

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



**“CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y VARIABILIDAD GENÉTICA DE  
PROGENIES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROCEDENTES  
DE AUTOFECUNDACIONES S5 DE CRUZAS SIMPLES  
CERCANAS Y DISTANTES GENÉTICAMENTE”**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**SILVIA FLORES SUAÑA**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**MENCIÓN: FITOTECNIA**

**PROMOCION: 2016 - II**

**PUNO - PERÚ**

**2017**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO  
FACULTAD DE CIENCIAS AGRARIAS  
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

**“CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA Y VARIABILIDAD GENÉTICA DE  
PROGENIES DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.) PROCEDENTES  
DE AUTOFECUNDACIONES S5 DE CRUZAS SIMPLES  
CERCANAS Y DISTANTES GENÉTICAMENTE”**

**TESIS  
PRESENTADA POR:  
SILVIA FLORES SUAÑA**

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:  
**INGENIERO AGRÓNOMO**  
MENCION: FITOTECNIA

FECHA DE SUSTENTACION: 04 DE DICIEMBRE DE 2017

**APROBADO POR EL JURADO REVISOR, CONFORMADO POR:**

PRESIDENTE: .....  
Ing. M. Sc. Juan LARICO VERA

PRIMER MIEMBRO: .....  
Dr. Félix Alenso ASTETE MALDONADO

SEGUNDO MIEMBRO: .....  
Ing. Mg. Ag. Marilú CHANINI QUISPE

DIRECTOR DE TESIS: .....  
Dr. Ernesto Javier, CHURA YUPANQUI

ASESORES DE TESIS: .....  
Ing. David, APAZA CALSINA.

**PUNO - PERÚ**

**2017**

**Área:** Ciencias agrícolas  
**Tema:** Manejo agronómico de cultivos



## DEDICATORIA

*Dedico esta tesis a Dios, por haberme permitido terminar esta carrera, por darme sabiduría, paciencia y fortaleza para soportar las noches en vela que se requirieron para lograr esta meta. Mis padres, Jorge y Juana, por darme su apoyo total y no permitir que yo renunciara a esta carrera, incitándome a seguir sin importar las adversidades que se me presentaron. Mi hermano Fredy, por darme su apoyo siempre que lo necesité esto te lo debo a ti sé que no me alcanzara la vida para agradecerte te quiero mucho gracias por ser como eres.*

*Dedico esta tesis con todo mi cariño y amor: “A mi Esposo Freddy por darme todo su apoyo incondicional y amor así como su paciencia para concluir con una meta más así como todas las que nos faltan juntos, por no dejarme renunciar tanto en el transcurso de la carrera como en la realización de este trabajo, por ser mi amigo, mi cómplice y el padre de mis hijos Gracias!” “A mis hijos Sebastián y Marcelo, por ser siempre mi inspiración, motivación y orgullo en la vida”.*

*Silvia Flores Suaña*

## AGRADECIMIENTOS

*A Dios quién supo guiarme por el buen camino, darme fuerzas para seguir adelante y no desmayar en los problemas que se presentaban, enseñándome a encarar las adversidades sin perder nunca la dignidad ni desfallecer en el intento. Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.*

*A la Universidad Nacional del Altiplano, a los docentes y trabajadores administrativos de la Facultad de Ciencias Agrarias en especial a la Escuela Profesional de Ingeniería Agronómica, quienes aportaron y contribuyeron con sus conocimientos en mi formación profesional.*

*A los miembros del Jurado calificador de tesis, por sus observaciones y recomendaciones para la mejor culminación del proyecto de investigación.*

*Al Ing. M. Sc. Juan Larico Vera, por sus consejos y apoyo de una manera desinteresada en la culminación de mi proyecto de investigación.*

*Al Ph. D. Ángel Mujica Sánchez, por brindarme la oportunidad de llevar a cabo este proyecto, por su tiempo y apoyo.*

*Dr. Félix Alonso Astete Maldonado, por su amistad y apoyo de una manera desinteresada y sabios consejos para la elaboración de este trabajo.*

*Al Dr. Ernesto Chura Yupanqui, por su apoyo en la elaboración y ejecución del presente proyecto.*

*Al Ing. Mg. Ag. Marilú Chanini Quispe, por ser una amiga más que un docente por sus consejos y apoyo de una manera desinteresada a lo largo de mi formación profesional.*

*Al Ing. Flavio Lozano Isla, Jean Paul la Torre Farfán y Tirso Larijo, por el apoyo en el análisis estadístico.*

*A mis padres Jorge y Juana, por todo el apoyo durante mi formación profesional.*

*A todos mis compañeros de la promoción 2016-II que de una u otra manera me apoyaron en mi formación profesional en especial a Maritza, Sulma, Verito, Zenayda, Vilma y Jenny.*

**INDICE**

RESUMEN .....	16
INTRODUCCIÓN .....	17

**CAPÍTULO I**

**PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE  
LA INVESTIGACIÓN**

1.1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	19
1.2	ANTECEDENTES .....	20
1.3	OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	22
1.3.1	Objetivo general .....	22
1.3.2	Objetivos específicos .....	22

**CAPÍTULO II**

**MARCO TEÓRICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPÓTESIS DE LA  
INVESTIGACIÓN**

2.1	MARCO TEÓRICO .....	23
2.1.1	Centro de origen .....	23
2.1.2	Domesticación .....	24
2.1.3	El cultivo de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.) .....	25
2.1.4	Posición taxonómica .....	25
2.1.5	Descripción botánica de la planta .....	26
2.1.5.1	Planta .....	26
2.1.5.2	Raíz .....	26
2.1.5.3	Tallo .....	26
2.1.5.4	Hojas .....	27
2.1.5.5	Inflorescencia .....	27
2.1.5.6	Flores .....	28
2.1.5.7	Fruto .....	28
2.1.6	Fenología de la quinua .....	29
2.1.6.1	Emergencia .....	29

2.1.6.2	Dos hojas verdaderas .....	29
2.1.6.3	Cuatro hojas verdaderas .....	29
2.1.6.4	Seis hojas verdaderas .....	30
2.1.6.5	Ramificación .....	30
2.1.6.6	Inicio de panojamiento.....	30
2.1.6.7	Panojamiento.....	31
2.1.6.8	Inicio de floración .....	31
2.1.6.9	Floración .....	31
2.1.6.10	Grano acuoso.....	31
2.1.6.11	Grano lechoso .....	32
2.1.6.12	Grano pastoso.....	32
2.1.6.13	Madurez fisiológica.....	32
2.1.6.14	Madurez de cosecha.....	32
2.1.7	Requerimientos del cultivo .....	33
2.1.7.1	Suelo.....	33
2.1.7.2	pH	33
2.1.7.3	Clima.....	33
2.1.7.4	Agua.....	34
2.1.7.5	Temperatura .....	34
2.1.7.6	Radiación .....	34
2.1.7.7	Altitud .....	34
2.1.7.8	Fotoperiodo .....	35
2.1.8	Practicar agronómicas .....	35
2.1.8.1	Preparación del suelo .....	35
2.1.8.2	Siembra .....	35
2.1.8.3	Fertilización .....	36
2.1.8.4	Deshierbo .....	36
2.1.8.5	Aporques .....	37
2.1.8.6	Riegos.....	37
2.1.8.7	Cosecha .....	37
2.1.9	Plagas y enfermedades .....	38
2.1.9.1	Plagas .....	38
2.1.9.2	Enfermedades.....	38
2.1.9.3	Ataque ornitológico.....	38
2.1.10	Valor nutritivo.....	38

2.1.11	Accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	39
2.1.11.1	Salcedo – INIA.....	39
2.1.11.2	Huariponcho.....	39
2.1.11.3	Pasankalla.....	39
2.1.11.4	Negra Collana .....	40
2.1.11.5	Kcancolla .....	40
2.1.11.6	Pandela Rosada .....	40
2.1.12	Grado de determinación genética.....	40
2.1.13	Genética y herencia .....	42
2.1.14	Expresión de la variabilidad (Hidalgo, 2003) .....	42
2.1.15	Distancia Genética .....	42
2.1.16	Caracterización de variabilidad genética .....	43
2.1.17	Mejoramiento genético de la quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd.).....	43
2.1.17.1	Mejoramiento genético por hibridación.....	44
2.1.17.2	La autofecundación.....	44
2.1.18	Efecto De La Autofecundación.....	46
2.1.19	Descriptores.....	46
2.1.19.1	Descriptores de caracterización .....	47
2.1.19.2	Descriptores de evaluación .....	47
2.1.20	Matriz básica de datos (MBD) .....	47
2.1.21	Estados del descriptor y tipos de datos .....	48
2.1.22	Análisis de datos .....	48
2.1.23	Estadística descriptiva .....	49
2.1.24	Media aritmética.....	49
2.1.25	Desviación estándar .....	49
2.1.26	Coefficiente de variación.....	49
2.1.27	Análisis multivariado .....	50
2.1.28	Análisis de componentes principales (ACP).....	50
2.1.29	Representación grafica .....	52
2.1.30	Proporción de la varianza explicada .....	52
2.1.31	Análisis de conglomerados .....	53
2.2	MARCO CONCEPTUAL .....	54
2.2.1	Gen .....	54
2.2.2	Gen dominante .....	54

2.2.3	Gen recesivo .....	54
2.2.4	Betaláínas .....	54
2.2.5	Cruzamiento simple .....	54
2.2.6	Cruzamiento .....	54
2.2.7	Cotiledón .....	54
2.2.8	El oxalato de calcio .....	55
2.2.9	Glomérulo .....	55
2.2.10	Hermafrodita .....	55
2.2.11	Heliófilo .....	55
2.2.12	Híbrido .....	55
2.2.13	Perigonio .....	56
2.2.14	Autofecundación .....	56
2.2.15	Autogamia .....	56
2.2.16	Caracterización y conservación de la variabilidad genética.....	56
2.3	HIPÓTESIS .....	57

### CAPÍTULO III

#### METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1	LUGAR DE EJECUCIÓN .....	58
3.1.1	Ámbito de estudio .....	58
3.1.2	Localización del proyecto .....	58
3.2	CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO .....	59
3.3	CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS .....	59
3.4	HISTORIAL DEL CAMPO .....	60
3.5	CONDICIONES METEOROLÓGICAS.....	61
3.6	MATERIAL EXPERIMENTAL .....	64
3.6.1	Material genético.....	64
3.6.2	Insumos .....	65
3.6.3	Herramientas de campo.....	65
3.6.4	Equipo de campo.....	65
3.6.5	Otros .....	65

3.7	METODOLOGÍA DE TRABAJO .....	66
3.7.1	Fase de Campo .....	66
3.7.1.1	Preparación del terreno. ....	66
3.7.1.2	Siembra. ....	66
3.7.1.3	Fertilización. ....	66
3.7.1.4	Deshierbo. ....	67
3.7.1.5	Desahíje.....	67
3.7.1.6	Rouguing.....	67
3.7.1.7	Aporque.....	67
3.7.1.8	Control fitosanitario. ....	68
3.7.1.9	Cosecha de la quinua.....	68
3.7.2	Variables agronómicas evaluadas .....	68
3.7.2.1	Días a emergencia (DDS) .....	68
3.7.2.2	Días a partir del 50% de floración (DDS).....	68
3.7.2.3	Días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS).....	68
3.7.2.4	Altura de planta (cm) .....	69
3.7.2.5	Diámetro de tallo (mm).....	69
3.7.2.6	Diámetro de panoja principal (cm) .....	69
3.7.2.7	Longitud de panoja principal (cm).....	69
3.7.3	Fase de laboratorio .....	69
3.7.3.1	Rendimiento de grano por planta (gr) .....	69
3.7.3.2	Rendimiento (Kg/ha).....	70
3.7.3.3	Peso hectolitrico .....	70
3.7.3.4	Diámetro de grano.....	70
3.7.4	Fase de gabinete .....	70
3.7.4.1	Análisis estadístico de la información .....	70
3.7.4.2	Análisis de componentes principales .....	71
3.7.4.3	Evaluación y registro del carácter .....	72

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1	CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA .....	74
4.1.1	Altura de planta .....	74

4.1.2	Diámetro de tallo .....	76
4.1.3	Longitud de panoja.....	77
4.1.4	Diámetro de panoja .....	79
4.1.5	Floración y madurez fisiológica.....	80
4.1.6	Rendimiento por planta y rendimiento por hectárea .....	83
4.1.7	Peso hectolitrico .....	85
4.1.8	Peso de 1000 granos y diámetro de grano.....	86
4.2	VARIABILIDAD GENÉTICA .....	89
4.3	ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO .....	92
4.3.1	Análisis variables cuantitativos.....	92
4.4	ANÁLISIS MULTIVARIADO .....	94
4.4.1	Análisis de componentes principales .....	94
4.4.2	Análisis de conglomerados .....	95
	CONCLUSIONES .....	98
	RECOMENDACIONES.....	100
	BIBLIOGRAFÍA .....	101
	ANEXOS .....	110

## ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. Climograma de Camacani (septiembre 2015 - abril 2016), según la estación meteorológico de Acora. ....	63
FIGURA 2. Humedad relativa (septiembre 2015 – abril 2016), según la estación meteorológico de Acora .....	63
FIGURA 3. Comportamiento de la altura de planta de las cruzas en comparación con los genitores .....	75
FIGURA 4. Comportamiento del diámetro del tallo de las cruzas en comparación con los genitores.....	77
FIGURA 5. Comportamiento de la longitud de panoja de las cruzas en comparación con los genitores .....	78
FIGURA 6. Comportamiento del diámetro de panoja de las cruzas en comparación con los genitores.....	80
FIGURA 7. Comportamiento de días de floración de las cruzas en comparación con los genitores .....	81
FIGURA 8. Comportamiento de la madurez fisiológica de las cruzas en comparación con los genitores .....	82
FIGURA 9. Comportamiento del rendimiento por planta de las cruzas en comparación con los genitores .....	84
FIGURA 10. Comportamiento del rendimiento por hectárea de las cruzas en comparación con los genitores .....	85
FIGURA 11. Comportamiento del peso hectolitrico de las cruzas en comparación con los genitores.....	86
FIGURA 12. Comportamiento del peso de 1000 granos y el diámetro de grano de las cruzas en comparación con los genitores .....	88
FIGURA 13. Comportamiento del diámetro de grano de las cruzas en comparación con los genitores .....	89
FIGURA 14. Distribución de las variables .....	94
FIGURA 15. Dendograma de características cuantitativas .....	95

**ÍNDICE DE TABLAS**

TABLA 1. Análisis de suelo del sitio experimental de CIP – Camacani .....	60
TABLA 2. Promedios de datos meteorológicos durante el experimento (septiembre 2015 – abril 2016), según la estación meteorológico rincón de la cruz de Acora62	
TABLA 3. Cruzas simples de seis variedades de quinua procedentes de autofecundaciones S5. ....	64
TABLA 4. Malezas que se encontró en el campo donde se instaló el trabajo de investigación .....	67
TABLA 5. Características agronómicas evaluadas .....	72
TABLA 6. Descripción de la forma de evaluación de las variables cuantitativas.....	73
TABLA 15. Promedio de la varianza del error, entre líneas, fenotípica y promedio de grado de determinación genética .....	92
TABLA 16. Promedios de los mejores progenitores y progenies en cuanto a variables cuantitativas .....	93
TABLA 17. Matriz de distancia utilizando la distancia euclidiana .....	96

**ÍNDICE DE ANEXOS**

ANEXO 1. Análisis de componentes principales de la cruza HUA X KCA.....	111
ANEXO 2. Análisis de componentes principales de la cruza SAL X HUA .....	111
ANEXO 3. Análisis de componentes principales de la CRUZA PAS X KCA .....	112
ANEXO 4. Análisis de componentes principales de la cruza SAL X PAN .....	112
ANEXO 5. Análisis de componentes principales de la cruza COL X KCA .....	113
ANEXO 6. Análisis de componentes principales de la cruza SAL X COL .....	113
ANEXO 15. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para altura de planta para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	114
ANEXO 16. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de tallo para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	115
ANEXO 17. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para longitud de panoja para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	115
ANEXO 18. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de panoja para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	116
ANEXO 19. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para días de floración para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	117
ANEXO 20. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para días de madurez fisiológica para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones.....	117
ANEXO 21. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para rendimiento por planta para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	118
ANEXO 22. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para rendimiento por hectárea para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	119

ANEXO 23. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para peso hectolitrico para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	119
ANEXO 24. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para peso de 1000 granos para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	120
ANEXO 25. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de grano para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones .....	121
ANEXO 26. Datos de la estación meteorológica rincón de la plata Acora .....	122
ANEXO 27 Resultados del análisis físico químico solicitados por el encargado del proyecto mejoramiento genético de quinua del CIP- Camacani .....	124

## GALERÍA DE FOTOS

IMAGEN 1. Preparación del terreno para la instalación del experimento de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas S5 .....	125
IMAGEN 2. Surcado del terreno .....	125
IMAGEN 3. Sobres con 5 gramos de semilla de las progenies y progenitores s5 de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas .....	126
IMAGEN 4. Siembra a chorro continuo de las 196 líneas de cada cruza.....	126
IMAGEN 5. Siembra de las progenies y progenitores de las 6 cruzas .....	127
IMAGEN 6. Tapado de las semillas de quinua a no más de 2cm de profundidad .....	127
IMAGEN 7. Desmalezado de la parcela experimental de quinua .....	128
IMAGEN 8. Evaluación de las plagas <i>Eurysacca quinoa</i> Povolny y pulgón verde ( <i>Myzus persicae</i> ).....	128
IMAGEN 9. Cosecha de las 10 plantas de cada línea .....	129
IMAGEN 10. Sobres con las cosechas de las líneas de cruzas simples cercanas y distantes genéticamente .....	129
IMAGEN 11. Emergencia de las cruzas .....	130
IMAGEN 12. Inicio de floración y etiquetado de plantas .....	130
IMAGEN 13. Eliminación de las plantas débiles y atípicas. ....	131
IMAGEN 14. Madurez de cosecha.....	131
IMAGEN 15. Midiendo la altura de planta .....	132
IMAGEN 16. Evaluación de la longitud de panoja .....	132
IMAGEN 17. Pesado de los granos de quinua de cada línea evaluada .....	133
IMAGEN 18. Calculo del peso hectolitrito con la balanza shopper.....	133
IMAGEN 19. Midiendo el diámetro de grano con la regla vernier .....	134

## RESUMEN

El mejoramiento genético de la quinua reviste enorme importancia en el país, puesto que permite obtener nuevas variedades, con características agronómicas deseadas y anheladas por el agricultor, por ello se efectuó el presente trabajo de investigación que se llevó a cabo en el Centro de Investigación y Producción de Camacani, propiedad de la UNA – Puno. Con los objetivos de Caracterizar agronómicamente las líneas seleccionadas de las autofecundaciones S5 de cruza simples distantes y cercanas genéticamente (ideotipo adecuado) y Evaluar la variabilidad genética entre líneas, mediante la metodología de estadística y análisis multivariado, en base a caracteres agronómicos. El estudio fue conducido bajo un diseño de bloques completamente al azar con dos repeticiones y 1188 tratamientos, área de la parcela 2.5 m<sup>2</sup> (0.50m x 5 m), densidad de siembra 10 kg/ha; la campaña agrícola se inició el 01 de octubre del 2015 al 20 de Abril del 2016. tratamientos, a través del cual se evaluaron variables (altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panoja, diámetro de panoja, días de floración, madurez fisiológica, rendimiento por planta, rendimiento por hectárea, peso hectolitrico, peso de 1,000 granos, y diámetro de grano), y las cuales presentaron el siguiente comportamiento en cuanto a promedios más altos donde la cruza PAS X KCA promedio en altura de planta (93.39 cm) debido a su progenitor Pasankalla que tiene una altura de planta de (89.84 cm), en cuanto Diámetro del tallo principal (mm) la cruza PAS X KCA 14.49 y su genitor Pasankalla 14.49, Longitud de la panoja (cm) la cruza PAS X KCA 28.45 y su genitor Pasankalla 26.47, Diámetro de la panoja (cm) la cruza PAS X KCA 8.73 y su genitor Pasankalla 8.55, Floración (días) la cruza PAS X KCA 95.45y su genitor Pasankalla 98.05, Madurez fisiológica (días) la cruza PAS X KCA 192.98, Rendimiento de grano/ planta (gr) las cruza HUA X KCA 17.00 y su genitor Huariponcho 13.32, Rendimiento por hectárea (kg) la cruza HUA X KCA 5099.28 y su genitor Huariponcho 3995.78, Peso hectolitrico (kg/hl) la cruza HUA X KCA 67.99 y su genitor Huariponcho 53.28, Peso de 1000 granos (g) la cruza SAL X COL 3.97 y su genitor Negra Collana 2.95, Diámetro de grano (mm) la cruza SAL X COL 3.80 y su genitor Negra Collana 2.95 cabe resaltar que la cruza más precoz fue HUA X KCA 177.51 (días) y la más tardía fue PAS X KCA 192.98 (días). En cuanto a la variabilidad genética se observa Altura de planta grado de determinación (GDG) 6%, Diámetro de tallo 7%, Longitud de panoja 10%, Diámetro de panoja 7%, Floración 3% , Madurez fisiológica 2%, Rendimiento por planta 2%, Rendimiento por hectárea 2%, Peso hectolitrico 2%, Peso de 1000 granos 3% , Diámetro de grano 3%. El GDG estimado para once variables, en base a varianzas fenotípicas, en general no alcanzó magnitudes elevadas debido a un notorio predominio de la varianza ambiental o características edafoclimáticas.

**Palabras claves:** Mejoramiento genético, quinua, cruza, progenies, caracterización, variabilidad genética y fenotípica.

## INTRODUCCIÓN

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es una especie originaria de los Andes, domesticada y cultivada por distintas culturas indígenas desde tiempo inmemorable (Delgado, 2009) y ha sido cultivada en una amplia gama de ambientes en Sudamérica, Norteamérica, Europa y Asia (Bhargava y Srivastava, 2013). Cultivo subutilizado que últimamente adquirió atención por su habilidad de adaptación a condiciones ambientales extremas (Geerts *et. al.*, 2009). La planta se adapta bien a factores ambientales estresantes como sequía, salinidad y heladas (Suracheth, 2014).

La quinoa se presenta como una opción alimentaria importante, especialmente en la nutrición de la población infantil (Delgado, 2009). La planta es nutricionalmente importante por su semilla que tiene un alto contenido de proteína, abundantes aminoácidos esenciales, vitaminas, carbohidratos, minerales y antioxidantes naturales (Bhargava y Srivastava, 2013).

Ante la necesidad global de identificar cultivos que tengan el potencial de producir alimentos de calidad, la quinoa presenta un alto potencial tanto por sus bondades nutritivas como de su versatilidad agronómica para contribuir a la seguridad alimentaria de diversas regiones del planeta, especialmente en aquellos países donde la población no tiene acceso a fuentes de proteína, o donde tienen limitaciones en la producción de alimentos.

La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), cultivo originario de los andes, está alcanzando importancia mundial en la actualidad, por su alto contenido de proteínas y balance ideal de aminoácidos esenciales, siendo calificado por la FAO como el mejor alimento nutracéutico y orthomolecular para la humanidad. Por ello está siendo revalorada como un cultivo alternativo en la alimentación del país y del mundo alcanzando gran importancia en los mercados internacionales como EE.UU., Japón, Europa (Mujica *et al.*, 2013).

La agricultura requiere aumentar su producción de acuerdo con el crecimiento de la población mundial, que ocurre al mismo tiempo que hay una disponibilidad de agua cada vez menor. En zonas con restricción hídrica se deben seleccionar especies o genotipos capaces de producir bajo condiciones de estrés (Garrido, 2013).

El genetista moderno está buscando mejorar en sus características agronómicas, de producción y arquitectura de planta, que le permita una cosecha más rápida, eficiente y con menores desperdicios y para ello, deben utilizar la enorme agrobiodiversidad para seleccionar y recombinar caracteres hasta encontrar genotipos deseados para su mejor adaptación y adaptación en diferentes latitudes y con distintos grados de tolerancia o resistencia a los factores abióticos adversos (Mujica *et al.*, 2013). Por ello que mediante los descriptores de caracterización y evaluación de quinua propuesto por (Bioersity Internacional 2013), se ha evaluado características agronómicas y morfológicas de las progenies autofecundadas  $S_5$ ; mediante la estadística multivariado utilizando análisis de componentes principales y el análisis de conglomerados.

El agricultor exige que la variedad sea de alta producción, con resistencias a factores ambientales, plagas y enfermedades, de fácil manejo, que la panoja de quinua sea de mayor volumen, de alta producción de granos, que pueda disminuir sus costos de producción.

No se tiene caracterizado las líneas seleccionadas de las progenies autofecundados  $S_5$  procedentes de cruza simples (genéticamente distantes y cercanas) en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

En base a lo expuesto, esta investigación tiene como objetivo de caracterización agronómica de las progenies  $S_5$  autofecundadas, procedentes de cruza simples genéticamente distantes y cercanas, se efectuará empleando las técnicas de análisis multivariado y análisis de conglomerados. En base a las características altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panoja, diámetro de panoja, días de floración, madurez fisiológica, rendimiento por planta, rendimiento por hectárea, peso hectolitrico, peso de 1,000 granos, y diámetro de grano, con el fin de obtener materiales promisorios que en el futuro pueden ser variedades de buena adaptación, precoces, alto rendimiento, resistentes a factores bióticos y abióticos.

## CAPÍTULO I

### PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA, ANTECEDENTES Y OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En el Altiplano existe una alta variabilidad en la quinua que es cultivada (Fuentes *et al.*, 2009). Lo importante es que en el material se presente suficiente variación genética para poder realizar exitosamente una selección (ERPE, 2001).

El agricultor exige que la variedad sea de alta productividad, con resistencias a factores ambientales, plagas y enfermedades, de fácil manejo, que la panoja de quinua sea de mayor volumen, de alta producción de granos, que pueda disminuir sus costos de producción. Para incrementar la producción de quinua se debe tener en cuenta las características agronómicas como: Altura de planta, diámetro de tallo, longitud de panoja, diámetro de panoja, días de floración, madurez fisiológica, rendimiento por planta, rendimiento por hectárea, peso hectolitrico, peso de 1,000 granos, y diámetro de grano, precocidad, tolerancia al “mildiu” (*Peronospora variabilis*) y “kcona-kcona” (*Eurysacca quinoa* Povolny).

No se tiene caracterizado las seis progenies autofecundados  $S_5$  procedentes de cruza simples (genéticamente distantes y cercanas) en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.).

En este sentido y por las razones expuestas, se hace necesario realizar investigaciones acerca de la caracterización agronómica de la quinua ya que nos ayudara identificar accesiones con mejores caracteres agronómicos, requeridos por el agricultor.

Debido a los problemas presentados se plantea los siguientes interrogantes:

#### **Pregunta general**

- ¿Qué características agronómicas tendrán las líneas de progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd?) procedentes de las autofecundaciones S5 de cruza simple (genéticamente distantes, y cercanas), en el CIP-Camacani, Puno?

#### **Preguntas específicas**

- ¿Cuáles son las características agronómicas de las líneas de progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes de las autofecundaciones S5 de cruza simple (genéticamente distantes, y cercanas)
- ¿Qué variabilidad muestran las cruza simple distantes en comparación a las cruza cercanas?

## **1.2 ANTECEDENTES**

Mujica *et al.*, (2013) La hibridación, es el punto de partida para la obtención de nuevas variedades de quinua mejoradas genéticamente en un futuro, con características agronómicas requeridas por el productor. A través de las cruza simple y dobles se obtendrán caracteres sobresalientes de la quinua, de tal forma que se seleccionara las mejores. La selección de progenitores adecuados permitirá hibridar aquellos que tengan menor similitud o aquellas que sean más distantes genéticamente para obtener nuevas variedades mejoradas. Así mismo (Bustincio, 2013). Mediante el análisis multivariado se ha determinado la variabilidad esto en base a las características agromorfológicas, en donde se ha obtenido las cruza más distantes a los siguientes progenies: Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 32,75; Salcedo INIA x Pandela y Huariponcho x Kcancolla con 29,79; Negra collana x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 29,39 y como las más cercanas: Salcedo INIA x Pandela y Negra collana x Kcancolla con 15,38; Salcedo INIA x Huariponcho y Huariponcho x Kcancolla con 15,50; Salcedo INIA x Negra Collana y Salcedo INIA x Pandela con 16,32. Pero (Pinto, 2013) En cuanto a precocidad, rendimiento y calidad se concluye, la prueba de significancia Tukey (ANVA) en comparativo con el análisis de componentes

principales, encentrándose las cruza más promisorias en cuanto a los caracteres de precocidad, rendimiento y calidad; las cruza simples ubicadas en el tercer cuadrante, cruza 1 (Salcedo INIA x Huariponcho), cruza 3 (Salcedo INIA x Negra Collana), cruza 19 (Pasankalla x Pandela) y cruza 22 (Kcancolla x Pandela). También (Apaza, 2014) Mediante el uso de la estadística descriptiva se concluye que los caracteres longitud de la panoja, diámetro de la panoja y número de dientes de hoja son las más variables. Y las características que menor variación presentaron fueron: el peso hectolitrico, días hasta el inicio de floración y número de días hasta grano lechoso. En la correlación simple se tuvo alta correlación entre las características fenológicas y de grano, respecto a la arquitectura de la planta. Con análisis multivariado se determinó la variabilidad genética entre progenies, donde los más distantes fueron: Pasankalla x Kcancolla y Salcedo-INIA x Negra Collana con 0,690401, Salcedo-INIA x Huariponcho y Negra Collana x Kcancolla con 0,538099 y finalmente Pasankalla x Kcancolla y Salcedo-INIA x Pandela Rosada con 0,527767. Y los más cercanos fueron: Salcedo-INIA x Pandela Rosada y Salcedo-INIA x Huariponcho con 0,266395, Salcedo-INIA x Negra Collana y Salcedo-INIA x Pandela Rosada con 0,33666 y finalmente Negra Collana x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 0,390854. Además (Mendoza, 2014). La estadística multivariado nos ha permitido conocer la variabilidad fenotípica en las seis progenies de quinua. Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla dista más del resto de la progenies debido a que el primero presenta características fenológicas tardías y bajo índice de cosecha y el segundo porque es planta pequeña, gano pequeño y precoz, las progenies restantes presentan características fenológicas y arquitectura de planta similares. Mediante el análisis de conglomerados se ha estimado la variabilidad fenotípica entre progenies, donde los más distantes fueron: Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 0,696409 y las más cercanas fueron: Salcedo- INIA x Negra Collana y Salcedo-INIA x Huariponcho con 0,214359. Sin embargo (Domínguez, 2015) determino la variabilidad fenotípica en las seis progenies de quinua S4 en donde encontró que Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla dista más del resto de las progenies debido a que el primero presenta características fenológicas tardías y bajo índice de cosecha y el segundo porque es planta pequeña, gano pequeño y precoz, las progenies restantes presentan características fenológicas y arquitectura de planta similares. Mediante el análisis de conglomerados se ha estimado la variabilidad fenotípica entre progenies, donde los más distantes fueron: Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla con 0,696409 y las más cercanas fueron:

Salcedo– INIA x Negra Collana y Salcedo–INIA x Huariponcho con 0,214359 también determinó los caracteres de alto poder discriminante fueron 50 % de madurez fisiológica (50 % MF), 50 % de floración (50 % F), longitud de panoja (LP), grano lechoso (GL), inicio de floración (IF), formación del botón floral (FBF), grano pastoso (GP). Se concluye que las variables que tienen relación con la reproducción de la planta son más discriminatorias que las vegetativas. Finalmente, (Choquechambi 2016), caracterizó utilizando los descriptores de caracterización y evaluación; a partir de esos datos obtuvo los caracteres agromorfológicos de cada una de las progenies y progenitores. Se evaluaron 40 características morfológicas y agronómicas (21 cuantitativas y 19 cualitativas) mediante el análisis de componentes principales mostró que los tres primeros componentes explican más de los 63% de la variación total, en las seis cruza y seis progenitores para las 40 variables explicativas. Con el análisis clúster observó que el progenitor femenino tiene mayor similitud o asociación con las cruza en sus caracteres, menciono que las cruza que tienen mayor asociación con el progenitor femenino, fueron las siguientes: Col x Kca, Hua x Kca, Sal x Col, Pas x Kca.

