98.33 ^a	110.33a	119.33a	128.67a	140.67a	146.00a	151.00b
KACH11	7.00b	52.33d	65.67ih	77.67gf	84.00lk	94.00lkj	107.67ihj	112.67gh	117.33k
KACH12	7.33b	51.00ed	65.33ih	77.33gf	87.33hjk	99.33feg	111.33feg	117.33ed	122.33gfh

...Continuación

Línea Mutante	Germinación (dds)	Crecimiento Vegetativo - Ramificación (dds)	Desarrollo del Botón floral e Inflorescencia (dds)	Floración (dds)	Antesis (dds)	Crecimiento del Grano (dds)	Llenado de Granos (dds)	Madurez Fisiológica (dds)	Madurez de Cosecha (dds)
KACH13	7.67b	51.67d	64.67ih	75.67g	84.33lk	95.33ikj	110.33fg	117.33ed	122.67gfh
KACH14	7.33b	52.67d	63.67i	77.00gf	85.00jlk	93.33lkm	106.00j	111.67h	118.33k
KACH15	7.00b	59.67ba	90.67c	105.33b	113.00b	121.33b	133.00b	138.00b	143.00c
KACH16	7.00b	51.33ed	69.00fg	82.33ed	88.33hegdf	98.33fhg	110.67fg	117.67ed	125.67e
KACH17	7.33b	52.00d	72.67e	83.67d	91.00d	103.33dc	115.00dc	118.67d	123.67f
KACH18	7.33b	52.00d	67.67hg	81.67ed	89.33edf	100.67fe	113.33de	118.33d	123.33gf
KACH19	7.33b	51.00ed	69.33fg	81.67ed	88.00hegif	97.00ihg	109.67ihg	115.00f	121.33ih
KACH20	7.00b	50.33edf	64.33i	77.33gf	85.67hjik	94.67ikj	107.67ihj	113.00gh	119.00kj
KACH21	7.00b	52.00d	70.33feg	82.00ed	89.67edf	99.67feg	110.67fg	116.00ef	121.00ih
KACH22	7.33b	47.67gh	71.67fe	83.33d	90.67ed	101.67de	112.33fe	117.67ed	123.67f
KACH23	7.00b	52.67d	69.67fg	81.33ed	88.67egdf	97.33ihg	109.67ihg	116.00ef	122.00gifh
KACH24	7.33b	50.00egdf	64.67ih	74.67gh	80.33nm	87.67n	98.33k	104.33i	110.00m

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

4.1.2 Variación fenológica según tiempo térmico (°D)

En la Tabla 5 se muestran los resultados del ANVA para el tiempo térmico o unidades de calor acumulado, en grados día (°D), para la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha. Se observa para repetición, diferencias altamente significativas para desarrollo vegetativo y para tratamiento se aprecia diferencias altamente significativas para todas las fases fenológicas evaluadas. El coeficiente de variación para germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha fue de 5.2%, 2.9%, 2.66%, 2.22%, 1.96%, 1.9%, 1.43%, 1.18% y 0.93%; respectivamente.

Fase de germinación

En la Tabla 6 se presenta el tiempo térmico o unidades de calor acumulado en grados día (°D) en la que se completó la fase de germinación de las líneas estudiadas, observándose un rango de 65.39 a 97.24 °D, existiendo diferencias significativas entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$); el valor más bajo se observa en las líneas mutantes KACH4, KACH6, KACH7, KACH8, KACH10, KACH11, KACH15, KACH16, KACH 20, KACH 21 y KACH 23 y el valor más alto en la línea KACH2. La media general fue 68.36 °D.

Fase de desarrollo vegetativo y ramificación

El crecimiento vegetativo y la ramificación se superponen por lo que en estudio se consideraron las dos fases juntas. En la Tabla 6, se observa un rango de 458.05 a 603.88 °D, correspondiendo el valor más bajo a KACH3 y el más alto a KACH10. La Prueba de Duncan $\alpha=0.05$, muestra las diferencias significativas encontradas para los valores de cada línea mutante. La media general para las unidades de calor requeridas para las fases de desarrollo vegetativo-ramificación fue de 507.15 °D.

Fase de desarrollo del botón floral e inflorescencia

La fase de desarrollo del botón floral e inflorescencia presentó un rango de 595.83 a 1047.43 °D y un valor medio general igual a 728.82 °D (Tabla 5). Según la prueba Duncan ($\alpha=0.05$) (Tabla N°6) existen diferencias significativas entre estos valores, KACH8 y KACH10 fueron los que tuvieron los valores más bajo y alto; respectivamente.

Fase de floración

La floración o apertura de flores se produjo entre los 735.86 a 1202.53 °D (Tabla 6). El valor más bajo corresponde KACH8 y el más alto a KACH10 existiendo diferencias significativas entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). La media general fue igual a 876.52 °D.

Fase de antesis

En la Tabla 6 se presentan las unidades de calor acumulado, en grados día, para la antesis en las líneas mutantes estudiadas. Así mismo, se aprecian diferencias significativas para los valores observados (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$) y un rango de 814.38 a 1319.87 °D; correspondiendo estos valores a las líneas mutantes KACH 8 y KACH 10; respectivamente. La media general para antesis del experimento fue igual a 963.95 °D.

Fase de crecimiento del grano

Las unidades de calor acumulado para crecimiento del grano, que incluye el estado acuoso y lechoso variaron de 898.7 a 1449.33 °D (Tabla 6). Se aprecian diferencias significativas entre estos valores observados (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). El valor más bajo corresponde a KACH 8 y KACH24, y el más alto a la línea mutante KACH5. La media general del experimento fue igual a 1087.10 °D.

Fase de llenado de granos

Comparando los valores de unidades de calor acumuladas por las líneas mutantes mediante la Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$), Tabla 6, se determina que existen diferencias significativas. El llenado de granos incluye grano pastoso suave y pastoso duro cuyo rango varió de 1048.12 a 1628.73 °D, el valor más bajo fue observado en las líneas mutantes KACH8 y KACH24, mientras que el más alto en KACH5. La media general fue igual a 1251.09 °D.

Fase de madurez fisiológica

Este estado se relacionó a los granos secos con 30 a 40% de humedad y se observó un rango de 1126.4 a 1722.16 °D. La Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) muestra que hay diferencias para las unidades de calor acumuladas para madurez fisiológica entre las líneas mutantes. El valor más bajo corresponde a KACH24 y el más alto a KACH5. La media general fue igual a 1327.76 °D.

Fase de madurez de cosecha

Para esta fase se consideró la panoja totalmente seca con caída y senescencia de hojas, se observó un rango de 1185.46 a 1811.43 °D (Tabla 6). El valor más bajo corresponde a KACH8 y el más alto a KACH5 existiendo diferencias entre estos valores (Prueba de Duncan $\alpha=0.05$). La media general fue igual a 1403.31 °D.

Tabla 5: Cuadrados medios del ANVA para el tiempo térmico (grados día) de la fase de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Fuente de variación	G.L.	Germinación	Desarrollo vegetativo y Ramificación	Desarrollo del botón floral e inflorescencia	Floración	Antesis	Crecimiento del Grano	Llenado de Granos	Madurez Fisiológica	Madurez de Cosecha
Repetición	2	18.943	1602.999**	879.409	681.779	1047.358	594.468	503.463	167.566	165.531
Tratamiento	23	123.34**	3935.22**	47157.76**	56492.98**	66276.65**	74127.66**	74787.63**	77121.12**	81191.59**
Error	46	12.622	213.606	375.976	377.624	355.775	426.597	318.86	243.497	170.271
Total	71									
C.V. (%)		5.20	2.90	2.66	2.22	1.96	1.90	1.43	1.18	0.93
Media (°D)		68.36	507.15	728.82	876.52	963.95	1087.10	1251.09	1327.76	1403.31

Tabla 6: Valores medios y Prueba de Duncan ($\alpha=0.05$) del tiempo térmico (grados día) de las fases fenológicas: germinación, desarrollo vegetativo-ramificación, desarrollo del botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Línea Mutante	Germinación (°D)	Crecimiento Vegetativo - Ramificación (°D)	Desarrollo del Botón floral e Inflorescencia (°D)	Floración (°D)	Antesis (°D)	Crecimiento del Grano (°D)	Llenado de Granos (°D)	Madurez Fisiológica (°D)	Madurez de Cosecha (°D)
KACH1	68.2b	493.99egdf	799.55d	922.60c	1020.60c	1139.14c	1288.27c	1384.30c	1467.60d
KACH2	97.24a	475.45hegif	700.56fg	837.21ed	921.30edf	1144.08c	1257.58dce	1310.51d	1379.77f
KACH3	71.01b	458.05i	653.42ih	817.94egf	890.83hgif	958.24ml	1139.72k	1233.47i	1261.80l
KACH4	65.39b	566.58bc	984.57b	1143.74b	1244.81b	1365.71b	1514.16b	1591.55b	1671.07c
KACH5	68.2b	545.55c	962.39cb	1168.97b	1296.93a	1435.82a	1628.73a	1722.16a	1811.43a
KACH6	65.39b	474.38hgif	632.99i	779.71h	852.73lk	945.08m	1168.94kji	1261.80gf	1342.04gh
KACH7	65.39b	499.94edf	653.42ih	821.90egf	882.95hgik	979.64mkl	1164.89kj	1253.37gfh	1333.25ih
KACH8	65.39b	469.00hgi	595.83j	735.86i	814.38m	898.70n	1048.12l	1130.87j	1185.46m
KACH9	68.2b	493.53egdf	680.28hg	829.42edf	906.23hegif	1020.70jhi	1197.80gjih	1270.28ef	1351.45gh
KACH10	65.39b	603.88a	1047.43 ^a	1202.53a	1319.87 ^a	1449.33a	1628.51a	1712.32a	1784.82b
KACH11	65.39b	510.57d	657.31ih	795.26hgf	867.70jk	988.72jkl	1168.97kji	1232.08ih	1292.16k
KACH12	68.2b	496.54egdf	653.42ih	791.43hg	906.24hegif	1061.36gef	1214.64gfh	1292.16ed	1361.05gf

