

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**



TESIS DE GRADO

**EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE 15 GENOTIPOS DE CAÑAHUA
(*Chenopodium pallidicaule* A.) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL
DE KALLUTACA.**

Por:

Yhovana Valeria Ramirez Callisaya

EL ALTO – BOLIVIA

Octubre, 2024

**UNIVERSIDAD PÚBLICA DE EL ALTO
ÁREA DE CIENCIAS AGRÍCOLAS, PECUARIAS
Y RECURSOS NATURALES
CARRERA DE INGENIERÍA AGRONÓMICA**

EVALUACIÓN AGRONÓMICA DE 15 GENOTIPOS DE CAÑAHUA (*Chenopodium pallidicaule* A.) EN EL CENTRO EXPERIMENTAL DE KALLUTACA

*Tesis de Grado presentado
como requisito para optar el Título de
Ingeniera Agrónoma*

Yhovana Valeria Ramirez Callisaya

Asesores:

M.Sc. Lic. Ing. Ramiro Raul Ochoa Torrez

Lic. Ing. Nancy Huanca Alanoca

Tribunal Revisor:

Lic. Ing. Soledad Chavez Vino

Lic. Ing. Tambo Herrera Rene Rolando

Lic. Ing. Walter Fernandez Molina

Aprobada

Presidente Tribunal Examinador



DEDICATORIA:

A Dios por mostrarme siempre su amor infinito en los buenos y malos momentos y darme la fortaleza para vencer las dificultades en el camino.

A mis padres Juan Ramirez Chipana y Basilia Callisaya Fernandez por todo su amor y apoyo incondicional.

A mis hermanas Sandra Lizeth Irene Maira por su apoyo y consejos.

A mis hijos Daniela, Shanti y Benjamin por ser mi fortaleza en todo momento y a mi esposo Franco Deyvis por todo su apoyo y su comprensión.

AGRADECIMIENTOS

A Dios por guiar mi camino y brindarme la oportunidad de lograr una carrera profesional que me apasiona.

A la Universidad Pública de El Alto, Facultad de Ciencias Agrícolas y Pecuarias, a la Carrera de Ingeniería Agronómica, por la formación profesional que imparte por docentes, auxiliares y administrativos.

Al instituto de investigación INEAP de la carrera por confiar en mi para llevar a cabo este trabajo de investigación.

Al Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal (INIAP), por abrirme las puertas y brindarme todo el apoyo necesario para esta investigación.

Mi más profunda gratitud al M.Sc. Ramiro Raul Ochoa Torrez y a la Ing. Nancy Huanca Alanoca, por la orientación, asesoramiento, comprensión y apoyo incondicional para la realización del presente trabajo en campo, en el análisis e interpretación de datos.

Mis sinceros agradecimientos al tribunal revisor Ing. Soledad Chavez Vino, Ing. Tambo Herrera Rene Rolando y Ing. Walter Fernandez Molina, por su orientación, correcciones y sugerencias para la redacción de este trabajo de investigación.

Agradecimientos a todos mis amigos y compañeros con los cuales compartimos momentos de alegrías tristezas, apoyo, orientación y sobre todo los hermosos recuerdos y oportunidades de aprendizaje que se presentaron la en la carrera de Agronomía.

CONTENIDO

ÍNDICE DE TEMAS	i
ÍNDICE DE CUADROS	v
ÍNDICE DE FIGURAS	vi
ÍNDICE DE ANEXOS	viii
ABREVIATURAS	x
RESUMEN	xii
ABSTRACT	xiv

ÍNDICE DE TEMAS

1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Antecedentes.....	2
1.2. Planteamiento del problema	4
1.3. Justificación	5
1.4. Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2. Objetivos específicos	5
1.5. Hipótesis.....	6
1.5.1. Hipótesis nula (Ho).....	6
1.5.2. Hipótesis alterna (Ha).....	6
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA	7
2.1. Origen del cultivo de cañahua.....	7
2.2. Evaluación Agronómica	7
2.3. Genotipo y Fenotipo.....	9
2.4. Caracterización.....	10
2.5. Descriptores.....	11

2.5.1.	Estados del descriptor.....	11
2.6.	Morfología del cultivo de cañahua.....	12
2.7.	Clasificación taxonómica del cultivo de cañahua	13
2.8.	Fenología del cultivo de cañahua.....	14
2.9.	Superficie de cultivo y producción de la cañahua.....	15
2.10.	Calidad de los Granos	16
2.11.	Análisis de componentes principales (ACP).....	16
2.12.	Análisis BIPLLOT.....	20
2.13.	Distribución de Frecuencias.....	21
2.14.	Análisis de Clúster	23
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	25
3.1.	Localización.....	25
3.1.1.	Ubicación Geográfica.....	25
3.1.2.	Características Edafoclimáticas	26
3.1.3.	Clima.....	26
3.1.6.	Material de estudio.....	27
3.1.6.1.	Material genético.....	27
3.1.7.	Material de escritorio.....	28
3.1.8.	Material de campo y laboratorio	28
3.1.8.1.	Laboratorio.....	28
3.1.8.2.	De campo.....	28
3.2.	Metodología.....	28
3.2.1.	Desarrollo del ensayo.....	28
3.2.1.1.	Preparación del suelo.....	28
3.2.1.2.	Delimitación de la parcela y distribución de las accesiones.....	29
3.2.1.3.	Preparación de las semillas.....	29

3.2.1.4.	Siembra.....	30
3.2.2.	Fase de seguimiento del experimento.....	31
3.2.2.1.	Labores culturales.....	31
3.2.2.2.	Cosecha.....	31
3.2.2.3.	Secado y trilla.....	32
3.2.3.	Factores de estudio o tratamientos en estudio.....	33
3.2.3.1.	Formulación de tratamientos.....	33
3.2.4.	Variables de respuesta.....	34
3.2.4.1.	Variables agronómicas.....	34
3.2.4.2.	Variables morfológicas.....	37
a)	Número de ramificaciones en el tetra ramial (NRTR).....	37
3.2.4.3.	Variables fenológicas.....	37
a)	Hábito de crecimiento (HC).....	37
b)	Días a la floración (DF).-.....	38
c)	Grado de dehiscencia (GD).-.....	38
3.2.5.	Análisis estadístico.....	39
3.2.5.1.	Modelo Lineal Aditivo.....	39
3.2.5.2.	Análisis de Varianza (ANOVA).....	39
3.2.5.3.	Comparación de Medias de Duncan.....	39
3.2.5.4.	Matriz de regresión múltiple.....	39
3.2.5.5.	Matriz de dispersión y correlación.....	40
3.2.5.6.	Análisis de componentes principales (ACP).....	40
3.2.5.7.	BILOT.....	40
3.2.5.8.	Distribución de Frecuencias.....	41
3.2.5.9.	Análisis de Clúster.....	41
4.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	42

4.1.	Estadísticos descriptivos de todas las variables.....	42
4.1.1.	Análisis de varianza	42
4.1.2.	Altura de planta	43
4.1.3.	Diámetro de tallo (DTM)	44
4.1.4.	Peso de 1000 granos (GPE)	45
4.1.5.	Rendimiento de grano por planta (RGR)	46
4.1.6.	Rendimiento de la broza (RB)	47
4.1.7.	Grado de dehiscencia (GD).....	47
4.2.	Variables morfológicas.....	49
4.2.1.	Numero de ramas primarias (RNRP).....	49
4.3.	Variables fenológicas.....	49
4.3.1.	Hábito de crecimiento (HC).	49
4.4.	Análisis de regresión lineal	50
4.5.	Coeficiente de correlación de Pearson.....	51
4.6.	Análisis de componentes principales (ACP).....	52
4.7.	Análisis BILOT	54
4.8.	Análisis de datos clúster	55
5.	CONCLUSIONES.....	57
6.	RECOMENDACIONES.....	58
7.	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	59
8.	ANEXOS	63