### **1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **1.3.1 Objetivo general**

Caracterizar agronómicamente las líneas de progenies de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) procedentes de las autofecundaciones S5 de cruza simples (genéticamente distantes, y cercanas), en el CIP-Camacani, Puno.

#### **1.3.2 Objetivos específicos**

- Caracterizar agronómicamente las líneas seleccionadas de las autofecundaciones S5 de cruza simples distantes y cercanas genéticamente (ideotipo adecuado).
- Evaluar la variabilidad genética entre líneas, mediante la metodología de estadística y análisis multivariado, en base a caracteres agronómicos.

## CAPÍTULO II

### MARCO TEORICO, MARCO CONCEPTUAL E HIPOTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1 MARCO TEÓRICO

##### 2.1.1 Centro de origen

La quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) es un cultivo nativo de la región Andina; la mayoría de los investigadores coinciden en que la quinoa es originaria del altiplano que comparten Perú y Bolivia, ya que en dichas áreas se encuentra la mayor diversidad de plantas cultivadas y parientes silvestres (Gabriel *et. al.*, 2012). Existe evidencia que indica que la quinoa ha sido cultivada en los Andes desde hace aproximadamente 8000 años, y tiene origen cerca del lago Titicaca en la frontera entre Bolivia y Perú (Zurita-silva *et. al.*, 2014). Probablemente la quinoa fue domesticada por las antiguas civilizaciones en diferentes tiempos y zonas geográficas, incluyendo Perú, Chile y Bolivia. Actualmente, se explica su existencia, con la teoría de que los Incas diseminaron semilla a otras civilizaciones chilenas que vivían en contextos agroecológicos distintos; los cuales desde hace 5000 años aproximadamente, se encargaron de llevar a cabo las primeras etapas de domesticación de la quinoa de su forma silvestre a un cultivo domesticado. En este contexto, la quinoa ha sido sometida a diversos procesos de selección para obtener rasgos deseables, cultivarla y ser consumida por las diferentes culturas y territorios en Sudamérica (Bazile *et. al.*, 2014).

La zona andina comprende uno de los ocho mayores centros de domesticación de plantas cultivadas del mundo, dando origen a uno de los sistemas agrícolas más sostenibles y con mayor diversidad genética en el mundo. La quinua, una planta andina,

muestra la mayor distribución de formas, diversidad de genotipos y de progenitores silvestres, en los alrededores del lago Titicaca de Perú y Bolivia, encontrándose la mayor diversidad entre Potosí - Bolivia y Sicuani (Cusco) – Perú (Mujica *et al.*, 2013).

La quinoa fue durante miles de años el principal alimento de las culturas antiguas de los Andes (Bioversity International *et. al.*, 2013).

### 2.1.2 Domesticación

Durante la domesticación de la quinua y como producto de la actividad humana, ha ocurrido un amplio rango de modificaciones morfológicas. Entre ellas, condensación de la inflorescencia en el extremo terminal de la planta, incremento del tamaño de la planta y la semilla, reducción de la testa, pérdida de la dormancia para la germinación, pérdida de los mecanismos de dispersión de la semilla, y altos niveles de pigmentación, consiguiéndose la actual planta de quinua de alta producción de semillas de colores claros, lo que demuestra el enorme tiempo utilizado por el hombre en la selección y cultivo de esta especie. Los parientes más cercanos y también los posibles progenitores, muestran aun estas características silvestres y no así el escape de cultivo *C. quinoa* var. *melanospermun*, que sólo tiene la semilla de color oscuro (Mujica *et al.*, 2001).

Seguramente, durante la domesticación el hombre andino selecciono los genotipos por el tipo de uso y por la tolerancia a factores adversos tanto bióticos como abióticos, llegando a obtener las actuales plantas y ecotipos con características diferenciales, tales como las quinuas Chullpi para sopas, las quinuas Pasankalla para tostado, las Coytos para harina, las Reales para la pissara o graneado, la Utusaya para resistir a la salinidad, las Witullas y Achachinos para resistir el frío, las Kcancollas para resistir la sequía, las Quellus o amarillas para alto rendimiento, las Chewecas para resistir el exceso de humedad, las Ayaras por valor nutritivo (alto balance de aminoácidos esenciales y proteína), y las Ratuquis por precocidad. Aún hoy en día, el poblador andino sigue manteniendo los parientes silvestres para su uso como ataco o Llipcha, como plantas medicinales y en casos extremos para el uso del grano en la alimentación, cuando se presenten desastres naturales (Mujica *et al.*, 2001).

### 2.1.3 El cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)

La quinua es una planta herbácea anual de amplia dispersión geográfica; presenta características peculiares en su morfología, coloración y comportamiento en diferentes zonas agroecológicas donde se la cultiva, fue utilizada como alimento desde tiempos inmemoriales. Se calcula que su domesticación ocurrió hace más de 7 000 años antes de Cristo, presenta enorme variación y plasticidad para adaptarse a diferentes condiciones ambientales, se cultiva desde el nivel del mar hasta los 4 000 msnm, desde zonas áridas, hasta zonas húmedas y tropicales, desde zonas frías hasta templadas y cálidas; muy tolerante a los factores abióticos adversos como son sequías, heladas, salinidad de suelos y otros que afectan a las plantas cultivadas (Mujica *et al.*, 2013).

Su período vegetativo varía desde los 90 hasta los 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 2 600 mm anuales, se adapta a suelos ácidos de pH 4,5 hasta alcalinos con pH de 9,0, sus semillas germinan hasta con 56 dS m<sup>-1</sup> de concentración salina, se adapta a diferentes tipos de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos, la coloración de la planta es también variable con los genotipos y etapas fenológicas, desde el verde hasta el rojo, pasando por el púrpura oscuro, amarillento, anaranjado, granate y demás gamas que se pueden diferenciar (Mujica *et al.*, 2013).

### 2.1.4 Posición taxonómica

<b>Reino</b>	: Plantae
<b>División</b>	: Magnoliophyta
<b>Clase</b>	: Magnoliopsida
<b>Sub-clase</b>	: Angiospermas
<b>Orden</b>	: Caryophyllales
<b>Familia</b>	: Amaranthaceae
<b>Sub Familia</b>	: Chenopodioideae
<b>Tribu</b>	: Chenopodieae
<b>Género</b>	: <i>Chenopodium</i>
<b>Especie</b>	: <i>Chenopodium quinoa</i> Willd. (APG, 2009)

## 2.1.5 Descripción botánica de la planta

### 2.1.5.1 Planta

La planta, es erguida, alcanza alturas variables desde 30 a 300 cm, dependiendo del tipo de quinua, de los genotipos, de las condiciones ambientales donde crece, de la fertilidad de los suelos; las de valle tienen mayor altura que las que crecen por encima de los 4000 msnm y de zonas frías, en zonas abrigadas y fértiles las plantas alcanzan las mayores alturas, su coloración varía con los genotipos y fases fenológicas, está clasificada como planta C3 (FAO, 2000).

### 2.1.5.2 Raíz

Es pivotante, vigorosa, profunda, bastante ramificada y fibrosa, la cual posiblemente le da resistencia a la sequía y buena estabilidad a la planta, se diferencia fácilmente la raíz principal de las secundarias que son en gran número, a pesar de que pareciera ser una gran cabellera, esta se origina del periciclo, variando el color con el tipo de suelo donde crece, al germinar lo primero que se alarga es la radícula, que continúa creciendo y da lugar a la raíz, alcanzando en casos de sequía hasta 180 cm de profundidad, sus raicillas o pelos absorbentes nacen a distintas alturas y en algunos casos son tenues y muy delgadas, muy excepcionalmente se observa vuelco por efecto de vientos, exceso de humedad y mayormente es por el peso de la panoja, la profundidad de la raíz guarda estrecha relación con la altura de la planta (Mujica *et al.*, 2013).

### 2.1.5.3 Tallo

El tallo es cilíndrico en el cuello de la planta y anguloso a partir de las ramificaciones, puesto que las hojas son alternas dando una configuración excepcional, el grosor del tallo también es variable siendo mayor en la base que en el ápice, dependiendo de los genotipos y zonas donde se desarrolla existen genotipos ampliamente ramificados (quinuas de valle) incluso desde la base (quinuas del nivel del mar) y otros de tallo único (quinuas del altiplano), así como genotipos intermedios, dependiendo del genotipo, densidad de siembra y disponibilidad de nutrientes, la coloración del tallo es variable, desde el verde al rojo, muchas veces presenta estrías y también axilas de color rojo, o púrpura (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.5.4 Hojas

Las hojas son alternas, pecioladas, con lámina romboidal, triangular o lanceolada cubierta de oxalatos de calcio, de colores rojo, púrpura o cristalino, tanto en el haz como en el envés, las cuales son bastante higroscópicas, captando la humedad atmosférica nocturna, controlan la excesiva transpiración por humedecimiento de las células guarda de los estomas, así como reflejan los rayos luminosos disminuyendo la radiación directa sobre las hojas, evitando el sobrecalentamiento, presentando bordes dentados, aserrados o lisos, variando el número de dientes con los genotipos, desde unos pocos hasta cerca de 25 (Mujica *et al.*, 2013); El color de las hojas es variable dependiendo de los genotipos, se han observado pigmentos rojos, púrpuras, amarillos, que están constituidos por betalainas, tanto del tipo, betacianinas (rojo- violeta) y betaxantinas (amarillas) (Gallardo *et al.*, 1997).

#### 2.1.5.5 Inflorescencia

Es una panoja típica, constituida por un eje central, secundarios, terciarios y pedicelos que sostienen a los glomérulos así como por la disposición de las flores y por qué el eje principal está más desarrollado que los secundarios, ésta puede ser laxa (Amarantiforme) o compacta (glomerulada), existiendo formas intermedias entre ambas, la longitud de la panoja es variable, dependiendo de los genotipos, tipo de quinua, lugar donde se desarrolla y condiciones de fertilidad de los suelos, alcanzando de 30 a 80 cm de longitud por 5 a 30 cm de diámetro, el número de glomérulos por panoja varía de 80 a 120 y el número de semillas por panoja de 100 a 3000, encontrando panojas grandes que rinden hasta 500 gramos de semilla por inflorescencia (Mujica *et al.*, 2013).

La inflorescencia de la quinua es racimosa por la disposición de flores en racimo se considera como una panoja. La inflorescencia glomerulada se considera la forma primitiva y puede ser laxa o compacta; este carácter es muy relacionado con el rendimiento del cultivo (Quisocala, 2000).

En algunas panojas es posible observar una quimera sectorial que hace que la mitad de la panoja sea verde y otra roja, lo que se denomina “misa quinua” (Tapia *et al.*, 2014).

#### 2.1.5.6 Flores

Las flores son pequeñas, incompletas, sésiles y desprovistas de pétalos. La quinoa es ginomonoica, posee gran número de flores, las cuales pueden ser de tres tipos: hermafroditas, femeninas (pistiladas) y androestériles (Zurita-Silva *et.al.*, 2014). Las flores carecen de pétalos, pueden ser: hermafroditas (pistilo y estambres) ubicadas en la parte superior del glomérulo, pistiladas (femeninas) ubicadas en la parte inferior del glomérulo y androestériles (pistilo y estambres estériles). En el proceso de polinización las flores permanecen abiertas un período aproximado de 5 a 7 días (Tuisima y Fernández, 2014).

#### 2.1.5.7 Fruto

El fruto es un aquenio cubierto por el perigonio, del que se desprende con facilidad al frotarlo cuando está seco. El color del fruto está dado por el del perigonio y se asocia directamente con el de la planta, de donde resulta que puede ser verde o rojo. En la madurez el púrpura puede secarse del mismo color o amarillo, teniendo en este último caso la semilla amarilla. En estado maduro el perigonio tiene forma estrellada, por la quilla que presentan los cinco sépalos. El pericarpio del fruto que está pegado a la semilla, presenta alveolos y en algunas variedades se puede separar fácilmente. Para consumirla en algunas poblaciones de los Andes separan el pericarpio tostado primeramente el grano y frotándolo después con los pies en un mortero de piedra. Pegada al pericarpio se encuentra la saponina, que le transfiere el sabor amargo. La semilla está envuelta por el episperma en forma de una membrana delgada. El embrión está formado por los cotiledones y la radícula y constituye la mayor parte de la semilla que envuelve al perisperma como anillo. El perisperma es almidonoso y normalmente es blanco. Las diferentes coloraciones del perigonio, pericarpio y episperma, son la razón para que la inflorescencia de la quinoa presente variados colores (Quisocala, 2000). Existe tres tipos de granos: cónicos, cilíndricos y elipsoidales con bordes afilados o redondeados (Tapia *et al.*, 2014). Según la norma peruana sobre la quinoa se pueden considerar tres tamaños de semilla: grande de 2,2 a 2,6 mm, mediano de 1,8 a 2,1 mm y pequeños menores a 1,8 mm (PromPerú, 2009). Sin embargo se debe reconocer que en una misma panoja pueden existir granos de diferentes tamaños.

### 2.1.6 Fenología de la quinua

La fenología son los cambios externos visibles del proceso de desarrollo de la planta, los cuales son el resultado de las condiciones ambientales (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.1 Emergencia

Es cuando los cotiledones aun unidos, emergen del suelo a manera de una cabeza de fósforo y es distinguible solo cuando uno se pone al nivel del suelo, en esta etapa es muy susceptible de ser consumido por las aves por su succulencia y exposición de la semilla encima del talluelo, ello ocurre de los seis días después de la siembra, en condiciones adecuadas de humedad (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.2 Dos hojas verdaderas

Es cuando, fuera de las dos hojas cotiledonales, aparecen dos hojas verdaderas extendidas que ya tienen forma romboidal y con nervaduras claramente distinguibles y se encuentran en botón foliar el siguiente par de hojas, ocurre de los 15 a 20 días de la siembra, mostrando un crecimiento rápido del sistema radicular, en esta fase puede ocurrir el ataque de los gusanos cortadores de plantas tiernas (*Copitarsia turbata*, y *Feltia experta*.) “Ticuchis” (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.3 Cuatro hojas verdaderas

Es cuando se observa dos pares de hojas verdaderas completamente extendidas y aún se nota la presencia de las hojas cotiledonales de color verde, encontrándose en botón foliar las siguientes hojas del ápice de la plántula e inicio de formación de botones en las axilas del primer par de hojas; ocurre de los 25 a 30 días después de la siembra, en esta fase la planta tiene buena resistencia a la sequía y al frío, porque ha extendido fuertemente sus raíces y muestra movimientos nictinásticos nocturnos cuando hace frío, dada la presencia de hojas tiernas, se inicia el ataque de insectos masticadores de hojas (*Epitrix subcrinita*. y *Diabrotica de color*.)” Pulguilla saltona y Loritos” sobre todo cuando hay escasez de lluvias (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.4 Seis hojas verdaderas

Se observa tres pares de hojas verdaderas extendidas, tornándose de color amarillento las hojas cotiledonales y algo flácidas, se notan ya las hojas axilares, desde el estado de formación de botones hasta el inicio de apertura de botones del ápice a la base de la plántula, esta fase ocurre de los 35 a 45 días de la siembra, en la cual se nota con mayor claridad la protección del ápice vegetativo por las hojas más adultas, especialmente cuando se presentan bajas temperaturas, sequía y sobre todo al anochecer; durante el día en presencia de viento la plántula flamea (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.5 Ramificación

Se nota ocho hojas verdaderas extendidas y extensión de las hojas axilares hasta la tercera fila de hojas en el tallo, las hojas cotiledonales se caen y dejan cicatrices claramente notorias en el tallo, también se observa la presencia de la inflorescencia protegida por las hojas sin dejar al descubierto la panoja, ocurre de los 45 a 50 días de la siembra. En esta fase se efectúa el aporque para las quinuas de valle, así mismo es la etapa de mayor resistencia al frío y se nota con mucha nitidez la presencia de cristales de oxalato de calcio en las hojas dando una apariencia cristalina e incluso de colores que caracterizan a los distintos genotipos; debido a la gran cantidad de hojas es la etapa en la que mayormente se consume las hojas como verdura, hasta esta fase el crecimiento de la planta pareciera lento, para luego alargarse rápidamente, la planta ya se nota bien establecida y entre plantas se observa cierto acercamiento (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.6.6 Inicio de panojamiento

La inflorescencia se ve que va emergiendo del ápice de la planta, observándose alrededor aglomeraciones de hojas pequeñas con bastantes cristales de oxalato de calcio, las cuales van cubriendo a la panoja en sus tres cuartas partes. Ello ocurre de los 55 a 60 días de la siembra; así mismo se puede ver amarillamiento del primer par de hojas verdaderas (hojas que dejaron de ser fotosintéticamente activas) y se produce una fuerte elongación del tallo, así como engrosamiento. En esta fase ocurre el ataque de la primera generación de *Eurissacca quinoa* Povolny “Kcona-Kcona”. En esta fase, la

parte más sensible a las heladas no es el ápice, sino por debajo de este y en caso de severas bajas de temperatura que afectan a la planta, se produce el colgado del ápice (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.7 Panojamiento**

La inflorescencia sobresale con mucha nitidez por encima de las hojas superiores, notándose los glomérulos de la base de la panoja, los botones florales individualizados sobre todo los apicales que corresponderán a las flores pistiladas. Esta etapa ocurre de los 65 a 70 días de la siembra; a partir de esta etapa se puede consumir las panojas tiernas como verdura (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.8 Inicio de floración**

Es cuando las flores hermafroditas apicales de los glomérulos conformantes de la inflorescencia se encuentran abiertos, mostrando los estambres separados de color amarillento, ocurre de los 75 a 80 días de la siembra, en esta fase es bastante sensible a la sequía y heladas, también ocurre amarillamiento y defoliación de las hojas inferiores sobre todo aquellas de menor eficiencia fotosintética (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.9 Floración**

Es cuando el 50% de las flores de la inflorescencia principal (cuando existan inflorescencias secundarias) se encuentran abiertas, esto ocurre de los 90 a 100 días de la siembra, esta fase es muy sensible a las heladas, pudiendo resistir solo hasta  $-2^{\circ}\text{C}$ , debe observarse esta etapa al medio día, ya que en horas de la mañana y al atardecer las flores se encuentran cerradas, por ser heliófilas, así mismo la planta elimina en mayor cantidad las hojas inferiores que son menos activas fotosintéticamente y existe abundancia de polen en los estambres que tienen una coloración amarilla (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.10 Grano acuoso**

Es cuando se inicia la formación de la semilla después de ser fecundada, en donde al ser presionada por las uñas de los dedos pulgares presenta una consistencia

acuosa, de color transparente a partir de esta fase se inicia la formación del fruto (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.11 Grano lechoso**

Fase cuando los frutos al ser presionados entre las uñas de los dedos pulgares, explotan y dejan salir un líquido lechoso, ocurre de los 100 a 130 días de la siembra. En esta fase el déficit de agua es perjudicial para la producción (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.12 Grano pastoso**

Es cuando los frutos al ser presionados presentan una consistencia pastosa de color blanco, ocurre de los 130 a 160 días de la siembra, en esta fase el ataque de la segunda generación de *Eurisacca quinoa* Povolny “Kcona-Kcona” causa daños considerables, así mismo el déficit de humedad afecta fuertemente a la producción (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.13 Madurez fisiológica**

Es la fase en la que la planta completa su madurez, y se reconoce cuando el grano al ser presionados por las uñas presenta resistencia a la penetración, ocurre de los 160 a 180 días de la siembra, en esta etapa el contenido de humedad del grano varía de 14 a 16 %; el lapso comprendido desde la floración hasta la madurez fisiológica, viene a constituir el período de llenado de grano (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.6.14 Madurez de cosecha**

Es cuando la planta cosechada a madurez fisiológica es emparvada y los granos que se encuentran en las panojas han perdido suficiente humedad facilitando la trilla y el desprendimiento del grano contenido dentro del perigonio se efectúa con gran facilidad el contenido de humedad del grano varía entre 12-13% ello ocurre a los 180 a los 190 días (Mujica *et al.*, 2013).

## 2.1.7 Requerimientos del cultivo

### 2.1.7.1 Suelo

La quinua prefiere un suelo franco, con buen drenaje y alto contenido de materia orgánica, con pendientes moderadas y un contenido de nutrientes, puesto que es exigente en nitrógeno y calcio, moderadamente en fósforo y poco de potasio. También puede adaptarse a suelos francos arenosos, arenosos o franco arcilloso siempre que se le dote de nutrientes y no exista la posibilidad de encharcamiento del agua puesto que es muy susceptible al exceso de humedad sobre todo en los primeros estadios (FAO, 2000).

### 2.1.7.2 pH

El pH del suelo debe ser neutro o ligeramente alcalino, aunque algunas variedades procedentes de los salares en Bolivia, pueden soportar hasta pH 8, demostrando su carácter halófito; asimismo se ha encontrado quinua de suelos ácidos (pH 4,5) en Michiquillay y Cajamarca, Perú (Mujica *et al.*, 2013).

### 2.1.7.3 Clima

En cuanto al clima, la quinua por ser una planta muy plástica y tener amplia variabilidad genética se adapta a diferentes climas desde el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando incluso hasta ceja de selva con mayor humedad relativa y sorprendentemente a la puna y zonas de grandes altitudes, por ello es necesario conocer que genotipos son los adecuados para cada una de las condiciones climáticas.

Su resistencia ontogénica a la sequía y al frío es muy variable pudiendo encontrar ecotipos que resisten a -8 °C y sobrevivir a 20 días a punto de marchitez permanente; así mismo la quinua muestra adaptación a varios fotoperiodos desde requerimientos de días cortos para su florecimiento cerca del Ecuador hasta su insensibilidad a las condiciones de luz para su desarrollo en Chile (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.7.4 Agua

La quinua es eficiente en el uso de agua, a pesar de ser una planta C3, puesto que posee mecanismos morfológicos, anatómicos, fenológicos y bioquímicos que le permiten no solo escapar al déficit de humedad, sino tolerar y resistir a la falta de humedad del suelo, a la quinua se le encuentra creciendo y dando producciones aceptables con precipitaciones mínimas de 200-250 mm anuales (Cárdenas, 1999). En el altiplano central una planta de quinua requiere 385 mm de agua para el periodo de 5.5 meses de crecimiento (vida fisiológica) que es la cantidad aproximada de precipitación en la época húmeda de su área de producción (Tapia *et al.*, 2014).

#### 2.1.7.5 Temperatura

La temperatura media adecuada para el cultivo de quinua está alrededor de 15 a 20 °C, sin embargo, con temperaturas de 10 °C se desarrolla perfectamente el cultivo; a temperaturas medias y altas de hasta 25 °C prospera adecuadamente. Se ha determinado que posee mecanismos de escape y tolerancia a bajas temperaturas pudiendo soportar hasta menos 8 °C en determinadas fases fenológicas, siendo la más tolerante la ramificación y la más susceptible la floración y llenado de grano (Junta de Acuerdo de Cartagena, 1990).

La quinua tolera un amplio rango de temperaturas, no siendo afectada por temperaturas ligeramente bajo 0 °C, excepto durante la formación de las flores, ya que las heladas esterilizan el polen, y puede tolerar altas temperaturas, pero no por encima de los 35 °C (Castillo y Bosque, 2013).

#### 2.1.7.6 Radiación

La quinua soporta radiaciones extremas de las zonas altas de los andes, sin embargo, estas altas radiaciones permiten compensar las horas calor necesarias para cumplir con su periodo vegetativo y productivo (Frere *et al.*, 1975).

#### 2.1.7.7 Altitud

La quinua crece y se adapta desde el nivel del mar hasta cerca de los 4 000 m.s.n.m; quinuas sembradas al nivel del mar disminuyen su período vegetativo

comparado con la zona andina, observándose que el mayor potencial productivo se tiene al nivel del mar, habiéndose obtenido hasta 6 000 kg ha<sup>-1</sup> con riego y buena fertilización (FAO, 2000).

#### **2.1.7.8 Fotoperiodo**

La quinua por su amplia variabilidad genética y gran plasticidad, presenta genotipos de días cortos y de días largos e incluso indiferentes al fotoperiodo, adaptándose fácilmente a estas condiciones de luminosidad. En zonas de mayor producción de quinua, el promedio de horas luz diaria es de 12,19 con un acumulado de 146,3 horas año (Frere *et al.*, 1975).

Se encontraron que la floración de la quinua es más rápida en días más cortos. Aunque (Simonds, 1965), argumentó que la floración de la quinua está influenciada por una interacción genotipo-nutricional y no por la duración del día. Sin embargo la quinua parece ser una especie cuantitativa de día corto, donde la duración del período vegetativo depende no solo de la duración del día y la latitud de origen, sino de la altitud de origen (Risi y Galwey, 1984).

#### **2.1.8 Prácticas agronómicas**

##### **2.1.8.1 Preparación del suelo**

Se debe roturar con arado de vertederas o de rígido, luego proceder a mullir con una rastra de discos flexibles y cuando se este próximo a la siembra se procederá a desmenuzar el terreno, para ello se debe pasar una rastra cruzada y finalmente una niveladora o tablón de tal manera que el suelo quede bien nivelado y los terrones desmenuzados. En lo posible es conveniente nivelar los campos para uniformizar la emergencia y un buen desarrollo de las plantas como también eliminar posibles empozamientos de agua y evitar la asfixia de las plántulas. El rastrado debe realizarse 20 días antes de la siembra (Mujica *et al.*, 2013).

##### **2.1.8.2 Siembra**

La siembra se debe realizar cuando las condiciones ambientales sean las más favorables. Esto está determinado por una temperatura adecuada de 15-20 °C, humedad

del suelo por lo menos en 3/4 de capacidad de campo, que facilitará la germinación de las semillas. La época más oportuna de siembra dependerá de las condiciones ambientales del lugar de siembra, generalmente en zona andina, en el altiplano la fecha optima es del 15 de septiembre al 15 de noviembre, lógicamente puede adelantar o retrasar un poco de acuerdo a la disponibilidad de agua y a la precocidad de los genotipos a sembrarse. (Tapia, 2000).

### **2.1.8.3 Fertilización**

La quinua es una planta exigente en nutrientes, principalmente de nitrógeno, calcio, fósforo, potasio por lo cual requiere un buen abonamiento y fertilización adecuada, los niveles a utilizar dependerán de la riqueza y contenido de nutrientes del suelo donde se instalará la quinua, de la rotación utilizada y también del nivel de profundidad que desea obtener. En general en la zona andina se recomienda la fórmula: 80-40-00 de NPK, en costa se recomienda una fórmula de fertilización de 200-200-80. En la zona andina se aplicará el nitrógeno fraccionado en dos partes, y en la costa en tres partes (siembra, deshierbo y floración respectivamente); mientras el fósforo y el potasio todo a la siembra, la aplicación de estiércol en las cantidades disponibles (Mujica *et al.*, 2001).

### **2.1.8.4 Deshierbo**

La quinua es sensible a la competencia por malezas sobre todo en los primeros estadios, por lo cual, se recomienda deshierbo temprano; para evitar, competencias por agua nutrientes, luz y espacio, así como presencia de plagas y enfermedades por actuar como agentes hospederos, lo cual repercutirá en el futuro potencial productivo y calidad de la semilla de quinua.

Se recomienda realizar el primer deshierbo cuando la planta tenga 20 cm y el segundo antes de la floración o cuando hayan transcurrido 90 días después de la siembra (Mujica *et al.*, 2013).

Una densidad de siembra adecuada también permite controlar de manera natural la presencia de malezas en el cultivo de quinua; sin embargo siempre será necesario

realizar una labor de limpieza (escarda) en forma manual a los 15 días de la emergencia de la plántula, para facilitarles un buen desarrollo (Suquilanda, 2011).

#### **2.1.8.5 Aporques**

Actividad que es necesaria para sostener a la planta sobre todo en los valles interandinos, evitando de este modo el vuelco o tumbado de las plantas, así mismo le permite resistir los fuertes embates de los vientos, sobre todo en la zona de la costa, generalmente se recomienda un buen aporque antes de la floración y junto a la fertilización complementaria, lo que le permite un mayor enraizamiento y por lo tanto mayor estabilidad ante eventualidades como aniegos o fuertes vientos (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.8.6 Riegos**

La quinua en la zona andina es cultivada solamente con las precipitaciones pluviales y en forma excepcional se utiliza riego el cual constituye un elemento complementario y con la finalidad de suministrar humedad en épocas de sequía (Cárdenas, 1999).