...Continuación

Línea Mutante	Germinación (°D)	Crecimiento Vegetativo - Ramificación (°D)	Desarrollo del Botón floral e Inflorescencia (°D)	Floración (°D)	Antesis (°D)	Crecimiento del Grano(°D)	Llenado de Granos (°D)	Madurez Fisiológica (°D)	Madurez de Cosecha (°D)
KACH13	71.01b	503.35ed	644.99ih	772.89h	871.77jik	1006.97jki	1202.36gih	1292.80ed	1365.71gf
KACH14	68.2b	514.03d	633.41i	787.51hg	879.31hjik	980.69mkl	1147.58k	1218.94i	1305.75jk
KACH15	65.39b	588.77ba	945.08c	1139.61b	1236.34b	1346.74b	1509.04b	1586.24b	1665.91c
KACH16	65.39b	499.94edf	696.25fg	848.71ed	917.64egdf	1047.80ghf	1206.30gh	1296.92ed	1407.47e
KACH17	68.2b	508.42d	739.55e	863.83d	949.57d	1113.52dc	1261.82dc	1310.51d	1379.77f
KACH18	68.2b	507.56d	679.78hg	841.17ed	928.95ed	1078.82def	1240.64dfe	1305.75d	1375.32f
KACH19	68.2b	497.59edf	700.47fg	841.07ed	913.77hegdf	1029.91ghi	1193.63jih	1261.80gf	1346.74gh
KACH20	65.39b	490.52hegdf	640.91i	791.31hg	887.03hjgik	997.80jki	1168.94kji	1236.39gih	1315.27ji
KACH21	65.39b	507.02d	712.46feg	845.03ed	932.83ed	1065.55gef	1206.05gh	1274.52ef	1342.04gh
KACH22	68.2b	465.35hi	728.42fe	860.08d	945.69d	1091.65de	1227.67gfe	1296.58ed	1379.77f
KACH23	65.39b	514.09d	703.93fg	837.24ed	921.83edf	1034.44ghi	1193.63jih	1274.52ef	1356.15gfh
KACH24	68.2b	487.51hegdf	645.31ih	761.57hi	825.59ml	909.99n	1048.12l	1126.40j	1197.71m

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

En el presente trabajo de investigación, el valor promedio en días a la floración de las 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho fue de 84.3 días. La línea KACH8 fue la primera en alcanzar la plena floración con 72.3 días después de la siembra, mientras que la última línea en hacerlo fue KACH10 con 110.3 días. Resultados similares fueron informados por Miñano (2015), en un experimento convencional con 7 líneas avanzadas de *Amaranthus spp.* obtenidas por irradiación gamma y dos variedades comerciales de amaranto bajo condiciones de La Molina, identifica como precoces a las variedades "Centenario", "Oscar Blanco" y la línea avanzada MKSHUACH0-32 con un rango de 71 a 74 días a la floración, semi-precoces a las líneas, MKSHUACH0-51, MKSHUACH0-34, MKSHUACH0-60, MKSHUACH0-91 y MKSHUACH0-75, con un rango de 79 a 83 días y como tardía, a la línea MKSHUACH0-105 con 94 días a la floración. El valor promedio en días a floración de dicho experimento fue igual a 79 días.

A diferencia de las nueve fases descritas en la investigación; Martínez et al. (2019) estudiaron las fases fenológicas de tres especies *Amaranthus cruentus*, *Amaranthus hybridus* y *Amaranthus hypochondriacus*, en espacio confinado, e identificaron ocho etapas principales de crecimiento empleando la escala BBCH (etapa 0-2, 5-9). Señalan que como en otras especies la etapa 3 y etapa 4 de la escala BBCH (elongación del tallo y desarrollo de partes vegetativas cosechables respectivamente) no son aplicable al amaranto debido al crecimiento longitudinal del tallo principal que ocurre en paralelo con el desarrollo de la hoja y porque en el amaranto, por lo general, solo se cosechan semillas. Cada etapa principal fue subdividida en etapas secundarias para permitir una descripción detallada del desarrollo del amaranto.

Considerando las unidades de calor requeridas para completar cada fase fenológica, es importante señalar que las líneas mutantes estudiadas completaron su ciclo en un ambiente con temperaturas iniciales de 14 a 15 °C en la noche y de 15 a 18°C en el día y finales del ciclo entre 18 a 20.5 °C y 20 a 24.9 °C. Según Reyna (1986), la temperatura media anual óptima para el desarrollo, crecimiento y rendimiento del amaranto, oscila entre 13.7 y 28.9°C. Merrien, citado por Reyna (1986) señala que la temperatura base o umbral mínima de desarrollo es de 6°C y según la FAO (1994), el umbral mínimo para crecimiento es de 7°C, con un máximo de 47 °C y un óptimo de 25 °C.

Díaz et al. (2004), afirma que con una temperatura base de 6°C, el requerimiento térmico (grados-día) del amaranto es de 35 para la etapa siembra-emergencia, 704 para la etapa

emergencia-inicio de floración y de 889 para la etapa inicio de floración-madurez fisiológica. Resultando un requerimiento térmico global desde la siembra hasta madurez fisiológica igual a 1,629 unidades de calor o grados día.

García et al. (2016), en un estudio realizado en la localidad de Marín-Nuevo León, al norte de México, afirma que el genotipo 33 de la especie *Amaranthus cruentus* L. requirió de 153 a 159 días promedio y un requerimiento térmico comprendido en el rango de 1475.5 - 1568.6 °D, para alcanzar la madurez comercial (cosecha). Dicho estudio se llevó a cabo en dos ambientes donde la temperatura oscilaba entre 15 °C y 38 °C.

Los resultados obtenidos en el presente trabajo de investigación, muestran que las 24 líneas mutantes en promedio tuvieron un requerimiento térmico de 59.46 grados día (°D) para siembra-emergencia, 749.36 (°D) para emergencia-inicio de floración y 519.35 (°D) para floración-madurez fisiológica, necesitando así, un requerimiento térmico total de 1328.18 (°D) desde la siembra hasta su madurez fisiológica (Anexo 7).

Según Parthasarathi et al. (2013), las unidades de calor o tiempo térmico es una unidad de energía térmica calculada por cada día y acumulada desde la siembra hasta cosecha.

Los resultados de las unidades de calor acumulado, en grados día (°D), para cada fase fenológica fueron proporcionales a los obtenidos por el tiempo de ocurrencia, debido a la correlación existente entre los días de ocurrencia y las temperaturas diarias.

Otro aspecto a resaltar es el efecto de los rayos gamma, un agente mutagénico, empleado para desarrollar estas líneas mutantes derivadas de un solo genotipo original la accesión “Selección Huacho”. En la presente investigación se observó, en general, diferencias significativas para el número de días necesarios para alcanzar cada fase fenológica indicando variación en el ciclo de vida de las líneas mutantes. De igual modo, diferencias en los valores de las unidades de calor requeridas por las líneas mutantes estudiadas para completar su desarrollo, mostrando una alta variación para esta característica. Por ejemplo, las líneas mutantes precoces, en alcanzar su fase de madurez de cosecha, fueron KACH8, KACH24, KACH3, KACH11 y KACH14 con 1185.46, 1197.71, 1261.80, 1292.16 y 1305.75 °D. Y las más tardías, KACH5, KACH10, KACH4 y KACH15 con 1811.43, 1784.82, 1671.07 y 1665.91 °D; respectivamente, los valores difieren estadísticamente (Tabla 6).

4.2 OBJETIVO 2: VARIACIÓN FENOTÍPICA, EN CARACTERES MORFOLÓGICOS Y AGRONÓMICOS, DE 24 LÍNEAS MUTANTES DE *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho IRRADIADA CON RAYOS GAMMA.

4.2.1 Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Para determinar la variación fenotípica, en caracteres morfológicos y agronómicos, se utilizó el Análisis Factorial Mixto (AFMD), una técnica que permite estudiar la similaridad entre los individuos teniendo en cuenta todas las variables y respetando su naturaleza, ya sea cualitativa o cuantitativa (Zubcoff, 2017).

Por ello, se caracterizaron morfológicamente y agronómicamente 209 plantas representativas de una población M4 de *A. cruentus* accesión Selección Huacho obtenida por irradiación gamma (Anexo 8).

En la Tabla 7 se puede apreciar los valores propios, las varianzas absolutas y acumuladas de las dimensiones obtenidas. La primera dimensión obtuvo un valor propio de 4.16, la segunda dimensión de 2.66, la tercera dimensión de 2.23, la cuarta dimensión de 1.73, la quinta dimensión de 1.32, la sexta dimensión de 1.21 y la séptima dimensión de 1.16. Las otras dimensiones, en adelante, tienen valores menores a 0.97. Por lo tanto, las primeras siete dimensiones explican el 76.3% de la varianza total.

Según Franco e Hidalgo (2003) es posible representar el aporte de las variables más discriminatorias sobre los dos primeros ejes o dimensiones, como se hizo en el presente trabajo, por tratarse de un análisis con datos estandarizados.

Entonces, la primera dimensión del AFMD explica el 21.9% de la varianza total y la segunda dimensión explica el 14%. Por ende, las dos primeras dimensiones explican el 35.9% de la varianza total, lo dicho puede verificarse en el gráfico de sedimentación obtenido a partir del AFMD (Figura 1).

Tabla 7: Dimensiones con sus respectivos valores propios, varianza absoluta y acumulada, derivados del análisis de datos morfológicos y agronómicos de 209 plantas provenientes de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho

Dimensión	Valor propio	Varianza	
		Absoluta (%)	Acumulada (%)
Dimensión 1	4.16	21.9	21.9
Dimensión 2	2.66	14.0	35.9
Dimensión 3	2.23	11.7	47.6
Dimensión 4	1.73	9.2	56.8
Dimensión 5	1.32	7.0	63.8
Dimensión 6	1.21	6.4	70.2
Dimensión 7	1.16	6.1	76.3
Dimensión 8	0.97	5.1	81.4
Dimensión 9	0.84	4.4	85.8
Dimensión 10	0.65	3.4	89.2
Dimensión 11	0.59	3.1	92.3
Dimensión 12	0.54	2.8	95.1
Dimensión 13	0.32	1.7	96.8
Dimensión 14	0.24	1.2	98.0
Dimensión 15	0.18	1.0	99.0
Dimensión 16	0.10	0.5	99.5
Dimensión 17	0.08	0.4	99.9
Dimensión 18	0.02	0.1	100.0
Dimensión 19	0	0	100.0
Total	19.0	100.0	100.0

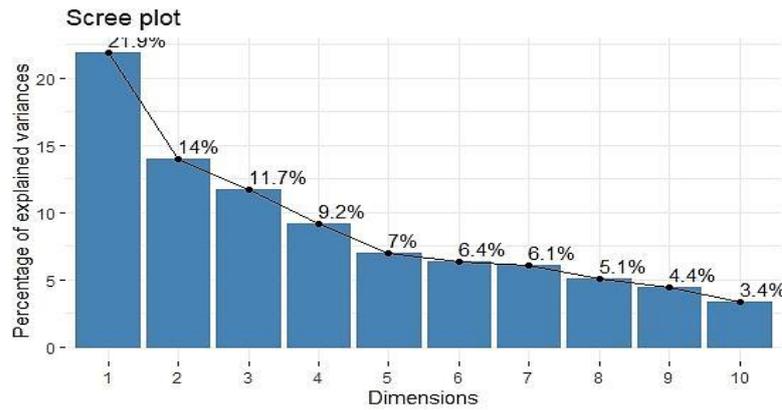


Figura 1: Gráfico de sedimentación del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

A continuación, se estudia la calidad de representación y las contribuciones de las variables a las dos primeras dimensiones del ADFM.