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1. Descripción botánica de la cañahua.....	12
Cuadro 2. Producción y rendimiento de cañahua y otros granos, en el año agrícola 2007-2008.....	15
Cuadro 3. Genotipos de cañahua	27
Cuadro 4. Distribución de tratamientos de cañahua	33
Cuadro 5. Análisis de varianza para variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	42
Cuadro 6. Grado de dehiscencia (frecuencias), evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	47
Cuadro 7. Habito de crecimiento de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	49
Cuadro 8. Análisis de regresión lineal para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	50
Cuadro 9. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	50
Cuadro 10. Análisis de varianza para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	50
Cuadro 11. Matriz de correlación de Pearson para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	51
Cuadro 12. Valores propios y contribuciones porcentuales de los componentes principales a la varianza total de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	52
Cuadro 13. Análisis de componentes principales para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Ubicación del trabajo de investigación	25
Figura 2.	Clima diagrama representando las condiciones climáticas en la estación experimental de kallutaca en cuanto a temperatura y precipitación que se presentaron durante todo el proceso del desarrollo del cultivo de cañahua en la campaña agrícola 2021-2022.....	26
Figura 3.	a) Roturación de suelo; b) Surcado con tractor agrícola.....	29
Figura 4.	a) croquis de la parcela; b) Delimitación de la parcela	29
Figura 5.	a) Pesado de semillas de cañahua; b) Embolsado de semillas para cada tratamiento.....	30
Figura 6.	Siembra de semillas de cañahua	30
Figura 7.	a) Colocado de letreros para la identificación de los genotipos; b) Deshierbe; c) Aporque y abertura de canales	31
Figura 8.	a) Trillado, b) medida de la altura de planta; c) conteo de numero de ramas; d) medida del diámetro de tallo; e) Embolsado para su traslado para secado.....	32
Figura 9.	Secado para posterior cosecha.....	33
a)	Altura de Planta (AP).	34
Figura 10.	Registro de la altura de planta.....	34
Figura 11.	Registro de la altura de planta.....	35
Figura 12.	Registro del peso de 1000 granos.....	35
Figura 13.	Registro del rendimiento de grano de cañahua	36
Figura 14.	Registro del rendimiento de broza.....	36
Figura 15.	Registro del número de ramas	37
Figura 16.	Registro del habito de crecimiento del cultivo de cañahua	37
Figura 17.	Registro de días a la floración	38
Figura 18.	Registro de grado de dehiscencia	38
Figura 19.	Altura de planta de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	43

Figura 20.	Peso de 1000 granos de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.....	45
Figura 21.	Grado de dehiscencia para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.	48
Según la Figura (12) podemos observar que los genotipos con un grado de dehiscencia regular esta conformado por el 57.8 % de las plantas de cañahua seguido del grado de dehiscencia persistente con el 26.7 % y por ultimo el grado de dehiscencia ligera con el 15.6 % de la cantidad de 15 genotipos de cañahua.		
Figura 22.	BI PLOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.....	54
Figura 23.	Dendograma para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.....	55

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Autovalores BILOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	63
Anexo 2. Autovectores BILOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	63
Anexo 3. Análisis de conglomerados clúster para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	63
Anexo 4. Análisis de varianza Cluster (altura de planta) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	64
Anexo 5. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	64
Anexo 6. Análisis de varianza de Clúster (diámetro de tallo) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	64
Anexo 7. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	64
Anexo 8. Análisis de varianza de Clúster (peso de 1000 granos) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	65
Anexo 9. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	65

Anexo 10.	Análisis de varianza de Clúster (rendimiento de grano) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	65
Anexo 11.	Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	65
Anexo 12.	Análisis de varianza de Clúster (rendimiento de broza) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	66
Anexo 13.	Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	66
Anexo 14.	Análisis de varianza de Clúster (número de ramas primarias) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	66
Anexo 15.	Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	66
Anexo 16.	Croquis experimental para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.	67
Anexo 17.	Fotos.....	68

ABREVIATURAS

m	Metros
cm	Centímetro
kg	Kilogramos
g	Gramos
m ²	Metros cuadrados
mm	Milímetro
km	Kilómetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
ha	Hectárea
INE	Instituto Nacional de Estadística
INIAF	Instituto Nacional de Innovación Agropecuaria y Forestal
SEMANHI	Institución técnico científica descentralizada del Ministerio de Medio Ambiente y Agua
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación
PROINPA	Fundación para la Promoción e Investigación de Productos Andinos.
INEAP	Instituto de investigación, extensión agrícola y posgrado
UPEA	Universidad Pública de El Alto
ACP	Análisis de Componentes Principales
ANAVA	Análisis de varianza

°C	Grados centígrados
IBTA	Instituto Boliviano de Tecnología Agropecuaria
t	Tonelada
DAPRO	Dirección de Análisis Productivo
Info Stat	Software para análisis estadístico

RESUMEN

El trabajo de investigación consistió en evaluar 15 genotipos de cañahua en el Centro Experimental de Kallutaca durante la campaña agrícola 2021-2022 de la Universidad Pública de El Alto, ubicada en la provincia Los Andes, en la localidad de Laja, a una altitud de 3,860 metros sobre el nivel del mar. El Centro Experimental de Kallutaca se encuentra geográficamente situado a 16°31'26,32" de latitud sur, 68°19'49,39" de longitud oeste.

La finalidad de la investigación fue encontrar el genotipo que tenga buenas características agronómicas en el cultivo de cañahua, por lo que se procedió a una descripción agronómica de cada uno de estos, para luego categorizar genotipos que se destaquen en términos de productividad. La siembra se realizó el 9 de octubre del 2021 con la supervisión del INIAF y el Instituto de Investigación de la carrera Ingeniería Agronómica, se efectuó la siembra bajo un diseño de bloques completos al azar que constaba de tres bloques, la cosecha se realizó el 22 y 29 de abril de la gestión 2022 con la supervisión de la responsable del banco de germoplasma INIAF y los responsables del INEAP.

Acorde a la evaluación agronómica a los que fueron sometidos 15 genotipos de cañahua los cuales obtuvieron los siguientes resultados:

Según el análisis de varianza a los que se sometieron 15 genotipos de cañahua las variables altura de planta y peso de 1000 granos obtuvieron un resultado significativo sin embargo el coeficiente de varianza para rendimiento de grano obtuvo un resultado de 63.7 el cual indica que existe mucha variación entre genotipos, para lo cual se continuó analizando este resultado con otros análisis y así observar a detalle esta variación entre los genotipos de cañahua.

El análisis de regresión múltiple indica que existe una estrecha relación con altura de planta (AAP), diámetro de tallo (DTM), peso de 1000 gramos (GPE) y con el rendimiento de broza (RBR), de esta manera se puede indicar que a mayor altura de planta y mayor cantidad de broza el rendimiento incrementara y que a menor diámetro de tallo y menor la cantidad del peso de 1000 grano menor será la cantidad de grano, menor será el rendimiento de grano.

El análisis de la matriz de correlación de Pearson indicó que según los caracteres morfológicos de la planta de cañahua, se expresa que a mayor altura de planta, mayor

será el diámetro de tallo, mayor número de ramas, mayor cantidad de broza y presentara mayor rendimiento de grano.

En el primer componente se identificó que los genotipos de cañahua son plantas altas, con diámetros de tallo medio, un peso se 1000 granos bajo, un rendimiento de broza bajo, con un buen rendimiento de granos y pocas ramas.

El segundo componente identifica a genotipos de cañahua con una altura muy baja, un diámetro de tallo delgado, con peso de 1000 granos bajo, con mucha broza, con rendimientos de grano muy bajos y con pocas ramas.

Para el análisis de conglomerados se identificaron la formación de 3 grupos el primer grupo se conformó por el testigo, el cual presento una altura de planta media, un diámetro de tallo delgado, un peso de 1000 granos alto, con mucha broza, un rendimiento de granos muy bajo, con pocas ramas, con una dehiscencia de grano regular.

El siguiente grupo de genotipos fue conformado por (3733, 3748, 3479, 3469, 3932, 3840, 3756, 3659, 3472, 3842 y 3296) los cuales presentaron las siguientes características agronómicas en promedio: una altura de planta media, un diámetro de tallo delgado, un peso de mil granos medio, con menos broza, un rendimiento de granos de 8.87 g por planta, con 8 ramas primarias y presenta una dehiscencia persistente en su mayoría.

Y por último tenemos a los genotipos que mostraron mejores condiciones en comparación al testigo, este grupo se conformó por 3 genotipos, los cuales presentaron las siguientes características agronómicas: una altura de planta alta, con un diámetro de tallo delgado, con un peso de mil granos de 0.51 g, con mucha broza, un rendimiento de grano de 20 g por planta, con un promedio de 8 ramas primarias por planta y una dehiscencia granos regular para los genotipos 17448 y 3949 y el genotipo 17449 presenta una dehiscencia ligera.