El cultivo de quinua necesita mayor cantidad de agua en siembra, floración y fructificación, las prácticas más comunes es inundación; este sistema ha sido mejorado por el sistema parcelario (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.8.7 Cosecha**

La cosecha de la quinua debe realizarse con la debida oportunidad no solo por las pérdidas por efectos adversos del clima y ataques de aves; sino por el deterioro de la calidad del grano. La quinua debe cosecharse a madurez fisiológica cuando los granos hayan adquirido una consistencia tal que resistan a la presión de las uñas; cuando la cosecha se realiza en forma manual o utilizando trilladora estacionaria se divide en las siguientes fases: siega o corte, emparvado o formación de arcos, trilla, aventado y limpieza de grano, secado selección, envasado y almacenamiento, cuando se efectúa en forma mecanizada utilizando cosechadoras auto propulsadoras se reduce a trilla, secado, selección envasado y almacenamiento (Mujica *et al.*, 2013).

### 2.1.9 Plagas y enfermedades

El control de plagas y enfermedades debe efectuarse en forma oportuna y cuando el nivel de daño sea el adecuado en caso de plagas y en forma preventiva para las enfermedades (FAO, 2000).

#### 2.1.9.1 Plagas

Dentro de las principales plagas tenemos: Q'hona-q'hona (*Eurissacca quinoae* Povolny), lepidóptera noctuidae (*Copitarsia turbata*) y Pulgones (*Myzus persicae*) (FAO, 2000).

#### 2.1.9.2 Enfermedades

De las enfermedades conocidas que afectan a la quinua tenemos: Mildiu (*Peronospora variabilis*) y Podredumbre marrón (*Phoma exigua* var. *Foveata*).

El control de malezas se realiza el primer deshierbo se recomienda a los 50 días después de la siembra. Las aplicaciones de herbicidas no son muy recomendadas (FAO, 2000).

#### 2.1.9.3 Ataque ornitológico

Las aves ocasionan daños en los últimos períodos vegetativos de la planta: estado lechoso, estado pastoso, y madurez fisiológica del grano. Al término que se alimentan de los granos de la misma panoja, producen la caída de un gran número de semillas o ruptura de los pedicelos de los glomérulos; el ataque es más notorio en las variedades dulces, donde las pérdidas pueden alcanzar hasta el 40 % de la producción. Se recomienda el control mediante la colocación de espantapájaros, águilas disecadas, plásticos de colores. De todas las aves lo que más causa daño son las palomas porque rompen las panojas y tallos en la cual la panoja es embarrada con la tierra, provocan caída de granos y contaminan con sus excrementos los granos de la panoja (Mujica *et al.*, 2013).

#### 2.1.10 Valor nutritivo

Las bondades peculiares del cultivo de la quinua están dadas por su alto valor nutricional. El contenido de proteína de la quinua varía entre 13,81 y 21,9%

dependiendo de la variedad. Debido al elevado contenido de aminoácidos esenciales de su proteína, la quinua es considerada como el único alimento del reino vegetal que provee todos los aminoácidos esenciales, que se encuentran extremadamente cerca de los estándares de nutrición humana establecidos por la (FAO, 2000).

### **2.1.11 Acciones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

#### **2.1.11.1 Salcedo – INIA**

Esta variedad fue lograda por selección masal del cruce dialélico de 7 x 7 de las variedades Real Boliviana x Sajama, en la estación experimental de Salcedo-INIA (Programa de Investigación de Cultivos Andinos-PICA), Planta de color verde, con inflorescencia glomerulada, con altura de planta de 1,80 m, de grano grande con diámetro de 1,8 a 2 mm, de color blanco, sin saponina, panoja glomerulada, periodo vegetativo 160 días (precoz), potencial de rendimiento 3 500 Kg / ha, resistente a heladas (-2 °C), tolerante al mildiu. De gran adaptación a diferentes altitudes (3 800- 3 900 msnm); se recomienda su cultivo en la zona circunlacustre de Juli, Pomata, Ilave, Pílcuyo y otros como la costa y valles interandinos (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.11.2 Huariponcho**

Es la variedad más resistente a las granizadas y las heladas. Fue descubierto en el distrito de Taraco, esta quinua es amarga y suele ser más defensiva frente al ataque de las aves. Esta quinua tiene un potencial de rendimiento de 2 205 Kg / ha. A la vez por tener una panoja gruesa es resistente a las granizadas (Reinoso y Paredes ,1998).

#### **2.1.11.3 Pasankalla**

Es una variedad de color de grano plomizo a rosado, de sabor ligeramente amargo, periodo vegetativo tardío, tamaño de grano grande (2.5 – 2.9 mm), inflorescencia glomerulada, fuertemente atacada por aves, planta de color rosado, alcanza alturas de planta de 1.60 – 1.80 m, con gran aceptación en el mercado externo por sus cualidades de transformación y contenido de proteína, al ser graneada o expandida aumenta su volumen tres veces su tamaño (Mujica *et al.*, 2013).

#### **2.1.11.4 Negra Collana**

Esta variedad es el resultado de las pruebas de identificación, adaptación y eficiencia desarrollados en el ámbito de la Estación Experimental Agraria Illpa del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), y evaluaciones participativas en campo, con agricultores de las comunidades campesinas, Collana, Collpa, Cieneguilla, Vizcachani, Kallachoco y Corcoroni de los distritos de Cabana, Ilave, Mañazo y Pilcuyo de la Región Puno. Su adaptación; su mejor desarrollo se logra en la zona agroecológica Suni del altiplano, entre los 3 815 y 3 900 msnm, con clima frío seco, precipitación de 400 a 550 mm y temperatura de 4 °C a 15 °C, con un potencial de rendimiento de 3 010 Kg / ha (Catacora y Canahua,1991).

#### **2.1.11.5 Kcancolla**

Fue seleccionada a partir del ecotipo local de la zona de Cabanillas, Puno, planta de color verde, de tamaño mediano alcanzando 80 cm de altura, de ciclo vegetativo tardío, más de 170 días, grano blanco, tamaño mediano, con alto contenido de saponina, panoja generalmente amarantiforme, resistente al frío, granizo, su potencial de rendimiento es de 2 500 Kg / ha, segrega a otros colores desde el verde hasta el púrpura, muy difundida en el altiplano peruano. Se usa generalmente para sopas y elaboración de kispíño (panecillo frito en grasa animal que tiene una duración de varios meses) (Tapia, 2000).

#### **2.1.11.6 Pandela Rosada**

Proviene del altiplano Sur de Bolivia, son precoces en ciclo vegetativo (140 días), grano grande y amargo. Una desventaja de este genotipo es su alta susceptibilidad al mildiu, no es tolerante a las sequías, el color de grano una vez alcanzado su madurez fisiológica es de color marfil y su potencial de rendimiento es de 2 500 Kg / ha (Tapia, 2000).

#### **2.1.12 Grado de determinación genética**

El parecido entre parientes es uno de los fenómenos genéticos básicos mostrado por los caracteres métricos, y el grado de parecido es una propiedad del carácter que puede determinarse por medio de mediciones relativamente simples que se hacen en la

población sin necesidad de usar técnicas experimentales especiales. El grado de parecido proporciona así un medio para estimar la cantidad de varianza aditiva, y esta proporción (o sea, la heredabilidad) es la que determina principalmente cual será el mejor método de mejoramiento que debe usarse (Falconer, 1980).

Según (Chávez 1993) la heredabilidad se refiere a la capacidad que tiene los caracteres para transmitirse de generación en generación; también se le puede considerar como el grado de parecido entre los individuos de una generación a la siguiente, pudiéndose estimar en dos sentidos: amplio ( $H^2$ ) y estrecho ( $h^2$ ). La primera, estima el grado en que el fenotipo refleja al genotipo; es la porción heredable del total de la varianza fenotípica (VP). Y se estima con la siguiente formula:  $H^2 = VG / VP = (VA + VD) / VP$

La heredabilidad en sentido estricto se estima a través de la suma de los efectos de genes aditivos que el progenitor hereda a su descendencia; es el cociente de  $VA / VP$ . En este caso se consideran únicamente los efectos de acción génica aditiva, y la estimación se obtiene por medio de la siguiente formula:  $h^2 = VA / VP$ .

De acuerdo a la teoría de la selección, en cuanto mayor sea la heredabilidad del carácter que se está seleccionando, será más efectiva dicha selección; Sin embargo, la heredabilidad depende tanto de la variación genética aditiva como de la variación fenotípica; si el numerador es solamente la componente de la varianza aditiva, en el denominador iría todo lo que no es aditividad (componentes de dominancia, epistáticos, ambientales y de interacción genotipo-ambiente). Estrictamente, la variación genotípica no debería cambiar conforme cambian las condiciones ambientales y así, lo que cambiaría sería las componentes del ambiente y las de la interacción, lo cual causaría la variación observable o fenotípica.

La heredabilidad no es una propiedad del carácter únicamente, sino que también lo es de la población y de las circunstancias ambientales a las que están sujetos los individuos. Puesto que el valor de la heredabilidad depende de la magnitud de todas las componentes de varianza, un cambio en cualquiera de estas la afectará (Falconer, 1980).

No existe una escala definida para clasificar la magnitud de la heredabilidad; pero arbitrariamente se puede considerar la heredabilidad baja de 0 a 0.3; media de 0.3 a 0.7 y alta de 0.7 a 1.0 (Robles 1986). En cambio, (Chávez 1993) señala que la

heredabilidad es una característica o rasgo que puede ser cualquier fracción de cero a uno. No estando bien definido lo que se entiende por alta o baja heredabilidad, pero en general son aceptables los siguientes valores:

- a) Alta heredabilidad (mayor de 0.5).
- b) Heredabilidad media (de 0.2 a 0.5).
- c) Baja heredabilidad (menor de 0.2).

### **2.1.13 Genética y herencia**

Al realizar estudios cromosómicos menciona que la quinua presenta 36 cromosomas somáticos, constituidos por 4 genómos de  $n = 9$  cromosomas. Si se considera que el género *Chenopodium* tiene un número básico de 9 cromosomas, se desprende que la quinua es un alotetraploide (Lescano, 1981).

Varios autores (Cárdenas y Hawques, 1948; Gandarillas y Luzuriaga, 1967; Catacora, 1977) confirman que la quinua tiene un número de cromosomas somáticos igual a  $2n = 4x = 36$  (citado por Risi y Galwey, 1984).

### **2.1.14 Expresión de la variabilidad (Hidalgo, 2003)**

Toda la variabilidad producida se almacena en el genoma, es decir, entre los miembros de la población que conforman la especie, y puede no expresarse en características que permitan ser identificadas. Por tanto, desde el punto de vista de su expresión, la variabilidad contenida en el genoma de una especie puede ser agrupada en dos grandes clases: (1) la que se expresa en características visibles y que conforman el fenotipo, y (2) la que no se expresa en características visibles y que en general se refiere a los procesos o productos internos de la planta.

### **2.1.15 Distancia Genética**

La distancia genética es una medida de la diferencia del material genético entre distintas especies o individuos de la misma especie. Toda la vida actual está basada en la llamada molécula de la herencia, el ADN (ácido desoxirribonucleico). Las moléculas de ADN son una doble hélice, similar a una escalera de espiral, cuyos costados están comprimidos por una alternación de desoxirribosa de 5 carbonos y una molécula de

fosfato, mientras que los "escalones" de la escalera son purinas nitrogenadas y bases de pirimidina. Estas bases son la Adenina (A), la que siempre está emparejada con Timina (T), y la Guanina (G), la cual se empareja con Citosina (C). Esto es la secuencia de las bases en la hélice, (por ejemplo, ATTCGCCAAG) la que es copiada y traspasada a los descendientes durante la reproducción celular (Hidalgo, 2003).

#### **2.1.16 Caracterización de variabilidad genética**

(Hidalgo, 2003) En la caracterización de una especie, se estima la variabilidad existente en el genoma de la población de individuos que la conforman. Así el genoma de las especies de animales o plantas contiene toda la información codificada en forma de genes, que se necesitan tanto para establecer su identidad morfológica como para desarrollar todos los procesos y funciones vitales para su supervivencia.

Mencionando que el primer nivel se refiere a la caracterización de la variabilidad detectable visualmente, la cual se puede dividir en dos tipos siguientes: Las características responsables de la morfología y de la arquitectura de la planta, una serie de características relacionadas especialmente con aspecto de manejo agronómico y de producción de la especie, un grupo de características detectables visualmente que solo se expresan como reacción a estímulos del medio ambiente como bióticos como plagas y enfermedades; o abióticos como sequias, deficiencia de minerales y cambios de temperatura, entre otros. Este tipo de caracterización se llama evaluación y para su correcta cuantificación, generalmente requiere diseños experimentales separados de la caracterización morfo agronómica.

El segundo nivel se refiere a la variabilidad que no es detectable por simple observación visual. Esta caracterización se denomina molecular porque se refiere a la identificación de productos y/o funciones internas de la célula. Todas las técnicas de laboratorio para detectar esta variabilidad se agrupan dentro del concepto de marcadores moleculares.

#### **2.1.17 Mejoramiento genético de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.)**

La quinua es una especie con polinización cruzada frecuente, los métodos de mejoramiento aplicables para la quinua son aquellas desarrolladas para grano,

especialmente los recomendados para el arroz y el sorgo, es así que los métodos de mejoramiento para la quinua han sido derivados de los métodos desarrollados para dichos cereales.

La elección del método de mejoramiento para la quinua dependerá de los objetivos del mejoramiento, las características del material de partida, de los recursos disponibles, el conocimiento de las técnicas de mejoramiento, etc.

Los métodos de mejoramiento aplicables a la quinua son la introducción, selección, la hibridación, el método genealógico, el método de las retro cruzas, descendencia de una semilla o uniseminal y la selección asistida por marcadores moleculares (Gandarillas, 1979).

#### **2.1.17.1 Mejoramiento genético por hibridación**

La hibridación consiste en la combinación de caracteres favorables presentes en variedades o accesiones diferentes con la finalidad de combinarlas en el híbrido y posteriormente a partir de las F<sub>2</sub> aplicar los métodos apropiados de selección para concentrar los caracteres favorables dispersos entre las acciones en unas pocas líneas y o variedades (Gandarillas, 1979).

El método de hibridación ofrece buenas perspectivas para lograr objetivos como rendimiento, tamaño de grano, resistencia a enfermedades y otros caracteres importantes (Gandarillas, 1979).

La hibridación implica la participación de dos genitores donde la planta madre es aquella en que se hace la emasculación y la planta padre es la que proporciona el polen para la planta madre, esta forma de hibridación se conoce como cruzamiento planta a planta.

#### **2.1.17.2 La autofecundación**

La autofecundación es el procedimiento imprescindible aplicado en la primera generación filial después del cruzamiento (F<sub>1</sub>) para obtener la población segregante F<sub>2</sub>. Por otra parte, la autofecundación es un procedimiento apropiado para la obtención de

líneas puras a partir de variedades y/o accesiones mezcladas y poblaciones segregantes (FAO, 2000).

Las líneas puras obtenidas por autofecundaciones sucesivas son útiles para la hibridación, puesto que los progenitores empleados en la cruce deben ser líneas puras o al menos altamente homocigóticas, lo cual permite la obtención de progenies heterocigóticas en F1, las mismas que a su vez facilitarán la recombinación de genes para generar mayor variabilidad en la F2. Por otra parte, las líneas provenientes de autofecundación son apropiadas para aplicar los métodos de selección recomendados para la quinua. (FAO, 2000).

La técnica de autofecundación en quinua consiste en el aislamiento previo a la antesis con el propósito de evitar la polinización cruzada. La autofecundación es un proceso sencillo, pero se deben tomar algunas consideraciones al respecto. La autofecundación se realiza en toda la panoja o en algunos glomérulos dependiendo del propósito y de la cantidad de semilla que se desea obtener a partir de plantas autofecundadas. Cuando se requiere obtener mayor cantidad de semilla, la autofecundación se realiza en toda la panoja o en la mayor parte de la ella, en caso de que la cantidad de semilla requerida no sea mayor, la autofecundación se realiza solo en pocos glomérulos (entre 8 a 10 glomérulos). En ambos casos, la identificación y el registro de las plantas autofecundadas es importante, los datos deben estar registrados en el libro de campo adoptando un sistema de registros adecuado y como también en campo mediante marbetes con anotaciones y símbolos pertinentes que permitan identificar la planta y el procedimiento del aislamiento (el símbolo de una x encerrada en un círculo representa la autofecundación). Las plantas aisladas durante el proceso de autofecundación, deben ser revisadas periódicamente por el ataque de enfermedades o presencia de insectos, frecuentemente los glomérulos aislados son preferidos por las larvas que consumen el grano en formación. (FAO, 2000).

La autofecundación artificial consiste en la autopolinización controlada para propósitos específicos. La autofecundación es el procedimiento imprescindible aplicado en la primera generación filial después del cruzamiento (F1) para obtener la población segregante F2. Por otra parte, la autofecundación es un procedimiento apropiado para la

obtención de líneas puras a partir de variedades y/o accesiones mezcladas y poblaciones segregantes (FAO, 2000).

### **2.1.18 Efecto De La Autofecundación**

En cada ciclo generacional de las plantas reproducidas por autofecundación, la proporción de heterocigotes se reduce en 50%, en tanto, que los homocigotes aumentan en la misma proporción. Así, después de varias generaciones se formaran líneas puras que reproducen fielmente sus características a través de las semillas, es decir, que dentro de una línea pura no existirá variación, debido a que ha alcanzado la homocigosis.

En estas especies, la selección individual puede originar individuos homocigóticos puros, de caracteres uniformes, porque hay muchas probabilidades de haber seleccionado un homocigote.

En teoría, una población autógena está formada por un número muy grande de homocigotes; sin embargo, en la práctica esto no sucede, debido a que algunos no se adaptan al ambiente y son eliminados por la selección natural, por lo que con el tiempo la

Población autógena consta de un número reducido de clases de homocigotes, a los que pertenece la mayoría de los individuos de la población. (<https://sites.google.com/site/especiesalogamasyautogamas/efectos-de-la-autofecundacion>)

### **2.1.19 Descriptores**

El 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 a 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 datos (Hidalgo, 2003).

La calidad y la utilidad del descriptor están definidas por el constante uso. Este descriptor puede permanecer en la lista, ser cambiado por otro que defina mejor las

características, o de lo contrario puede ser eliminado. Los criterios que deben ser considerados para definir los descriptores son: heredabilidad, valor taxonómico, valor agronómico y facilidad de registro (Ríos, 2004).

#### **2.1.19.1 Descriptores de caracterización**

Permiten una discriminación fácil y rápida entre fenotipos. Generalmente son caracteres altamente heredables, pueden ser fácilmente detectados a simple vista y se expresan igualmente en todos los ambientes. Además, pueden incluir un número limitado de caracteres adicionales considerados deseables por consenso de los usuarios de un cultivo en particular (Rojas y Padulosi, 2013).

Para las medidas cuantitativas registrar las medidas de las plantas tomadas al azar en competencia completamente (evitando plantas de bordura) y en las cualitativas en función al 50% de plantas de la población. Esta categoría contiene una lista mínima de descriptores importantes para discriminar y utilizar quinua.

#### **2.1.19.2 Descriptores de evaluación**

La expresión de muchos de los descriptores de esta categoría depende del ambiente y, en consecuencia, se necesitan métodos experimentales especiales para evaluarlos. Su evaluación puede también involucrar métodos complejos de caracterización molecular o bioquímica. Este tipo de descriptores incluye caracteres tales como rendimiento, productividad agronómica, susceptibilidad al estrés y caracteres bioquímicos y citológicos. Generalmente, éstas son las características más interesantes en la mejora de cultivos (Rojas y Padulosi, 2013).

#### **2.1.20 Matriz básica de datos (MBD)**

La información obtenida en los pasos anteriores se construye una matriz básica de datos, la que representa en forma tabular (filas y columnas) a las unidades obtenidas, pudiendo ser operada a través de la asociación de las OTU o a través de la asociación de caracteres (Franco e Hidalgo, 2003).

### 2.1.21 Estados del descriptor y tipos de datos

Se espera que las características visibles de una especie sean más o menos homogéneas, sin embargo, todas no se expresan con la misma intensidad y algunos miembros de la población pueden presentar diferentes grados de expresión que se traducen en diferentes tipos de datos o categorías de variables. Por tanto, los descriptores se pueden diferenciar de acuerdo con el estado que presentan, lo cual es conocido como “estados del descriptor” y se registran mediante escalas de valor (Franco e Hidalgo, 2003).

Existen distintas categorías de datos, según la expresión del descriptor que puede ser en forma cualitativa o cuantitativa. Si se expresa en forma cualitativa, se pueden generar datos binarios (también llamados de doble estado), datos con secuencia (ordinales) y datos sin secuencia (nominales). Si se expresa en forma cuantitativa, los datos generados pueden ser discontinuos (llamados también discretos) y continuos.

Las siguientes sugerencias ayudan en el registro práctico de los datos:

- ✓ Para los datos cualitativos de tipo binario, cada descriptor presenta dos estados (presente = 1, ausente = 0). Por ejemplo, presencia de flores blancas (1), ausencia de flores blancas (0).
- ✓ Para los datos cuantitativos de tipo ordinal o con secuencia, el descriptor se registra utilizando una serie de estados predefinidos; por ejemplo, para altura de la planta:  
1 = corta (<0,5 m), 3 = intermedia (>0,5 <1,5 m), 5 = alta (>1,5 m).
- ✓ Para los datos cualitativos de tipo nominal o sin secuencia el descriptor se registra usando una serie de estados previamente definidos; por ejemplo, 1 = blanco, 2 = crema, 3 = amarillo.
- ✓ Para los datos cuantitativos de tipo continuo el descriptor se registra en unidades internacionales (SI) estándar, por ejemplo, altura de la planta = 0,9 m; peso de 100 semillas = 2.50 g.

### 2.1.22 Análisis de datos

Los datos se pueden analizar mediante el empleo de métodos simples o complejos, que van desde el uso de gráficos y estadísticos de tendencia central y

dispersión hasta los multivariados. El análisis tiene el propósito de reducir el volumen de información característico en trabajos de esta naturaleza. Mediante la aplicación de estos métodos sobre la MBD es posible obtener conclusiones acerca de la variabilidad y la utilidad del germoplasma, por tanto, los datos deben representar fielmente las características y el comportamiento de las accesiones (Franco e Hidalgo, 2003).

### **2.1.23 Estadística descriptiva**

Permiten estimar y describir el comportamiento de las diferentes accesiones en relación con cada carácter. Los más comunes son el promedio, la media aritmética, el rango de variación, la desviación estándar (DE) y el coeficiente de variación (CV), que se utilizan en el análisis de datos cuantitativos. Estos se deben realizar antes de cualquier análisis multivariado, ya que proporcionan una idea general de la variabilidad del germoplasma y permiten inmediatamente detectar datos no esperados y errores de medición en el ingreso de datos, entre otros (Franco e Hidalgo, 2003).

### **2.1.24 Media aritmética**

Es una medida de tendencia central que ayuda a caracterizar el germoplasma y permite relacionar un atributo de una accesión con un valor central de dicho atributo.

### **2.1.25 Desviación estándar**

Cuantifica la magnitud de la variación respecto a la media aritmética y se expresa en las mismas unidades que las observaciones originales. Proporciona una idea del estado (próxima o dispersa) de la mayoría de las accesiones de la colección en relación con una característica considerada (Franco e Hidalgo, 2003).

### **2.1.26 Coeficiente de variación**

Es una medida relativa de variación que define más intrínsecamente la magnitud de la variabilidad de los caracteres estudiados debido a que es independiente de las unidades de medida. Facilita la comparación de la variabilidad de una misma característica en dos grupos de accesiones o de caracteres medidos sobre la misma colección.

Después de realizar el análisis exploratorio con el uso de estadísticos simples, se sugiere que antes de cualquier análisis posterior más complejo se evalúen aquellas variables que identifiquen grupos o subgrupos naturales de la especie, especialmente cualitativas como la forma y el color de las hojas, las flores y las semillas; y el hábito de crecimiento de las plantas. Este tipo de variables posiblemente no es objeto de análisis estadístico, pero pueden ayudar a entender o complementar los resultados finales del estudio de las demás variables. Para estos casos se sugiere elaborar las tablas de frecuencias con el fin de establecer las proporciones de los diferentes grupos dentro de una colección de germoplasma (Franco e Hidalgo, 2003).

### **2.1.27 Análisis multivariado**

El origen del análisis multivariado se remonta a los comienzos del siglo XX, con Pearson y Sperman, época en la cual se empezaron a introducir los conceptos de la estadística moderna. En términos generales, el análisis multivariado se refiere a todos aquellos métodos estadísticos que analizan simultáneamente medidas múltiples (más de dos variables) de cada individuo. En sentido estricto, son una extensión de los análisis univariados (análisis de distribución) y bivariados (clasificaciones cruzadas, correlación, análisis de varianza y regresiones simples) que se consideran como tal si todas las variables son aleatorias y están interrelacionadas (Franco e Hidalgo, 2003). Los métodos estadísticos multivariados más utilizados en estudios biotecnológicos son las distancias genéticas, los coeficientes de similitud, dendogramas y conglomerados (Martínez, 1995).

En el análisis de componentes principales las variables originales definen un espacio euclideo en las cuales la similitud entre ellas es medida como una distancia euclidea. Los resultados de este análisis se grafican sobre ejes ortogonales que representan los componentes principales y que delimitan un espacio bi o tridimensional en donde los individuos se sitúan dentro del espacio delimitado por las componentes según los valores de sus coordenadas con respecto a estas (Cornide, 2000).

### **2.1.28 Análisis de componentes principales (ACP)**

Este es uno de los métodos más difundidos en la taxonomía numérica, en un método esencialmente descriptivo, los objetivos más importantes de este análisis son:

generar nuevas variables que puedan expresar la información contenida en el conjunto original de datos, reducir la dimensionalidad del problema que se está estudiando, como paso previo para futuros análisis y eliminar cuando sea posible alguna de las variables originales si ellas aportan poca información (Pla, 1986).

El ACP concentra todas las variaciones presentes en la matriz de datos originales en unos pocos ejes o componentes. Cada componente contiene una parte de la variabilidad total de los caracteres, siendo el primer componente el que contiene la mayor parte de la variabilidad, el segundo componente la mayor variabilidad restante y así sucesivamente hasta que toda la variabilidad haya sido distribuida diferencialmente entre todos los componentes. La información de cada componente involucra a todos los caracteres, pero en diferentes proporciones (Franco e Hidalgo, 2003).

El ACP involucra la obtención de los valores propios de una matriz de correlación o de una matriz de varianzas, construida en función a la estandarización, representando a la varianzas de un componente determinado, el cuadrado de contribución del mismo. De manera que la sumatoria de las varianzas de todos los caracteres para un determinado componte, recibe la denominación de valor propio (Franco e Hidalgo, 2003).

Los valores propios son diferentes para cada componente, de tal manera que el componente con mayor valor relativo es ubicado como el primer componente principal, el correlativo será el segundo y así sucesivamente. La suma de estos valores constituye la varianzas total de las OTU para los caracteres utilizados, por consiguiente, bajo este contexto puede establecerse el porcentaje de variación contenida en cada componente principal, según su aporte a esa suma (Crisci y López, 1983).

La interpretación de los vectores propios y la correlación entre las variables originales y los componentes principales se centran en los coeficientes; mientras más altos son estos, independientemente del signo, más eficientes son en la discriminación de las progenies. Las variables con coeficiente negativo (-) significan que están caracterizando en sentido contrario en relación con las variables positivas (+) y viceversa. Quien sugirió que las cargas que se distribuyen en los componentes indican

el peso de cada variable asociada o el grado de contribución al componente (Ferreira, 1987).

### **2.1.29 Representación grafica**

Los resultados de esta técnica se grafica sobre ejes ortogonales que representan los componentes principales que delimitan un espacio bi o tridimensional, según se utilicen dos o tres ejes por vez. Obviamente es imposible la representación gráfica simultánea de más de tres ejes.

Las OTU se sitúan dentro del espacio delimitado por los componentes según los valores de sus coordenadas con respecto a estos.

Las representaciones gráficas deben ir acompañadas de tablas en las que figure la siguiente información acerca de los componentes principales: valores propios, porcentaje de traza, acumulación del porcentaje a medida que se extraen componentes y valor de la contribución de cada carácter a cada componente (Crisci y López, 1983).

### **2.1.30 Proporción de la varianza explicada**

En estudios de esta naturaleza es importante determinar el grado de discriminación de las variables en estudio con el objeto de identificar tanto las de mayor como las de menor variación dentro del germoplasma. A través del análisis de los componentes principales es posible determinar el grado de discriminación, cuantificando la proporción de varianza explicada por cada variable original sobre los tres componentes seleccionados; para ello, es necesario efectuar la suma al cuadrado de la correlación que forma cada variable original con los cuatro componentes. Esta operación es factible debido a que los componentes no están correlacionados entre sí (Pla, 1986).

El ACP es una herramienta útil para analizar los datos que se generan de la caracterización y evaluación preliminar de germoplasma y permite conocer la relación existente entre las variables cuantitativas consideradas y la semejanza entre las accesiones; cuales caracterizan en el mismo sentido o sentido contrario y en el segundo, para saber cómo se distribuyen las accesiones, cuales se parecen y cuáles no. También

permite seleccionar las variables cuantitativas más discriminatorias para limitar el número de mediciones en caracterizaciones posteriores (Hidalgo, 2003).

### 2.1.31 Análisis de conglomerados

Es un método analítico que se puede aplicar para clasificar las accesiones de un germoplasma (o variables) en grupos relativamente homogéneos con base en alguna similitud existente entre ellas. El objetivo de este análisis es de clasificar un conjunto de  $n$  accesiones o  $p$  variables en un número pequeño de grupos o conglomerados, donde la formación de estos grupos puede obedecer a leyes naturales o a cualquier conjunto de características comunes a las accesiones (Hair, *et al.* 1992).

Básicamente los métodos de agrupamiento más usados en el análisis de conglomerados son: (1) jerárquico, que forma grupos a varios niveles y (2) no jerárquico o de partición que también forman grupos a través de criterios predefinidos. El agrupamiento jerárquico se caracteriza por sucesivas funciones para formar los grupos. Algunos de estos grupos tienen mayor rango y cada uno de ellos abarca varios de menor orden permitiendo de esta manera, seguir en detalle la formación de los conglomerados y conocer el nivel de similitud al que se agrupa cada conjunto de individuos (Dillon y Goldstein, 1984).