Según Zubcoff (2017), la calidad de representación se estudia con el \cos^2 (coseno cuadrado, coordenadas cuadradas); para una variable dada la suma del \cos^2 en todas las dimensiones es igual a uno, si una variable está bien representada solo por dos dimensiones la suma del \cos^2 de estas dos dimensiones serán cercano a uno.

La variable presencia de estrías en el tallo (TPE) está bien representada en el mapa factorial debido a que la suma del \cos^2 de las dos primeras dimensiones se aproxima a 1 (muy cercana a 0.8), por otro lado, se puede decir que también las variables color de estrías en el tallo (TCE) y color de peciolo (HCP) están representadas de una forma moderada ya que la suma del \cos^2 en las dos primeras dimensiones se aproximan a 0.5 (Figura 2), (Anexo 10).

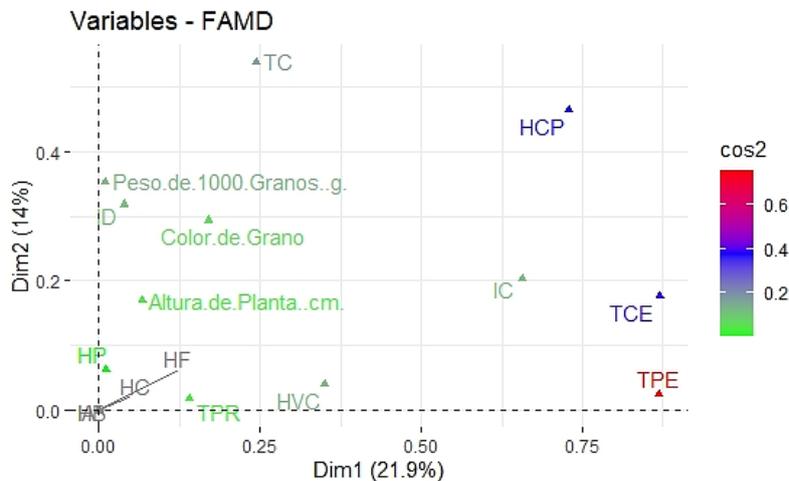


Figura 2: Calidad de representación (\cos^2) en el plano factorial para las dos primeras dimensiones del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Así mismo, en las Figuras 3 y 4, se observa la contribución de las variables a la primera y segunda dimensión del AFMD, respectivamente. La variable color de estrías en el tallo (TCE), presencia de estrías en el tallo (TPE), color de peciolo (HCP) y color de inflorescencia (IC) presentan una mayor contribución a la primera dimensión. Mientras que, las variables color de tallo (TC), color de peciolo (HCP), peso de 1000 granos (g) y densidad de inflorescencia (ID) presentan una mayor contribución a la segunda dimensión.

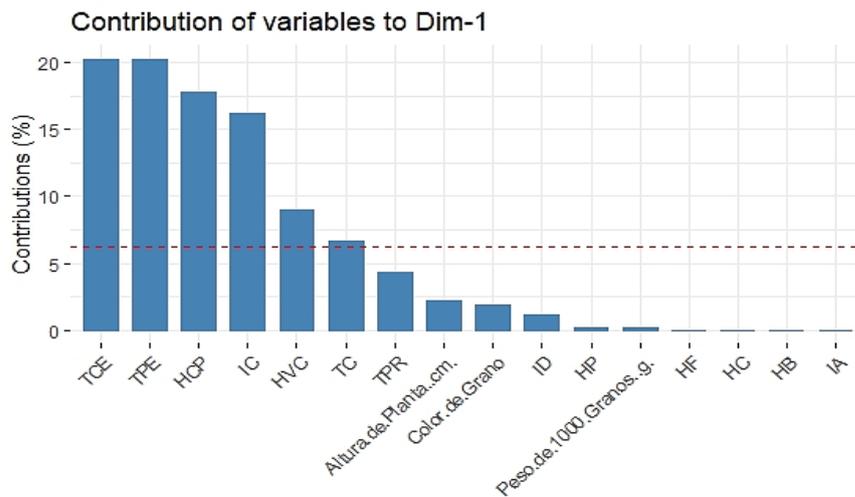


Figura 3: Contribución de las 16 variables a la primera dimensión del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

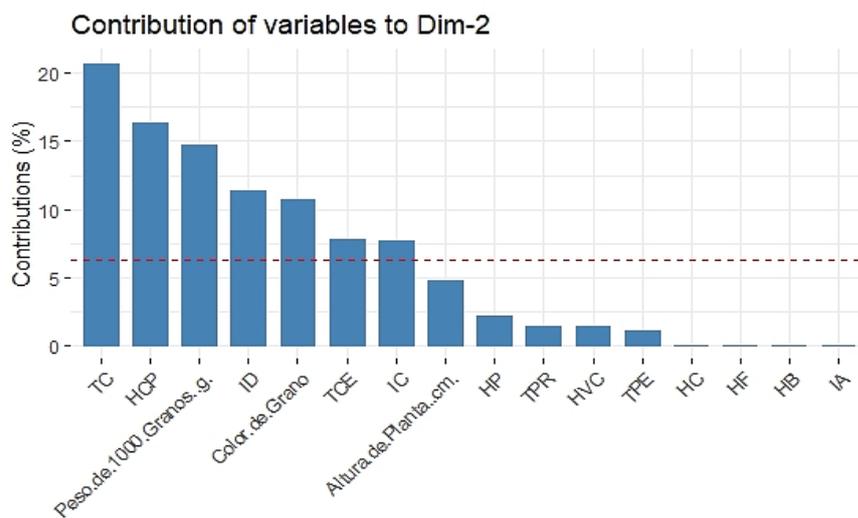


Figura 4: Contribución de las 16 variables a la segunda dimensión del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Por lo tanto, las variables más importantes (o contribuyentes) a las dos primeras dimensiones del AFMD son: color de peciolo (HCP), color de estrías en el tallo (TCE), presencia de estrías en el tallo (TPE), color de inflorescencia (IC) y color de tallo (TC) (Figura 5).

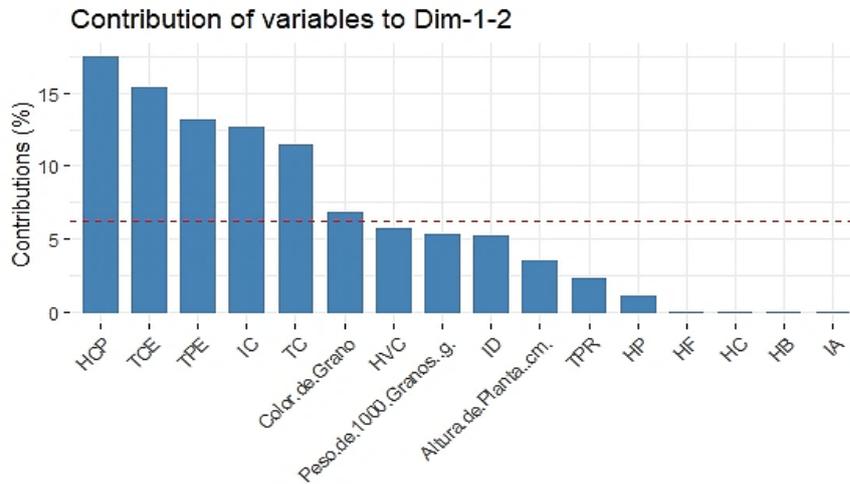


Figura 5: Contribución de las 16 variables a las dos primeras dimensiones en el Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Luego de analizar la calidad de representación y la contribución de las variables a las dos primeras dimensiones del AFMD, se identificaron algunas variables que no están bien representadas y a su vez no contribuyen a las dos primeras dimensiones, dichas variables fueron: forma de hoja (HF), borde de hoja (HB), color de hoja (HC) y actitud de inflorescencia (IA). Por lo tanto, estas variables se descartaron para una mejor clasificación de la población, en el análisis de agrupamiento o análisis de clúster.

4.2.2 Análisis de clúster jerárquico

La clasificación de las 209 plantas dentro de las 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en grupos relativamente homogéneos se llevó a cabo haciendo uso del análisis de clúster o agrupamiento jerárquico. El análisis factorial mixto anteriormente discutido permitió discriminar las variables sobre las cuales se realizó el Análisis de clúster (Anexo 11).

El dendograma obtenido (Figura 6), muestra las distancias entre las líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho obtenidas por irradiación con rayos gamma sobre la base de los caracteres fenotípicos y agronómicos medidos y cuya escala de valores de distancia va desde 0 hasta el máximo valor de 3.8, en el cual todas las líneas mutantes forman un solo grupo o clúster.

Tomando en cuenta el criterio establecido por Núñez y Escobedo (2011), al trazar una línea recta en la escala a una distancia de 2.7 aproximadamente, el dendrograma se divide en 2 grupos en las cuales son clasificadas las 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho. El Análisis Factorial Mixto (AFMD) previamente analizado permitió discriminar variables para la conformación de estos grupos. Siendo, la variable TPE (presencia de estrías en el tallo), quien determinó la segregación en los dos grupos mencionados, donde las líneas KACH6, KACH13 y KACH24 no presentaron estrías en el tallo (ausencia) y las líneas restantes si presentaron.

Considerando una distancia de 1 en la escala, el dendrograma se divide en 10 grupos, tal y como se observa en la Figura 6, separado por colores. Cabe mencionar, que los grupos formados compartieron características similares de acuerdo a la mayor contribución de las variables, analizado en el AFMD.