ABSTRACT

The research work consisted of evaluating 15 Cañahua genotypes at the Kallutaca Experimental Center during the 2021-2022 agricultural campaign of the Public University of El Alto, located in the Los Andes province, in the town of Laja, at an altitude of 3,860 meters above sea level. The Kallutaca Experimental Center is geographically located at 16°31'26.32" south latitude, 68°19'49.39" west longitude. west longitude.

The purpose of the research was to find the genotype that has good agronomic characteristics in the Cañahua crop, so an agronomic description of each of these was carried out, to then categorize genotypes that stand out in terms of productivity. The planting was carried out on October 9, 2021 with the supervision of the INIAF and the Research Institute of the Agronomic Engineering career, the planting was carried out under a complete randomized block design that consisted of three blocks, the harvest was carried out on the 22nd. and April 29 of the 2022 management with the supervision of the person responsible for the INIAF genebank and those responsible for the INEAP.

According to the agronomic evaluation to which 15 Cañahua genotypes were subjected, the following results were obtained:

According to the analysis of variance to which 15 Cañahua genotypes were subjected, the variables plant height and weight of 1000 grains obtained a significant result; however, the coefficient of variance for grain yield obtained a result of 63.7, which indicates that there is a lot of variation. between genotypes, for which this result continued to be analyzed with other analyzes and thus observed in detail this variation between the Cañahua genotypes.

The multiple regression analysis indicates that there is a close relationship with plant height (AAP), stem diameter (DTM), weight of 1000 grams (GPE) and with brush yield (RBR), in this way it can be indicated that The higher the plant height and the greater the amount of brush, the yield will increase and the smaller the stem diameter and the smaller the amount of 1000 grain weight, the lower the amount of grain, the lower the grain yield.

The analysis of the Pearson correlation matrix indicated that according to the morphological characters of the Cañahua plant, it is expressed that the greater the height of the plant, the greater the diameter of the stem, the greater the number of branches and the greater the amount of brush, the greater the grain yield.

The first component was identified that the Cañahua genotypes are tall plants, with medium stem diameters, with a low weight of 1000 grains, a low brush yield, with a good grain yield and few branches.

The second component identifies Cañahua genotypes with a very low height, a thin stem diameter, a low weight of 1000 grains, with a lot of brush, with very low grain yields and with few branches.

For the cluster analysis, the formation of 3 groups was identified. The first group was made up of the control, which had a medium plant height, a thin stem diameter, a high weight of 1000 grains, with a lot of brush, a yield of very low grains, with few branches, with regular grain dehiscence.

The next group of genotypes was made up of (3733,3748,3479,3469,3932,3840,3756,3659,3472,3842 and 3296) which presented the following agronomic characteristics on average: an average plant height, a diameter of thin stem, a weight of an average thousand grains, with less brush, a grain yield of 8.87 g per plant, with 8 primary branches and mostly presents a persistent dehiscence.

And finally we have the genotypes that showed better conditions compared to the control, this group was made up of 3 genotypes, which presented the following agronomic characteristics: a tall plant height, with a thin stem diameter, with a weight of one thousand grains of 0.51 g, with a lot of brush, a grain yield of 20 g per plant, with an average of 8 primary branches per plant and a regular grain dehiscence for genotypes 17448 and 3949 and genotype 17449 presents a slight dehiscence.

1. INTRODUCCIÓN

La cañahua es uno de los granos andinos más importantes en la alimentación, por su valor nutritivo, tiene su origen en los países de Perú y Bolivia, específicamente en el área circunlacustre del lago Titicaca, a una altura de 3200 a 4200 msnm. Históricamente fue cultivado por la cultura incaica y Tihuanacota, llegando a relegarse desde la colonia española hasta nuestros días. En Bolivia actualmente se cultiva en pequeñas parcelas en cercanías del lago Titicaca del departamento de La Paz, provincia Bolívar del departamento de Oruro y en la provincia Tarapacá del departamento de Cochabamba (Rojas *et al.* 2010).

Según FAO (2013) citado por Chambi (2017). La producción mundial del cultivo de cañahua en regiones productoras del Perú, llegando a rendimientos promedio de 676 kg (2004) a 773 kg/ha (2009).

En cambio la producción nacional de cañahua en las gestiones agrícolas 2014 y 2015, se cultivaron en una superficie de 1239.40 ha, la producción alcanzo 755.85 toneladas métricas y el promedio en rendimiento fue de 610 kg/ha. (INE, 2016), mencionado por (Chambi, 2017).

De acuerdo a los datos de producción desde el año 1984 al 2018 la producción en toneladas métricas se amplió de 61 a 217 t acrecentándose tan solo 156 t, (INE, 2018) citado por (DAPRO, 2020).

Una de las características de la cañahua, tiene que ver con su capacidad resiliente para lograr prosperar bajo factores climáticos muy adversos (granizo, heladas), tolerando las heladas a su vez es un cultivo precoz en su desarrollo, siendo así un cultivo promisorio en el altiplano (Mayta, 2012).

Por tal motivo se busca encontrar genotipos sobresalientes de cañahua en términos de productividad y buen un rendimiento, a su vez describir agronómicamente 15 genotipos de cañahua, los cuales presenten buenas características en términos agronómicos y sean aptas para el lugar, posterior a encontrar estos genotipos se busca mejorar los rendimientos a nivel nacional ya que nuestro vecino país tiene mayor producción de cañahua.

De esta manera se tomara en cuenta todo el procedimiento del cultivo, la siembra, la evaluación y caracterización de las semillas, y el análisis de los resultados obtenidos.

1.1. Antecedentes

Paucara (2016), en su investigación evaluó el comportamiento agronómico de 15 líneas de cañahua, de las cuales 14 eran líneas mutantes y se incluyó la variedad local lasta rosada como testigo, los resultados que obtuvo en su investigación fue la precocidad de las líneas mutantes, siendo así que la línea más precoz llegó a la madurez fisiológica a los 119 días (4 meses) y la más tardía fue el testigo (lasta Rosada) con 138 días (5 meses aproximadamente). La altura de planta de las líneas mutantes van de 26.4 a 32.7 cm y del testigo con 48.7 cm. Las líneas de cañahua mutante tienen de 9 a 11 ramas y el testigo 13 ramas. Los rendimientos más altos alcanzado por las líneas mutantes fueron 1487.5 y 1109.0 kg/ha y la variedad testigo (lasta rosada) 1649.0 kg/ha. Con respecto a la pérdida por desgrane, fue menor en las líneas mutantes variando de 218.54 a 110.80 kg/ha y en el testigo 813.16 kg/ha. El poder germinativo está por encima del 97 %, teniendo mejores resultados con las semillas sin perigonio. La pérdida de grano por efecto del granizo en las líneas mutantes fue de 3.2% y en la Lasta Rosada 13.0 %. Finalmente, el daño causado por heladas (área de follaje afectado) fue de 30% para la Lasta Rosada y 11.25 % para las líneas mutantes.

Por otro lado Chambi (2017), en su investigación observó caracteres agronómicos de cañahua donde tomo en cuenta la calidad del grano en 39 accesiones en el año agrícola 2015 – 2016, en su investigación con el análisis de correlación encontró que las variables fenológicas presentan una correlación significativa encontrando un asociación de forma negativa a estas variables siendo así que los coeficientes índices de cosecha y rendimiento de grano, indican que su comportamiento es inversamente proporcional a las variables fenológicas. El análisis de componentes principales le permitió identificar las variables que más contribuyeron a la varianza, caracterizando principalmente a las variables fenológicas. También caracterizó a las variables agronómicas, indicando, que aquellas accesiones que desarrollan plantas grandes con tallos gruesos, mayor número de ramas primarias y cobertura foliar presentan mayor rendimiento de grano. El análisis de conglomerados le permitió clasificar y caracterizar a las accesiones de cañahua en tres grupos, esta agrupación le proporcionó una descripción útil que le permitió visualizar características particulares en cada grupo.