Por las funciones sucesivas que realiza también se le conoce como método jerárquico aglomerativo. El procedimiento parte de la existencia inicial de un conglomerado para cada accesión o variable que por aproximaciones sucesivas se van uniendo con otras en grupos hasta formar un conglomerado único, que los incluye a todos. En el agrupamiento los resultados se presentan en forma de diagrama de árbol, más conocido comúnmente como dendograma (López e Hidalgo, 1994).

En los dendogramas visualmente se reconocen primero los grandes grupos, es decir los que se han originados a niveles bajos de similitud; luego se analizan dichos grupos separándolos en subgrupos, conjuntos y subconjuntos hasta llegar a los núcleos que representan la máxima similitud hallada en los individuos que se estudian. (Martínez, 1995).

## **2.2 MARCO CONCEPTUAL**

### **2.2.1 Gen**

Trozo de molécula en forma de cinta llamada ácido desoxirribonucleico (ADN). El ADN material hereditario que pasa de una generación a la siguiente, dicta las propiedades inherentes a cada especie. Cada célula de un organismo posee una o dos copias de la dotación básica de ADN, llamado genomio. El propio genomio está formado por una o más moléculas extraordinariamente largas de ADN, llamados cromosomas (Barioglio, 2006).

### **2.2.2 Gen dominante**

Dícese del gen que tiene expresión fenotípica cuando está presente, tanto en forma homocigótica como heterocigótica. Ejemplo AA ó Aa (Barioglio, 2006).

### **2.2.3 Gen recesivo**

Dícese del gen que únicamente tiene expresión genotípica en el homocigoto. Ejemplo aa (Barioglio, 2006).

### **2.2.4 Betalaínas**

Son pigmentos alcaloídicos rojos y amarillos típicos del orden cariofilales (Barioglio, 2006).

### **2.2.5 Cruzamiento simple**

Cruzamiento entre dos genotipos generalmente dos líneas consanguíneas en la mejora genética de las plantas (Barioglio, 2006).

### **2.2.6 Cruzamiento**

Término genérico que implica la unión de dos individuos de distinto sexo, con fines reproductivos (Barioglio, 2006).

### **2.2.7 Cotiledón**

Dícese de la primera hoja (no foliar) o par de hojas del embrión y plántula (Barioglio, 2006).

### **2.2.8 El oxalato de calcio**

Son una superficie de arenillas que se encuentre en la superficie de la hoja. Los oxalatos permiten que la planta absorba y retenga mejor la humedad del ambiente, a la vez protege de las heladas. Este fenómeno se conoce como capacidad higroscópica de la hoja (Barioglio, 2006).

### **2.2.9 Glómérulo**

Órganos agrupados en el extremo de un eje, su inflorescencia es en Cima con flores brevemente pediceladas y aglomerados sobre cortos ejes. Ejemplo ortiga (Barioglio, 2006).

### **2.2.10 Hermafrodita**

Dícese de los individuos que llevan tejidos gonadales masculinos y femeninos y producen gametos funcionales de ambas clases, bien sea al mismo tiempo (H simultáneo o sincrónico) o en periodos diferentes del ciclo vital (H conservador). Si la madurez de los gametos masculinos es anterior a la de los femeninos, se llama protandria y si al contrario protoginia (Barioglio, 2006).

### **2.2.11 Heliófilo**

Son aquel vegetal que requiere sol directo para su desarrollo. Con la luz del sol su metabolismo, crecimiento o actividad son mayores, también son mayores durante las horas de mayor insolación o con una insolación más prolongada. En su mayoría son plantas y comunidades vegetales que requieren el sol o que habitan en el lado de la solana de las montañas (Barioglio, 2006).

### **2.2.12 Híbrido**

Dícese de las plantas o animales resultantes de un cruce entre progenitores genéticamente distintos; con frecuencia se restringe el término a la descendencia de dos especies o variedades bien diferenciadas dentro de la especie. Los H pueden ser fecundos (capaces de dejar descendencia) o estériles; la esterilidad obedece a fallas en el apareamiento de los cromosomas en la meiosis (Barioglio, 2006).

### **2.2.13 Perigonio**

Nombre que recibe el conjunto de envolturas florales en que no hay diferencia entre sépalos y pétalos; perianto homoclamídeo (Barioglio, 2006).

### **2.2.14 Autofecundación**

Fenómeno que ocurre en algunos vegetales, donde la fecundación se realiza sin la participación de ningún agente biótico o abiótico, y lo hace a través de su propio polen (Barioglio, 2006).

### **2.2.15 Autogamia**

Dícese cuando en una planta hay autofecundación que consiste en la polinización de una flor por medio de su propio polen (Barioglio, 2006).

### **2.2.16 Caracterización y conservación de la variabilidad genética**

La conservación y caracterización de los recursos fitogenéticos, definido por la FAO como cualquier material genético de origen vegetal con valor real o potencial para la alimentación y la agricultura, tiene una importancia central ya que son fuente de caracteres necesarios para llevar adelante cualquier proceso de fitomejoramiento (Scocchi & Rey, 2004). Una evaluación precisa de la magnitud y el patrón de organización de la diversidad genética de los individuos, grupo de individuos o poblaciones conservadas es fundamental para entender la estructura genética e identificar de manera confiable cada genotipo, facilitando: (i) el conocimiento de la variabilidad de los cultivares (Smith, 1984; Cox et al., 1986) (ii) la identificación de genotipos parentales que resulten en progenies con el máximo nivel de variabilidad para continuar con la selección (Barrett & Kidwell, 1998) y (iii) la introgresión de genes deseables en un genotipo o en un fondo genético de interés (Thompson et al., 1998).

La caracterización y evaluación de germoplasma puede realizarse utilizando diferentes metodologías (Vicente et al., 2004). La evaluación de caracteres morfológicos o caracteres agronómicos de tipo cuantitativo y/o cualitativo visualizada a través del fenotipo es una de las técnicas más utilizadas. En este proceso se debe tener en cuenta la influencia del ambiente en la expresión fenotípica, por lo que muchos caracteres se expresan recién en el estadio de planta adulta prolongando los tiempos de evaluación; además, no toda la variación genética está expresada en el fenotipo en el momento en

que se mide el carácter de interés. Estos caracteres pueden ser limitados en número y en algunos casos presentar bajos niveles de polimorfismo. Es por ello que la caracterización molecular es un complemento a la caracterización tradicional del fenotipo, de mayor sensibilidad para detectar cambios en el genotipo (Fernández, 2004). La amplificación del ADN utilizando PCR ha tenido gran difusión en la caracterización y evaluación de la variabilidad genética de las especies. El empleo de marcadores moleculares para la caracterización del germoplasma vegetal así como también para la estimación de parámetros genéticos de poblaciones conservadas, como ser: el grado de heterocigosis, el flujo de genes, la diferenciación genética de unidades taxonómicas, ha tomado un rol creciente en la evaluación y manejo de los recursos genéticos vegetales conservados en los Bancos de Germoplasma a nivel mundial. Las relaciones genéticas y las distancias entre individuos obtenidas a través de estudios de diversidad pueden ser explotadas para aprovechar el potencial de cada población (Spooner et al., 2005). La información generada por los marcadores resulta de inmediata aplicación en el diseño de diferentes actividades: dónde colectar, qué intercambios realizar, que accesiones conservar (identificación de duplicados en las colecciones, monitoreo de los cambios en la composición genética que puedan ocurrir durante la multiplicación o preservación de los materiales), conocimiento del nivel de diversidad genética de la colección y definición de una distribución eficiente de los recursos genéticos hacia los usuarios (Carrera et al., 2004).

### 2.3 HIPÓTESIS

- ✓ Es posible caracterizar agronómicamente con los descriptores de caracterización de la quinua, las líneas seleccionadas de las seis progenies autofecundadas S5, producto del cruzamiento simples en seis cultivares de quinua.
- ✓ Con la caracterización de las líneas seleccionadas de las autofecundaciones S5 se tendrá la información de las características agronómicas para futuros trabajos de investigación.
- ✓ Se presentara variabilidad genética determinada a través de las características agronómicas dentro de una misma cruza

## CAPÍTULO III

### METODOLOGÍA DE INVESTIGACIÓN

#### 3.1 LUGAR DE EJECUCIÓN

##### 3.1.1 Ámbito de estudio

El ámbito de estudio está definido por el territorio correspondiente al centro de investigación y producción Camacani de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno, tiene las siguientes características:

##### 3.1.2 Localización del proyecto

El presente trabajo de investigación se realizó en el Centro de Investigación y Producción (CIP) de Camacani, de la Facultad de Ciencias Agrarias de la UNA – Puno. Ubicada en el sector de Camacani que geopolíticamente se ubica en el distrito de Platería, Provincia y Departamento de Puno a 24 Km sobre la carretera panamericana Sur Puno Desaguadero, con las siguientes características:

##### a). Coordenadas

Comprendida por las siguientes coordenadas Geográficas:

Latitud Sur: 15° 14' 36'' Longitud Oeste: 72° 28' 30''

##### b). Extensión superficial

El CIP Camacani, tiene una extensión de 60.73 hectáreas, con un perímetro total de 4259.11 metros.

**c). Límites:**

- Norte: Ribera del Lago Titicaca.
- Sur: Con Ankarani.
- Nor-oeste: Con la parcialidad Camacani.
- Nor-este: Con la Rinconada.
- Sur Oeste: Propiedad Chaata
- Sur este: Con la parcialidad Platería

**d). Región natural**

De acuerdo a las características de clima, suelo, vegetación, fauna y altitud; el CIP. Camacani está comprendida en la región natural Suni, cuyas características generales entre otras son: clima templado frío, está comprendida entre una Altitud de 3880 msnm, Camacani con vegetación predominantemente de gramíneas y otras especies arbóreas, arbustivas, etc.

Este trabajo de investigación se inició el 01 de octubre del 2015 y finalizó 20 Abril del 2016.

**3.2 CARACTERÍSTICAS DEL EXPERIMENTO**

Las dimensiones y características fueron las siguientes:

- ✓ Número de parcelas por bloque: 198
- ✓ Número de repeticiones: 2
- ✓ Longitud de surcos: 5 m
- ✓ Ancho de surco: 0.5 m
- ✓ Área neta por parcela: 2.5 m<sup>2</sup>
- ✓ Área Neta del Bloque: 495 m<sup>2</sup>
- ✓ Área Neta del Experimento: 5940 m<sup>2</sup>

**3.3 CARACTERÍSTICAS EDÁFICAS**

Para la obtención de muestras y el análisis físico – químico del suelo se tomó como referencia el muestreo en zigzag a una profundidad de 30 cm, teniendo una distribución en toda el área de siembra, dicho análisis se realizó en el laboratorio de Agua y Suelo de INIA Arequipa.

Se adapta a una enorme variabilidad de suelo y disponibilidad de nutrientes (Bazile *et. al.*, 2014), se puede producir en suelo arcilloso o arenoso, sin embargo, se desarrolla mejor en suelo franco-arenoso ó arcillo-arenoso, que sean semi- profundos, con buen drenaje y nutrientes suficientes. Cabe mencionar que frecuentemente la quinoa se cultiva en suelos ácidos, de baja fertilidad y mal drenaje (Bavec y Bavec, 2007).

La quinoa se puede producir en un amplio rango de pH (Zurita-Silva *et.al.*, 2014). En suelo con pH de entre 4.5 hasta 9.5 se puede obtener producción aceptable (Bavec y Bavec, 2007).

En el CIP-Camacani se tiene un suelo de textura franco arcillo arenoso, con reacción ligeramente neutro en pH, no salino en conductividad eléctrica, normal en contenido de materia orgánica y nitrógeno, excesivo en concentración de fosforo y alto en potasio respectivamente; es recomendable adicionar materia orgánica y fertilizantes en base de calcio de acuerdo a los resultados de análisis; con referencia a capacidad de intercambio catiónico CIC, la interpretación es medio.

TABLA 1. Análisis de suelo del sitio experimental de CIP – Camacani

ANALISIS MECANICO			CLASE TEXTURAL	CO <sub>3</sub> <sup>=</sup> %	M.O. %	N. TOTAL %			
ARENA %	ARCILLA %	LIMO %							
55.6	23.6	20.8	Franco arcillo arenoso	0.00	3.38	0.17			
pH	C.E. mS/cm	ELEMENTOS DISPONIBLES		CATIONES CAMBIABLES				CIC me/100 g	S.B. %
		P ppm	K ppm	Ca <sup>2+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>		
				me/100 g suelo					
6.86	0.46	48.9	300	20.0	2.0	0.59	0.087	22.677	98.14

### 3.4 HISTORIAL DEL CAMPO

Previo a la instalación del trabajo de investigación en el terreno fue sembrado quinoa.

### 3.5 CONDICIONES METEOROLÓGICAS

En la tabla 2, se presenta los datos de temperatura, humedad relativa y precipitación durante la caracterización de las progenies de quinua que duró de 01 de octubre del 2015 y finalizó 20 Abril del 2016. Respectivamente. Estos datos se obtuvieron del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Durante el presente trabajo de investigación la temperatura alcanzó valores máximos como 17.40 °C durante el mes noviembre y mínimas de 2.50 °C durante el mes setiembre; respecto a la humedad relativa el valor máximo fue de 68% para el mes de febrero y el valor mínimo de 49% para el mes de setiembre y noviembre; mientras que para la precipitación pluvial se presentó el valor máximo 169.60 mm durante el mes de febrero, y el valor mínimo 26.80 mm durante el mes marzo, no existiendo mayores problemas para el desarrollo del cultivo de quinua. Estos datos se encuentran dentro de los rangos tolerantes del cultivo de quinua (FAO, 2000).

La quinoa puede resistir temperatura mínima en diferentes etapas de su desarrollo, de esto se puede determinar su adaptación a zonas agroecológicas específicas, en la etapa vegetativa desde cinco hojas verdaderas no sufre daños por heladas, pero en formación de brotes y antesis si es susceptible (Jacobsen *et. al.*, 2005). Las variedades muestran 100% de germinación incluso con temperatura de 2°C y no muestran efectos serios en la planta con temperatura cercana a los -3°C. Este mecanismo de tolerancia parece deberse a que tolera la formación de hielo en la pared celular y su posterior deshidratación, sin sufrir daños (Bhargava y Srivastava, 2013).

El crecimiento de la quinoa es poco afectado por temperatura abajo de - 5°C, ya que en campo se ha observado que hay variedades que resisten heladas de -14°C e incluso de -16°C en etapa vegetativa (Bois *et. al.*, 2006).

El período vegetativo de la quinua varía desde los 90 hasta los 240 días, crece con precipitaciones desde 200 a 2600 mm anuales y temperatura media entre 5 y 14°C. Se adapta a suelos ácidos de pH 4.5 hasta alcalinos con pH de 9.0, sus semillas germinan hasta con 56 mmhos.cm<sup>-1</sup> de concentración salina, se adapta a diferentes tipos

de suelos desde los arenosos hasta los arcillosos (Mujica y Jacobsen, 2006). En conclusión a pesar de que la precipitación pluvial fue menor a 200mm y la temperatura mínima fue de 2.5°C estas tuvieron un comportamiento normal en cuanto su desarrollo.

La zona de origen de quinoa es compleja y variada en factores ambientales que afectan tanto la calidad como rendimiento de los cultivos presentes en ellas, y como consecuencia se observa una alta variabilidad genética (Garrido, 2013), que le permite adaptarse a diferentes ambientes (Bhargava y Srivastava, 2013). Las condiciones climáticas extremas en donde ha evolucionado la quinoa, parecen haber contribuido a los altos niveles de tolerancia que tiene la quinoa en cuanto a heladas, salinidad, sequía y otras condiciones adversas (Zurita-Silva *et.al.*, 2014).

TABLA 2. Promedios de datos meteorológicos durante el experimento (septiembre 2015 – abril 2016), según la estación meteorológico Rincón de la Cruz de Acora

AÑO	MES	TEMPERATURA °C		PRECIPITACIÓN (mm)	HUMEDAD RELATIVA %
2015	Setiembre	16.10	2.50	29.50	49.00
	Octubre	16.40	3.10	83.20	50.00
	Noviembre	17.40	4.30	51.30	49.00
	Diciembre	17.20	5.00	46.60	56.00
2016	Enero	17.30	5.80	74.50	59.00
	Febrero	16.10	6.40	169.60	68.00
	Marzo	17.00	5.00	26.80	50.00
	Abril	15.70	3.50	90.00	58.00

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) – PUNO.

En términos generales el clima en el CIP- Camacani es semi seco con una T° media de 10.55 °C, amplitud térmica de 14.9 °C y precipitación pluvial de 571.5 (mm). Las lluvias que se registran son de baja intensidad. Lo cual nos indica que el clima está

situado en la Zona del Ecuador en el Hemisferio Norte porque la línea tiene una forma de curvatura como se muestra en la (Figura 1)

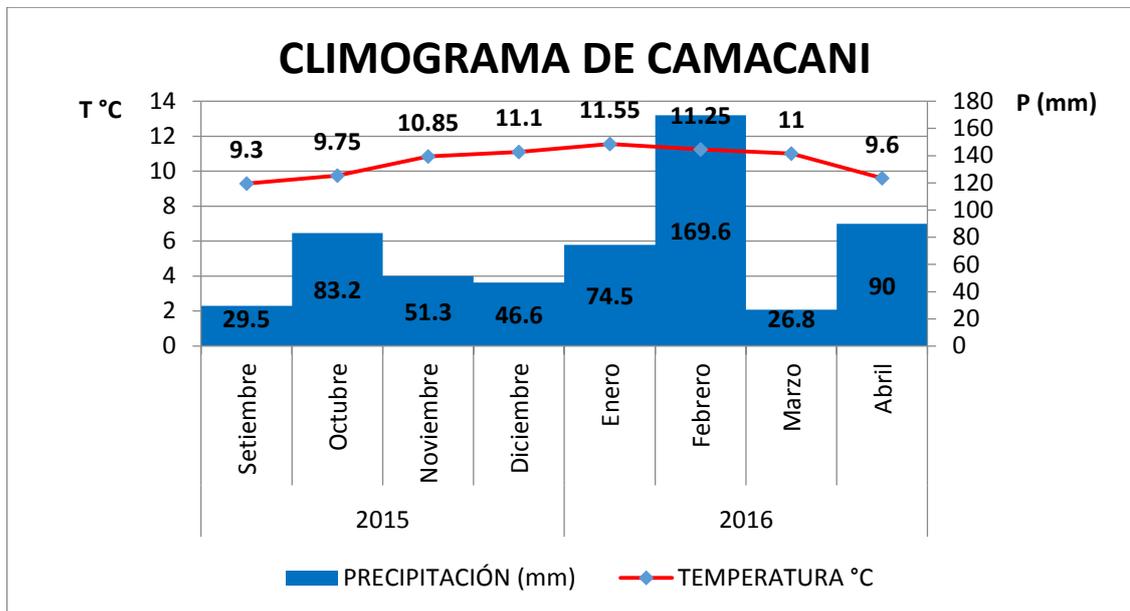


Figura 1. CLIMOGRAMA DE CAMACANI (septiembre 2015 - abril 2016), según la estación meteorológico de Acora.

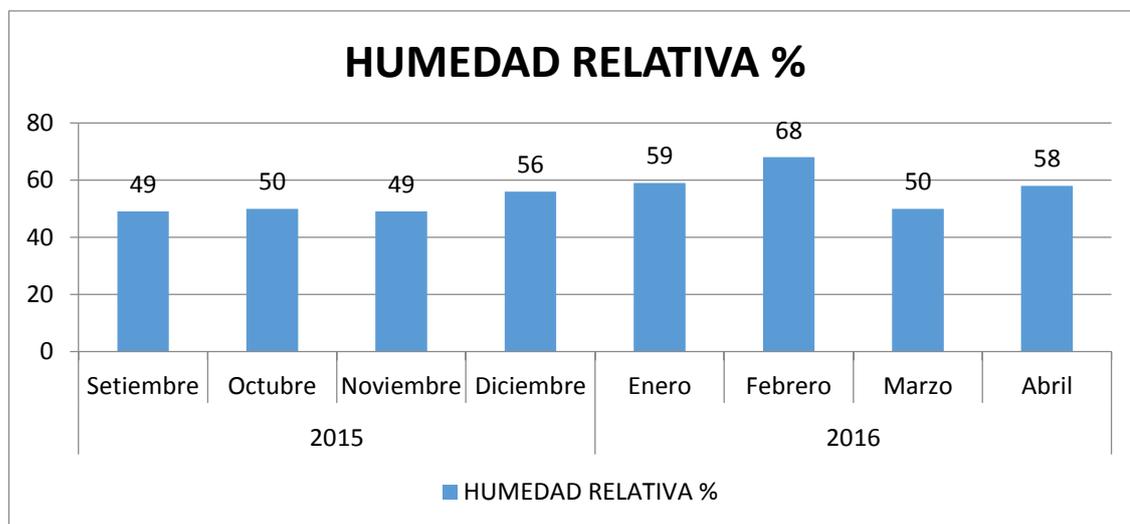


Figura 2. Humedad relativa (septiembre 2015 – abril 2016), según la estación meteorológico de Acora

### 3.6 MATERIAL EXPERIMENTAL

#### 3.6.1 Material genético

Se utilizaron seis progenitores y seis progenies de las autofecundaciones S<sub>5</sub>, las semillas fueron obtenidos dentro de un programa de mejoramiento vegetal por hibridación (Tabla 3), mediante los marcadores moleculares se estimaron las distancias genéticas para la generación de nuevos cultivares, con el objetivo de crear mayor variabilidad genética, mayor coeficiente de heredabilidad en la búsqueda del vigor híbrido.

Se trabajó con seis cruzas simples genéticamente distantes: Huariponcho X Kcancolla, Salcedo INIA X Huariponcho y Pasankalla X Kcancolla. Y genéticamente cercanas: Salcedo INIA X Pandela Rosada, Negra Collana por Kcancolla y Salcedo INIA X Negra Collana.

TABLA 3. Cruzas simples de seis variedades de quinua procedentes de autofecundaciones S<sub>5</sub>.

Distancia genética	Cruzas simples	N° de líneas	GENITORES	Unidad experimental
Distantes	Huariponcho (HUA) X Kcancolla (KCA)	196	Huariponcho kcancolla	198
	Salcedo-INIA (SAL) X Huariponcho (HUA)	196	Salcedo INIA Huariponcho	198
	Pasankalla (PAS) X Kcancolla (KCA)	196	Pasankalla kcancolla	198
Cercanas	Salcedo-INIA (SAL) X Pandela (PAN)	196	Salcedo INIA Pandela	198
	Negra Collana (COL) X Kcancolla (KCA)	196	Negra Collana Kcancolla	198
	Salcedo-INIA (SAL) X Negra Collana (COL)	196	Salcedo INIA Negra Collana	198
Total de unidades experimentales				1188

### **3.6.2 Insumos**

- Urea 46%
- Fosfato di amónico
- Cloruro de potasio
- Estiércol de ovino

### **3.6.3 Herramientas de campo**

- Pala
- Pico
- Rastrillo
- Gancho de coreo
- Hoz

### **3.6.4 Equipo de campo**

- Tractor con implementos de roturación nivelación y surcado.

### **3.6.5 Otros**

- Sacos
- Etiquetas
- Balanza analítica
- Sobres de manila
- Cuaderno de apuntes y lápiz
- Calculadora
- Cinta métrica
- Bandejas plásticas
- Regla Vernier
- Cámara digital
- Lap Top

### **3.7 METODOLOGÍA DE TRABAJO**

#### **3.7.1 Fase de Campo**

##### **3.7.1.1 Preparación del terreno**

Primero se hizo la roturación del terreno, luego se procedió a desempedrar y limpieza de rastros; después se desmenuzó los terrones hasta que quede en condiciones óptimas para recibir a la semilla y finalmente se hizo la nivelación con un tablón de madera de tal manera que el suelo quede bien nivelado. El mismo día se hizo el surcado del terreno con una surcadora de una distancia 0.5m.

##### **3.7.1.2 Siembra**

La siembra de las líneas se realizó el 01 de octubre del 2015. Para lo cual se prepararon sobres con 5 g de semilla para cada surco, se sembró a chorro continuo, con una densidad de 10 kg.ha<sup>-1</sup>, Previa a la aplicación de estiércol de ovino descompuesto al fondo del surco. El distanciamiento entre surco fue de 0.50 m y 5 m de largo de cada línea. Al momento del tapado de las semillas se procuró que éstas quedaran a no más de 2 cm de profundidad.

##### **3.7.1.3 Fertilización**

La fórmula de fertilización usada fue 120-80-60 de NPK. Las fuentes empleadas fueron urea (46%), fosfato diamónico (46%), y cloruro de potasio (60%), de tal manera que se utilizó 270 Kg.ha<sup>-1</sup> de urea, 190 Kg.ha<sup>-1</sup> de fosfato diamónico, finalmente 113 Kg.ha<sup>-1</sup> de cloruro de potasio para suplir la necesidad del cultivo de quinua. El abonamiento nitrogenado se fraccionó en dos partes, la primera parte se incorporó junto al fosfato diamónico y cloruro de potasio en el fondo de surco antes de la siembra, y la otra fracción se aplicó después del primer deshierbo.

Los abonos orgánicos son ricos en micro y macro elementos, necesarios para tener cultivos sanos, ayudar a la planta a resistir el ataque de enfermedades y plagas. Mejora la textura y estructura de los suelos, regulando su temperatura y humedad (Arevalo y Yuquilema, 2008).

#### 3.7.1.4 Deshierbo

El deshierbo se realizó manualmente, en forma simultánea con el desahijé, aprovechando la humedad del suelo después de la lluvia. Se realizaron tres deshierbos complementarios posteriormente. Las malezas presentes se citaran en la (Tabla 4).

Tabla 4. Malezas que se encontró en el campo donde se instaló el trabajo de investigación

Maleza	Nombre científico
Amor seco	<i>Bidens pilosa</i>
Kikuyo	<i>Pennisetum clandestinum</i> Hochs.
Trébol blanco	<i>Trifolium repens</i>
Bolsa de pastor	<i>Caspela bursa pastoris</i>
Aguja aguja	<i>Erodium cicutarium</i>

#### 3.7.1.5 Desahíje

Esta labor se realizó para generar un equilibrio en la densidad de la quinua de tal forma que se dejó solo 15 plantas por metro lineal, además es importante realizar esta actividad que nos permite eliminar aquellas plantas débiles y pequeñas, solo se dejó aquellas de óptimas condiciones para la producción. El momento que se realizó esta labor fue en la ramificación o cuando las plantas tenían 30 cm de altura. Se realizó en forma manual.

#### 3.7.1.6 Rouging

Se realizó manualmente, consistió en eliminar plantas débiles de la misma línea y plantas diferentes a la línea sembrada.

#### 3.7.1.7 Aporque

Se realizó manualmente con la ayuda de un pico con el objetivo de dar mayor fijación a las plantas y controlar las malezas ubicadas entre los surcos además de evitar el tumbado de las platas.

### 3.7.1.8 Control fitosanitario

En cuanto a las plagas no se presentó ninguno por encima del umbral de daño económico, solo se observó algunas larvas de *Eurysacca quinoae* Povolny en la fase de madurez fisiológica. También se presentó infestación de pulgón verde (*Myzus persicae*) En cuanto a las enfermedades se observó la presencia de *Peronospora variabilis* Gaus, con severidad e incidencia baja, por lo que no había necesidad de darle algún control.

### 3.7.1.9 Cosecha de la quinua

La cosecha se realizó de forma manual de acuerdo a la madurez fisiológica de cada línea. Se cortaron las plantas individualmente con la ayuda de una hoz y se dejaron en el campo sobre mantas, para que baje la humedad de grano por lo menos hasta 12%. Para luego proceder con la trilla por panoja de las 10 plantas evaluadas. Finalmente se procedió a separar los granos de la broza con el viento y se almaceno dentro de los sobres de manila, previamente etiquetados con el nombre de la cruz y repetición.

## 3.7.2 Variables agronómicas evaluadas

### 3.7.2.1 Días a emergencia (DDS)

Se determinó contando los días de la siembra hasta que el 50% de plántulas emergidas.

### 3.7.2.2 Días a partir del 50% de floración (DDS)

Conteo de los días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela útil se encontraron en etapa de floración.

### 3.7.2.3 Días a partir del 50% de madurez fisiológica (DDS)

Se determinó contando los días desde la siembra hasta que el 50% de las plantas de la parcela útil se encontró cuando el grano presentó un estado pastoso.

#### **3.7.2.4 Altura de planta (cm)**

Este dato se registró a la madurez fisiológica del cultivo, tomando 10 plantas al azar por surco. La medida se estableció desde la base del tallo hasta el ápice de la panoja central y se expresó en centímetros (Rojas & Padulosi, 2013).

#### **3.7.2.5 Diámetro de tallo (mm)**

Se evaluó el diámetro de la parte media del tallo principal, con la ayuda de una regla vernier, evaluando 10 plantas por surco.

#### **3.7.2.6 Diámetro de panoja principal (cm)**

Se midió el diámetro de panoja con la ayuda de una regla vernier, el dato se tomó de la parte media de la panoja en la etapa de madurez fisiológica, tomando 10 plantas por surco.

#### **3.7.2.7 Longitud de panoja principal (cm)**

La longitud de panoja fue evaluada en la etapa de madurez fisiológica, midiendo desde la base hasta el ápice de la panoja con la ayuda de una cinta métrica, se tomó en cuenta 10 plantas por surco.

### **3.7.3 Fase de laboratorio**

#### **3.7.3.1 Rendimiento de grano por planta (gr)**

Para determinar el peso de semilla, primero se desprendió el grano de la panoja luego se limpió la semilla para eliminar impurezas. Al terminar, con la ayuda de una balanza analítica se pesó el grano por planta. Esta variable también es fuertemente dependiente del genotipo y a la vez de las variables componentes de rendimiento como el diámetro del tallo, altura de planta, longitud y diámetro de la panoja, diámetro del grano, entre otras.

### 3.7.3.2 Rendimiento (Kg/ha)

Para calcular el rendimiento de grano por hectárea se tomó en cuenta el peso de grano por planta, de las 10 plantas evaluadas en cada surco.