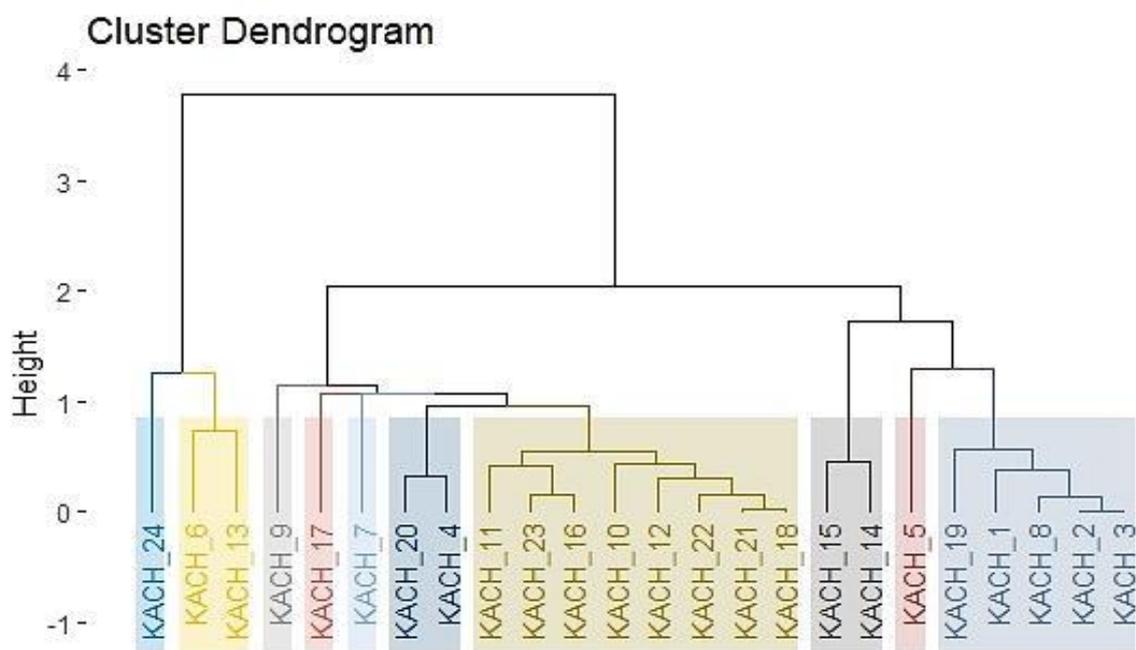


Figura 6: Dendrograma obtenido en base al análisis de 12 caracteres morfológicos y agronómicos de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho

A continuación, se describen los 10 grupos conformados de izquierda a derecha:

El primer grupo está formado por una sola línea mutante, KACH24. Las plantas son de altura media (182 cm en promedio); poseen un peso de 1000 granos (0.41 gramos en promedio); con un color de grano negro; color de venas rosado; pigmentación de la hoja color entero;

color de peciolo verde; color de tallo rojo; ausencia de estrías en el tallo; ausencia de ramas; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia verde.

El segundo grupo está formado por dos líneas mutantes, KACH6 y KACH13. Las plantas de este grupo son de altura media comprendida entre 157.9 y 185.8 cm; con un peso de 1000 granos comprendido entre 0.47 y 0.63 gramos; color de venas rosado; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo verde; color de tallo verde; ausencia de estrías en el tallo; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura amarillo.

El tercer grupo está formado por una sola línea mutante, KACH9. Las plantas son de altura media (179.7 cm en promedio); poseen un peso de 1000 granos (0.51 gramos en promedio); con un color de grano marrón claro; color de venas verde claro; pigmentación de la hoja con margen y vena pigmentada; color de peciolo rojo verde; color de tallo verde; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo; ausencia de ramas; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura.

El cuarto grupo está formado por una sola línea mutante, KACH17. Las plantas son de altura media (172.6 cm en promedio); poseen un peso de 1000 granos (0.55 gramos en promedio); con un color de grano marrón claro; color de venas rosado; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo rojo verde; color de tallo verde; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo, presencia de ramas; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia verde rosado.

El quinto grupo está formado por una sola línea mutante, KACH7. Las plantas son de altura media (180.9 cm en promedio); poseen un peso de 1000 granos (0.52 gramos en promedio); con un color de grano marrón claro; color de venas verde claro; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo rojo verde; color de tallo verde; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo, presencia de ramas; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia amarillo púrpura.

El sexto grupo está formado por dos líneas mutantes, KACH4 y KACH20. Las plantas de este grupo son de altura media comprendida entre 187.5 y 190.2 cm; con un peso de 1000 granos (0.49 gramos en promedio); color de grano marrón claro; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo rojo verde; color de tallo rojo; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura.

El séptimo grupo está formado por ocho líneas mutantes, KACH11, KACH23, KACH16, KACH10, KACH12, KACH22, KACH21 y KACH18. Las plantas de este grupo son de altura media comprendida entre 150 y 182 cm; con un peso promedio de 1000 granos comprendido entre 0.47 y 0.57 gramos; color de grano marrón claro; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo rojo verde; color de tallo verde; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura.

El octavo grupo está formado por dos líneas mutantes, KACH15 y KACH14. Las plantas de este grupo son de altura media comprendida entre 164.6 y 184.3 cm; con un peso promedio de 1000 granos comprendido entre 0.54 y 0.66 gramos; color de grano marrón claro; color de venas verde claro; pigmentación de la hoja color entero; color de tallo amarillo; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo amarillo; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura – púrpura amarilla.

El noveno grupo está formado por una sola línea mutante, KACH5. Las plantas son de altura media (148.3 cm en promedio); poseen un peso de 1000 granos (0.56 gramos en promedio); con un color de grano negro; color de venas verde claro; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo amarillo; color de tallo amarillo; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo; presencia de ramas; densidad de inflorescencia laxa y color de inflorescencia púrpura.

El décimo grupo está formado por cinco líneas mutantes, KACH19, KACH1, KACH8, KACH2 y KACH3. Las plantas de este grupo son de altura media comprendida entre 148 y 172.8 cm; con un peso promedio de 1000 granos comprendido entre 0.52 y 0.6 gramos; pigmentación de la hoja color entero; color de peciolo amarillo; color de tallo verde; presencia de estrías en el tallo; color de estrías en el tallo rojo; densidad de inflorescencia intermedia y color de inflorescencia púrpura.

Así mismo, la caracterización morfo-agronómica de las 24 líneas mutantes y su agrupación en 10 grupos diferentes muestra la variación en algunas características morfológicas en el tallo (color y ramificación), color de panoja y color de grano, producto de mutaciones originadas por la radiación gamma. Mutaciones morfológicas relacionadas a cambios en el patrón de ramificación e inflorescencia fue informado por Deshmukh y Malode (2018) y Verma et al., (2018).

4.3 OBJETIVO 3: IDENTIFICACIÓN DE LÍNEAS MUTANTES CON MEJOR COMPORTAMIENTO AGRONÓMICO, EN BASE A SU PRECOCIDAD, RENDIMIENTO, ALTURA DE PLANTA Y COLOR DE GRANO.

En la Tabla 8, se presenta el análisis de varianza del rendimiento en grano (Kg/ha) observado en las 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho, el cual indica que existen diferencias altamente significativas entre las mismas. Resultando un coeficiente de variación igual de 44.1%.

Tabla 8: ANVA del rendimiento en grano (Kg/ha) de las 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Fuente de variación	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	PR > F	Nivel de significancia
Modelo	23	7000181.944	304355.737	10.327	< 0.0001	**
Error	48	1414666.667	29472.222			
Total	71	8414848.611				
C.V: 44.1 %	Promedio: 1624.71 Kg/ha					

Los rendimientos obtenidos por repetición de cada línea mutante, se muestran en la Tabla 9. Así mismo, en la Figura 7 se presenta el comparativo del rendimiento (Kg/ha) de las 24 líneas mutantes estudiadas vs. la variedad comercial “Centenario”.

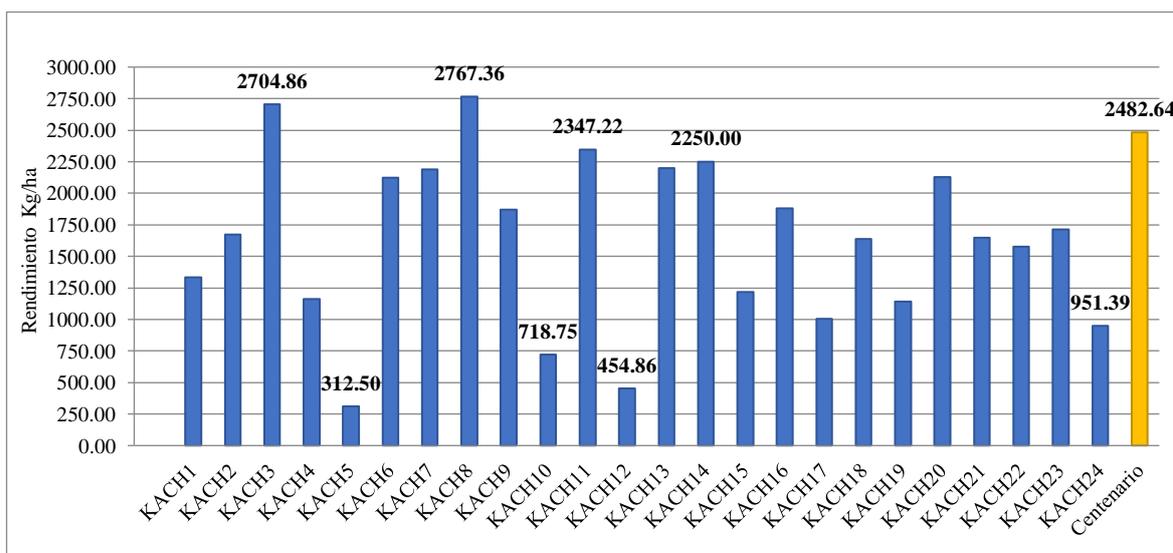


Figura 7: Rendimiento promedio en grano (Kg/ha) de las 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho vs. “Centenario”

Tabla 9: Rendimientos promedio en grano (Kg/ha) de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho en condiciones de La Molina, Campaña 2018-B

Línea mutante	Repeticiones (g/parcela)			Total (g)	Rendimiento (Kg/ha)
	I	II	III		
KACH1	635	605	680	1920	1333.33
KACH2	820	860	725	2405	1670.14
KACH3	1350	1230	1315	3895	2704.86
KACH4	750	460	460	1670	1159.72
KACH5	30	95	325	450	312.50
KACH6	895	925	1235	3055	2121.53
KACH7	1030	1155	965	3150	2187.50
KACH8	1070	1930	985	3985	2767.36
KACH9	955	1030	705	2690	1868.06
KACH10	310	290	435	1035	718.75
KACH11	940	1510	930	3380	2347.22
KACH12	300	180	175	655	454.86
KACH13	960	1200	1010	3170	2201.39
KACH14	945	1155	1140	3240	2250.00
KACH15	530	630	590	1750	1215.28
KACH16	815	880	1010	2705	1878.47
KACH17	505	340	600	1445	1003.47
KACH18	675	690	995	2360	1638.89
KACH19	675	465	500	1640	1138.89
KACH20	910	1215	940	3065	2128.47
KACH21	725	890	760	2375	1649.31
KACH22	630	710	930	2270	1576.39
KACH23	715	850	905	2470	1715.28
KACH24	430	515	425	1370	951.39
Centenario	1315	1145	1115	3575	2482.64

En el presente trabajo de investigación, el rango del rendimiento obtenido para las 24 líneas mutantes de *A. cruentus* accesión Selección Huacho fue de 312.50 a 2767.36 Kg/ha, con una media general de 1624.71 Kg/ha. Así mismo, la variedad comercial “Centenario” que fue sembrada como testigo alcanzó un rendimiento de 2482.64 Kg/ha.

Comparando las líneas mutantes, Tabla 9, se determina que las líneas KACH8, KACH3, KACH11 y KACH14 tuvieron rendimientos promedios de 2767.36, 2704.86, 2347.22 y 2250.0 Kg/ha; respectivamente. Estos rendimientos son significativamente superiores a los de las líneas mutantes KACH5, KACH10, KACH12 y KACH24 con 312.50, 718.75, 454.86 y 951.39 Kg/ha; respectivamente.