Ticona (2016), hizo una evaluación de variables de cosecha y pos cosecha en 11 líneas precoces de qañawa (*Chenopodium pallidicaule* A.) en K'iphak'iphani, en la localidad de Viacha, donde el material vegetal estaba compuesto por 11 líneas de cañahua que le fueron proporcionadas por la Fundación PROINPA, las variables de rendimiento, peso hectolítrico, tostado y hojuelado, siendo evaluado bajo un diseño de bloques al azar, posteriormente la variable de germinación fue evaluada bajo un diseño completamente al azar con arreglo factorial, debido a que en germinación se toman en cuenta dos factores: líneas (Factor A), cañahua con perigonio y qañawa sin perigonio (Factor B). En sus resultados halló que el rendimiento total (rendimiento acumulado de la primera y segunda trilla), la línea 6 fue la mejor con 3426,8 kg/ha.

Según la prueba de germinación encontró que durante las primeras 48 horas, el perigonio influye en el inicio de la germinación. La semilla obtenida de la primera trilla de qañawa a las 48 horas la línea 9 alcanzó el mayor porcentaje de germinación con 98,75% y a las 72 horas la línea 5 fue la mejor con 99,5%. Para la semilla obtenida en la segunda trilla de qañawa la línea 2 fue con 98,25 %, y a las 72 horas la línea 9 obtuvo un mayor porcentaje de germinación con 99%. Se observó que el porcentaje de germinación de la primera trilla es superior a la segunda trilla no obstante la diferencia es mínima.

La investigación de Nina (2014), consistió en monitorear el comportamiento agronómico de diez accesiones de cañihua en zonas áridas, su trabajo de investigación fue conducido en la Irrigación de Majes, Arequipa en agosto del 2013 – 2014, el material genético (Accesiones) utilizado fue 140, 315, 204, 002, 027,296, 156, 064, 003, 119 proporcionado por la Universidad Nacional del Altiplano, correspondiente a la especie *Chenopodium pallidicaule* A. Bajo un diseño experimental de bloques completos al azar, con 10 tratamientos y 3 bloques con la aplicación de la prueba de Tukey al 5%.

El suelo del campo experimental era de una textura franco arenosa, con un pH neutro, no salino, deficiente en materia orgánica y nitrógeno, ligeramente alto en fósforo y bajo en potasio y una CIC baja.

Además empleo un sistema de riego por goteo con 11.833,33m³/ha de agua. Las restantes labores culturales se realizaron de acuerdo a las exigencias del cultivo en su debida oportunidad.

Encontrando que las accesiones 064 y 027 tuvieron los más altos rendimientos 2.772,172 kg/ha y 2.709,506 kg/ha.

Las accesiones con un menor periodo vegetativo fueron 315 y 156 con 133 días a la madurez fisiológica, y con un periodo ligeramente más largo fueron 002 con 139 días a la madurez fisiológica.

(Gonzales, 2019), evaluó el comportamiento agronómico de dos variedades y un ecotipo de Cañihua con tres densidades de siembra en condiciones de la Irrigación Majes – Arequipa en la gestión agrícola 2014 – 2015, para dicha investigación utilizó como material genético dos variedades y un ecotipo de cañihua, como son: Variedad Cupi e Illpa Inia 406 y el ecotipo Chillihua, para lo cual empleó el diseño de bloques completos al azar con parcelas divididas, con 9 tratamientos y 3 bloques y la prueba de Tukey al 5%.

Donde obtuvo los siguientes resultados: A una densidad poblacional de 555,000 plantas/ha obtuvo el mejor rendimiento de 137,000 kg/ha, así como también se observa las mejores características morfológicas y la practicidad en las labores de campo.

La mejor variedad fue Illpa INIA 406, ya que mostró los mejores rendimientos en todos sus tratamientos, logrando el mayor valor de 1.224,630 kg/ha, también mostró las mejores características de planta en cuanto a altura, grosor de tallo y peso de grano.

La mejor interacción densidad poblacional y variedad es con la interacción densidad poblacional de 555,000 plantas/ha y la variedad Illpa INIA 406, logrando obtener el más alto rendimiento de 1.432,778 kg/ha.

1.2. Planteamiento del problema

La cañahua se encuentra en constante amenaza, ya que muchas veces en vez de obtener utilidades por la producción de este grano, existen perdidas, debido a su baja producción, por la precocidad y la caída de los granos, esto debido a la mala elección de semillas, desconocimiento de técnicas mejoradas de cosecha y post cosecha y la baja adopción de tecnologías en los productores. Esto se convierte en un gran problema para los productores y consumidores, ya que al obtener una baja producción los precios del producto final son elevados, lo que conlleva a un bajo consumo del grano de cañahua.

Por otra parte, se debe tomar en cuenta que actualmente en el país no se le da la importancia y en general a los llamados productos no tradicionales, tal es así que existen pocos estudios que llevan a evaluar el comportamiento agronómico de la cañahua y conocer accesiones o genotipos que muestren un mejor comportamiento y de esta manera generar nuevas y mejores alternativas tecnológicas.

1.3. Justificación

Al existir una limitada información debido a que las investigaciones en cañahua fueron realizadas en otros departamentos u provincias y estos datos no pueden ser los mismos para un determinado lugar de siembra debido a variaciones en la textura del suelo, la humedad, la disponibilidad de agua y muchos otros factores, por lo cual se hizo la evaluación agronómica de 15 genotipos de cañahua; ya que se necesita dar a conocer genotipos con mejores características agronómicas.

Por tal motivo se presenta la siguiente investigación, con el cual se pretende identificar genotipos que sean sobresalientes agronómicamente, y de esta manera contribuir al mejoramiento de la producción de este grano a nivel nacional, para que los productores dejen de relegar este grano tanpreciado, por su alto valor nutricional, mejorando sus ingresos y el proceso productivo y de esta manera incrementar los rendimientos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

- ❖ Evaluar agronómicamente 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en el centro experimental de Kallutaca.

1.4.2. Objetivos específicos

- ❖ Describir agronómicamente 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en el centro experimental de Kallutaca.
- ❖ Identificar genotipos sobresalientes en términos agronómicos, a partir de 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en el centro experimental de Kallutaca.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis nula (H₀)

La evaluación agronómica no presenta diferencias significativas entre los 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en el centro experimental de Kallutaca.

$$\mu_0 = \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$$

1.5.2. Hipótesis alterna (H_a)

La evaluación agronómica presenta diferencias significativas entre los 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.) en el centro experimental de Kallutaca.

$$\mu_0 \neq \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3$$

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1. Origen del cultivo de cañahua

La región de los Andes, cuna de grandes civilizaciones como la Incaica y Tiahuanacota, es considerada como centro de origen de numerosas especies entre estas: la papa, la oca, el ulluco ó papaliza, la quinua, la cañahua, el amaranto o kiwicha, el tarwi entre otras, que están distribuidas en diferentes zonas agroecológicas y que han sido bien aprovechadas durante miles de años, (IFAD – NUS, 2001-2010).

El cultivo de cañahua se considera como centro de origen al área circunlacustre del Lago Titicaca entre Perú y Bolivia. En el caso de Bolivia se consideran como subcentros las provincias San Pedro de Totora y Nor Carangas de Oruro, y las provincias Independencia, Tapacarí y Bolívar de Cochabamba. En el caso del Perú se consideran como subcentro a la zona de Cupi-Macari en la provincia Melgar, departamento de Puno (Rojas, *et al.*, 2010).

IPGRI (2005), menciona a la región de los Andes, es considerada como centro de origen de diversas especies como la papa, oca, papalisa, quinua, cañahua, amaranto, tarwi y otras, distribuidas en diversas zonas agroecológicas, dichas especies fueron apreciadas durante miles de años.

Según Tapia *et al.* (1979) citado por Ticona (2017), menciona que no existen evidencias arqueológicas relacionadas con la cañahua de modo que no se sabe con exactitud desde cuando fue cultivada. Debido a que las plantas pierden una considerable parte del grano por la pérdida del mismo al llegar a la madurez fisiológica, antes y durante la cosecha, por lo cual se cree que su proceso de domesticación aún no ha concluido. Por su parte el cultivo de cañahua en Bolivia se concentra en las zonas específicas en los departamentos de La Paz y Cochabamba, sin mayor difusión fuera de estas regiones.