### 3.7.3.3 Peso hectolitrico

En primer lugar se debe tomar una muestra de quinua representativa del lote que se desea analizar, y a la cual se le extraen las impurezas (malezas, terrones, piedras, pajas, etc.). En segundo lugar se debe contar con una balanza oficial bien calibrada que corresponde a la balanza Shopper de 1 /4 litro de capacidad. Con este instrumento se pesa la cantidad de granos contenidos en el cuarto litro (= 250 ml).

Un lote formado de semillas maduras y bien seleccionadas presenta un peso volumétrico mayor que otro lote con presencia de semillas inmaduras, mal formadas y vacías (Peske, 2004).

Mujica *et al.* (2006), indica que los valores, en peso hectolítrico, más altos se obtienen con las variedades de grano duro o más o menos duro y los pesos más bajos para los granos tipo suave.

### 3.7.3.4 Diámetro de grano

Luego de la cosecha se procedió a medir el diámetro del grano con la ayuda de una regla vernier

El peso, tamaño y peso final del grano está determinado por la duración del periodo de llenado, la potencialidad genética de cada variedad y las condiciones ambientales que influyen en la uniformización de los granos (Cárcova *et al.*, 2004).

## 3.7.4 Fase de gabinete

### 3.7.4.1 Análisis estadístico de la información

El análisis estadístico de los datos obtenidos se realizó utilizando el programa R studio.

### 3.7.4.2 Análisis de componentes principales

La muestra R es sometida al análisis de los componentes principales (CPA), con la finalidad de:

**Obtener la estructura general de la población:** obteniendo la dispersión de los grupos originales de muestreo en el espacio tridimensional, determinados por los tres primeros componentes principales, se observa:

- ✓ Las relaciones entre los grupos por el distanciamiento espacial observado entre ellos
- ✓ La contribución de los caracteres a la construcción general de la población. Luego se obtuvo la dispersión de cada OTU en el espacio bidimensional, determinado por dos componentes principales y se observa lo siguiente:
- ✓ Las relaciones entre OTU, por la proximidad y distanciamiento en el plano de referencia
- ✓ Agrupaciones de OTU coincidentes con un grupo original de muestreo, distanciados de otras agrupaciones y con este hecho confirma su diferenciación.
- ✓ Conglomerados de OTU que no son coincidentes ni en número ni en individuos, con algún grupo original. También se realizó el análisis de componentes principales en el que se considera los caracteres significativos para la diferenciación de los grupos.
- ✓ La contribución de los caracteres a las mencionadas estructuras.

Tabla 5. Características agronómicas evaluadas

VARIABLES CUANTITATIVAS
AP: Altura de la planta (cm)
DT: Diámetro del tallo principal (mm)
LP: Longitud de la panoja (cm)
DP: Diámetro de la panoja (cm)
DG: Diámetro del grano (mm)
PMG: Peso de 1000 granos (g)
PH: Peso hectolitrico (g/20 cm <sup>3</sup> )
RT: Rendimiento de semilla por planta (g)
RT/ha: Rendimiento de grano por hectárea
F: Días hasta el 50% de floración
MF: Días 50% de la madurez fisiológica

### 3.7.4.3 Evaluación y registro del carácter

Los valores de los caracteres evaluados en cada individuo de progenitores y progenies de la quinua fueron anotados en los respectivos registros individuales para cada planta como se muestra en la (Tabla 6).

Tabla 6. Descripción de la forma de evaluación de las variables cuantitativas

<b>VARIABLES CUANTITATIVAS</b>	<b>FORMA DE EVALUACIÓN</b>
Altura de planta (cm)	Se utilizó cinta métrica
Diámetro de tallo (mm)	Se utilizó la regla vernier
Longitud de panoja (cm)	Se utilizó cinta métrica
Diámetro de panoja (cm)	Se utilizó cinta métrica
Rendimiento de grano (g)	se pesó el total de granos de cada panoja
Peso de 1000 granos (g)	se pesó 1000 granos
Diámetro de grano (mm)	Se utilizó la regla vernier
Peso hectolitrico kg/hl	Se utilizó balanza Shopper

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 4.1 CARACTERIZACIÓN AGRONÓMICA

La caracterización se realizó de acuerdo a los descriptores de caracterización y evaluación validados por el Bioversity Internacional (2013).

##### 4.1.1 Altura de planta

La mayor altura de planta presentó la cruza Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (93.39cm), seguido por Pasancalla (PAS) con (89.89cm), Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (88.88cm), Pandela (PAN) con (85.67cm), Salcedo INIA (SAL X HUA) (77.45cm), Salcedo INIA (SAL) (73.06cm), Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (71.44cm), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (70.41cm), Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (69.50cm), Kcancolla (KCA) (69.46cm), Huariponcho (HUA) con (68.98cm) finalmente Negra Collana (COL) con (62.92cm) . Por lo que las cruzas mostraron una gran variación en cuanto a altura de planta ya que este varía de acuerdo a la fertilidad del suelo y las condiciones climáticas además de ser una característica propia de cada genotipo

Según Tapia (2000), afirma que de acuerdo con la variedad la quinua alcanza diferentes alturas, así mismo Mujica (2013), donde señala que uno de los objetivos de mejoramiento genético en quinua deber ser precisamente mejorar la arquitectura de planta con una alta eficiencia productiva con panojas grandes y anchas, tallos gruesos y plantas de alturas medianas. También Benavides y Rodríguez (2007), quienes trabajaron con líneas de cruza simples de quinua en el municipio de Pasto (2450

m.s.n.m), encontraron líneas con mayor altura de planta respecto a sus genitores, considerándolos también los de porte mediano como ideal para la selección.

Tabla 7. Medias de altura de planta para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	N	E.E.	
PAS X KCA	93.39	2	0.16	A
PAS	89.84	2	0.16	B
SAL X PAN	88.88	2	0.16	C
PAN	85.67	2	0.16	D
SAL X HUA	77.45	2	0.16	E
SAL	73.06	2	0.16	F
HUA X KCA	71.44	2	0.16	G
SAL X COL	70.41	2	0.16	H
COL X KCA	69.50	2	0.16	I
KCA	69.46	2	0.16	I
HUA	68.98	2	0.16	I
COL	62.92	2	0.16	J

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

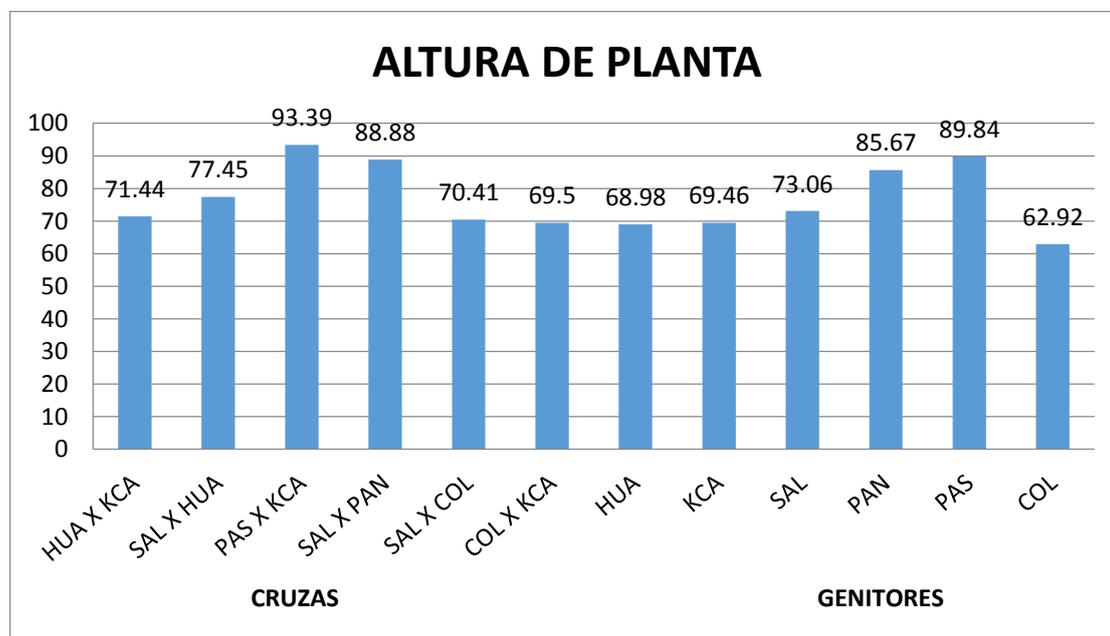


Figura 3. Comportamiento de la altura de planta de las cruzas en comparación con los Genitores

**4.1.2 Diámetro de tallo**

El mayor diámetro de tallo presentó la cruza Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) (14.49 mm), además Pasancalla (PAS) con (14.49 mm) y Pandela Rosada (PAN) con (14.49 mm) seguido por Salcedo INIA x Pandela Rosada (SAL X PAN) con (13.49 mm), Salcedo INIA (12.53 mm), Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (12.50mm), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (10.75 mm), Kcancolla (KCA) con (10.57 mm), Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (10.50 mm), Huariponcho (HUA) con (10.43 mm), Negra Collana (COL)(9.74 mm) finalmente Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (9.70 mm), Las cruzas mostraron una gran variación en cuanto a diámetro de tallo ya que este varía de acuerdo a la característica propia de cada genotipo.

Según Tapia (2000), afirma que de acuerdo con la variedad la quinua alcanza diferentes diámetros, afirmando lo que dice Mujica (2013), donde señala que uno de los objetivos de mejoramiento genético en quinua deber ser precisamente mejorar la arquitectura de planta con una alta eficiencia productiva con panojas grandes y anchas, tallos gruesos y plantas de alturas medianos (Delgado, *et al.*; 2009).

Tabla 8. Medias de diámetro de tallo para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.		
PAS X KCA	14.49	2	0.03	A	
PAS	14.49	2	0.03	A	
PAN	14.49	2	0.03	A	
SAL X PAN	13.49	2	0.03		B
SAL	12.53	2	0.03		C
SAL X HUA	12.50	2	0.03		C
SAL X COL	10.75	2	0.03		D
KCA	10.57	2	0.03		E
HUA X KCA	10.50	2	0.03		E F
HUA	10.43	2	0.03		F
COL	9.74	2	0.03		G
COL X KCA	9.70	2	0.03		G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

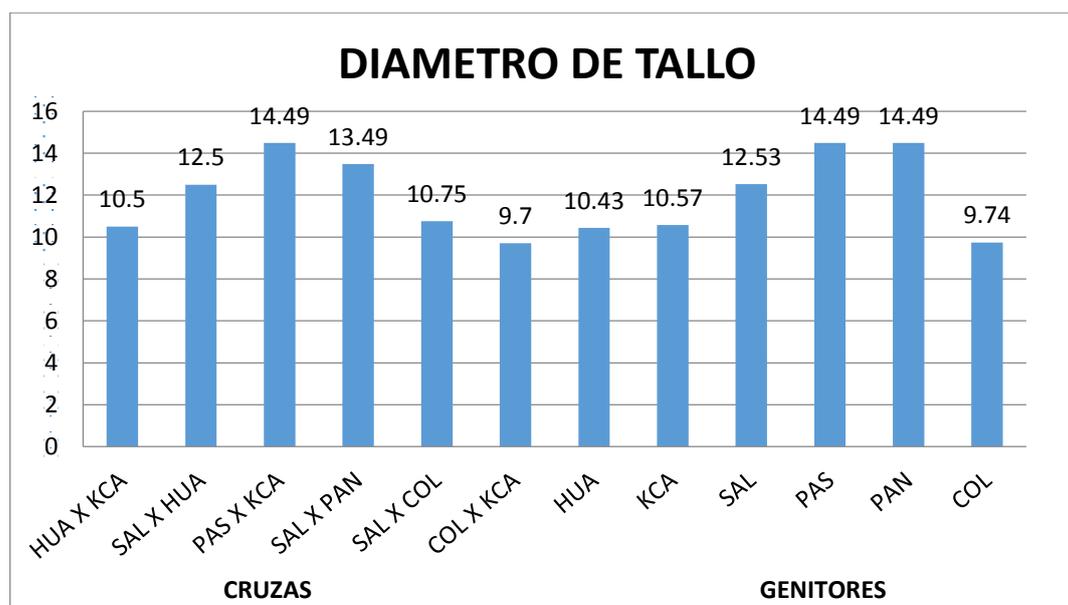


Figura 4. Comportamiento del diámetro del tallo de las cruzas en comparación con los Genitores

#### 4.1.3 Longitud de panoja

La mayor longitud de panoja se presentó en la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (28.45 cm) seguido por Salcedo INIA X Panadela rosada (SAL X PAN) con (27.49 cm), salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (26.48 cm), Pandela Rosada (PAN) con (26.47cm), Pasancalla (PAS) con (26.47cm), Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) (25.49 cm), Salcedo INIA (SAL) con (25.46 cm), Huariponcho (HUA) con (24.63 cm), Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (24.46 cm), Kcancolla (KCA) con (24.45 cm), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (24.00cm) finalmente Negra Collana (COL) con (21.81cm) Lo cual indica que el aumento en altura de planta contribuye al incremento de longitud de panoja.

Según Delgado y Benavides (2000) reportan longitudes de panoja entre 22 y 40 cm, y relacionan este componente con la altura de las plantas: a mayor altura de planta, mayor longitud de panoja.

Tabla 9. Medias de longitud de panoja para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
PAS X KCA	28.45	2	0.16	A
SAL X PAN	27.49	2	0.16	B
SAL X HUA	26.48	2	0.16	C
PAN	26.47	2	0.16	C
PAS	26.47	2	0.16	C
HUA X KCA	25.49	2	0.16	D
SAL	25.46	2	0.16	D
HUA	24.63	2	0.16	E
COL X KCA	24.46	2	0.16	E F
KCA	24.45	2	0.16	E F
SAL X COL	24.00	2	0.16	F
COL	21.81	2	0.16	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

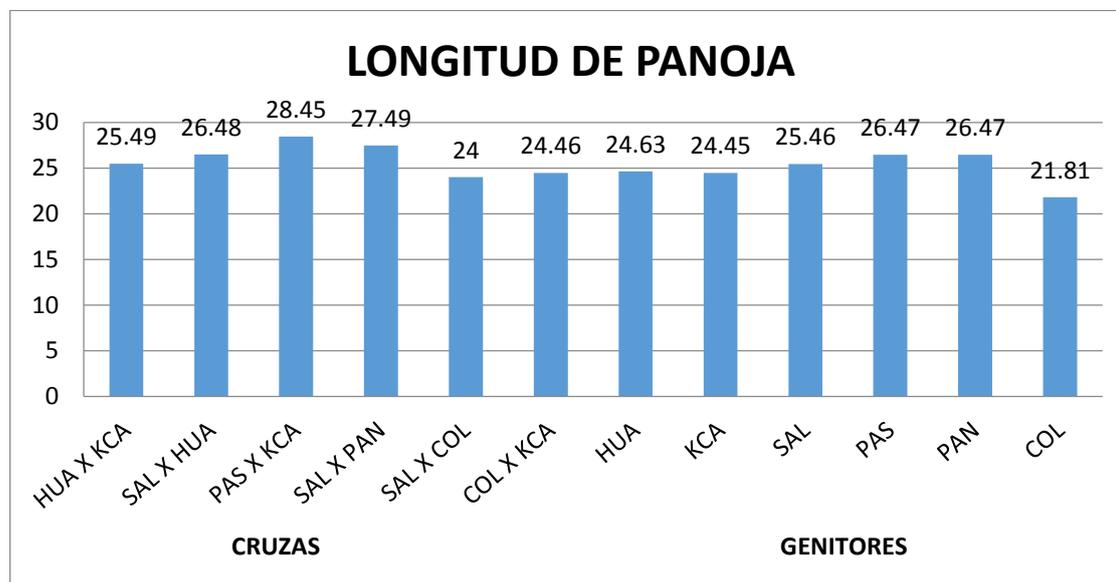


Figura 5. Comportamiento de la longitud de panoja de las cruzas en comparación con los Genitores

**4.1.4 Diámetro de panoja**

EL mayor diámetro de panoja presentó la crusa Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (8.73 cm) seguido por Pasancalla (PAS) con (8.55 cm), Pandela rosada (PAN) con (8.55cm), Salcedo INIA X Pandella Rosada (SAL X PAN) con (7.73 cm), Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (6.76 cm), Salcedo Inia (SAL) con (6.45cm), Negra Collana X Kancolla (COL X KCA) con (5.75 cm), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (5.75 cm), Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (5.74 cm), Negra Collana (COL) con (5.53 cm), Huariponcho (HUA) con (5.48 cm) y finalmente Kcancolla (KCA) con (5.43 cm). En la (Figura 6) se observa que las cruza tienen mayor diámetro en comparación con los genitores.

Tabla 10. Medias de diámetro de panoja para seis cruza y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	N	E.E.	
PAS X KCA	8.73	2	0.04	A
PAS	8.55	2	0.04	B
PAN	8.55	2	0.04	B
SAL X PAN	7.73	2	0.04	C
SAL X HUA	6.76	2	0.04	D
SAL	6.45	2	0.04	E
COL X KCA	5.75	2	0.04	F
SAL X COL	5.75	2	0.04	F
HUA X KCA	5.74	2	0.04	F
COL	5.53	2	0.04	G
HUA	5.48	2	0.04	G
KCA	5.43	2	0.04	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

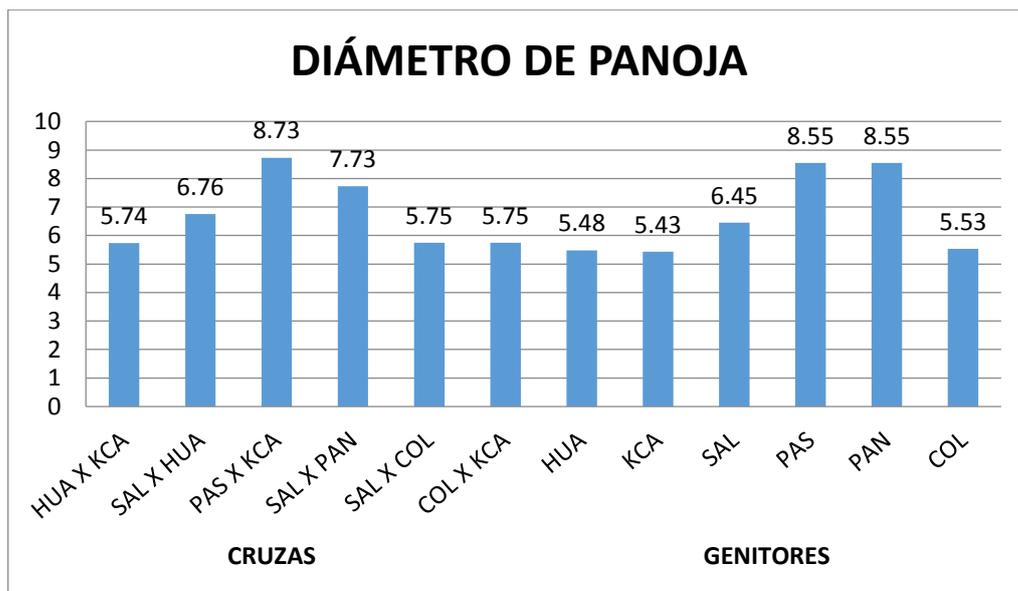


Figura 6. Comportamiento del diámetro de panoja de las cruzas en comparación con los genitores

#### 4.1.5 Floración y madurez fisiológica

La cruz más precoz fue Negra Collana (COL X KCA) con (83.55 días) de floración y (178.79 días) de madurez fisiológica seguido por Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) (83.57 días) de floración y (177.51 días) de madurez fisiológica, Negra Collana (COL) con (85.38 días) de floración y (182.13 días) de madurez fisiológica, Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (85.59 días) de floración y (180.59 días) de madurez fisiológica, Huariponcho (HUA) con (85.78 días) de floración y (182 días) de madurez fisiológica, Kcancolla (KCA) con (86.40 días) de floración y (181.89 días) de madurez fisiológica, salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (90.49 días) de floración y (187.52 días) de madurez fisiológica, Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (91.01 días) de floración y (188.58 días) de madurez fisiológica, Salcedo INIA (SAL) con (92.64 días) de floración y (193.12 días) de madurez fisiológica, y las más tardías la cruz Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (95.45 días) de floración y (192.98 días) de madurez fisiológica, y los genitores Pandela Rosada (PAN) y Pasancalla (PAS) con (98.05 días) de floración y (197.55 días) de madurez fisiológica

Tabla 11. Medias de días de floración para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
PAS	98.05	2	0.44	A
PAN	98.05	2	0.44	A
PAS X KCA	95.45	2	0.44	B
SAL	92.64	2	0.44	C
SAL X PAN	91.01	2	0.44	D
SAL X HUA	90.49	2	0.44	D
KCA	86.40	2	0.44	E
HUA	85.78	2	0.44	E
SAL X COL	85.59	2	0.44	E
COL	85.38	2	0.44	E
HUA X KCA	83.57	2	0.44	F
COL X KCA	83.55	2	0.44	F

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

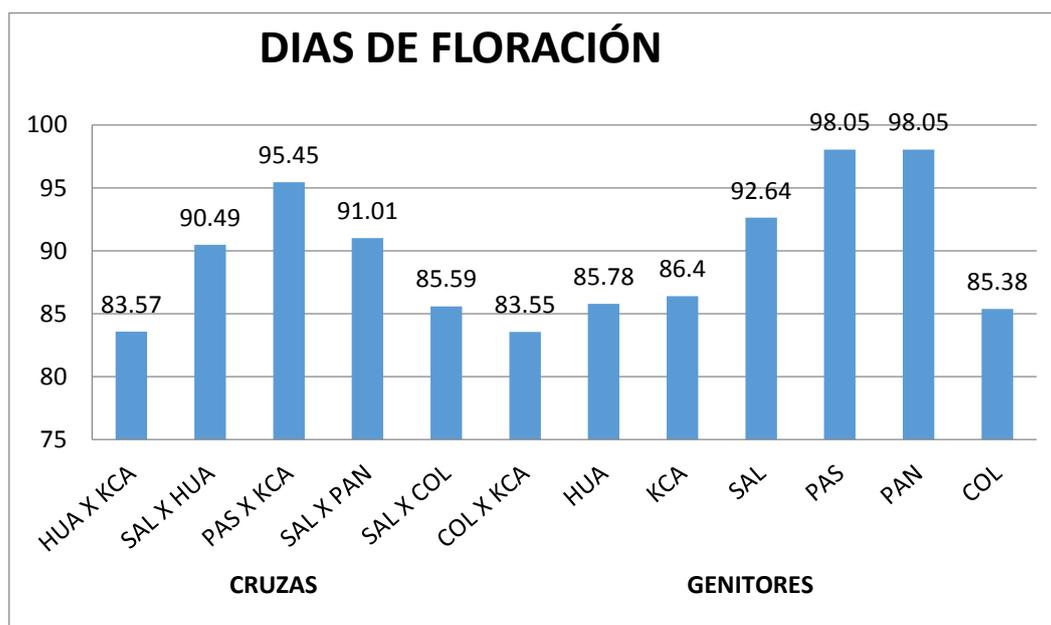


Figura 7. Comportamiento de días de floración de las cruzas en comparación con los Genitores

Tabla 12. Medias de días de madurez fisiológica para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
PAS	197.55	2	0.25	A
PAN	197.55	2	0.25	A
SAL	193.12	2	0.25	B
PAS X KCA	192.98	2	0.25	B
SAL X PAN	188.58	2	0.25	C
SAL X HUA	187.52	2	0.25	D
COL	182.13	2	0.25	E
HUA	182.00	2	0.25	E
KCA	181.89	2	0.25	E
SAL X COL	180.59	2	0.25	F
COL X KCA	178.99	2	0.25	G
HUA X KCA	177.51	2	0.25	H

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

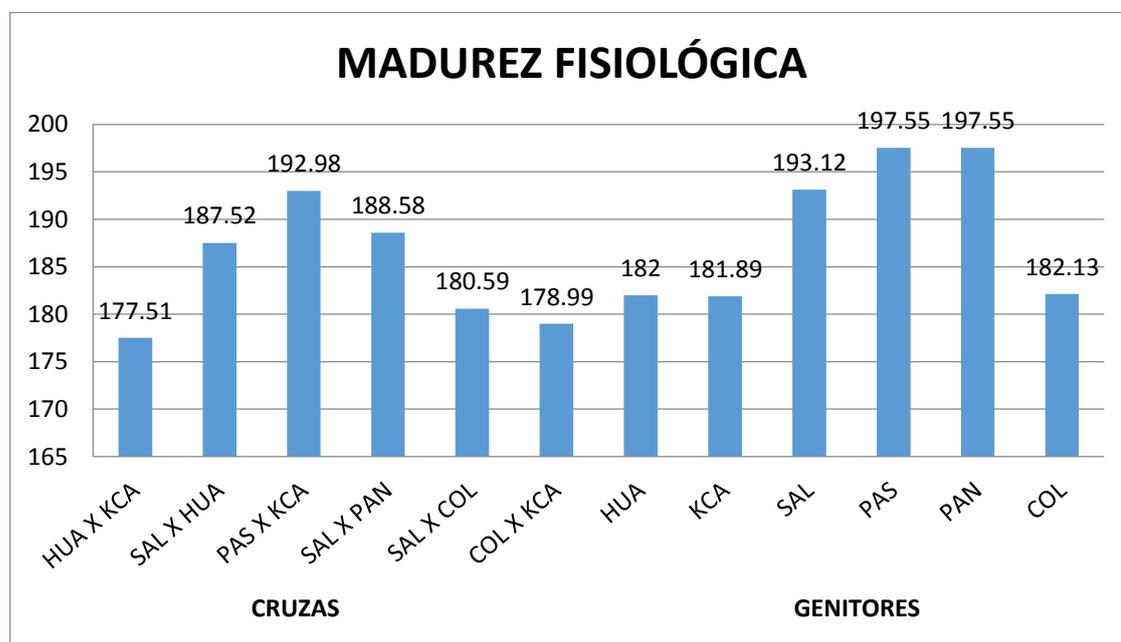


Figura 8. Comportamiento de la madurez fisiológica de las cruzas en comparación con los Genitores

#### 4.1.6 Rendimiento por planta y rendimiento por hectárea

El mejor rendimiento de Grano/planta presentó la cruza Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (17 gr) por lo tanto el mejor rendimiento en kg/ha con (5099.28 kg) seguido por Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (16.88 gr) y rendimiento en kg/ha de (5064.71 kg), Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (15.05 gr) y rendimiento en kg/ha (4514.24 kg), Salcedo INIA X Pandella Rosada (SAL X PAN) con (15 gr) y rendimiento en kg/ha (4499.84 kg), Huariponcho (HUA) con (13.32 gr) y rendimiento en kg/ha (3995.78 kg), Pasancalla (PAS) y Pandela Rosada (PAN) con (13.21 gr) y rendimiento en kg/ha (3960.90 kg), Salcedo INIA con (12.25 gr) y rendimiento en kg/ha (3675.45 kg), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (11.79 gr) y rendimiento en kg/ha (3597.82 kg), Kcancolla (KCA) con (11.79 gr) y rendimiento en kg/ha (3535.05 kg), el menor rendimiento lo presento la cruza Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (9.46 gr) y rendimiento en kg/ha (2836.55 kg) y su genitor femenino Negra Collana (COL) con (9.04 gr) y rendimiento en kg/ha (2711.40 kg).

Según Bonifacio *et al.* (2013), el rendimiento es el resultado de las componentes de tipo genético, ambiental y la interacción genético-ambiental, donde la parte genética, que es heredable, es importante desde el punto de vista del mejoramiento.