Miñano (2015), sostiene que el rango del rendimiento de grano para 7 líneas avanzadas de *Amaranthus spp.* obtenidas por irradiación gamma, fue de 583.3 a 1697.9 Kg/ha. En cuanto a las variedades comerciales “Oscar Blanco” y “Centenario” los rendimientos alcanzados fueron de 1812.5 y 2156.3 Kg/ha, respectivamente, bajo un sistema convencional en condiciones de La Molina.

Considerando los requerimientos de unidades de calor para completar las fases fenológicas y el rendimiento, se puede apreciar en el presente experimento que las líneas mutantes que necesitaron acumular mayores unidades de calor para alcanzar su madurez fisiológica fueron las de menor rendimiento. Mientras que, las líneas que necesitaron menor requerimiento térmico lograron los mayores rendimientos. Sin embargo, es importante señalar que la línea mutante KACH24 fue una excepción a la regla, su precocidad no se vio reflejada en el rendimiento (951.39 Kg/ha). Lo cual se asocia con lo mencionado por Parthasarathi et al. (2013), que el exceso o déficit de acumulación de unidades de calor provoca retraso en la floración o floración temprana, pérdida de rendimiento o reducción de la biomasa.

Así mismo, se asocia como causa probable el tamaño de sus granos, ya que resultaron siendo los más pequeños en comparación a las 23 líneas restantes, con un peso promedio de 1000 granos igual a 0.41 gramos.

El valor de peso de mil granos está asociado al tamaño de los mismos y es muy importante para definir calidad. Alvarez et al. (2010), citado por Wolosik & Markowska (2019), mencionan que los granos de amaranto miden alrededor de 0.9 a 1.7 mm de diámetro y la masa de 1000 semillas comprende un rango de 0.6 a 1 gramo.

Las líneas KACH3 y KACH8, pertenecientes al grupo 10, alcanzaron un peso promedio de 1000 granos cercano a 0.6 gramos (Anexo 11). Así mismo, fueron los que obtuvieron los mayores rendimientos en grano (2767.36 y 2704.86 Kg/ha respectivamente), superando inclusive a la variedad comercial “Centenario” (2482.64 Kg/ha) (Figura 7).

Por otro lado, la altura de planta en los amarantos está asociado con su resistencia al acame y con la aplicación de prácticas culturales en su manejo agronómico, sobre todo en la cosecha. Plantas de menor tamaño son más tolerantes al acame o tumbado y son más fáciles de cosechar en forma mecanizada permitiendo así, reducir tiempo y costos de mano de obra. Espitia (1989) determinó que 160 cm es una altura de planta adecuada para la cosecha mecánica del amaranto. Así mismo, el Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias de Ecuador (INIAP) en el 2013 establece un rango óptimo de 70 a 180 cm de altura de planta para el amaranto.

Las líneas mutantes alcanzaron una altura promedio igual a 169.7 cm, excepto las pertenecientes al sexto grupo, KACH4 y KACH20, que obtuvieron una altura media comprendida entre 187.5 y 190.2 cm (Anexo11).

Otra característica a considerar es el color de grano, el cual está asociado a preferencias del consumidor, a la vistosidad de los productos derivados de su industrialización y a la presencia de pigmentos antioxidantes. En amaranto, los colores claros tienen mayor preferencia. Es importante señalar que el material original fue de color negro y por efecto de las mutaciones se observaron granos de color marrón en diversas tonalidades y dos líneas mutantes con una coloración crema de grano, KACH6 y KACH19 (Anexo 11).

V. CONCLUSIONES

OBJETIVO 1

1. Se determinó las fases fenológicas de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha con un valor promedio de ocurrencia de: 7.35, 51.9, 71.79, 84.32, 91.74, 101.35, 113.78, 119.54 y 125.04 días después de la siembra; respectivamente.
2. El requerimiento térmico promedio de las 24 líneas mutantes estudiadas para completar las fases fenológicas de germinación, desarrollo vegetativo y ramificación, desarrollo de botón floral e inflorescencia, floración, antesis, crecimiento del grano, llenado de granos, madurez fisiológica y madurez de cosecha fueron de: 68.36, 507.15, 728.82, 876.52, 963.95, 1087.10, 1251.09, 1327.76 y 1403.31 grados día (°D); respectivamente.

OBJETIVO 2

3. El análisis multivariante muestra que las dos primeras dimensiones del AFDM explican el 35.9% de la variabilidad total, las variables color de estrías en el tallo (TCE), presencia de estrías en el tallo (TPE), color de peciolo (HCP) y color de inflorescencia (IC) presentan una mayor correlación con la primera dimensión. Mientras que, las variables color de tallo (TC), color de peciolo (HCP), peso de 1000 granos (g) y densidad de inflorescencia (ID) presentan una mayor correlación con la segunda dimensión.

4. El dendograma obtenido en base al análisis de 12 caracteres morfológicos y agronómicos de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho muestra la conformación de 10 grupos.
5. La caracterización morfo-agronómica de las 24 líneas mutantes estudiadas y su agrupación en 10 grupos diferentes muestra la variación en algunas características morfológicas, como presencia y color de estrías en el tallo, presencia de ramas, color de inflorescencia y color de grano, producto de mutaciones originadas por la radiación gamma.

OBJETIVO 3

6. Bajo condiciones de La Molina, las líneas mutantes KACH3, KACH8, KACH11 y KACH14 son las que mostraron mejor comportamiento agronómico, en base a precocidad, rendimiento y altura de planta. Por color de grano destacan las líneas KACH6 y KACH19.

VI. RECOMENDACIONES

1. Realizar estudios comparativos para fenología y requerimiento de unidades de calor en diferentes fechas de siembra bajo condiciones de La Molina y en diferentes altitudes, ya sea, con las líneas mutantes trabajadas en esta investigación o con nuevas líneas mejoradas de *Amaranthus cruentus*.
2. Evaluar el rendimiento de las líneas mutantes que se seleccionaron en pruebas de eficiencia y adaptación en diferentes localidades y años.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barba de la Rosa, A. P., Fomsgaard, I. S., Laursen, B., Mortensen, A. G., Olvera Martínez, J. L., Silva-Sánchez, C., Mendoza Herrera, A., De León- Rodríguez, A. y González-Castañeda, J. (2009). Amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: phenolic acids and avonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *Journal of Cereal Science*, 49(1), 117-121.
- Barros, C. y M. Buenrostro (1997), *Amaranto. Fuente maravillosa de sabor y salud*, México, Grijalbo, p. 158.
- Crisci, JV; López, MF. (2014). *Taxonomía Numérica Introducción a La Teoría y Práctica de La Taxonomía Numérica*. (January 1983).
- De la Fuente, S. (2011). *Análisis Conglomerados*. Universidad Autónoma de Madrid. Madrid, España. 81 p.
- Deshmukh, P.D.; Malode S.N. (2018). Effects of gamma radiation on seed germination, plant survival and growth characteristics in *Dianthus caryophyllus* var. Chabaud. *Journal of Global Biosciences*. 7(3): 5403-5410.
- Díaz O., A., J.A. Escalante E., A. Trinidad S., P. Sánchez G., C. Mapes S. y D. Martínez M. (2004). Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana*, 22(1):109-116.
- Donini, B; Kawai T and Micke A. (1984). Spectrum of Mutant Characters utilized in developing improved cultivars. In: *Selection in Mutation breeding*, IAEA, Vienna, pp 7 –31.
- FAO/IAEA. (1991). *Plant Mutation breeding for crop improvement Proc. Of Symposium*, Vienna, 1990; IAEA, Vienna
- Franco, TL; Hidalgo, R. (2003). *Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos*. s.l., s.e., (no. 8).

- García et al. (2016). Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan. Requerimiento de unidades calor en el cultivo del amaranto. 5(7): 1411-1421.
- Hair, JF. (2001). Análisis Multivariante. s.l., Pearson.
- Henderson, T.L. (1993). Agronomic evaluation of grain amaranth in North Dakota. Tesis Ph. D. North Dakota State, North Dakota, USA.
- Hernández, A. (2013). Caracterización morfológica de recursos fitogenéticos. Revista Bio Ciencias. 2(3): 113-118.
- Huerta-Ocampo, J. A. y A. P. Barba de la Rosa (2012), “Caracterización bioquímica y estructural de las proteínas de reserva de amaranto”, en E. Espitia-Rangel (ed.), Amaranto: ciencia y tecnología, México, inifap/sinarefi, pp. 293-302 (Libro Científico núm. 2).
- INIAP. (2013). Descriptores para amaranto.
- Irving DW, Betschart AA, Saunders RM. Morphological studies on *Amaranthus cruentus*. J Food Sci. (1981). 46(4):1170–1174.
- Kauffman CS, Weber LE. Grain amaranth. In: Janick J, JEn S, eds. Advances in New Crops: Proceedings of the First National Symposium NEW CROPS, Research, Development, Economics. Portland, OR: Timber Press; 1990:127–139.
- Klug, H., Lindström, K. and St. Mary, C. M. (2006). Parents benefit from eating offspring: density-dependent egg survivorship compensates for filial cannibalism. Evolution 60, 2087–95.
- López, P. & Fachelli, S. (2015). Metodología de la investigación social cuantitativa. Universidad Autónoma de Barcelona. Barcelona, España.
- Martínez-Núñez M., Ruiz-Rivas M., Vera-Hernández P.F., Bernal-Muñoz R., Luna-Suárez S., Rosas-Cárdenas F.F. (2019). The phenological growth stages of different amaranth species grown in restricted spaces based in BBCH code. South African Journal of Botany 124: 436-443.