2.2. Evaluación Agronómica

La evaluación es complementaria a la caracterización que se realiza sobre una población representativa de una determinada especie mediante el uso de descriptores. Para evaluar es necesario sembrar el germoplasma simultáneamente en diferentes ambientes y durante varios años. No resulta económicamente factible evaluar todas las accesiones,

siendo más factible optar por una evaluación preliminar para observar la adaptación y solo aquellas que muestren buen comportamiento frente a un testigo, se evalúan con un objetivo específico, a su vez la evaluación se hace en función a los usos para buscar mejores características como: mejorar los rendimientos simplificación de labores culturales y resistencia a enfermedades, (Chambi, 2017).

Sin embargo Ticona (2017), define a la evaluación como una tarea posterior a la caracterización las cuales se dividen en dos etapas: una preliminar y otra secundaria, la evaluación consiste en la obtención de un número limitado de datos sobre rasgos agronómicos, (altura de la planta, tiempo de maduración, etc.) por lo que favorece al uso del germoplasma para proyectos de mejoramiento. Además no se limita únicamente solo a la colecta u a su conservación muy aparte de medir sus características también se puede observar el comportamiento para encontrar una posible utilidad.

Por su parte Flores (2006), indica que la evaluación están en función a los usos del cultivo, en busca de buenas características para su mejora: mejores rendimientos, simplificación de labores culturales y resistencia a enfermedades. A su vez una evaluación del material genético permite reconocer problemas en el germoplasma para el proceso de selección y mejoramiento, siendo esta tarea posterior a la caracterización y que a su vez se divide en dos etapas: preliminar y secundaria.

La clasificación de una colección se basa en características relacionadas a la utilidad y al uso potencial del material genético, estas son:

1. Reducción de una colección grande a un número manejable de entradas.
2. Selección de germoplasma promisorio.
3. Multiplicación de semillas.

Por su parte, Querol (1988), citado por Flores (2006), argumenta que la caracterización es la toma de datos cualitativos y cuantitativos para describir y diferenciar entradas de una misma especie; estos datos de caracterización pueden ser agrupados de manera general, según sus características las cuales pueden ser:

1. Caracteres de la planta: altura, forma, hábito de crecimiento y ramificación.

2. Caracteres de la hoja: forma, ancho, longitud, color, tipo de borde y nervaduras.
3. Caracteres de la flor: forma, color, tipo de cáliz.
4. Caracteres del fruto: forma, color, volumen y número de semillas por fruto.
5. Caracteres de la semilla: tamaño, color y forma.
6. Caracteres de las partes subterráneas: tamaño, forma y color.

Muchas de estas características parten de la taxonomía utilizada para diferenciar géneros y especie. En una primera fase se realiza un estudio de todas las accesiones para y después la caracterización permite conocer la variabilidad del género.

2.3. Genotipo y Fenotipo

Se llama *genotipo* al conjunto de genes que constituye u individuo, en especies diploides (dos juegos de cromosomas, uno materno y otro paterno) como el guisante que se han encontrado dos alelos distintos (A y a), donde hay tres *genotipos* posibles: homocigoto dominante: AA, hetero cigoto: Aa y homocigoto recesivo aa. En cambio un *fenotipo* es aquel que se puede observar su apariencia externa, siendo así la expresión, en las especies diploides como el guisante, en un locus se encontró dos alelos distintos (A y a) y con dominancia de A sobre a existiendo dos *fenotipos*: *Fenotipo* dominante donde los genotipos AA Y Aa y fenotipo recesivo: los genotipos aa muestran genotipo recesivo a, siendo de esta manera que existe una relación de dominancia completa entre los alelos de un *locus* cuando un el heterocigoto presentan el mismo *fenotipo* que uno de los homocigotos, (UCM, 2024).

Para Rival (2013), el *genotipo* está conformado por el material físico del ADN que los padres heredan a un organismo, es decir que el material heredado es una copia directa del ADN de su progenitor.

Mientras que el *fenotipo* es la descripción de las características físicas y comportamiento del organismo, como por ejemplo su tamaño, forma, color u actividades metabólicas. Es decir que está conformado por todas las características exteriores que se observan a simple vista en un determinado organismo. Un *fenotipo* se debe a la influencia de diversas interacciones entre los genes y medio ambiente.

Sin embargo para Hidalgo (2003), citado por Limachi (2021), el genotipo, es la constitución genética de un individuo o el conjunto de los genes existentes en cada uno de los núcleos celulares. El fenotipo está constituido por la expresión del genotipo, y puede referirse a una característica morfológica (longitud de tallo) productiva (peso de las semillas) comportamiento, fisiológica, etc. siempre será el resultado de la expresión de los genes de que es portador un individuo (genotipo) moldeada por multitud de factores ambientales. Es la manifestación externa o aparente del genotipo.

El genotipo más la acción ambiental nos da al Fenotipo, por ejemplo, el grado de color de la corteza está determinado por el genotipo, sin embargo depende del grado de insolación, en relación con el fenotipo, los caracteres que lo conforman corresponden en su gran mayoría a la descripción morfológica de la planta y su arquitectura.

2.4. Caracterización

Flores (2006), refiere que la caracterización consiste en describir sistemáticamente las accesiones de una especie a partir de características cualitativas como el hábito de crecimiento, la altura de planta y el color de las flores, estas características son de alta heredabilidad y no varían con el medioambiente

Según Ticona (2017), la caracterización es separar y diferenciar la variabilidad genética, la caracterización se basa en una lista de descriptores a los cuales se llega por consenso entre los técnicos especialistas de un determinado cultivo. A su vez se puede definir que la caracterización es un conjunto de características botánicas de un determinado cultivo, altamente heredables expresados en forma constante en diversos ambientes y que pueden ser observados.

Chambi (2017) indica que la evaluación es complementaria a la caracterización y esta debe realizarse sobre una población representativa de la especie que se evalúa mediante el uso de descriptores. En cambio para la caracterización, las plantas se siembran solo una vez, sin embargo al hacer una evaluación el germoplasma debe ser sembrado simultáneamente en diferentes ambientes durante varios años, que se puede optar por hacer una evaluación preliminar para observar la adaptación de aquellas plantas que muestren un buen comportamiento frente a un testigo, con un objetivo en específico.

2.5. Descriptores

Flores (2006), define que un descriptor es aquel que describe las características botánicas de una determinada especie que uniformiza los criterios de evaluación en los bancos de germoplasma, recolección y evaluaciones posteriores. Un descriptor es un rasgo, cuya expresión es fácil de medir, contar o evaluar. Los fitomejoradores tienden a usar descriptores de interés agronómico y de naturaleza poligénica; los botánicos tratan de tener descriptores que definan aspectos morfológicos, sin tomar en cuenta la regulación genética y los genetistas eligen caracteres cualitativos y monogénicos

Ticona (2017) relata en su investigación que un descriptor es un atributo o característica que puede ser medible, a su vez estos pueden registrarse y evaluarse esto con respecto a la forma de la planta. Dichos descriptores son aplicados para caracterizar y evaluar determinadas accesiones debido a que son de mucha ayuda al momento de diferenciar y expresar un determinado atributo de manera precisa y de manera uniforme.

Sin embargo, Flores (2006), indica que son atributos se puede conocer, diferenciar y determinar la utilidad del germoplasma, además que los descriptores deben ser específicos para cada especie y de esta manera diferenciar los genotipos y expresar el atributo de manera precisa e uniforme. Los caracteres útiles se pueden a simple vista y ser registrados fácilmente estos atributos pueden ser: alta heredabilidad, alto valor taxonómico y agronómico. Puede ser aplicado en muestras pequeñas, permitiendo diferenciar una accesión de otra.

2.5.1. Estados del descriptor

Hidalgo (2003), citado por Flores (2006), menciona que existen varias categorías de datos, según la expresión del descriptor los cuales pueden ser: cualitativa o cuantitativas. Si es cualitativa, se generan datos binarios (llamados de doble estado), datos con secuencia ordinales y datos sin secuencia nominales. Si es cuantitativa, los datos pueden ser discontinuos, discretos y continuos. Para el registro de datos deben tomarse las sugerencias:

- ❖ Cualitativos (binario), cada descriptor presenta dos estados (Presente = 1; Ausente = 0).

- ❖ Cuantitativos de tipo ordinal, el descriptor, se registra una serie de estados predefinidos; (altura de planta: 1 = Corta; 3 = Intermedia; 5 = Alta).
- ❖ Cualitativos de tipo nominal, el descriptor, registra usando una serie de estados previamente definidos; (1 = Blanco; 2 = Crema; 3 = Amarillo).
- ❖ Cuantitativos de tipo continuo, el descriptor, registra en unidades internacionales (SI) estándar; (Altura de planta = 0.9 m; Peso de 100 semillas = 250 g).