Tabla 13. Medias de rendimiento por planta para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.		
HUA X KCA	17.00	2	0.11	A	
SAL X HUA	16.88	2	0.11	A	
PAS X KCA	15.05	2	0.11	B	
SAL X PAN	15.00	2	0.11	B	
HUA	13.32	2	0.11	C	
PAS	13.21	2	0.11	C	
PAN	13.21	2	0.11	C	
SAL	12.25	2	0.11	D	
SAL X COL	11.99	2	0.11	D	E
KCA	11.79	2	0.11		E
COL X KCA	9.46	2	0.11		F
COL	9.04	2	0.11		G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Tabla 14. Medias de rendimiento por hectárea para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
HUA X KCA	5099.28	2	33.74	A
SAL X HUA	5064.71	2	33.74	A
PAS X KCA	4514.24	2	33.74	B
SAL X PAN	4499.84	2	33.74	B
HUA	3995.78	2	33.74	C
PAS	3960.90	2	33.74	C
PAN	3960.90	2	33.74	C
SAL	3675.45	2	33.74	D
SAL X COL	3597.82	2	33.74	D E
KCA	3535.05	2	33.74	E
COL X KCA	2836.55	2	33.74	F
COL	2711.40	2	33.74	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

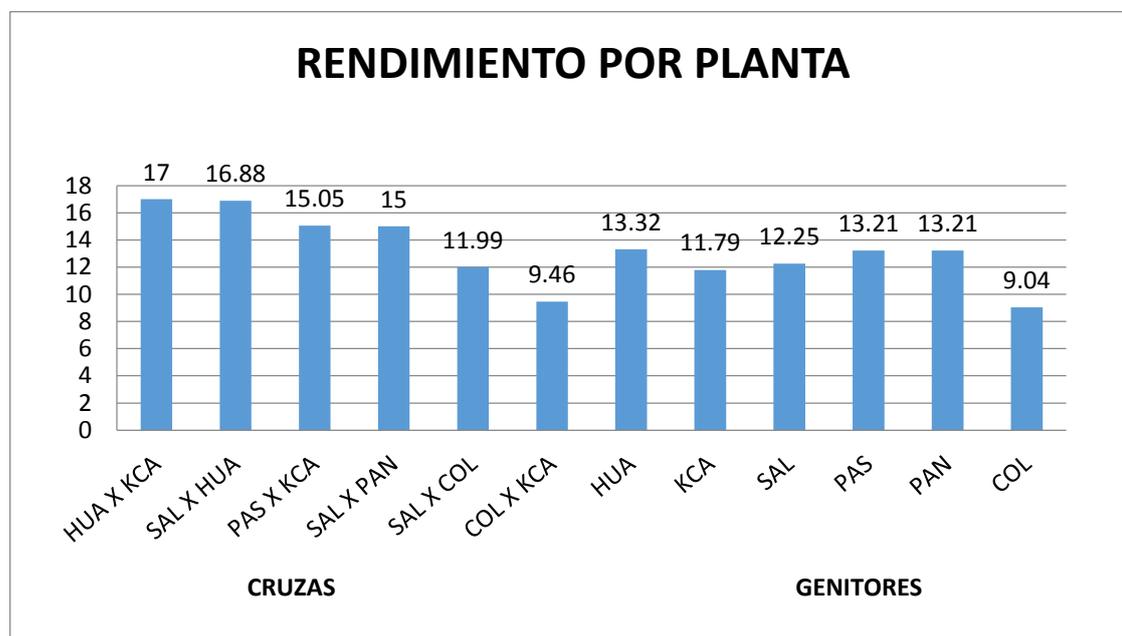


Figura 9. Comportamiento del rendimiento por planta de las cruzas en comparación con los Genitores

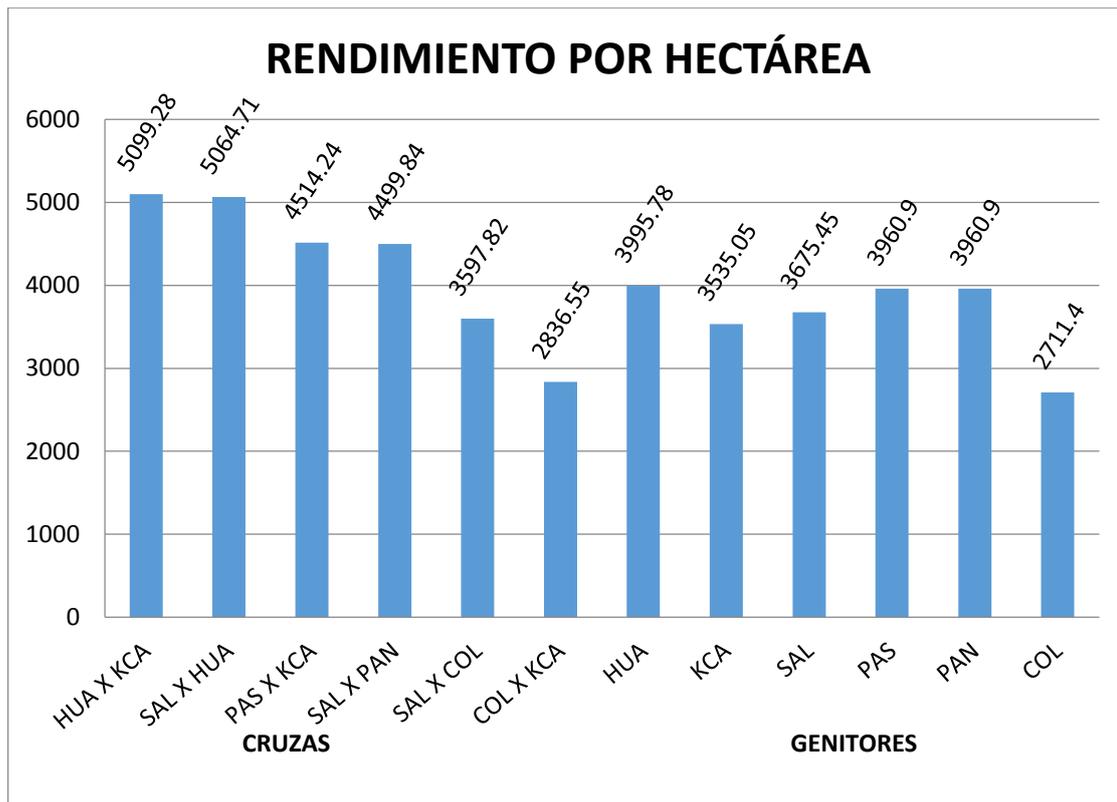


Figura 10. Comportamiento del rendimiento por hectárea de las cruzas en comparación con los Genitores

#### 4.1.7 Peso hectolitrico

El mejor peso hectolitrico en kg/hl. Presentó la cruz Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (67.99 kg/hl) seguido por la cruz Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (67.53 kg/hl), Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (60.19 kg/hl), Salcedo INIA X Pandella Rosada (SAL X PAN) con (60 kg/hl), Huariponcho (HUA) con (53.28 kg/hl), Pasancalla (PAS) y Pandela Rosada (PAN) con (52.81 kg/hl), Salcedo INIA (SAL) con (49.01 Kg/hl), Salcedo INIA X Negra Collana (SAL X COL) con (47.97 kg/hl), Kcancolla (KCA) con (47.14 kg/hl), y el menor peso hectolitrico lo Presentó presento la cruz Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (37.82 kg/hl) y el genitor femenino Negra collana (COL) con (36.16 kg/hl).

Tabla 15. Medias de peso hectolitrico para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
HUA X KCA	67.99	2	0.45	A
SAL X HUA	67.53	2	0.45	A
PAS X KCA	60.19	2	0.45	B
SAL X PAN	60.00	2	0.45	B
HUA	53.28	2	0.45	C
PAS	52.81	2	0.45	C
PAN	52.81	2	0.45	C
SAL	49.01	2	0.45	D
SAL X COL	47.97	2	0.45	D E
KCA	47.14	2	0.45	E
COL X KCA	37.82	2	0.45	F
COL	36.16	2	0.45	G

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

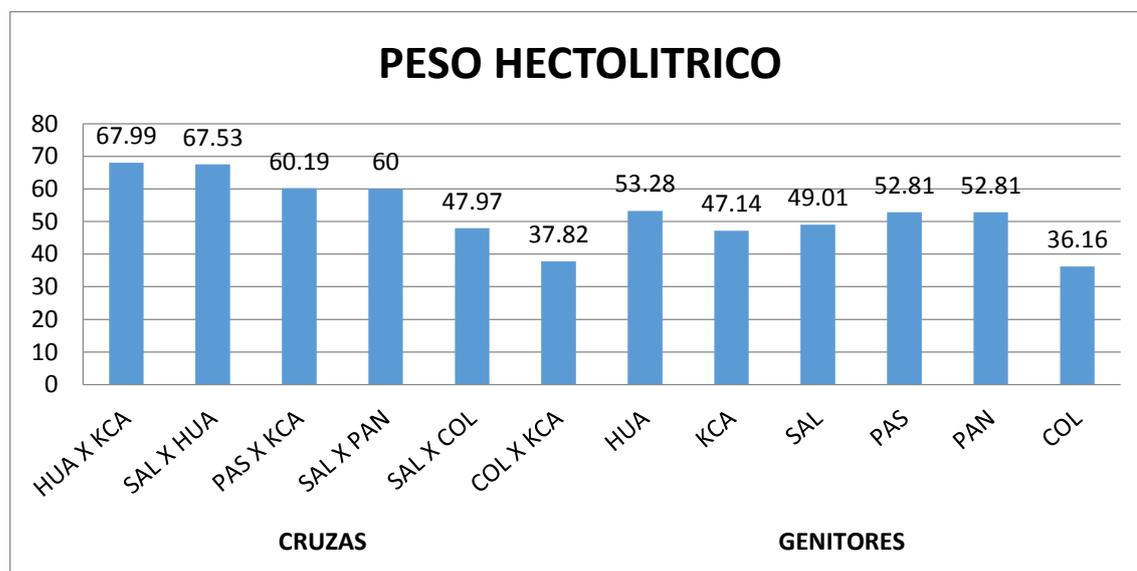


Figura 11. Comportamiento del peso hectolitrico de las cruzas en comparación con los Genitores

#### 4.1.8 Peso de 1000 granos y diámetro de grano

El mejor peso de 1000 granos. Presentó la cruz Salcedo INIA X Negra Colana (SAL X COL) con (3.80 gr) debido a que el diámetro de grano fue de (2.20 mm) seguido por

Negra Collana (COL) con peso de 1000 granos de (2.95 gr) y diámetro de grano de (1.96 mm), Salcedo INIA (SAL) con peso de 1000 granos de (2.86 gr) y diámetro de grano (1.94 mm), Pandela Rosada (PAN) y Pasancalla (PAS) con peso de 1000 granos (2.52 gr) y diámetro de grano (1.80 mm), Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con peso de 1000 granos (2.48 gr) y diámetro de grano de (1.78 mm), Pasancalla X Kcancolla (PAS X KCA) CON peso de 1000 granos (2.47 gr) y diámetro de grano de 1.82 mm), Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con peso de 1000 granos de (2.38 gr) y diámetro de grano de (1.78 mm), Huariponcho (HUA) con peso de 1000 granos (2.37 gr) y diámetro de grano de (1.72 mm), Huaripncho X Kcancolla (HUA X KCA) con peso de 1000 granos de (2.32 gr) y diámetro de grano (1.67 mm), Kcancolla (KCA) con peso de 1000 granos (2.28 gr) y diámetro de grano de (1.69 mm) finalmente la cruz Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con peso de 1000 granos de (2.09 gr) y diámetro de grano de (1.64 mm). Al comparar con sus genitores no se encontraron diferencias significativas por consiguiente no hubo ganancia genética en esta variable. Resultados similares fueron obtenidos por Inguilan y Pantoja (2007) y Benavides y Rodríguez (2007), quienes evaluaron accesiones de quinua en Cordoba y Pasto a una altura de 2.800 msnm y 2.710 msnm, respectivamente.

Tabla 16. Medias de peso de 1000 granos para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
SAL X COL	3.80	2	0.12	A
COL	2.95	2	0.12	B
SAL	2.86	2	0.12	B C
PAN	2.52	2	0.12	C D
PAS	2.52	2	0.12	C D
SAL X HUA	2.48	2	0.12	C D E
PAS X KCA	2.47	2	0.12	C D E
SAL X PAN	2.38	2	0.12	D E
HUA	2.37	2	0.12	D E
HUA X KCA	2.32	2	0.12	D E
KCA	2.28	2	0.12	D E
COL X KCA	2.09	2	0.12	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

Tabla 17. Medias de diámetro de grano para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluadas en DBCA con 2 repeticiones y la prueba de Duncan al 5%

TRATAM	Medias	n	E.E.	
SAL X COL	2.20	2	0.03	A
COL	1.96	2	0.03	B
SAL	1.94	2	0.03	B
PAS X KCA	1.82	2	0.03	C
PAN	1.80	2	0.03	C
PAS	1.80	2	0.03	C
SAL X HUA	1.78	2	0.03	C D
SAL X PAN	1.78	2	0.03	C D
HUA	1.72	2	0.03	C D E
KCA	1.69	2	0.03	D E
HUA X KCA	1.67	2	0.03	E
COL X KCA	1.64	2	0.03	E

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p > 0.05$ )

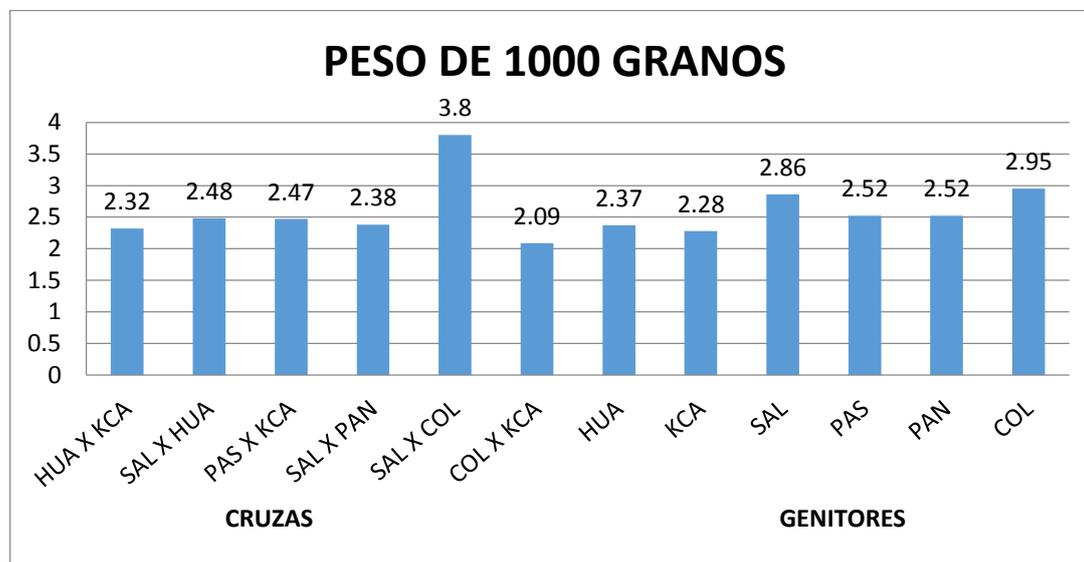


Figura 12. Comportamiento del peso de 1000 granos y el diámetro de grano de las cruzas en comparación con los Genitores

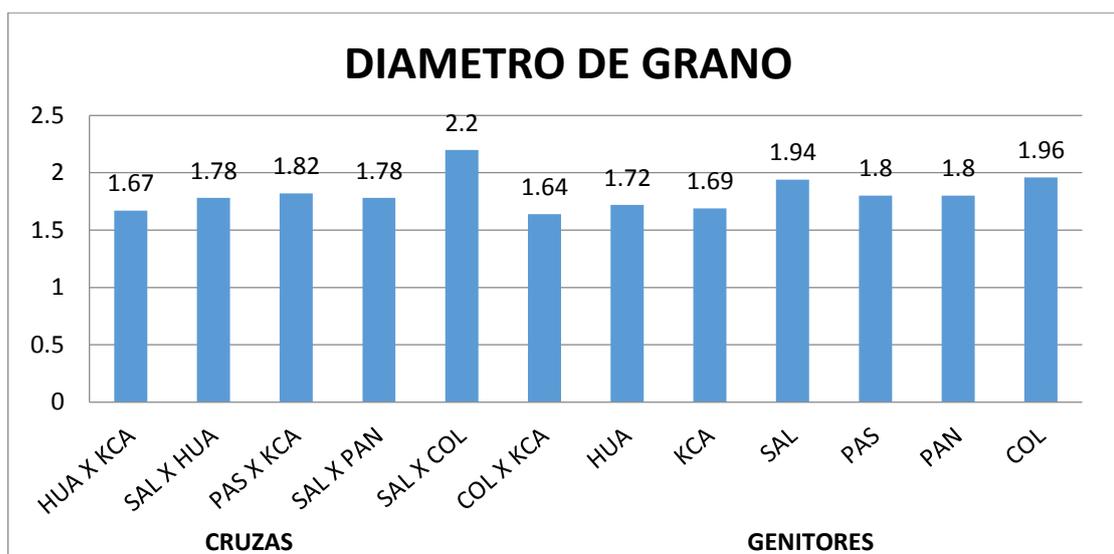


Figura 13. Comportamiento del diámetro de grano de las cruzas en comparación con los Genitores

#### 4.2 VARIABILIDAD GENÉTICA

Los valores de heredabilidad varían en un rango de 0 a 100%. El balance de la variación en los datos fenotípicos es válido en el ambiente donde fueron obtenidos. Ya que las variables evaluadas como: altura de planta muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.0605909 quiere decir que el 6% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 94 % restante depende de la variación en el ambiente. Diámetro de tallo muestra un grado de determinación genética (GDG) de 0.078091707 quiere decir que el 7% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 93% restante depende de la variación en el ambiente. Longitud de panoja muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.097459637 quiere decir que el 10% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 90% restante depende de la variación en el ambiente. Diámetro de panoja muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.069799997 quiere decir que el 7% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 93% restante depende de la variación en el ambiente.

Floración muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.031407342 quiere decir que el 3% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 97% restante depende de la variación en el ambiente. Madurez fisiológica muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.017155276 quiere decir que el 2% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 98% restante depende de la variación en el ambiente. Rendimiento muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.020546571 quiere decir que el 2% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 98% restante depende de la variación en el ambiente. Rendimiento por hectárea muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.018816871 quiere decir que el 2% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 98% restante depende de la variación en el ambiente. Peso hectolitrico muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.020261905 quiere decir que el 2% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 98% restante depende de la variación en el ambiente. Peso de 1000 granos muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.031866421 quiere decir que el 3% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 97% restante depende de la variación en el ambiente. Diámetro de grano muestra grado de determinación genética (GDG) de 0.033006529 quiere decir que el 3% de la variación en los datos fenotípicos entre las cruzas **HUA X KCA, SAL X HUA, PAS X KCA, SAL X PAN, COL X KCA y SAL X COL** es debido a variación genética, mientras que el 97% restante depende de la variación en el ambiente. La heredabilidad es uno de los factores que limitan la mejora genética de una característica. Altos valores de heredabilidad están relacionados con un rápido avance genético cuando se aplica una fuerte presión de selección.

El valor predictivo del GDG debe tomarse con precaución, teniendo en cuenta que el cálculo de varianzas en caracteres cuantitativos está sujeto con frecuencia a considerable error experimental (Crow, 1986). Sin embargo, y aun aceptando valores reales de varianza genética más bajos que los calculados, debe considerarse que esa fracción, integrada por los componentes aditivos, de dominancia y epistáticos, es heredable en su totalidad en un sistema apomíctico. Esta condición es de indudable interés en el mejoramiento, al permitir la fijación de combinaciones heteróticas y/o epistáticas de alto valor agronómico (Fehr, 1991).

En un sistema de reproducción apomíctica la estructura y la dinámica poblacional es comparable a la de las especies autógamas con el predominio de los genotipos mejor adaptados. Si cada población está compuesta por un número reducido de genotipos, es probable que la variabilidad dentro de las poblaciones no supere a la variabilidad entre las poblaciones (Stebbins, 1950; Jain, 1975; Loveless y Hamrick, 1984). Las diferencias significativas entre las medias poblacionales y la moderada o baja variabilidad genética intrapoblacional, inducen a suponer que ésta es la situación en las poblaciones en estudio.

Las divergencias genéticas en situaciones como éstas, en que las poblaciones se desarrollan en sitios de similitud ecológica, pueden explicarse por la acumulación de mutaciones diferentes y/o por el efecto de deriva genética. La deriva genética consiste en fluctuaciones genotípicas aleatorias, comunes en eventos migratorios o colonizadores, ya sea por el efecto fundador o por la ocurrencia de disturbios que disminuyen el tamaño de la población (Barrett y Husband, 1990).

Tabla 18. Promedio de la varianza del error, entre líneas, fenotípica y promedio de grado de determinación genética

<b>Variables</b>	<b>Prom var. error</b>	<b>Prom var. entre líneas</b>	<b>Prom var. fen</b>	<b>Prom. GDG H<sup>2</sup> %</b>
<b>AP</b>	0.829432	0.024265	0.438981	6.1
<b>DT</b>	0.010594	0.000565	0.005862	7.8
<b>LP</b>	0.086035	0.005709	0.048727	9.7
<b>DP</b>	0.019178	0.000762	0.010351	7.0
<b>FL</b>	0.272748	0.004511	0.140885	3.1
<b>MF</b>	0.271167	0.002306	0.137889	1.7
<b>RT</b>	0.481040	0.005035	0.245555	2.1
<b>RT/Ha</b>	0.012334	0.000123	0.006290	1.9
<b>PHL</b>	7.696605	0.079523	3.927826	2.0
<b>P1000</b>	0.004688	0.000093	0.002437	3.2
<b>DMG</b>	0.016958	0.000154	0.008633	3.3

### 4.3 ANÁLISIS ESTADÍSTICO DESCRIPTIVO

#### 4.3.1 Análisis variables cuantitativos

Para realizar los análisis de variables cuantitativos se utilizó el programa - R que expresa en porcentaje, fue utilizada con la finalidad de obtener los caracteres que tienen las más altas varianzas son las siguientes:

Tabla 19. Promedios de los mejores progenitores y progenies en cuanto a variables cuantitativas

VARIABLES CUANTITATIVAS	PROGENITORES	PROMEDIOS	PROGENIES	PROMEDIOS
Altura de la planta (cm)	Pasankalla	89.84	PAS X KCA	93.39
Diámetro del tallo principal (mm)	Pasankalla	14.49	PAS X KCA	14.49
Longitud de la panoja (cm)	Pasankalla y Pandela rosada	26.47	PAS X KCA	28.45
Diámetro de la panoja (cm)	Pasankalla	8.55	PAS X KCA	8.73
Floración (días)	Pasankalla	98.05	PAS X KCA	95.45
Madurez fisiológica (días)	Pasankalla	197.55	PAS X KCA	192.98
Rendimiento de grano/ planta (g)	Huariponcho	13.32	HUA X KCA	17.00
Rendimiento por hectárea (kg)	Huariponcho	3995.78	HUA X KCA	5099.28
Peso hectolítrico (Kg/hl)	Huariponcho	53.28	HUA X KCA	67.99
Peso de 1000 granos (g)	Negra Collana	2.95	SAL X COL	3.80
Diámetro de grano (mm)	Negra Collana	1.96	SAL X COL	2.20
Precoz (días)	Kcancolla	181.89	HUA X KCA	177.51
Tardía (días)	Pasankalla	197.55	PAS X KCA	192.98

**Huariponcho:** Se caracteriza por su alta tolerancia al frío, resistente a granizadas y heladas, contenido de saponina amargo y suele ser más defensiva frente al ataque de aves (Tapia *et al.*, 2014).

**Kcancolla:** Esta variedad fue seleccionada a partir del ecotipo local de la zona de Cabanillas, Puno. Se caracteriza por tener granos medianos de 1.6 – 1.9 mm, panoja blanca y alto contenido de saponina (Tapia, 2000).

**Salcedo INIA:** Esta variedad fue obtenida por selección masal del cruce dialélico de 7 x 7 de las variedades Real Bolivia x Sajama, con las siguientes características: grano grande con diámetro de 1.8 – 2 mm, de color blanco, poca saponina y tolerante al mildiu (Mujica, *et al.* 2013).

**Pasankalla:** Esta variedad presenta variaciones de plantas con tallo blanco y rojo, contenido de saponina grano dulce, granos grandes, panoja rosada, alto contenido de proteína, tolerante al mildiu y es susceptible al ataque de aves (Mujica, *et al.* 2013).

**Pandela Rosada:** Proviene del altiplano sur de Bolivia, son precoces, granos grandes, susceptible al mildiu, no es tolerante a las sequias (Tapia, 2000)

**Negra Collana:** Esta variedad se caracteriza por lo siguiente: color de panoja blanco grisáceo, color de episperma negro, tamaño de grano mediano y contenido de saponina dulce (Tapia *et al.*, 2014).

## 4.4 ANÁLISIS MULTIVARIADO

### 4.4.1 Análisis de componentes principales

Los componentes principales están correlacionados entre sí

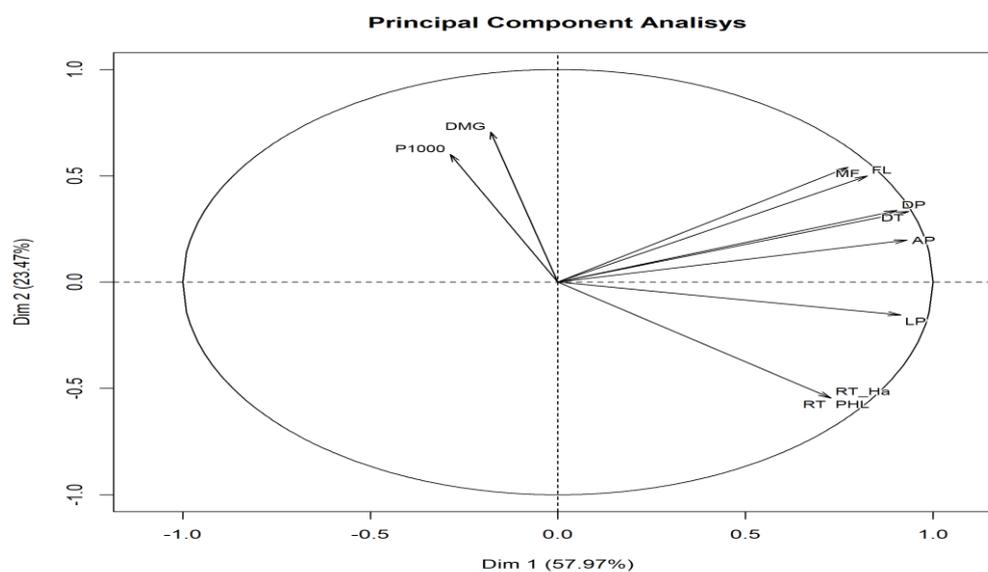


Figura 14. Distribución de las variables

En la figura 26 se observa las variables que están más vinculadas con el eje positivo de la dimensión 1 son: longitud de panoja (LP) rendimiento por planta (RT), rendimiento por hectárea (RT/Ha), peso hectolitrico (PHI). Altura de planta (AP), diámetro de tallo (DT), diámetro de panoja (DP), floración (FL) y madurez fisiológica (MF) Las variables más vinculadas con el eje positivo de la dimensión 2 peso de 1000 granos (P1000) y diámetro de grano (DMG)

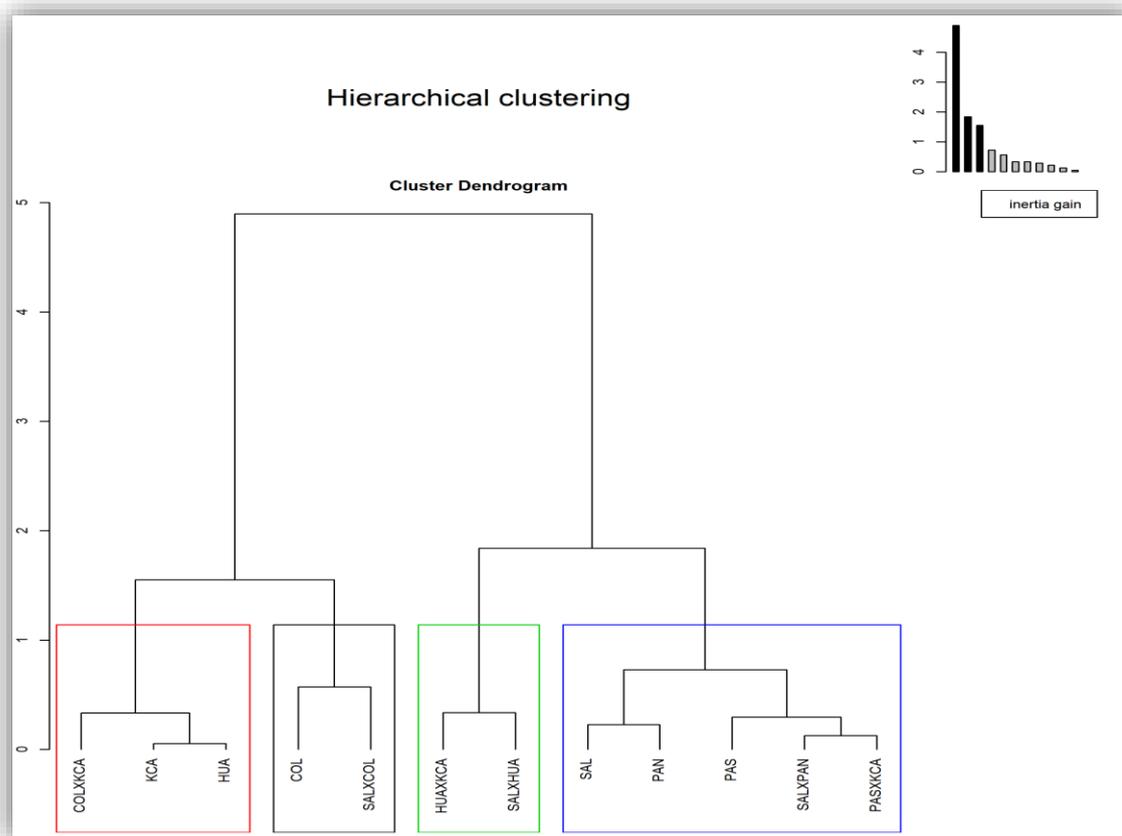


Figura 15. Dendrograma de características cuantitativas

Se observa la formación de cuatro grupos.

**Grupo 1.** Conformado por la progenie Negra Collana x Kcancolla (COL X KCA). Además de Kcancolla y Huariponcho (KCA X HUA)

**Grupo 2.** Conformado por Negra Collana (COL) y Salcedo-INIA x Negra Collana (SAL X COL).

**Grupo 3.** Está conformado por las cruzas Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) y Salcedo-INIA X Huariponcho (SAL X HUA)

**Grupo 4.** Está conformado por los Genitores Salcedo-INIA, Pandela Rosada, Pasankalla y las cruzas Salcedo-INIA X Pandela Rosada y Pasankalla X Kcancolla

#### 4.4.2 Análisis de conglomerados

El resultado del análisis de conglomerados muestra la siguiente matriz de distancia (**Tabla 17**) en la caracterización agronómica de las progenies S5 en quinua, indicados en una escala numérica en donde los menores valores numéricos nos indican mayor

parentesco contrario a los valores numéricos altos que indican menor parentesco (Crisci y López, 1983).

El método que se utilizó para ver el grado de similitud fue la distancia de Euclidiana.

Tabla 20. Matriz de distancia utilizando la distancia Euclidiana

	HUA X KCA	SAL X HUA	PAS X KCA	SAL X PAN	COL X KCA	SAL X COL
HUA X KCA	0					
SAL X HUA	2.7765002	0				
PAS X KCA	5.7809365	3.3384259	0			
SAL X PAN	4.1754277	2.0803915	1.7251445	0		
COL X KCA	5.2527861	6.0271882	7.1840475	5.8275845	0	
SAL X COL	5.9438312	5.8002395	7.0041167	6.0548723	5.5997176	0

#### Progenies más distantes según la distancia Euclidiana

1. PAS X KCA y COL X KCA 7.1840475
2. PAS X KCA y SAL X COL 7.0041167
3. SAL X PAN y SAL X COL 6.0548723
4. SAL X HUA y COL X KCA 6.0271882

#### Progenies más cercanas según la distancia Euclidiana

1. PAS X KCA y SAL X PAN 1.7251445
2. SAL X HUA y SAL X PAN 2.0803915
3. HUA X KCA y SAL X HUA 2.7765002
4. SAL X HUA y PAS X KCA 3.3384259

En la (**Tabla 17**) se observa que la progenie PAS X KCA y COL X KCA son los más distantes con una unidad de 7.1840475, el cual significa que tales progenies son los que más se diferencian, Como progenies más cercanas se obtuvieron PAS X KCA y SAL X PAN con unidad de 1.7251445, La expresión fenotípica en cada generación de progenie varía porque influyen las características edafoclimáticas.