- Mapes, E. C., Espitia, E., Inifap, R., & Baj, C. E. (1983). Recopilación y análisis de la información existente de las especies del género *Amaranthus* cultivadas y de sus posibles parientes silvestres en México., 1–214.
- Mba ,C. (2013). Induced Mutations Unleash the Potentials of Plant Genetic Resources for Food and Agriculture. *Agronomy* 2013, 3, 200-231.
- Micke, A.; Donini, B.; Maluszynski, M. Les mutations induites en amelioration des plantes [Induced mutations for crop improvement]. En: *Mutation Breeding Review* (FAO/IAEA), no. 9 (French) / Vienna (Austria), IAEA, Feb 1993 , 44 p.
- Miñano, D. (2015). Estudio del comportamiento de líneas avanzadas mutantes de kiwicha (*Amaranthus caudatus* Linn.) bajo distintos sistemas de cultivo. Tesis para optar título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. 109 p.
- Mujica, S.A. y A. Quillahuaman. (1989). Fenología del cultivo de la kiwicha (*Amaranthus caudatus* L.). p. 29-31. En: Curso taller fenología de cultivos andinos y uso de la información agrometeorológica. Puno, 7-10 agosto. INIA, PICA. Perú
- Novak, F. & Brunner, H. (1992). Plant breeding: Induced mutation technology for crop improvement. *IAEA bulletin*, 4: 25-33p.
- Oliva V., R., Vidal T., J.M. (2006). Genoma humano: nuevos avances en investigación, diagnóstico y tratamiento. Ediciones Universitat Barcelona. Barcelona, España.
- Ortega, D.; Escalante, A.; Santos, A. (2003). Rendimiento, eficiencia agronómica del nitrógeno y eficiencia en el uso del agua en amaranto en función del manejo del cultivo. *Terra Latinoamericana* 22: 109-116.
- Parthasarathi, T. et al. (2013). Impact of Crop Heat Units on Growth and Developmental Physiology of Future Crop Production. 2(1): 2319-3395.
- Pla, LE. (1986). Análisis Multivariado: Método de Componentes Principales. s.l., OEA, Washington, DC (EUA). Secretaría General. Programa Regional de Desarrollo Científico y Tecnológico, (no. 519.535 P696).
- Poehlman y Allen. (2003). Mejoramiento genético de las cosechas. 2ª Edición. México.
- Quillatupa, C. (2009). Caracterización de las fases fenológicas, determinación de unidades de calor y rendimiento de 16 genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* willd) en

- condiciones de La Molina. Tesis para optar título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. 158 p.
- Ratusz K, Wirkowska W. Characterization of seeds and lipids of *Amaranthus*. *Oilseed Crops*. 2006; 27:243–250
- Reyna, T. (1986). Requerimientos climáticos para el cultivo del amaranto (*Amaranthus* spp) en México. Primer Seminario Nacional del Amaranto. Chapingo, México. pp. 81-89.
- Röbbelen, G. (1990). Mutation breeding for quality improvement a case study for oilseed crops. *Mutation Breeding Reviews*, No. 6. IAEA, Vienna, pp. 1-43.
- Roque, O. (2019). Requerimiento térmico de las fases fenológicas de dos variedades de amaranto (*Amaranthus caudatus* L): precoz y tardía en Ayacucho. *Journal of the Selva Andina Biosphere*. 7(1):18-31.
- Sánchez, M.A. (1980). Potencial agroindustrial del amaranto. Centro de Estudios Económicos y Sociales del Tercer Mundo. México.
- Sauer, J.D. (1976). The grain amaranths and their relatives: a revised taxonomic and geographic survey. *Annals of Missouri Botanical Garden* 54:103-137.
- Suprasanna, Mirajkar, and Bhagwat. (2015). *Plant Biology and Biotechnology: Induced Mutations and Crop Improvement*. Volumen 1.
- Tapia, M. (1997). Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. 2ª Edición. FAO, Oficina Regional para América Latina y el Caribe. Santiago, Chile.
- Torres, J. (2019). Caracterización de poblaciones F3 provenientes de cruzamientos entre especies del género *Chenopodium* en condiciones de La Molina. Tesis para optar título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Facultad de Agronomía. 103 p.
- United States Department of Agriculture plant profile of *Amaranthus cruentus*. <https://plants.usda.gov/core/profile?symbol=AMCR4>
- Verma, A.K.; Dhanasekar, P.; Choudhary, S.; Meena, R.D.; Lal, G. 2018. Estimation of induced variability in M2 generation of fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). *Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry*. 7(1): 430-436p.

Wolosik, K., & Markowska, A. (2019). *Amaranthus Cruentus* Taxonomy, Botanical Description, and Review of its Seed Chemical Composition. <https://doi.org/10.1177/1934578X19844141>

Zubcoff, J. (2017). Factor analysis of mixed data (FAMD). Área de Estadística. Departamento de Ciencias del Mar y Biología Aplicada. Universidad de Alicante. <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/72567/3/Analisis-multivariante-FAMD.pdf>

VIII. ANEXOS

Anexo 1: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de agosto – 2018

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
20/08/2018	16.4	10.4	10.4
21/08/2018	16.32	10.32	20.72
22/08/2018	14.80	8.80	29.52
23/08/2018	14.95	8.95	38.47
24/08/2018	15.26	9.26	47.73
25/08/2018	14.8	8.80	56.53
26/08/2018	14.85	8.85	65.39
27/08/2018	14.43	8.43	73.82
28/08/2018	14.90	8.90	82.73
29/08/2018	14.75	8.75	91.47
30/08/2018	14.65	8.65	100.13
31/08/2018	14.95	8.95	109.08

Anexo 2: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de setiembre – 2018

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
01/09/2018	15.21	9.21	118.29
02/09/2018	15.13	9.13	127.42
03/09/2018	16.44	10.44	137.85
04/09/2018	16.36	10.36	148.22
05/09/2018	16.73	10.73	158.95
06/09/2018	15.60	9.60	168.55
07/09/2018	14.80	8.80	177.35
08/09/2018	16.09	10.09	187.44
09/09/2018	15.01	9.01	196.45
10/09/2018	15.60	9.60	206.05
11/09/2018	14.56	8.56	214.61
12/09/2018	15.33	9.33	223.94
13/09/2018	16.02	10.02	233.96
14/09/2018	15.65	9.65	243.61
15/09/2018	16.22	10.22	253.83
16/09/2018	15.66	9.66	263.49
17/09/2018	15.46	9.46	272.95
18/09/2018	16.65	10.65	283.60
19/09/2018	15.41	9.41	293.02
20/09/2018	16.10	10.10	303.12
21/09/2018	15.74	9.74	312.86
22/09/2018	16.63	10.63	323.50
23/09/2018	15.91	9.91	333.40
24/09/2018	16.46	10.46	343.86
25/09/2018	16.27	10.27	354.13
26/09/2018	17.28	11.28	365.41
27/09/2018	17.38	11.38	376.79
28/09/2018	16.27	10.27	387.05
29/09/2018	15.54	9.54	396.60
30/09/2018	16.09	10.09	406.68

Anexo 3: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de octubre – 2018

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
01/10/2018	15.78	9.78	416.47
02/10/2018	16.32	10.32	426.78
03/10/2018	15.70	9.70	436.49
04/10/2018	17.45	11.45	447.93
05/10/2018	16.12	10.12	458.05
06/10/2018	16.95	10.95	469.00
07/10/2018	15.66	9.66	478.67
08/10/2018	14.85	8.85	487.51
09/10/2018	15.03	9.03	496.54
10/10/2018	16.21	10.21	506.75
11/10/2018	17.01	11.01	517.76
12/10/2018	16.66	10.66	528.42
13/10/2018	16.37	10.37	538.79
14/10/2018	15.65	9.65	548.44
15/10/2018	16.62	10.62	559.06
16/10/2018	17.28	11.28	570.34
17/10/2018	16.71	10.71	581.05
18/10/2018	17.53	11.53	592.59
19/10/2018	17.63	11.63	604.22
20/10/2018	15.64	9.64	613.86
21/10/2018	17.33	11.33	625.19
22/10/2018	17.70	11.70	636.89
23/10/2018	18.65	12.65	649.54
24/10/2018	17.65	11.65	661.19
25/10/2018	17.15	11.15	672.34
26/10/2018	17.15	11.15	683.50
27/10/2018	18.67	12.67	696.16
28/10/2018	18.93	12.93	709.09
29/10/2018	17.94	11.94	721.03
30/10/2018	17.09	11.09	732.12
31/10/2018	17.05	11.05	743.17

Anexo 4: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de noviembre - 2018

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
01/11/2018	17.27	11.27	754.44
02/11/2018	16.70	10.70	765.14
03/11/2018	16.62	10.62	775.76
04/11/2018	17.85	11.85	787.61
05/11/2018	17.46	11.46	799.08
06/11/2018	17.48	11.48	810.56
07/11/2018	17.08	11.08	821.63
08/11/2018	17.87	11.87	833.50
09/11/2018	17.50	11.50	845.00
10/11/2018	17.59	11.59	856.59
11/11/2018	17.03	11.03	867.62
12/11/2018	17.25	11.25	878.88
13/11/2018	18.23	12.23	891.10
14/11/2018	17.40	11.40	902.50
15/11/2018	17.23	11.23	913.73
16/11/2018	17.35	11.35	925.08
17/11/2018	17.62	11.62	936.70
18/11/2018	18.57	12.57	949.27
19/11/2018	19.46	13.46	962.73
20/11/2018	18.45	12.45	975.18
21/11/2018	19.38	13.38	988.55
22/11/2018	19.87	13.87	1002.42
23/11/2018	19.66	13.66	1016.08
24/11/2018	19.99	13.99	1030.06
25/11/2018	19.53	13.53	1043.59
26/11/2018	19.58	13.58	1057.17
27/11/2018	18.57	12.57	1069.74
28/11/2018	19.63	13.63	1083.36
29/11/2018	18.78	12.78	1096.15
30/11/2018	18.92	12.92	1109.07

Anexo 5: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de diciembre – 2018

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
01/12/2018	18.85	12.85	1121.92
02/12/2018	19.43	13.43	1135.35
03/12/2018	19.10	13.10	1148.45
04/12/2018	18.40	12.40	1160.84
05/12/2018	18.14	12.14	1172.99
06/12/2018	18.48	12.48	1185.46
07/12/2018	18.25	12.25	1197.71
08/12/2018	18.50	12.50	1210.22
09/12/2018	19.25	13.25	1223.47
10/12/2018	18.92	12.92	1236.39
11/12/2018	18.76	12.76	1249.15
12/12/2018	18.65	12.65	1261.80
13/12/2018	18.72	12.72	1274.52
14/12/2018	19.23	13.23	1287.75
15/12/2018	19.24	13.24	1300.99
16/12/2018	20.28	14.28	1315.27
17/12/2018	19.58	13.58	1328.85
18/12/2018	19.20	13.20	1342.04
19/12/2018	20.10	14.10	1356.15
20/12/2018	20.71	14.71	1370.86
21/12/2018	19.37	13.37	1384.23
22/12/2018	19.78	13.78	1398.00
23/12/2018	20.51	14.51	1412.51
24/12/2018	19.91	13.91	1426.42
25/12/2018	20.25	14.25	1440.68
26/12/2018	19.60	13.60	1454.28
27/12/2018	18.68	12.68	1466.96
28/12/2018	20.13	14.13	1481.09
29/12/2018	20.07	14.07	1495.16
30/12/2018	19.87	13.87	1509.04
31/12/2018	20.67	14.67	1523.71

Anexo 6: Temperaturas medias diarias (°C) y grados-día acumulados (°D) correspondiente al mes de enero – 2019