2.6. Morfología del cultivo de cañahua

Soto y Carrasco (2008) citado por Paucara (2016), menciona que la cañahua es una planta de la familia de las espinacas y pertenece al mismo género botánico que la quinua, produce un grano pequeño, siendo un pseudo cereal, pues no pertenece a la familia de las poaceae, siendo así que se la clasifica dentro los granos andinos, junto a la quinua y el amaranto a su vez menciona que es una planta herbácea, ramificada desde la base, altura de 20 a 60 cm, período vegetativo entre 120 y 150 días como indica en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Descripción botánica de la cañahua

DESCRIPCIÓN MORFOLÓGICA DE LA CAÑAHUA	
Raíz	La raíz es pivotante, relativamente profunda de 13 a 16 cm, con escasa ramificación principal y numerosas raicillas laterales, varían del color blanco cremoso al rosado pálido (Apaza, 2010).
Tallo	El tallo es erguido, simpodico, hueco nudoso, estriado de forma cilíndrica: la altura en promedio alcanza los 25 a 75 cm de coloración verde intensa, a su vez puede presentar variaciones en su color (Paucara 2016).
Hojas	Tienen forma de lámina romboide trilobadas de 4 a 10 mm de largo y el ancho de 10 a 20 mm con peciolo de 2 a 8 mm de largo, el color de las hojas puede variar al alcanzar la madures (Paucara 2016).
Inflorescencia	Las inflorescencias presentan glomérulos incospicuos, cimosas

	axilares o terminales las inflorescencias están totalmente cubiertas por follaje que cumplen la función de protegerlas por las bajas temperaturas, (Hinojosa 2017).
Fruto	El fruto está cubierto por el perigonio de color generalmente gris, (Hinojosa 2017). Es un fruto del ovario del pisto corto en la flor de cañahua, tiene un tamaño de 0.8 a 1.30 mm, cubierta por perigonio petaloide de diferentes coloraciones. A su vez el grano presenta una forma poliedra comprimida, cubierta por el pericarpio que pueden tener diferentes tonalidades de color, (Mamani y Aliaga 2018).
Semilla	Su semilla presenta una forma lenticular de 1 a 1.2 mm de diámetro de un color castaño o negro, (Hinojosa 2017).
Habito de crecimiento	Según (Apaza, 2010) citado por Paucara (2016) menciona que según la forma de crecimiento de la cañahua, se representan por lasta, saihua y pampa lasta.

2.7. Clasificación taxonómica del cultivo de cañahua

Según Ramírez (2014) el cultivo de cañahua presenta la siguiente clasificación taxonómica, plantea que la cañahua corresponde a la siguiente clasificación taxonómica:

Reino: *Plantae*
 Subreino: *Embryobionta*
 División: *Magnoliophyta*
 Subdivisión: *Angiospermas*
 Clase: *Magnoliopsida*
 Subclase: *Caryophyllidae*
 Orden: *Caryophyllales*
 Familia: *Chenopodiaceae*
 Género: *Chenopodium*
 Especie: *Chenopodium pallidicaule* A.
 N. Común: Cañahua, kañihua, kañiwa, etc.

2.8. Fenología del cultivo de cañahua

El cultivo de cañahua según Hinojosa (2017), al igual que otras plantas presenta etapas de desarrollo, el cual es conocido como fases fenológicas, estas fases tienen relación con la curva de desarrollo los cuales son:

- **Emergencia:** Es la aparición de los cotiledones sobre la superficie del suelo, en esta fase es muy susceptible a los ataques de los pájaros.
- **Hojas verdaderas:** Esta es la fase donde aparecen las primeras hojas, las cuales realizan la fotosíntesis, estas dos hojas verdaderas tienen una longitud aproximada de 0,5 cm, esto puede ocurrir a los 9 a 15 días según el genotipo.
- **Ramificación:** En esta fase se desarrollan las ramificaciones secundarias de la planta de cañahua. Estas pueden tener una longitud aproximada de 5 cm, medidos desde la axila basal de la hoja.
- **Inflorescencia:** Es la fase donde las inflorescencias aparecen en la rama principal de la planta de cañahua, suceso en donde la plantas presenta cambios de tonalidades de colores según el genotipo de estas.
- **Floración:** La floración se da cuando estas alcanzan el 50%, las flores se aperturan en la rama principal, la floración puede darse de 90 a 110 días.
- **Grano lechoso:** En esta fase se hace presión con los dedos sobre el grano y se puede observar un líquido lechoso, esta fase es susceptible a temperaturas por debajo de los 2°C.
- **Grano pastoso:** Esta es la fase donde se puede apreciar la consistencia pastosa de color blanco del grano al ser presionada con las uñas.
- **Madurez fisiológica:** Esta fase es cuando el grano de cañahua acumula materia seca al igual que el tamaño de grano aumenta por lo que los nutrientes ya no llegan a la semilla. A su vez la planta de canahua presenta pérdida de humedad en las hojas, ramas y el tallo, este suceso indica que es la fase final para la cosecha.

2.9. Superficie de cultivo y producción de la cañahua

La cañahua se cultiva en el altiplano en los departamentos de: La Paz, Oruro y Cochabamba, entre los 3.500 a 4.151 msnm, donde aún se practica el cultivo en superficies muy variadas, pudiendo ser muy pequeñas de 80 m² a grandes de 2.500 m², con rendimientos muy variados (Mamani 2016).

Paucara (2016) en su investigación identificó tres zonas de producción de cañahua en Bolivia, la primera zona es el altiplano norte, en las provincias: Camacho, Omasuyos, Los Andes y Murillo del departamento de La Paz. La segunda zona hace referencia al altiplano central en las provincias de Pacajes y Aroma del departamento de La Paz, en las provincias de Sajama, San Pedro de Totora, Nor Carangas, Carangas y Saucari del departamento de Oruro. La tercera zona comprende a la provincia Bolívar del departamento de Cochabamba.

Ticona (2017), indica que en Bolivia se cultivan aproximadamente 2.866.219 has de productos agrícolas, de los cuales se producen 969.652 has de cereales y tan solo se cultivan 983 has de cañahua que llega a representar el 0,034 % de la superficie sembrada a nivel nacional, este dato demuestra que la producción de cañahua es muy baja llegando a obtenerse solamente 616 toneladas métricas, como se muestra en el Cuadro 2, siendo esta cifra insignificante en comparación al resto de los granos que se produce en Bolivia.

Cuadro 2. Producción y rendimiento de cañahua y otros granos, en el año agrícola 2007-2008

Cultivo	Superficie (hectáreas)	Producción (ton. Métricas)	Rendimiento (kg/ha)
Amaranto	15	16	1.067
Cañahua	983	616	627
Cebada	55.020	46.800	851
Avena	6.067	5.616	926
Maíz	373.705	859.385	2.300
Quinua	50.356	28.809	572
Trigo	79.595	58.813	739

Fuente: INE- 2007- 2008

2.10. Calidad de los Granos

Según Chambi (2017), la calidad de los granos se puede definir como un atributo para un determinado uso, como por ejemplo a aquellos granos que se deseen moler, procesar o comer, este dependiendo al uso que se quiera dar. La calidad de los granos de cañahua pueden ser mejorados mediante las técnicas de limpieza y el control adecuado de plagas, para esto se debe seleccionar granos de buena calidad para un uso determinado ya mencionado anteriormente, para esto son importantes los programas de mejoramiento y buen manejo del cultivo en la etapa de cosecha y post cosecha y de esta manera mejorar la economía para el agricultor.

2.11. Análisis de componentes principales (ACP)

Según De la Fuente, se considera una serie de variables (x_1, x_2, \dots, x_p) sobre un grupo de objetos o individuos y se trata de calcular, a partir de ellas, un nuevo conjunto de variables (y_1, y_2, \dots, y_p) incorreladas entre sí, cuyas varianzas vayan decreciendo progresivamente.