Por otro lado (Bustincio 2013), encontró los siguientes resultados en cuanto a los más distantes Pasankalla x Kcancolla y Huariponcho x Kcancolla en cuantos a las más cercanas Salcedo-INIA x Pandela Rosada y Negra Collana x Kcancolla esto usando la distancia Euclidiana.

Sin embargo (Apaza 2014), encontró para progenies más distantes, Pasankalla x Kcancolla y Salcedo-INIA x Negra Collana y las más cercanas Salcedo-INIA x Pandela Rosada y Salcedo-INIA x Huariponcho.

## CONCLUSIONES

Se ha caracterizado agronómicamente las progenies autofecundadas S5, procedentes de cruza simples, genéticamente distantes y cercanas. Para las cuales se evaluaron 11 variables las cuales presentan el siguiente comportamiento: La mayor altura de planta presentó la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (93.39 cm), y Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (88.88 cm) y la menor altura de planta se dio por la cruza negra collana X Kcancolla (COL X KCA) (69.50 cm). El mayor diámetro de tallo presentó la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) (14.49 mm), seguido por la cruza Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (13.49 mm) y la cruza Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA). Presento el menor diámetro de tallo con (9.70 mm). La mayor longitud de panoja se presentó en la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (28.45 cm) y Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (27.49 cm) y la menor longitud de panoja la presento la cruza Salcedo INIA X Negra Collana (24 cm). EL mayor diámetro de panoja presentó la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (8.73 cm), y Salcedo INIA X Pandela Rosada (SAL X PAN) con (7.73 cm) y el menor diámetro de panoja lo presento las cruza Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) y Salcedo INIA X Negra Colana (SAL X COL) con (5.75 cm) además de la cruza Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (5.74 cm). La cruza más precoz fue Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (83.55 días) de floración, y (178.99 días) de madurez fisiológica además de Huariponcho X Kcancolla (HUAXKCA) con (83.57 días) de floración y (177.51 días) de madurez fisiológica, y la más tardía fue la cruza Pasankalla X Kcancolla (PAS X KCA) con (95.45 días) de floración y (192.98 días) de madurez fisiológica. El mejor rendimiento de Grano/planta presentó Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (17 gr), y por lo tanto el mejor rendimiento en kg/ha con (5099.28 Kg), y la cruza Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (16.88 gr.) y con un rendimiento de kg/ ha de (5064.71 kg), el menor rendimiento lo presento la cruza Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (9.46 gr). Y por lo tanto también presento el menor rendimiento de kg/ha con (2836.55 kg). El mejor peso hectolitrico en kg/hl. Presentó la cruza Huariponcho X Kcancolla (HUA X KCA) con (67.99 kg/hl) y la cruza Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (67.53 kg/hl) y el menor peso hectolitrico lo Presentó la cruza Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (37.82 kg/hl). El mejor peso de 1000 granos. Presentó la cruza Salcedo INIA X Negra Colana (SAL X COL) con (3.80 gr), debido a que el diámetro

de grano fue de (2.20 mm) y la cruzada Salcedo INIA X Huariponcho (SAL X HUA) con (2.48 gr) y con un diámetro de grano de (1.78 mm) y el menor peso de 1000 granos lo presentó la cruzada Negra Collana X Kcancolla (COL X KCA) con (2.09 gr) y (1.64 mm). De diámetro de grano

Existe variabilidad genética que puede ser aprovechada en los siguientes trabajos de investigación del programa de mejoramiento ya que estos están encaminados a la obtención de nuevos y mejores materiales, adaptados a las condiciones locales y que respondan a las necesidades del agricultor, productor y consumidor. Las diferencias significativas entre los genotipos de quinua en esta investigación indican que la selección sería eficiente en un entorno distinto al altiplano podría ser en la costa o valles interandinos. Los coeficientes de variabilidad son homogéneos (<5-10%), entonces el estudio es aceptable; a excepción de la cruzada PAS X KCA, que los resultados de diámetro de los granos hubo variabilidad. El GDG estimado para once variables evaluadas, en base a varianzas fenotípicas, en general no alcanzó magnitudes elevadas debido a un notorio predominio de la varianza ambiental.

## RECOMENDACIONES

Se recomienda tener en cuenta los resultados de esta investigación para continuar con una más de las etapas del programa de mejoramiento genético en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la Universidad Nacional del Altiplano y sembrar en otras regiones del Perú las líneas de las cruzas que mejor comportamiento agronómico tuvieron en este trabajo de investigación para así continuar con la evaluación del comportamiento de las líneas en diferentes condiciones climáticas y así con el tiempo poder lanzar nuevas variedades para el Altiplano, la Costa y Valles interandinos.

También se recomienda hacer una evaluación que permita la selección de líneas de quinua que puedan aprovecharse eficientemente mediante un proceso de transformación adecuado, según las características que presenta. Las líneas estudiadas ya que pueden presentar diferencias en la calidad del producto final.

Realizar un estudio para determinar la autogamia o alogamia en el cultivo de la quinua

**BIBLIOGRAFÍA**

- Apaza, J. 2014. Caracterización y variabilidad de progenies  $S_3$  autofecundadas, procedentes de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas, en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* willd.). Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. UNSA- AREQUIPA. Pág 134.
- APG 111: An update of the Angiosperm Phylogeny Group classification for the orders and families of flowering plants. 2009. Botanical Journal of the Linnean Society. Vol. 161. Páginas: 105- 121.
- Arevalo, T. y Yuquilema, R. 2008. Respuesta de cuatro líneas promisorias de quinua dulce (*Chenopodium quinoa* Willd) a la aplicación de abono orgánico y químico en las localidades de Tagma y Laguacoto II, provincia Bolívar. Tesis Lic. Ing. Agr. Universidad Estatal de Bolívar Facultad de Ciencias Agropecuarias, recursos naturales y del ambiente. Escuela de Ingeniería Agronómica. Guaranda – Ecuador
- Bavec, F. and Bavec, M. 2007. Organic production and use of alternative crops. –united States: CRC.
- Bazile, D. *et al.* (Editores). 2014. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago de Chile: FAO y Montpellier, Francia: CIRAD, 724.
- Barrett, C.H., and B.C. Husband. 1990. The genetics of plant migration and colonization. p. 254-277. In A.H.D. Brown, M.T. Clegg, A.L. Hahler, and B.S. Weir. (eds.) Plant population genetics, breeding and genetic resources. Sinauer Associates Inc., Sunderland, USA.
- Barrett, B.A. & Kidwell, K.K. 1998. AFLP-based genetic diversity assessment among wheat cultivars from the Pacific North-west. Crop Science 38: 1261-1271.
- Barioglio, C. 2006. Diccionario de las ciencias agropecuarias – 1ra ed.- Córdoba: Encuentro grupo editor. Córdoba, Argentina. 496 Pág.
- Bhargava, A. and Srivastava, S. 2013. Quinoa: Botany, production and uses. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI.

- Benavides, A. y Rodríguez, M. 2007. Evaluación y selección de 16 líneas promisorias de quinua dulce en el Municipio de Pasto, Departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 87p.
- Bioversity internacional, FAO, PROIMPA, INIAF y FIDA (2013). Descriptores para quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. UNA, CIRNMA, FIDA, Roma, Italia.
- Bois, J., Winkel, T., Lhomme, J. and Raffailac, J. (2006). Response of some Andean cultivars of quinoa (*Chenopodium quinoa* willd.). to temperature: Effects on germination, phenology, growth and freezing. Elsevier: European Journal of Agronomy, 25, 299-308.
- Bonifacio, A. 2013. Mejoramiento Genético de la Quinoa en los Andes. IV Congreso Mundial de la Quinoa y I Simposio Internacional de Granos Andinos. (Ibarra, 8-12 de Jul 2013) Memorias. Ibarra, EC. p. 17-18
- Bustincio, R. 2013. Obtención de progenie de cruza simples en ocho variedades de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), mediante la estimación de distancias genéticas asistida por marcadores moleculares. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 72 p.
- Carrera, A., Tranquilli, G. & Helguera, M. 2004. Aplicaciones de los marcadores. En: Biotecnología y Mejoramiento vegetal. Echenique, V., Rubinstein, C. & Mroginski, L. (Eds.) Ediciones INTA – Argenbio, 149-160.
- Cárcova, J; Abeledo, LG; López, M. 2004. Análisis de la generación del rendimiento: Crecimiento, partición y componentes. In Satorre, EH; Arnold, RLB; Slafer, GA Fuente EB de la Míralles, DJ; Otegui. ME: Savin, R. Producción de granos, bases funcionales para su manejo. Buenos Aires, AR. 783 p.
- Cárdenas, J. 1999. Selección de cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) por su resistencia a la sequía. Tesis Ing. Agr. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú. 95 p.

- Castillo, C. y Bosque, H. (Coord. Ed.), 2013. La quinua y la UMSA: Avances de la investigación científica. Documento científico final en conmemoración al año internacional de la quinua. Facultad de Agronomía – UMSA. La Paz, Bolivia. 252 p.
- Catacora, P. y Canahua, A. 1991. Selección de genotipos de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) resistentes a heladas y perspectivas de producción en camellones. En: Actas del VII Congreso Internacional sobre Cultivos Andinos. La Paz, 4-8 febrero. IBTA, ORSTOM, CIID- Canadá. La Paz, Bolivia. pp. 53-56.
- Chávez A., J.L. 1993. Mejoramiento de plantas I. 2a edición. Ed. Trillas, México, D.F. 136 p.
- Choquechambi, L. 2016. Caracterización de progenies S5 autofecundadas, procedentes de cruza simples en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) genéticamente distantes y cercanas en camacani. Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú. 180p.
- Cornide, M. T. 2000. Diversidad genética y marcadores moleculares. Departamento de bioplantas CINC. La Habana, Cuba. 150 p.
- Cox, T.S., Murphy, J.P. & D.M. Rodgers. 1986. Changes in genetic diversity in the red winter wheat regions of the United States. PNAS 83: 5583–5586.
- Crisci, J y López, M. 1983. Introducción a la teoría y práctica de la taxonomía numérica. Secretaria General de la Organización de los Estados Americanos (OEA). Washington, D. C. 132 p.
- Crow, J.F. 1986. Basic concepts in population, quantitative and evolutionary genetics. p. 110-148. Chapter 5. W.H. Freeman and Company, Nueva York, USA.
- Delgado, M. y Benavides, C. 2000. Comportamiento de Diez Selecciones de Grano Dulce de Quinua en los Municipios de Pasto y Córdoba Departamento de Nariño. Tesis de grado Ingeniero Agrónomo, Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño. Pasto. 87p.

- Delgado, P., Adriana, I., Palacios, C., & Jaime, H. (2009). Evaluation of 16 genotypes of sweet quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) in the municipality of Iles, Nariño (Colombia). *Agronomía*.
- Dillon, W. y Goldstein, M. 1984. Multivariate analysis Methods and applications. En: Boletín Técnico N° 8 Análisis Estadístico de datos de Caracterización Morfológica de Recursos Filogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fitogeneticos (IPGRI). Cali, Colombia. pp. 25-28.
- Domínguez, J. 2015. Caracterización y variabilidad de progenies S4 autofecundadas, procedentes de cruzas simples genéticamente distantes y cercanas, en seis cultivares de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis de Ingeniero Agrónomo. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. Perú. 110 p.
- Enríquez, G. 1991. Descripción y evaluación de los recursos genéticos. In Técnicas para el manejo y uso de recursos genéticos vegetales. Castillo, R.; Tapia, C. eds. Editorial Porvenir. Quito, Ecuador. pp. 16-160.
- ERPE, INIA, IICA y GTZ. 2001. Taxonomía y morfología de planta. En: Manual de producción de quinua de calidad en el Ecuador.
- Falconer, D. S. 1980. Introducción a la genética cuantitativa. Cía. Editorial Continental, S.A. México, D.F. 430 p.
- FAO. 2000. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Santiago, Chile.
- Fernández, H. 2004. Uso de Marcadores Moleculares RAPD en la Caracterización de Bancos de Germoplasma en Venezuela. *Revista Digital CENIAP Hoy*. N° 5. Disponible en: [www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/hfernandez.htm](http://www.ceniap.gov.ve/ceniaphoy/articulos/n5/arti/hfernandez.htm)
- Ferreira, P. 1987. Análisis multivariado aplicado a problemas de clasificación y tipificación. En: Taller sobre aplicaciones del análisis multivariado. Instituto de Educación Continuada (IDEC). Antigua. 12 p.
- Fehr, W.R. 1991. Principles of cultivar development. p. 381-387. Vol.1, Chapter 30. Macmillan Publishing Company, Nueva York, USA.

- Franco, T.L e Hidalgo, R. (eds.). 2003. In Análisis Estadístico de Datos de Caracterización Morfológica de Recursos Fitogenéticos. Boletín técnico n° 8, Instituto Internacional De Recursos Fitogenéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.
- Frere, M.J. Rea y J.Q. Rijks 1975. Estudio agroclimatológico dela zona andina (Informe técnico) Proyecto Inter.-institucional, FAO/UNESCO/OMM. Roma, Italia. pp. 29-51.
- Fuentes, F.; Maughan, P.; Jellen, R. 2009 Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Rev. Geogr. Valpso., 42: 20-33.
- Gabriel. J., Nayra, L., Vargas, A., Magne, J., Angulo, A. La Torre, J. y Bonifacio, A. 2012. Quinoa del valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.) Journal of the Selva Andina Research Society, 3 (2).
- Gallardo, M., Gonzales, A. y Ponessa, G. 1997. Morfología del fruto y semilla de *Chenopodium quinoa* Willd. (Quinoa) *Chenopodiaceae*. Lilloa 39:1
- Gandarillas, H. 1979. Mejoramiento genético. En: quinoa y cañihua. Cultivos andinos. Serie de libros y materiales educativos No. 49. CIID-IICA. Bogota, Colombia. pp. 65-82.
- Garrido, M. 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) bajo diferentes disponibilidades hídricas en ambiente mediterráneo. *Idesia*, 31 (2).
- Geers, S., Raes, D., Taboada, C., Miranda, R., Cusicanqui, J., Mhizha, T., and Vacher, J. 2009. Modeling the potential for closing quinoa yield gaps under varying water availability in the Bolivian Altiplano. *Agricultural Water Management*, 96, 1652–1658.
- Hair, J. Anderson, R. Tatham y Black, W. 1992. Multivariate data analysis. En: Boletín Técnico N° 8 Análisis Estadístico de datos de Caracterización Morfológica de Recursos filogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fito genéticos (IPGRI).

- Hidalgo, R. 2003. Variabilidad genética y caracterización de especies vegetales. En: Boletín Técnico N° 8. Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos Fitogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fito genéticos (IPGRI). Cali, Colombia. 89 p.
- Inguilán, J. y C. Pantoja. 2007. Evaluación y selección de 16 selecciones promisorias de quinua dulce (*Chenopodium quinua* Willd.) en el municipio de Córdoba, departamento de Nariño. Tesis de grado. Facultad de Ciencias Agrícolas, Universidad de Nariño, Pasto, Colombia.
- Jacobsen, S., Monteros, C., Corcuera, L., Bravo, L., Christiansen, J. and Mujica, A. 2005. Plant responses of quinoa (*Chenopodium quinua* Willd.) to frost at various phenological stages. Elsevier: European Journal Agronomy, 22, 131 – 139.
- Jain, S.K. 1975. Population structure and the effect of breeding system. p. 15-36. In O.H. Frankel (ed.) Crop Genetic Resources for Today and Tomorrow. Cambridge University Press, London, England.
- Junta de Acuerdo de Cartagena. 1990. Foro Internacional para el fomento de Cultivos y crianzas andinos. Situación, perspectivas y bases para un programa de promoción de cultivos y crianzas Andinos. Cusco, 12-15 de Noviembre. Cusco, Perú. pp. 179-186.
- Lescano R., J.L. 1981. Cultivo de quinua. Universidad Nacional Técnica del Altiplano. Centro de Investigaciones en Cultivos Andinos. Puno, Perú.
- López, J. e Hidalgo, M. 1994. Análisis de conglomerados En: Boletín Técnico N° 8 Análisis estadístico de datos de caracterización morfológica de recursos Filogenéticos. Instituto Internacional de Recursos Fito genéticos (IPGRI). Cali, Colombia. pp. 28-34.
- Loveless, M.D., and J.L. Hamrick. 1984. Ecological determinants of genetic structure in plant populations. Annu. Rev. Ecol. Syst. 15:65-95.
- Martínez W, O. 1995. Métodos estadísticos multivariados en biología molecular y su aplicación en investigación agrícola. Agronomía Colombiana. Volumen XII, N° 1. Pág. 66-71.

- Mendoza, J. 2014. Caracterización agromorfológica de progenies autofecundadas s4, procedentes de cruza simples, genéticamente distantes y cercanas en quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en condiciones de campiña de Arequipa. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. UNSA- AREQUIPA.
- Mujica, A., Suquilada, M., Chura, E., Ruiz, E., León, A., Cutipa, S. y Ponce, C. 2013. Producción orgánica de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.). Universidad Nacional del Altiplano, FINCAGRO. Puno, Perú. Pág. 118.
- Mujica, A., Jacobsen, S., Izquierdo, J. y Marathe, J. 2001. Ancestral cultivo, alimento del presente y futuro. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. FAO. Universidad Nacional del Altiplano. Puno. En: Quinoa, Ancestral Cultivo Andino, Alimento del Presente y Futuro. Santiago de Chile, Chile. pp. 9-53.
- Mujica, A., Ortiz, R., Bonifacio, A., Saravia, R., Corredor, G. y Romero, A. 2006. Informe final. Proyecto quinua: cultivo multipropósito para los países andinos. Perú - Colombia - Bolivia: PNUD / CONCYTEC / Universidad Nacional del Altiplano (Puno)/Fundación PROINPA (La Paz)/Universidad Nacional de Colombia (Bogotá).
- Mujica, A. y Jacobsen, S. 2006. La quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) y sus parientes silvestres. Botánica Económica de los Andes Centrales. 449-457.
- Peske, S. 2004. Especialización en tecnología de semillas por tutoría a distancia: Producción de semillas. La Paz, BO. Programa Nacional de Semillas. 81 p (guía en manejo de semillas).
- Pinto, J. 2013. Caracterización morfológica y agronómica de progenies F1 de cruza simples de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.), en condiciones de invernadero. Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. UNSA-AREQUIPA. Pág. 127.
- PROMPERÚ, INDECOPI 2009. Quinoa. Requisitos. Norma Técnica Peruana. Lima, Perú.

- Pla, L. 1986. Análisis multivariado: Métodos de componentes principales. Secretaria de la organización de Estados Americanos (OEA). Washington, D.C. 94 p.
- Quisocala, A. 2000. Estimación de Parámetros de Estabilidad para Rendimiento en Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo. FAZ, UNSAAC, Cusco, Perú.
- Rea, J. 1969. Biología floral de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Turrialba. 19: 91-96.
- Reinoso, J. y Paredes, S. 1998. Post-producción de productos andinos en el altiplano: Inventario y demanda. CONDESAN, CIRNMA. Lima, Perú. pp. 1-136.
- Ríos, L. 2004. Caracterización y Evaluación de Germoplasma Vegetal. Dirección Nacional de Investigación en Recursos Genéticos Lima, Perú. 10 p.
- Risi, J. y N. Galwey. 1984. The pattern of genetic diversity in the Andean grain crop quinoa (*Chenopodium quinoa* Wild) I. Associations between characteristics. Adv. Appl. Biol. 10:145–216.
- Robles, S. R. 1986. Genética elemental y fitomejoramiento práctico. Ed. Limusa, S.A de C.V., México, D.F., 477 p.
- Rojas, W., Padulosi, S. 2013. Descriptores para quinoa y sus parientes silvestres. Bioversity International, FAO, La Fundación PROINPA, INIAF y el FIDA.Z, Roma, Italia. pp. 31-39.
- Simmonds, N. 1965. The grain chenopods of tropical American highlands. Economic Botany, 19 (3): 223-235.
- Scocchi, A. & Rey, H. 2004. Conservación de germoplasma in vitro. Biotecnología y Mejoramiento vegetal. Ediciones INTA – Argenbio, Buenos Aires. 179-185.
- Smith, J.S. 1984. Genetic variability within U.S. hybrid maize: Multivariate analysis of isozyme data. Crop Science. 24: 1041–1046
- Spooner D., R. van Treuren & M.C. de Vicente. 2005. Molecular markers for genebank management. IPGRI Technical Bulletin No. 10. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy

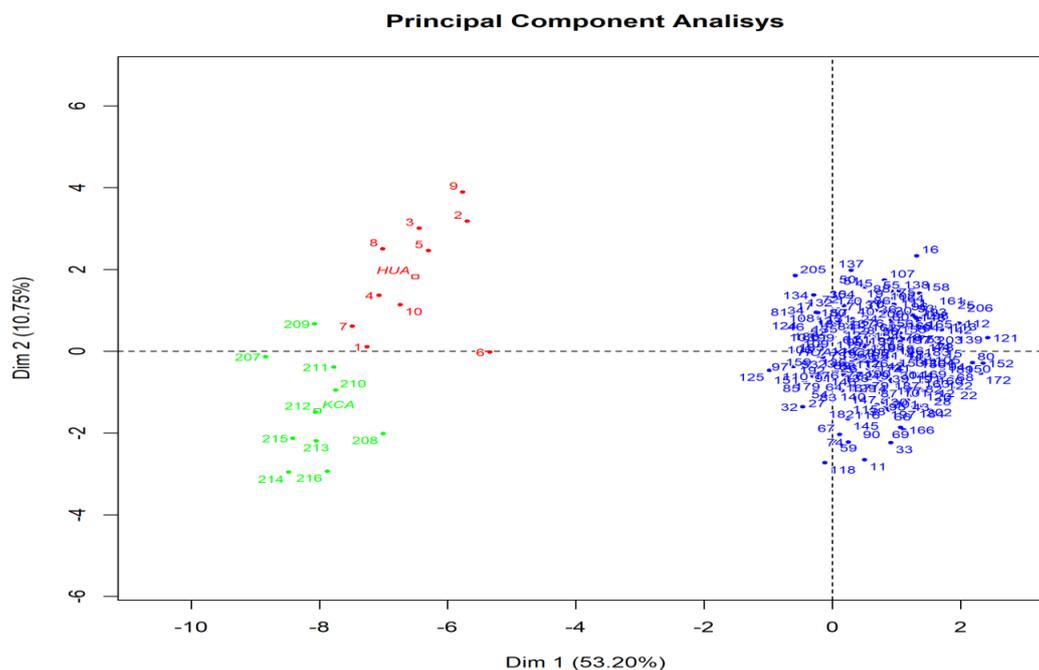
- Stebbins, GL. 1950. Variation and evolution in plants. 643 p. The Columbia Biological Series. Editorial Columbia University, Nueva York, USA.
- Suracheth. P. 2014. Response of quinoa to emergence test and row spacing in Chiang Mai–Lumphun Valley lowland area. *Khon kaen agr*, 42 (2).
- Suquilanda, M. 2011. Producción orgánica de cultivos andinos (Manual técnico). Pp. 191-216,203 y 207.
- Tapia, M. 2000. Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación. FAO. Santiago de Chile, Chile. Pág. 56 - 67.
- Tapia, M.E., Canahua, A. e Ignacio, S. 2014. Razas de Quinuas del Perú de los andes al mundo. Asociación Nacional de Productores Ecológicos del Perú, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología. Pág. 173.
- Thompson, J.A., Nelson, R.L. & Vodkin, L.O. 1998. Identification of diverse soybean germplasm using RAPD markers. *Crop Science*. 38: 1348–1355
- Tuisima, L., and Fernández, E. 2014. An Andean Ancient Crop, *Chenopodium quinoa* Willd. *Agricultura tropica et subtropica*, 47 (4): 142-146.
- Vicente, M.C., Metz, T. & Alercia, A. 2004. Descriptors for Genetic Marker Technologies. Rome, Italy, IPGRI.
- Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. and Schwember, A. 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. *Mol Breeding Journal*, 34 (1).

## WEBGRAFÍA

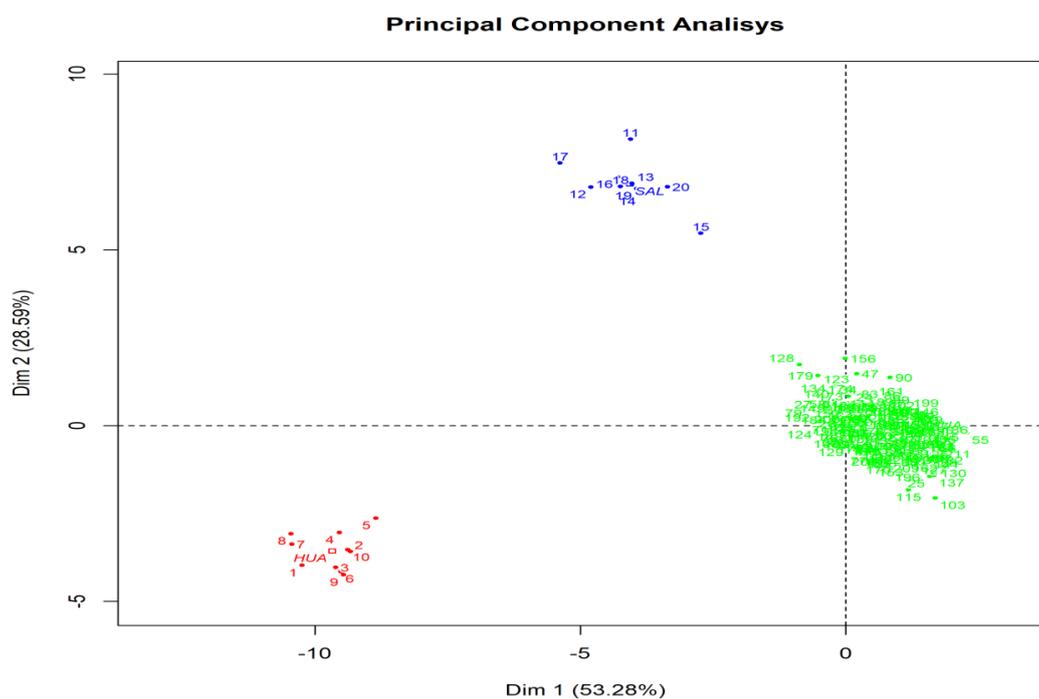
(<https://sites.google.com/site/especiesalogamasyautogamas/efectos-de-la-autofecundacion>)

# ANEXOS

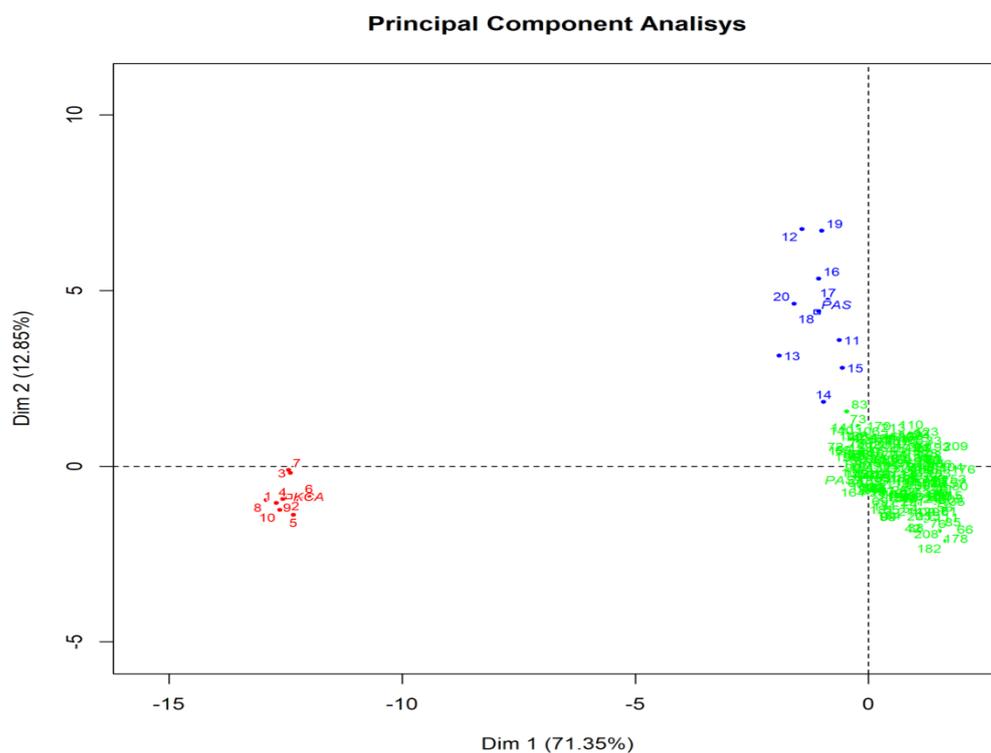
Anexo 1. Análisis de componentes principales de la cruce HUA x KCA



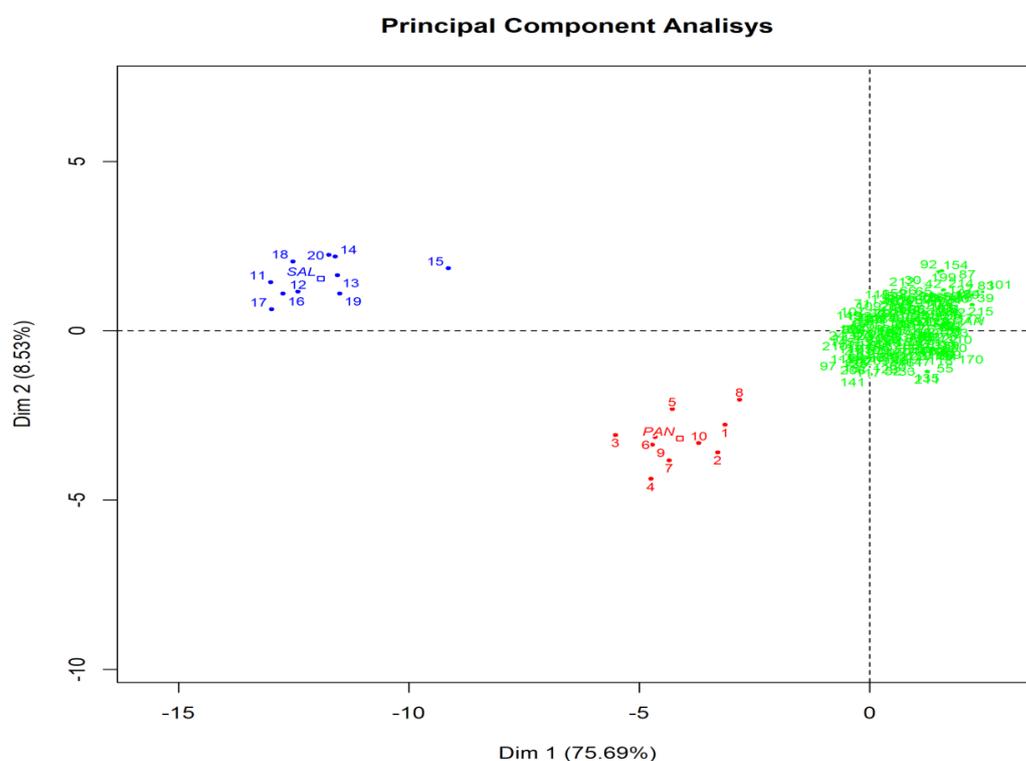
Anexo 2. Análisis de componentes principales de la cruce SAL x HUA