Fecha	Temperatura Promedio (°C)	Grados día (°D)	Grados día acumulados (°D)
01/01/2019	20.58	14.58	1538.28
02/01/2019	22.58	16.58	1554.86
03/01/2019	21.83	15.83	1570.70
04/01/2019	21.55	15.55	1586.24
05/01/2019	21.65	15.65	1601.90
06/01/2019	21.80	15.80	1617.70
07/01/2019	22.30	16.30	1634.01
08/01/2019	22.28	16.28	1650.28
09/01/2019	21.63	15.63	1665.91
10/01/2019	21.83	15.83	1681.74
11/01/2019	21.29	15.29	1697.03
12/01/2019	19.78	13.78	1710.81
13/01/2019	22.00	16.00	1726.81
14/01/2019	21.83	15.83	1742.64
15/01/2019	21.55	15.55	1758.19
16/01/2019	22.30	16.30	1774.49
17/01/2019	22.26	16.26	1790.75
18/01/2019	22.23	16.23	1806.98
19/01/2019	20.79	13.79	1820.77

Anexo 7: Resumen de los grados-día acumulados por etapa fenológica de las 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho

Línea mutante	Siembra - Emergencia	Emergencia - Inicio de Floración	Inicio de Floración - Madurez Fisiológica	Siembra - Madurez Fisiológica
KACH1	59.48	808.29	516.53	1384.30c
KACH2	85.64	694.48	530.39	1310.51d
KACH3	62.44	677.05	493.98	1233.47i
KACH4	56.53	1022.36	512.66	1591.55b
KACH5	59.48	1006.08	656.6	1722.16a
KACH6	56.53	660.52	544.75	1261.80gf
KACH7	56.53	682.96	513.88	1253.37gfh
KACH8	56.53	612.43	461.91	1130.87j
KACH9	59.48	702.07	508.73	1270.28ef
KACH10	56.53	1069.54	586.25	1712.32a
KACH11	56.53	682.96	492.59	1232.08ih
KACH12	59.48	665.25	567.43	1292.16ed
KACH13	62.44	650.02	580.34	1292.80ed
KACH14	59.48	648.13	511.33	1218.94i
KACH15	56.53	996.11	533.6	1586.24b
KACH16	56.53	730.95	509.44	1296.92ed
KACH17	59.48	747.12	503.91	1310.51d
KACH18	59.48	712.74	533.53	1305.75d
KACH19	59.48	712.74	489.58	1261.80gf
KACH20	56.53	659.61	520.25	1236.39gih
KACH21	56.53	730.95	487.04	1274.52ef
KACH22	59.48	739.6	497.5	1296.58ed
KACH23	56.53	723.46	494.53	1274.52ef
KACH24	59.48	649.28	417.64	1126.40j
Promedio (°D)	59.46	749.36	519.35	1328.18
Desv. Est. (°D)	5.89	132.31	46.22	160.06
Coef. Var. (%)	9.90	17.66	8.90	12.05

Anexo 8: Caracterización de 209 plantas derivadas de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho

Bloque o Repetición	Planta	Línea mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
1	A	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde púrpura	verde rojo	mancha irregular envés	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	rosado amarillo	erecta	Negro	127	0.493
1	B	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde claro	Rosado	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	Púrpura	erecta	Negro	125	0.446
1	C	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde claro	verde oscuro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	Púrpura	erecta	Negro	158	0.546
2	A	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	Púrpura	erecta	Negro	143	0.567
2	B	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	Púrpura	erecta	Marrón claro	130	0.540
2	C	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	amarillo púrpura	erecta	Negro	132	0.550
3	A	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	Púrpura	erecta	Negro	206	0.524
3	B	KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	Púrpura	erecta	Marrón claro	163	0.594
1	A	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	Púrpura	erecta	Negro	162	0.594
1	B	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	Púrpura	erecta	Marrón claro	158	0.435
1	C	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	rojo	presencia	rojo	presencia	laxa	Púrpura	erecta	Negro	195	0.553
1	D	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	158	0.577
2	A	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	129	0.559
2	B	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	Rosado	mancha irregular envés	verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	verde púrpura rosado	erecta	Negro	117	0.476
2	C	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	184	0.927
2	D	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	densa	púrpura	erecta	Negro	172	0.715
2	E	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	ausencia		presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	191	0.508

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
3	A	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	Púrpura	erecta	Negro	133	0.544
3	B	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	amarillo púrpura	erecta	Negro	133	0.721
3	C	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	Púrpura	erecta	Negro	182	0.544
3	D	KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	amarillo	erecta	Crema	185	0.667
1	A	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	Púrpura	erecta	Negro	165	0.724
1	B	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	153	0.625
1	C	KACH_3	lanceolada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	141	0.629
1	D	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde rojo	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	138	0.660
2	A	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	216	0.579
2	B	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	rojo	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Negro	178	0.748
2	C	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Densa	púrpura	erecta	Negro	147	0.509
2	D	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	160	0.527
3	A	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Intermedia	amarillo púrpura	erecta	Crema	153	0.450
3	B	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Negro	196	0.524
3	C	KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	rojo	mancha irregular envés	púrpura	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Negro	210	0.581
3	D	KACH_3	lanceolada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Intermedia	amarillo púrpura	erecta	Crema	153	0.387

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
1	A	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde púrpura	rojo	mancha irregular envés	púrpura	amarillo	presencia	verde	ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	183	0.579
1	B	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		presencia	Laxa	púrpura	erecta	Marrón oscuro	226	0.566
2	A	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	178	0.488
2	B	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Laxa	púrpura	erecta	Marrón claro	200	0.458
3	A	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	186	0.333
3	B	KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	intermedia	Marrón claro	168	0.554
1	A	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Laxa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	128	0.609
1	B	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	Laxa	amarillo púrpura	erecta	Negro	151	0.599
2	A	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	ausencia		presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	201	0.575
2	B	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Laxa	púrpura	erecta	Negro	167	0.532
3	A	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	rosado	erecta	Negro	121	0.521
3	B	KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	intermedia	Negro	122	0.540
1	A	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Crema	124	0.500
1	B	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	161	0.501
1	C	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	verde púrpura rosado	erecta	Marrón claro	134	0.637
1	D	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia	amarillo	presencia	intermedia	verde	erecta	Crema	130	0.470
1	E	KACH_6	lanceolada	entera	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	ausencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	126	0.402

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
2	A	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	verde claro	presencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	172	0.539
2	B	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Crema	155.5	0.421
2	C	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Crema	164	0.484
2	D	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón oscuro	187	0.573
2	E	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Laxa	rosado	erecta	Marrón oscuro	206	0.372
3	A	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	197	0.505
3	B	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Intermedia	rosado amarillo	erecta	Crema	152	0.363
3	C	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	Intermedia	rosado amarillo	erecta	Crema	175	0.448
3	D	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Intermedia	verde	erecta	Crema	127	0.394
3	E	KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	159	0.496
1	A	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	ausencia		presencia	Densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	156	0.448
1	B	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	amarillo	erecta	Marrón claro	164	0.543
1	C	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Densa	púrpura amarillo	erecta	Marrón claro	155	0.440
1	D	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	Densa	verde rosado	erecta	Marrón claro	145	0.524
2	A	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	206	0.556
2	B	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	rosado amarillo	erecta	Crema	182	0.462
2	C	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		presencia	Intermedia	amarillo púrpura	intermedia	Crema	191	0.551
2	D	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	ausencia		presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	232	0.552
2	E	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		presencia	Densa	verde	erecta	Marrón oscuro	215	0.497

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
3	A	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	intermedia	Negro	184	0.656
3	B	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	179	0.517
3	C	KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	rosado	intermedia	Crema	162	0.525
1	A	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	172	0.614
1	B	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	130	0.564
2	A	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	177	0.538
2	B	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	166	0.626
2	C	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	162	0.581
3	A	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	189	0.583
3	B	KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	púrpura	ausencia		ausencia	intermedia	púrpura	intermedia	Marrón oscuro	162	0.579
1	A	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	167	0.581
1	B	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	158	0.512
1	C	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	173	0.490
2	A	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	174	0.709
2	B	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	222	0.529
3	A	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	183	0.127
3	B	KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	Densa	púrpura	erecta	Marrón claro	181	0.597

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
1	A	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	167	0.559
1	B	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	144	0.457
1	C	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	172	0.607
1	D	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	142	0.509
2	A	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	rosado	margen y vena pigmentada	verde	verde	presencia	verde claro	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	142	0.626
2	B	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	152	0.579
3	A	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura rosada	erecta	Marrón oscuro	170	0.565
3	B	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura rosada	erecta	Marrón claro	160	0.524
3	C	KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	162	0.537
1	A	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde claro	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	115	0.520
1	B	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	verde claro	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	128	0.582
1	C	KACH_11	ovotainada	ondulada	otro	rosado	margen y vena pigmentada	rojo verde	verde claro	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	amarillo púrpura	erecta	Marrón claro	160	0.604
1	D	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	verde claro	ausencia	Intermedia	verde rosado amarillo	erecta	Marrón claro	154	0.580
2	A	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		presencia	Laxa	verde púrpura rosado	erecta	Marrón claro	208	0.504
2	B	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	204	0.580
2	C	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	196	0.624
3	A	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	142	0.551
3	B	KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	170	0.620

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
1	A	KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón oscuro	200	0.513
1	B	KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	rosado amarillo	erecta	Marrón claro	160	0.504
2	A	KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	laxa	púrpura	erecta	Marrón claro	206	0.506
2	B	KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	165	0.504
3	A	KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	179	0.566
1	A	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	amarillo púrpura	erecta	Negro	195	0.735
1	B	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	amarillo	rojo	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	230	0.654
1	C	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	ausencia		presencia	intermedia	rosado amarillo	intermedia	Negro	188	0.528
1	D	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	púrpura amarilla	intermedia	Negro	186	0.687
2	A	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	rosado	erecta	Negro	195	0.630
2	B	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	rosado amarillo	erecta	Negro	197	0.655
2	C	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	rosado	erecta	Negro	190	0.502
2	D	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	175	0.607
3	A	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Negro	181	0.582
3	B	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	densa	púrpura amarilla	erecta	Negro	185	0.596
3	C	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	verde	verde	presencia	rojo	ausencia	densa	amarillo púrpura	erecta	Negro	146	0.731
3	D	KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedia	amarillo púrpura	erecta	Marrón oscuro	162	0.675
1	A	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	154	0.634
1	B	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	170	0.503

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
1	C	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	ausencia		ausencia	Densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	165	0.474
2	A	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	verde claro	presencia	rojo	presencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón oscuro	178	0.609
2	B	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde claro	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	146	0.524
3	A	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	164	0.555
3	B	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	163	0.524
3	C	KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	rosado	erecta	Marrón claro	177	0.500
1	A	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	162	0.766
1	B	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	presencia	Densa	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	178	0.659
1	C	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	171	0.634
2	A	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	195	0.592
2	B	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	217	0.604
2	C	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	200	0.614
3	A	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Laxa	púrpura	erecta	Marrón claro	176	0.695
3	B	KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	175	0.708
1	A	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	145	0.434
1	B	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	159	0.457
2	A	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	145	0.498
2	B	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	176	0.590
3	A	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	144	0.364