Cada y_j ($i = 1, \dots, p$) es una combinación lineal de las variables (x_1, x_2, \dots, x_p) originales, es decir:

$$y_j = a_{j1} x_1 + a_{j2} x_2 + \dots + a_{jp} x_p = a_j^\circ x$$

$$\text{siendo } a_j^\circ = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj}) \text{ un vector de constantes, y } x = \begin{pmatrix} x_1 \\ \dots \\ x_p \end{pmatrix}$$

Si lo que se quiere es maximizar la varianza, como se muestra luego, una forma simple podría ser aumentar los coeficientes a_{ij} . Por ello, para mantener la ortogonalidad de la transformación se impone que el módulo del vector $a_j^\circ = (a_{1j}, a_{2j}, \dots, a_{pj})$ sea 1. Es decir,

$$a_j^\circ \cdot a_j = \sum_{k=1}^p a_{kj}^2 = 1$$

El primer componente se calcula eligiendo a_1 de modo que y_1 tenga la mayor varianza posible, sujeta a la restricción $a_j^\circ \cdot a_j = 1$. El segundo componente principal se calcula obteniendo a_2 de modo que la variable obtenida, y_2 esté incorrelada con y_1 .

Del mismo modo se eligen (y_1, y_2, \dots, y_p) , incorrelados entre sí, de manera que las variables aleatorias obtenidas vayan teniendo cada vez menor varianza.

Proceso de extracción de factores. Se elige a_1 de modo que se maximice la varianza de y_1 sujeta a la restricción de que $a_1^{\circ} \cdot a_1 = 1$.

$$\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1^{\circ} \cdot X) = a_1^{\circ} \cdot \Sigma a_1$$

El método habitual para maximizar una función de varias variables sujeta a restricciones es el método de los multiplicadores de Lagrange.

El problema consiste en maximizar la función $a_1^{\circ} \cdot \Sigma a_1$ sujeta a la restricción $a_1^{\circ} \cdot a_1 = 1$.

Se puede observar que la incógnita es precisamente a_1 (el vector desconocido que da la combinación lineal óptima).

Así, se construye la función L : $L(a_1) = a_1^{\circ} \cdot \Sigma a_1 - \lambda (a_1^{\circ} \cdot a_1 - 1)$

Para maximizar la función $\frac{\partial L}{\partial a_1} = 2 \Sigma a_1 - 2 \lambda a_1 = 0 \Rightarrow (\Sigma - \lambda I) a_1 = 0$

Esto es, en realidad, un sistema lineal de ecuaciones. Por el teorema de Roché-Frobenius, para que el sistema tenga una solución distinta de 0 la matriz $(\Sigma - \lambda I)$ tiene que ser singular. Esto implica que el determinante debe ser igual a cero:

$|\Sigma - \lambda I| = 0$ de este modo, λ es un autovalor de Σ .

La matriz de covarianzas Σ es de orden p y si además es definida positiva, tendrá p autovalores distintos, $(\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_p)$ tales que, por ejemplo, $\lambda_1 > \lambda_2 > \dots > \lambda_p$.

Se tiene que, desarrollando la expresión anterior:

$$\begin{cases} (\Sigma - \lambda I) a_1 = 0 \\ \Sigma a_1 - \lambda I a_1 = 0 \\ \Sigma a_1 = \lambda I a_1 \end{cases}$$

Entonces, $\text{Var}(y_1) = \text{Var}(a_1^{\circ} \cdot X) = a_1^{\circ} \Sigma a_1 = a_1^{\circ} \lambda a_1 = \lambda a_1^{\circ} a_1 = \lambda \cdot 1 = \lambda$

Luego, para maximizar la varianza de y_1 se tiene que tomar el mayor autovalor, sea λ_1 , y el correspondiente auto vector a_1 .

En realidad, a_1 es un vector que da la combinación de las variables originales que tiene mayor varianza, esto es, si $a_1^\circ = (a_{11}, a_{12}, \dots, a_{1p})$, entonces $y_1 = a_1^\circ x = a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1p}x_p$

El segundo componente principal, sea $y_2 = a_2^\circ x$, se obtiene mediante un argumento parecido.

Además, se quiere que y_2 esté incorrelado con el anterior componente y_1 , es decir, $\text{Cov}(y_2, y_1) = 0$.

Por lo tanto: $\text{Cov}(y_2, y_1) = \text{Cov}(a_2^\circ x, a_1^\circ x) = a_2^\circ \cdot E[(x - \mu)(x - \mu)^\circ] \cdot a_1 = a_2^\circ \Sigma a_1$ es decir, se requiere que $a_2^\circ \Sigma a_1 = 0$

Como se tenía que $\Sigma a_1 = \lambda a_1$, lo anterior es equivalente a $a_2^\circ \Sigma a_1 = a_2^\circ \lambda a_1 = \lambda a_2^\circ a_1 = 0$

Por tanto, $a_2^\circ a_1 = 0 \rightarrow$ los vectores sean ortogonales.

De este modo, hay que maximizar la varianza de y_2 , es decir, $(a_2^\circ \Sigma a_2)$, donde:
$$\begin{cases} a_2^\circ a_2 = 1 \\ a_2^\circ a_1 = 0 \end{cases}$$

Se toma la función: $L(a_2) = a_2^\circ \Sigma a_2 - \lambda(a_2^\circ a_2 - 1) - \delta a_2^\circ a_1$

con lo cual, $\frac{\partial L(a_2)}{\partial a_2} = 2\Sigma a_2 - 2\lambda a_2 - \delta = 0$, siendo
$$\begin{cases} a_1^\circ a_2 = a_2^\circ a_1 = 0 \\ a_1^\circ a_1 = 1 \end{cases}$$

Luego, $\delta = 2a_1^\circ \Sigma a_2 = 2a_2^\circ \Sigma a_1 = 0$ ya que $\text{Cov}(y_2, y_1) = 0$.

De este modo, $\frac{\partial L(a_2)}{\partial a_2} = 2\Sigma a_2 - \delta a_1 = 2\Sigma a_2 - 2\lambda a_2 = (\Sigma - \lambda I) a_2 = 0$

Análogamente al caso anterior, se elige λ como el segundo mayor autovalor de la matriz Σ con su autovector asociado a_2 .

Los razonamientos anteriores se pueden extender, de modo que al j -ésimo componente le correspondería el j -ésimo autovalor.

Entonces todos los componentes y (en total p) se pueden expresar como el producto de una matriz formada por los auto vectores, multiplicada por el vector x que contiene las variables originales (x_1, x_2, \dots, x_p):

$$y = Ax$$

$$y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \vdots \\ y_p \end{pmatrix} \quad A = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1p} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2p} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{p1} & a_{p2} & \dots & a_{pp} \end{pmatrix} \quad x = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_p \end{pmatrix} \quad \text{siendo} \begin{cases} \text{Var}(y_1) = \lambda_1 \\ \text{Var}(y_2) = \lambda_2 \\ \vdots \\ \text{Var}(y_p) = \lambda_p \end{cases}$$

$$\text{La matriz de covarianzas de } y \text{ será: } \Delta = \begin{pmatrix} \lambda_1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & \lambda_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & \lambda_p \end{pmatrix}$$

porque (y_1, y_2, \dots, y_p) se han construido como variables incorreladas.

Se tiene que, $\Delta = \text{Var}(Y) = A' \text{Var}(X) A = A' \Sigma A$ o bien, $\Sigma = A \Delta A'$, ya que A es una matriz ortogonal ($a_i^{\circ} a_i = 1$ para todas sus columnas) por lo que $AA' = I$

Porcentajes de variabilidad. Cada autovalor correspondía a la varianza del componente y_i , se definía por medio del auto vector a_i , es decir, $\text{Var}(y_i) = \lambda_i$.

Sumando todos los autovalores, se tiene la varianza total de los componentes, es decir:

$$\sum_{i=1}^p \text{var } y_i = \sum_{i=1}^p \lambda_i = \text{traza}(\Delta) \text{ puesto que } \Delta = \text{matriz diagonal}$$

Por las propiedades del operador traza, $\text{traza}(\Delta) = \text{traza}(A' \Sigma A) = \text{traza}(\Sigma A' A) = \text{traza}(\Sigma)$ pues, A ortogonal $\rightarrow A' A = I$ con lo cual, $\text{traza}(A' \Sigma A) = (\Sigma A' A) = \text{traza}(\Sigma)$ pues A ortogonal $\rightarrow A' A = I$ por lo cual, $\text{traza}(\Delta) = \text{traza}(\Sigma) = \sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)$

Es decir, la suma de las varianzas de las variables originales y la suma de las varianzas de las componentes son iguales.