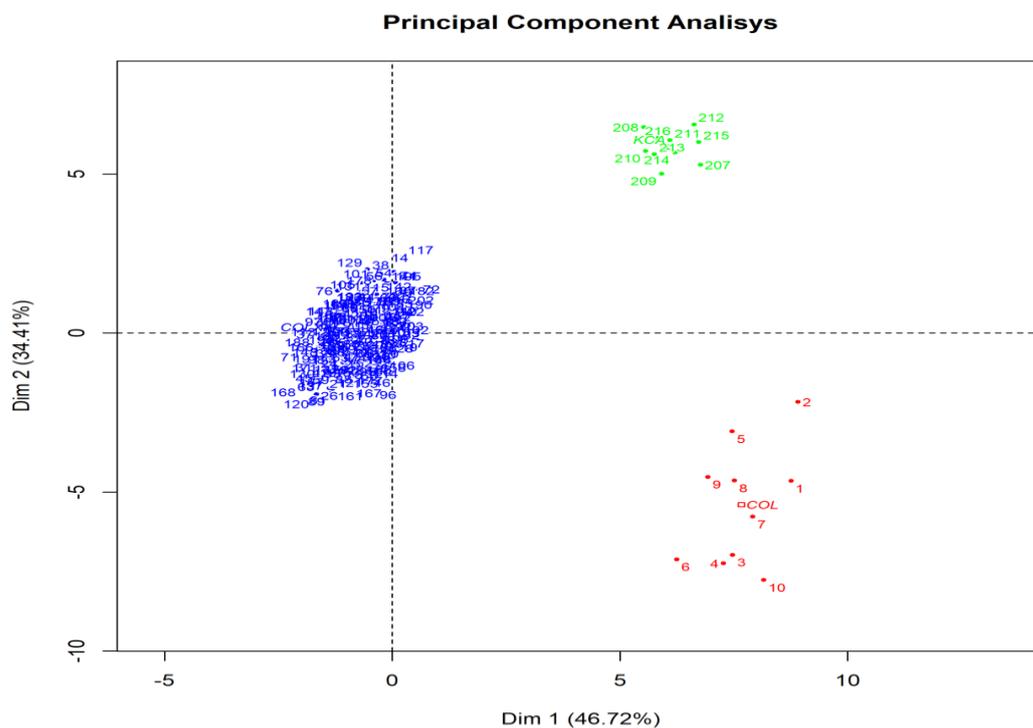
Anexo 3. Análisis de componentes principales de la cruce PAS x KCA



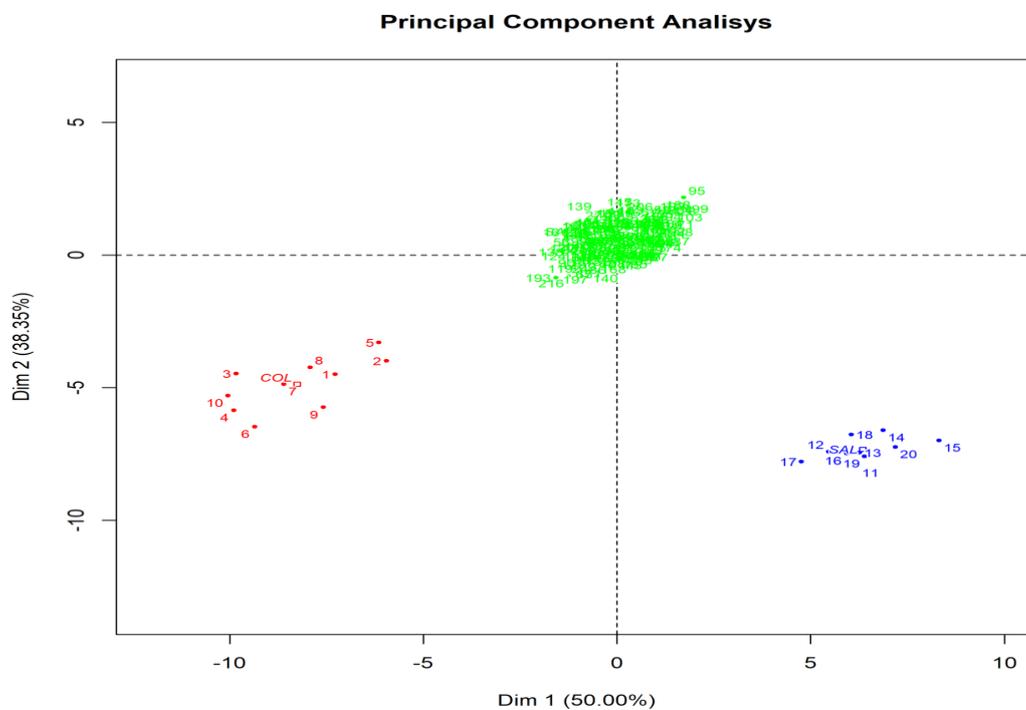
Anexo 4. Análisis de componentes principales de la cruce SAL x PAN



Anexo 5. Análisis de componentes principales de la cruce COL x KCA



Anexo 6. Análisis de componentes principales de la cruce SAL x COL



Anexo 7. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para altura de planta para seis cruza y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>TRATAM</b>	2229.25	11	202.66	3839.23	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	0.08	1	0.08	1.50	0.2458
<b>Error</b>	0.58	11	0.05		
<b>Total</b>	2229.91	23			

Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
<b>LINEAL</b>	-125.21	3.89	54.82	1	54.82	1038.46	<0.0001
<b>CUADRATICA</b>	- 10.54	17.81	0.02	1	0.02	0.35	0.5659
<b>CUBICA</b>	175.29	11.66	11.94	1	11.94	226.14	<0.0001
<b>CUARTICA</b>	- 2551.51	14.54	1625.92	1	1625.92	30801.99	<0.0001
<b>QUINTICA</b>	- 1164.27	20.49	170.38	1	170.38	3227.68	<0.0001
<b>Total</b>			1863.07	5	372.61	7058.93	<0.0001

Coefficientes de los contrastes

	Ct.1	Ct.2	Ct.3	Ct.4	Ct.5
<b>HUA X KCA</b>	-11.00	55.00	-33.00	33.00	-33.00
<b>SAL X HUA</b>	-9.00	25.00	3.00	-27.00	57.00
<b>PAS X KCA</b>	-7.00	1.00	21.00	-33.00	21.00
<b>SAL X PAN</b>	-5.00	-17.00	25.00	-13.00	-29.00
<b>COL X KCA</b>	-3.00	-29.00	19.00	12.00	-44.00
<b>SAL X COL</b>	-1.00	-35.00	7.00	28.00	-20.00
<b>HUA</b>	1.00	-35.00	-7.00	28.00	20.00
<b>KCA</b>	3.00	-29.00	-19.00	12.00	44.00
<b>SAL</b>	5.00	-17.00	-25.00	-13.00	29.00
<b>PAS</b>	7.00	1.00	-21.00	-33.00	-21.00
<b>PAN</b>	9.00	25.00	-3.00	-27.00	-57.00
<b>COL</b>	11.00	55.00	33.00	33.00	33.00

Anexo 8. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de tallo para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	79.97	11	7.27	3244.86	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	0.01	1	0.01	5.63	0.0370
<b>Error</b>	0.02	11	2.2E-03		
<b>Total</b>	80.01	23			

Contrastes

<b>TRATAM</b>	<b>Contraste</b>	<b>E.E.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>LINEAL</b>	7.00	0.80	0.17	1	0.17	76.58	<0.0001
<b>CUADRATICA</b>	45.55	3.67	0.35	1	0.35	154.22	<0.0001
<b>CUBICA</b>	-21.36	2.40	0.18	1	0.18	79.08	<0.0001
<b>CUARTICA</b>	-518.66	3.00	67.18	1	67.18	29986.14	<0.0001
<b>QUINTICA</b>	-134.26	4.22	2.27	1	2.27	1011.22	<0.0001
<b>Total</b>			70.14	5	14.03	6261.45	<0.0001

Anexo 9. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para longitud de panoja para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	68.65	11	6.24	128.79	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	0.18	1	0.18	3.61	0.0838
<b>Error</b>	0.53	11	0.05		
<b>Total</b>	69.36	23			

Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	-64.00	3.72	14.32	1	14.32	295.59	<0.0001
CUADRATICA	-40.04	17.06	0.27	1	0.27	5.51	0.0387
CUBICA	-33.18	11.17	0.43	1	0.43	8.82	0.0127
CUARTICA	-420.96	13.93	44.26	1	44.26	913.28	<0.0001
QUINTICA	-126.15	19.64	2.00	1	2.00	41.27	<0.0001
<b>Total</b>			61.28	5	12.26	252.90	<0.0001

Anexo 10. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de panoja para seis cruza y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
TRATAM	38.56	11	3.51	1242.45	<0.0001
BLOQUES	2.7E-04	1	2.7E-04	0.09	0.7642
Error	0.03	11	2.8E-03		
<b>Total</b>	38.59	23			

Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	4.79	0.90	0.08	1	0.08	28.44	0.0002
CUADRATICA	61.28	4.12	0.63	1	0.63	221.62	<0.0001
CUBICA	31.55	2.69	0.39	1	0.39	137.07	<0.0001
CUARTICA	-347.25	3.36	30.11	1	30.11	10674.37	<0.0001
QUINTICA	-162.09	4.74	3.30	1	3.30	1170.46	<0.0001
<b>Total</b>			34.51	5	6.90	2446.39	<0.0001

Anexo 11. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para días de floración para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	641.31	11	58.30	148.33	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	0.61	1	0.61	1.56	0.2371
<b>Error</b>	4.32	11	0.39		
<b>Total</b>	646.25	23			

Contrastes

<b>TRATAM</b>	<b>Contraste</b>	<b>E.E.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>LINEAL</b>	123.01	10.60	52.91	1	52.91	134.61	<0.0001
<b>CUADRATICA</b>	150.89	48.59	3.79	1	3.79	9.64	0.0100
<b>CUBICA</b>	-114.07	31.81	5.06	1	5.06	12.86	0.0043
<b>CUARTICA</b>	-1450.32	39.67	525.33	1	525.33	1336.57	<0.0001
<b>QUINTICA</b>	-249.34	55.92	7.81	1	7.81	19.88	0.0010
<b>Total</b>			594.90	5	118.98	302.71	<0.0001

Anexo 12. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para días de madurez fisiológica para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	1135.65	11	103.24	844.76	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	1.3E-03	1	1.3E-03	0.01	0.9182
<b>Error</b>	1.34	11	0.12		
<b>Total</b>	1137.00	23			

## Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	205.96	5.91	148.32	1	148.32	1213.61	<0.0001
CUADRÁTICA	152.05	27.09	3.85	1	3.85	31.50	0.0002
CÚBICA	-152.13	17.74	8.99	1	8.99	73.57	<0.0001
CUARTICA	-1895.51	22.12	897.34	1	897.34	7342.41	<0.0001
QUINTICA	-228.27	31.18	6.55	1	6.55	53.59	<0.0001
<b>Total</b>			1065.05	5	213.01	1742.94	<0.0001

Anexo 13. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para rendimiento por planta para seis cruza y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
TRATAM	140.68	11	12.79	511.47	<0.0001
BLOQUES	0.10	1	0.10	4.00	0.0707
Error	0.28	11	0.03		
<b>Total</b>	141.05	23			

## Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	-138.95	2.67	67.50	1	67.50	2699.65	<0.0001
CUADRÁTICA	246.97	12.25	10.16	1	10.16	406.14	<0.0001
CÚBICA	-197.85	8.02	15.21	1	15.21	608.18	<0.0001
CUARTICA	-276.25	10.01	19.06	1	19.06	762.22	<0.0001
QUINTICA	34.81	14.10	0.15	1	0.15	6.09	0.0313
<b>Total</b>			112.08	5	22.42	896.46	<0.0001

Anexo 14. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para rendimiento por hectárea para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	12663406.90	11	1151218.81	505.59	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	9253.58	1	9253.58	4.06	0.0689
<b>Error</b>	25046.79	11	2276.98		
<b>Total</b>	12697707.27	23			

Contrastes

<b>TRATAM</b>	<b>Contraste</b>	<b>E.E.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>LINEAL</b>	-41702.79	806.98	6080848.58	1	6080848.58	2670.58	<0.0001
<b>CUADRÁTICA</b>	74170.36	3698.05	915957.76	1	915957.76	402.27	<0.0001
<b>CUBICA</b>	-59315.74	2420.94	1366883.07	1	1366883.07	600.31	<0.0001
<b>CUARTICA</b>	-82817.73	3019.44	1712980.91	1	1712980.91	752.30	<0.0001
<b>QUINTICA</b>	10523.23	4256.25	13918.84	1	13918.84	6.11	0.0310
<b>Total</b>			10090589.15	5	2018117.83	886.31	<0.0001

Anexo 15. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para peso hectolitrico para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	2251.21	11	204.66	506.29	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	1.64	1	1.64	4.05	0.0692
<b>Error</b>	4.45	11	0.40		
<b>Total</b>	2257.29	23			

## Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	-556.05	10.75	1081.07	1	1081.07	2674.40	<0.0001
CUADRÁTICA	988.95	49.27	162.84	1	162.84	402.84	<0.0001
CUBICA	-790.70	32.26	242.89	1	242.89	600.87	<0.0001
CUARTICA	-1104.00	40.23	304.40	1	304.40	753.04	<0.0001
QUINTICA	140.67	56.71	2.49	1	2.49	6.15	0.0305
<b>Total</b>			1793.69	5	358.74	887.46	<0.0001

Anexo 16. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para peso de 1000 granos para seis cruza y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
TRATAM	4.43	11	0.40	15.02	<0.0001
BLOQUES	0.04	1	0.04	1.35	0.2706
Error	0.29	11	0.03		
<b>Total</b>	4.76	23			

## Contrastes

TRATAM	Contraste	E.E.	SC	gl	CM	F	p-valor
LINEAL	9.23	2.77	0.30	1	0.30	11.11	0.0067
CUADRÁTICA	-11.88	12.68	0.02	1	0.02	0.88	0.3692
CUBICA	14.22	8.30	0.08	1	0.08	2.93	0.1149
CUARTICA	31.48	10.36	0.25	1	0.25	9.24	0.0112
QUINTICA	11.38	14.60	0.02	1	0.02	0.61	0.4521
<b>Total</b>			0.66	5	0.13	4.95	0.0128

Anexo 17. Análisis de varianza con contrastes ortogonales para diámetro de grano para seis cruzas y seis genitores en quinua evaluada en diseño de bloques completamente al azar con 2 repeticiones

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>Gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>TRATAM</b>	0.53	11	0.05	25.05	<0.0001
<b>BLOQUES</b>	6.7E-05	1	6.7E-05	0.03	0.8553
<b>Error</b>	0.02	11	1.9E-03		
<b>Total</b>	0.55	23			

#### Contrastes

<b>TRATAM</b>	<b>Contraste</b>	<b>E.E.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>LINEAL</b>	3.55	0.74	0.04	1	0.04	23.04	0.0006
<b>CUADRÁTICA</b>	-4.33	3.39	3.1E-03	1	3.1E-03	1.63	0.2277
<b>CUBICA</b>	8.39	2.22	0.03	1	0.03	14.30	0.0030
<b>CUARTICA</b>	5.23	2.77	0.01	1	0.01	3.58	0.0851
<b>QUINTICA</b>	6.10	3.90	4.7E-03	1	4.7E-03	2.44	0.1464
<b>Total</b>			0.09	5	0.02	9.00	0.0013

Anexo 18. Datos de la estación meteorológica rincón de la cruz Acora

SERVICIO NACIONAL DE METEOROLOGIA E HIDROLOGIA SENAMHI DEL PERU												
"SENAMHI ORGANO OFICIAL Y RECTOR DEL SISTEMA HIDROMETEOROLOGICO NACIONAL AL SERVICIO DEL DESARROLLO SOCIO ECONOMICO DEL PAIS"												
ESTACION:	CO. 11082/CO. 115052		LATITUD	15°59'26.1"		DEPARTAMENTO	PUNO					
			LONGITUD	69°48'39"		PROVINCIA	PUNO					
RINCON DE LA CRUZ - ACORA			ALTITUD	3935 M.S.N.M		DISTRITO	ACORA					
PARAMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MAXIMA EN °C.												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	14.5	15.3	14.6	13.9	14.2	14.7	14.6	15.0	16.1	16.4	17.4	17.2
2016	17.3	16.1	17.0	15.7	15.4	15.1	14.9	15.6	16.5	16.3	17.3	17.2
PARAMETRO : TEMPERATURA MAXIMA ABSOLUTA EN °C.												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	17.2	17.2	16.8	16.4	16.0	16.4	17.4	17.2	18.8	20.2	20.6	19.0
2016	20.4	18.4	19.8	18.2	18.4	17.4	17.4	19.0	20.8	18.6	19.0	18.8
PARAMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MINIMA EN °C												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	4.8	4.8	5.2	4.4	1.4	0.0	-1.5	0.3	2.5	3.1	4.3	5.0
2016	5.8	6.4	5.0	3.5	0.1	-1.1	-0.7	-0.4	1.3	3.7	3.3	5.1
PARAMETRO : TEMPERATURA MINIMA ABSOLUTA EN °C												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	1.6	0.4	1.6	2.4	-1.2	-3.0	-7.4	-7.0	-2.0	-1.6	0.2	0.6
2016	3.4	4.6	0.0	-1.8	-5.4	-5.6	-3.8	-6.2	-2.2	0.8	-1.2	1.6
PARAMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE TEMPERATURA MEDIA EN °C												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	9.7	10.1	9.9	9.1	7.8	7.4	6.5	7.6	9.3	9.7	10.9	11.1
2016	11.5	9.7	11.0	9.6	7.8	7.1	7.1	7.6	8.9	10.0	10.3	11.1
PARAMETRO : PROMEDIO MENSUAL DE HUMEDAD RELATIVA EN %												
AÑOS	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
2015	71	72	74	73	56	50	50	51	49	50	49	56
2016	72	70	68	66	50	49	53	56	62	61	51	59

**PARAMETRO : PRECIPITACION DIARIA EN MM.**

DIA	2015											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.0	0.0	10.0	6.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
2	29.5	0.0	7.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	23.0	1.1	2.0
3	1.6	0.0	5.5	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	4.6	1.7	0.0	0.0
4	3.2	0.0	14.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0
5	2.2	14.5	23.3	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	0.0	0.0
6	9.0	9.7	39.0	3.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
7	0.0	21.2	2.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
8	0.6	3.8	12.4	5.6	0.0	0.0	0.0	Tz	0.0	0.0	0.0	0.6
9	0.0	30.5	0.5	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.5
10	13.3	0.0	Tz	9.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.7
11	1.0	29.8	5.9	5.4	3.5	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0	6.2	0.0
12	8.2	6.8	4.0	0.8	0.0	0.0	0.0	3.5	0.0	0.0	9.8	0.0
13	0.0	0.0	Tz	6.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0	3.3	0.0
14	0.0	5.6	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0
15	0.0	11.4	0.0	4.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	Tz	4.5	0.0
16	0.0	0.0	5.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.4	0.0	0.0	3.8
17	0.0	2.0	4.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Tz	0.0	0.0	0.0
18	2.2	0.0	3.8	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
19	9.0	0.0	4.5	1.4	1.0	0.0	0.0	0.0	3.0	1.4	0.0	1.2
20	6.2	5.0	15.5	8.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	9.0	0.0	0.0
21	7.8	3.5	6.2	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0	2.5
22	12.5	4.2	2.6	43.5	0.0	0.0	0.0	0.0	Tz	10.6	0.0	0.0
23	13.0	20.5	0.0	18.8	0.0	0.0	0.0	Tz	Tz	0.6	0.0	4.0
24	0.0	1.8	0.0	7.2	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	10.5	0.0	4.4
25	27.0	0.0	8.8	0.0	0.5	0.0	0.0	0.0	0T	5.8	7.1	19.0
26	4.6	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	4.5
27	0.0	3.2	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	1.4	2.4
28	0.0	6.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.5	0.0	0.0
29	8.8		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	Tz	0.0	0.0
30	0.8		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	14.0	0.0	0.0
31	0.8		2.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
TOT	161.3	180.0	196.0	133.3	5.0	0.0	2.8	4.7	29.5	83.2	51.3	46.6

**PARAMETRO : PRECIPITACION DIARIA EN MM.**

DIA	2016											
	ENE.	FEB.	MAR.	ABRL.	MAY.	JUN.	JUL.	AGOT.	SET.	OCT.	NOV.	DIC.
1	0.0	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7	0.0	0.0	5.3	0.0	1.5
2	0.0	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	0.0	0.0
3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8
4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.6
5	4.6	7.3	0.0	3.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8
6	1.0	17.0	0.0	0.5	0.0	0.0	1.0	0.0	0.0	0.0	0.0	10.6
7	1.2	0.0	0.0	10.8	0.0	0.0	5.7	0.0	0.0	0.0	1.0	4.4
8	1.0	0.7	0.0	12.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	3.0	13.0	18.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	0.0
10	18.7	10.6	7.0	9.0	0.0	0.0	0.0	2.4	0.0	3.8	4.8	0.0
11	0.0	4.3	0.0	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
12	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3
13	0.0	0.0	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.0
14	0.0	0.0	0.0	0.0	5.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6
15	4.2	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0
16	5.8	3.5	0.0	24.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.2	0.0	0.8
17	13.6	2.4	0.0	6.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.7
18	6.0	7.1	0.0	1.7	0.0	0.0	0.2	0.0	4.5	0.0	0.0	0.0
19	0.0	5.6	0.0	17.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.5	5.8	0.0	0.0
20	0.0	2.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.3	5.0	0.0	2.6
21	0.0	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.0	0.0
22	0.0	27.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.4	0.0	0.0	0.0
23	0.0	12.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.8	1.3	0.0	0.0	0.0
24	0.0	6.9	0.0	0.0	Tz	0.0	0.0	0.0	1.1	0.0	0.0	0.0
25	0.0	3.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.6	0.0
26	0.0	2.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	16.7	13.6
27	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.7	0.0	14.0	0.0	0.9
28	1.5	1.7	0.0	0.0	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.2	1.1
29	0.0	2.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	16.0	2.5
30	0.5		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	0.0	0.0
31	13.4		0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.7
TOT	74.5	169.6	26.8	90.0	7.2	2.8	9.6	5.9	16.1	41.7	40.3	64.5

RCC.

INFORMACION PROCESADA PARA : SILVIA FLORES SUAÑA (TESISTA)

Puno, 04 de Julio del 2017

Anexo 19 resultados del análisis físico químico solicitados por el encargado del proyecto mejoramiento genético de quinua del CIP- Camacani

	<b>PERÚ</b>	<b>Ministerio de Agricultura</b>	<b>Instituto Nacional de Innovación Agraria</b>	<b>EEA Santa Rita Arequipa</b>			
<b>LABORATORIO DE ANALISIS DE SUELOS , AGUAS Y SEMILLAS</b> <b>ESTACION EXPERIMENTAL - AREQUIPA INIA</b>							
NOMBRE O RAZON SOCIAL DEL SOLICITANTE		JOSE DAVID APAZA CALCINA-UNA					
PROCEDENCIA		CAMACANI-PUNO					
MUESTRA		SUELO					
CODIGO DE LABORATORIO	FECHA DE INGRESO	PROCEDENCIA DE LA MUESTRA	LOTE	TIPO DE ANALISIS	Nº DE INFORME		
<b>7437</b>	<b>02/01/2017</b>	CAMACANI	1	CARACTERIZACION	<b>7415</b>		
<b>ANALISIS FISICO</b>							
ARENA (%)	LIMO (%)	ARCILLA(%)	TEXTURA	POROSIDAD (%)	CAPACIDAD DE CAMPO(%)	AGUA DISPONIBLE (%)	PUNTO MARCHITEZ PERMANENTE (%)
<b>55.6</b>	<b>20.8</b>	<b>23.6</b>	FRANCO ARCILLO ARENOSO	<b>45.0</b>	<b>19.8</b>	<b>11.9</b>	<b>7.9</b>
<b>ANALISIS QUIMICO</b>							
ELEMENTO	UNIDAD	VALOR	DEFICIENTE	BAJO	NORMAL	ALTO	EXCESIVO
Materia Organica	%	<b>3.38</b>	[Bar chart showing 3.38% in the 'Normal' range]				
Nitrogeno : C/N	%	<b>0.17</b>	[Bar chart showing 0.17% in the 'Normal' range]				
Fosforo : P	ppm	<b>48.90</b>	[Bar chart showing 48.90 ppm in the 'Normal' range]				
Potasio : K		<b>300.00</b>	[Bar chart showing 300.00 ppm in the 'Normal' range]				
CO3Ca	%	<b>0.00</b>	[Bar chart showing 0.00% in the 'Normal' range]				
			NO SALINO	DEBILMENTE SALINO	MODERAD SALINO	SALINO	MUY SALINO
C. E	dS/m extr. 1:2.5	<b>0.46</b>	[Bar chart showing 0.46 dS/m in the 'Normal' range]				
			ACIDO	MODERAD ACIDO	NEUTRO	MODERAD ALCALINO	ALCALINO
pH	EXTR. 1:2.5	<b>6.86</b>	[Bar chart showing 6.86 pH in the 'Normal' range]				
BORO	mg/Kg		[Bar chart showing 0 mg/Kg in the 'Normal' range]				
<b>CAPACIDAD DE INTERCAMBIO CATIONICO (meq/100gr de suelo)</b>							
Calcio(Ca)	Magnesio(Mg)	Sodio(Na)	Potasio(k)	CIC	suma de bases	PSI	Interpretacion CIC
<b>20.000</b>	<b>2.000</b>	<b>0.087</b>	<b>0.590</b>	<b>22.677</b>	<b>22.677</b>	<b>0.384</b>	<b>Medio</b>
<b>ANALISIS FISICO : INTERPRETACION</b>							
CULTIVO	TIPO DE SUELO REQUERIDO	INTERPRETACION					
		Suelo de textura ligeramente media, adecuado para instalacion de mayoría de cultivos previa adición de materia orgánica de acuerdo al cultivo a instalar.					
<b>ANALISIS QUIMICO : INTERPRETACIONES</b>							
CULTIVO	VALORES OPTIMOS	INTERPRETACION					
		Es un suelo con reaccion ligeramente neutro en pH, no salino en conductividad electrica, normal en contenido de materia orgánica y nitrogeno, alto en concentracion de fosforo y ligeramente alto en potasio respectivamente; Para efectuar la recomendacion de nutrientes, adicionar materia organica y fertilizantes en base de calcio de acuerdo a los resultados de analisis; con referencia a capacidad de intercambio cationico CIC, la interpretacion es Medio.					
MINISTERIO DE AGRICULTURA INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA  ENC. LABORATORIO DE AGUAS Y SUELOS EE. AREQUIPA - INIA				INSTITUTO NACIONAL DE INNOVACION AGRARIA  ING. JAVIER JAIME RAMOS TELLO DIRECTOR EEA SANTA RITA - AREQUIPA			

Imagen 1. Preparación del terreno para la instalación del experimento de cruza simples genéticamente distantes y cercanas S5



Imagen 2. Surcado del terreno



Imagen 3. Sobres con 5 gramos de semilla de las progenies y progenitores S5 de cruza simples genéticamente distantes y cercanas



Imagen 4. Siembra a chorro continuo de las 196 líneas de cada cruza



Imagen 5. Siembra de las progenies y progenitores de las 6 cruzas



Imagen 6. Tapado de las semillas de quinua a no más de 2cm de profundidad



Imagen 7. Desmalezado de la parcela experimental de quinua

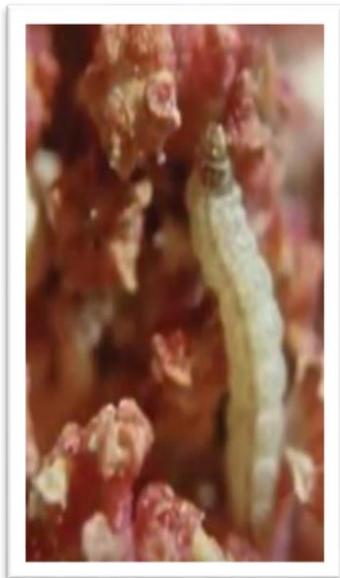
Imagen 8. Evaluación de las plagas *Eurysacca quinoae* Povolny y pulgón verde (*Myzus persicae*)

Imagen 9. Cosecha de las 10 plantas de cada línea



Imagen 10. Sobres con las cosechas de las líneas de cruza simples cercanas y distantes genéticamente



Imagen 11. Emergencia de las cruzas



Imagen 12. Inicio de floración y etiquetado de plantas



Imagen 13. Eliminación de las plantas débiles y atípicas. .



Imagen 14. Madurez de cosecha



Imagen 15. Midiendo la altura de planta



Imagen 16. Evaluación de la longitud de panoja



Imagen 17. Pesado de los granos de quinua de cada línea evaluada



Imagen 18. Calculo del peso hectolitrito con la balanza Shopper



Imagen 19. Midiendo el diámetro de grano con la regla vernier