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
3	B	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	148	0.413
3	C	KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	157	0.508
1	A	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	173	0.529
1	B	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Densa	verde rosado	erecta	Marrón claro	134	0.486
2	A	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	168	0.528
2	B	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	164	0.449
3	A	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	210	0.642
3	B	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Negro	184	0.553
3	C	KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	verde púrpura rosado	erecta	Marrón claro	175	0.685
1	A	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	140	0.432
1	B	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	157	0.500
1	C	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Crema	156	0.553
2	A	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Laxa	púrpura	erecta	Crema	197	0.409
2	B	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura	erecta	Crema	172	0.477
2	C	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	176	0.514
2	D	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	Intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón claro	150	0.526
2	E	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	176	0.562
3	A	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura rosada	erecta	Marrón claro	183	0.480
3	B	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	Intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	153	0.430

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
3	C	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	211	0.538
3	D	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	210	0.492
3	E	KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	206	0.582
1	A	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	172	0.590
1	B	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	200	0.527
1	C	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	180	0.461
2	A	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	149	0.560
2	B	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	158	0.582
3	A	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	174	0.519
3	B	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	170	0.509
3	C	KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	laxa	rosado	erecta	Negro	179	0.410
1	A	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	148	0.398
1	B	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	189	0.380
1	C	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	183	0.549
2	A	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	201	0.590
2	B	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	215	0.571
2	C	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	rosado	mancha irregular envés	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	laxa	púrpura	erecta	Negro	195	0.479
2	D	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	190	0.541
3	A	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	187	0.421
3	B	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	170	0.446

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
3	C	KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	Laxa	púrpura	erecta	Negro	197	0.512
1	A	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	183	0.547
1	B	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura amarilla	erecta	Marrón oscuro	198	0.532
1	C	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedia	verde rosado	erecta	Marrón oscuro	217	0.497
1	D	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	presencia	intermedia	verde rosado	erecta	Crema	177	0.453
1	E	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	146	0.590
2	A	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	147	0.525
2	B	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	130	0.453
2	C	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	amarillo	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedia	púrpura	erecta	Crema	110	0.477
3	A	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	146	0.462
3	B	KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedia	verde rosado	erecta	Marrón claro	175	0.480
1	A	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón oscuro	187	0.598
1	B	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular haz y envés	amarillo	amarillo	presencia	verde	presencia	Laxa	púrpura	erecta	Negro	175	0.473
2	A	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	181	0.493
2	B	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	188	0.459
2	C	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	Densa	púrpura	erecta	Negro	225	0.499
3	A	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	mancha irregular envés	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	162	0.527
3	B	KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Negro	127	0.497
1	A	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	134	0.529
1	B	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	amarillo	verde	presencia	Rojo	ausencia	Densa	púrpura	erecta	Marrón claro	152	0.633

... Continuación

Bloque o Repetición	Planta	Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
2	A	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	147	0.524
2	B	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	densa	púrpura	erecta	Negro	174	0.438
3	A	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedia	púrpura	erecta	Marrón claro	135	0.514
3	B	KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	margen y vena pigmentada	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	laxa	púrpura	erecta	Marrón oscuro	158	0.455
1	A	KACH_24	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		presencia	intermedia	verde	erecta	Negro	177	0.401
2	A	KACH_24	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedia	verde	erecta	Negro	182	0.411
2	B	KACH_24	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedia	verde	erecta	Negro	191	0.412
3	A	KACH_24	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedia	verde	erecta	Negro	178	0.396

Anexo 9: Caracterización de las 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho obtenida después del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Línea Mutante	HF	HB	HC	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	IA	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)	
KACH_1	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Amarillo	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedio	púrpura	erecta	negro	148.0	0.5325	
KACH_2	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	negro	161.5	0.6015	
KACH_3	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	negro	167.5	0.5786	
KACH_4	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Verde	rojo	presencia	rojo	ausencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	190.2	0.4963	
KACH_5	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	amarillo	presencia	rojo	presencia	laxa	púrpura	erecta	negro	148.3	0.5627	
KACH_6	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Verde	verde	ausencia		presencia	intermedio	púrpura amarilla	erecta	crema	157.9	0.4737	
KACH_7	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	180.9	0.5226	
KACH_8	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	165.4	0.5836	
KACH_9	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	margen y vena pigmentada	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	179.7	0.5064
KACH_10	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedio	púrpura amarilla	erecta	marrón claro	156.8	0.5514	
KACH_11	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	amarillo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	164.1	0.5739	
KACH_12	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	ausencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	182.0	0.5186	
KACH_13	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Verde	verde	ausencia		ausencia	intermedio	púrpura amarilla	erecta	negro	185.8	0.6318	
KACH_14	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedio	púrpura amarilla	erecta	marrón claro	164.6	0.5404	
KACH_15	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	184.3	0.6590	
KACH_16	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	153.4	0.4663	
KACH_17	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	verde rosado	erecta	marrón claro	172.6	0.5531	
KACH_18	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	175.9	0.4996	
KACH_19	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	Amarillo	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	crema	172.8	0.5198	
KACH_20	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	187.5	0.4887	
KACH_21	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	162.9	0.5016	
KACH_22	ovotainada	ondulada	verde	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	negro	177.9	0.5066	
KACH_23	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	rojo	presencia	intermedio	púrpura	erecta	marrón claro	150.0	0.5155	
KACH_24	ovotainada	ondulada	verde	rosado	color entero	Verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedio	verde	erecta	negro	182.0	0.4050	

Anexo 10: Calidad de representación (*cos2*) de las 16 variables evaluadas en las 19 dimensiones obtenidas del Análisis Factorial Mixto (AFMD)

Variables/ Dimensiones	Dim. 1	Dim. 2	Dim. 3	Dim. 4	Dim. 5	Dim. 6	Dim. 7	Dim. 8	Dim. 9	Dim. 10	Dim. 11	Dim. 12	Dim. 13	Dim. 14	Dim. 15	Dim. 16	Dim. 17	Dim. 18	Dim. 19
HF	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior									
HB	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior									
HC	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior									
HVC	0.1226	0.0015	0.0001	0.0005	0.0751	0.0111	Inferior	Inferior	0.0026	Inferior	Inferior	0.0115	0.0001	Inferior	0.0001	Inferior	Inferior	Inferior	0.1734
HP	0.0001	0.0037	0.002	Inferior	0.067	0.0227	0.0267	0.0298	0.0005	0.001	Inferior	0.0007	0.0009	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.1734
HCP	0.2659	0.1076	0.009	0.0008	0.0001	0.0002	0.0005	0.0024	0.0003	0.0037	0.0071	0.0046	0.0048	Inferior	0.0007	0.0005	Inferior	Inferior	0.0867
TC	0.0299	0.1448	0.0409	0.0616	Inferior	Inferior	0.0474	0.0028	0.0004	0.0008	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.0032	Inferior	0.0002	Inferior	0.0867
TPE	0.7557	0.0006	0.0001	0.0002	Inferior	0.0004	Inferior	0.0001	Inferior	0.0003	Inferior	0.1734							
TCE	0.3786	0.0156	0.085	0.0111	0.0001	0.0002	0.0035	0.0009	Inferior	0.0086	0.0001	0.0001	Inferior	0.0005	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.0867
TPR	0.0198	0.0003	0.1865	Inferior	0.0004	0.0133	0.0019	Inferior	0.0012	0.0066	0.0006	Inferior	0.0006	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.1734
ID	0.0015	0.1014	0.0016	0.018	Inferior	Inferior	0.0028	0.1024	Inferior	Inferior	0.0028	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.0001	Inferior	0.1734
IC	0.1078	0.0103	0.0002	0.097	0.0676	0.0904	0.0002	0.0128	0.0284	0.0129	0.0178	0.0107	Inferior	0.0001	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	0.0433
IA	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior									
Color de Grano	0.0144	0.0432	0.0576	0.0624	0.0084	0.0001	0.0285	Inferior	0.0218	Inferior	Inferior	0.0007	0.0024	0.005	Inferior	0.0001	Inferior	Inferior	0.0867
Altura de Planta (cm)	0.0046	0.0286	0.1072	0.0015	0.0005	0.0103	Inferior	Inferior	0.0137	0.0005	0.0039	0.0003	Inferior	Inferior	Inferior	0.0003	Inferior	Inferior	Inferior
Peso de 1000 Granos (g)	0.0001	0.1241	0.0252	0.0001	0.0038	0.0039	0.0356	0.0008	0.0001	Inferior	0.0007	0.0001	Inferior	0.0039	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior	Inferior

Anexo 11: Variables morfo-agronómicas discriminantes empleadas para el Análisis de clúster (Dendograma) de 24 líneas mutantes de *Amaranthus cruentus* accesión Selección Huacho

Línea Mutante	HVC	HP	HCP	TC	TPE	TCE	TPR	ID	IC	Color de Grano	Altura de Planta (cm)	Peso de 1000 Granos (g)
KACH_1	rosado	color entero	amarillo	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedio	púrpura	negro	148.0	0.5325
KACH_2	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	negro	161.5	0.6015
KACH_3	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	negro	167.5	0.5786
KACH_4	rosado	color entero	verde	rojo	presencia	Rojo	ausencia	intermedio	púrpura	marrón claro	190.2	0.4963
KACH_5	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	Rojo	presencia	laxa	púrpura	negro	148.3	0.5627
KACH_6	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		presencia	intermedio	púrpura amarilla	crema	157.9	0.4737
KACH_7	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	amarillo púrpura	marrón claro	180.9	0.5226
KACH_8	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	165.4	0.5836
KACH_9	verde claro	margen y vena pigmentada	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedio	púrpura	marrón claro	179.7	0.5064
KACH_10	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedio	púrpura amarilla	marrón claro	156.8	0.5514
KACH_11	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	amarillo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	164.1	0.5739
KACH_12	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	ausencia	intermedio	púrpura	marrón claro	182.0	0.5186
KACH_13	rosado	color entero	verde	verde	ausencia		ausencia	intermedio	púrpura amarilla	negro	185.8	0.6318
KACH_14	verde claro	color entero	amarillo	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedio	púrpura amarilla	marrón claro	164.6	0.5404
KACH_15	verde claro	color entero	rojo verde	amarillo	presencia	amarillo	ausencia	intermedio	púrpura	marrón claro	184.3	0.6590
KACH_16	rosado	color entero	verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	153.4	0.4663
KACH_17	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	verde rosado	marrón claro	172.6	0.5531
KACH_18	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	175.9	0.4996
KACH_19	verde claro	color entero	amarillo	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	crema	172.8	0.5198
KACH_20	verde claro	color entero	rojo verde	rojo	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	187.5	0.4887
KACH_21	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	162.9	0.5016
KACH_22	verde claro	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	negro	177.9	0.5066
KACH_23	rosado	color entero	rojo verde	verde	presencia	Rojo	presencia	intermedio	púrpura	marrón claro	150.0	0.5155
KACH_24	rosado	color entero	verde	rojo	ausencia		ausencia	intermedio	verde	negro	182.0	0.4050