Esto permite hablar del porcentaje de varianza total que recoge un componente principal:

$$\frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \lambda_i} = \frac{\lambda_i}{\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)}$$

También se podrá expresar el porcentaje de variabilidad corregido con los primeros m componentes ($m < p$).

$$\frac{\sum_{i=1}^m \lambda_i}{\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)}$$

En la práctica, al tener en principio p variables, nos quedaremos con un número mucho menor de componentes que recoja un porcentaje amplio de variabilidad total:

$$\sum_{i=1}^p \text{Var}(x_i)$$

Por lo general no se suele recoger más de tres componentes principales, para poder ser representados en gráficas.

2.12. Análisis BILOT

Según Varela (2002), un BILOT es una representación gráfica de datos multivariantes. La característica fundamental que lo hace diferenciar de las distintas representaciones gráficas asociadas a los métodos clásicos de reducción de dimensionalidad; es que en este caso es posible una representación conjunta de filas y columnas de la matriz de datos.

Un BILOT trata de buscar la mejor aproximación en dimensión reducida (generalmente dos) de la distribución de una muestra multivariante. Superpone sobre dicha representación, vectores que representan las variables (columnas); e indican la dirección en la que mejor se muestra el cambio individual de cada variable.

Las dos factorizaciones BILOT más importantes propuestas por Gabriel fueron denominadas: GH-Biplot y JK-Biplot. El GH-Biplot consigue una alta calidad en la representación de las columnas (variables) y no tan alta para las filas (individuos); mientras que el JK-Biplot consigue una alta calidad de representación para las filas, y no tan alta para las columnas.

Representación Biplot. Si partimos de la DVS de una matriz A en un espacio euclidean ponderado: $A_{I \times J} = N_{I \times K} (D_{\alpha})_{K \times K} M_{K \times J}$, las filas de $F(K^*) = V(K^*) D_{\alpha}(k^*)$ se representan en el subespacio S , normalmente de 2 o 3 dimensiones, para observar la configuración multidimensional de las filas de la matriz de datos A , y las filas de $G(K^*) = U(K^*) D_{\alpha}(K^*)$ se representan en el subespacio S' , para observar la configuración multidimensional de las columnas de A . Sin embargo es posible representar las filas de $G(K^*)$ como $G(K^*) = U(K^*)$ en el mismo espacio que el de las filas de $F(K^*)$, esta particular

representación común de puntos, fila y columna de la matriz A, se llama representación biplot (jk-biplot como veremos más adelante).

En una representación biplot $A(K^*) = F(K^*) G'(K^*)$ luego el producto escalar de la i-esima fila de F y la j-esima fila de G, es un valor aproximado del elemento a_{ij} de la matriz:

$$a_{ij} \approx f_i g_j = |f_i| \cdot |g_j| \cos(f_i \cdot g_j)$$

Los datos a_{ij} de la matriz A se centran usualmente, respecto a la media de las columnas, la matriz A, se define como la matriz de filas centradas de Y: $A = Y - 1y$ donde y es el centroide de la nube de puntos fila de A.

$$\sum_{i=1}^I w_i (a_i - x_i)' \mathbb{D}_q (a_i - x_i) = \left[\sum_i \omega_i \left(\underbrace{y_i - \bar{y}}_{a_i} - \sum_{k=1}^{K^*} f_{ik} u_k \right)' \mathbb{D}_q \left(y_i - \bar{y} - \sum_{k=1}^{K^*} f_{ik} u_k \right) \right]$$

Por lo tanto una desviación $a_{ij} > 0$ (valores de la matriz por encima del valor medio (cero), $a_{ij} = y_{ij} - \bar{y}_j > 0 \Rightarrow y_{ij} > \bar{y}_j$), se indica por vectores f_i y g_j formando un ángulo agudo y $a_{ij} < 0$ por vectores bajo un ángulo obtuso.

2.13. Distribución de Frecuencias

Según García (1992), la distribución de frecuencias o tabla de frecuencias de es una ordenación en forma de tabla de los datos estadísticos, asignado a cada dato de frecuencia correspondiente.

Frecuencia absoluta. La frecuencia absoluta es el número de veces que aparece un determinado valor en un estudio estadístico.

Para indicar resumidamente estas sumas se utiliza la letra griega (sigma mayúscula) el cual se lee suma o sumatoria.

$$\sum_{i=1}^{i=n} f_i = N$$

Frecuencia relativa. La frecuencia relativa es el cociente entre la frecuencia absoluta de un determinado valor y el número total de datos.

Se puede expresar en tanto por ciento y se representa por n_i .

$$n_i = \frac{f_i}{N}$$

La frecuencia relativa es un número comprendido entre 0 y 1.

La suma de las frecuencias relativas es igual a 1.

Frecuencia acumulada. La frecuencia acumulada es la suma de las frecuencias absolutas de todos los valores inferiores o iguales al valor considerado.

Se representa por f_i .

Frecuencia relativa acumulada. La frecuencia relativa acumulada es el cociente entre la frecuencia acumulada de un determinado valor y el número total de datos.

Distribución de frecuencias agrupadas. La distribución de frecuencias agrupadas o tabla con datos agrupados se emplea si las variables toman un número grande de valores o la variable es continua.

Se agrupan los valores en intervalos que tengan la misma amplitud denominados clases. A cada clase se le asigna su frecuencia correspondiente.

Límites de la clase. Cada clase está delimitada por el límite inferior de la clase y el límite superior de la clase.

Amplitud de la clase. La amplitud de la clase es la diferencia entre el límite superior e inferior de la clase.

Marca de clase. La marca de clase es el punto medio de cada intervalo y es el valor que representa a todo el intervalo para el cálculo de algunos parámetros.

La marca de clase se representa por c_i

$$c_i = \frac{\text{Límite superior de la clase} - \text{Límite inferior de la clase}}{2}$$

2.14. Análisis de Clúster

Según Días de Rada (1898), el análisis de clúster es una técnica de análisis de datos que explora los grupos que ocurren naturalmente dentro de un conjunto de datos conocido como clústeres o grupos. El análisis de clústeres no necesita agrupar puntos de datos en grupos predefinidos, lo que significa que es un método de aprendizaje no supervisado. En el aprendizaje no supervisado, los conocimientos se derivan de los datos sin etiquetas o clases predefinidas. Un buen algoritmo de agrupamiento asegura una alta similitud dentro del grupo y una baja similitud entre grupos.

Los métodos clúster se han diseñado para crear grupos homogéneos de casos o entidades. La mayor parte de los usos del Análisis clúster pueden ser resumidos bajo cuatro objetivos principales:

1. Desarrollar una tipología o clasificación.
2. Investigar esquemas conceptuales útiles para agrupar entidades.
3. Generar hipótesis a través de la exploración de los datos.
4. Contrastar hipótesis o intentar determinar si tipos definidos por otros procedimientos están de hecho presentes en un conjunto de datos.

De estos objetivos, la creación de clasificaciones, probablemente, resulta el objetivo más frecuente de los métodos clúster, pero en la mayor parte de los casos muchos de estos objetivos se combinan para formar la base de estudio. No obstante, hay que tener algunas precauciones sobre los métodos clúster:

1. La mayor parte de los métodos de Análisis Clúster son procedimientos que, en la mayor parte de los casos, no están soportados por un cuerpo de doctrina estadística teórica. En otras palabras, la mayor parte de los métodos son heurísticos. Esto contrasta con otros procedimientos como el Análisis Factorial, por ejemplo, que está basado sobre una extensa teoría estadística.
2. La mayor parte de los métodos clúster han nacido al amparo de ciertas ramas de la ciencia, por lo que, inevitablemente, están impregnados de un cierto sesgo procedente de esas disciplinas. Esta cuestión es importante puesto que cada disciplina tiene sus propias

preferencias tales como los tipos de datos a emplear en la construcción de la clasificación. Así puede haber, por ejemplo, métodos que sean útiles en psicología pero no en biología o viceversa.

3. Distintos procedimientos clúster pueden generar soluciones diferentes sobre el mismo conjunto de datos. Una razón para ello radica en el hecho ya comentado de que los métodos clúster se han desarrollado a partir de fuentes dispares que han dado origen a reglas diferentes de formación de grupos. De esta manera, lógicamente, es necesaria la existencia de técnicas que puedan ser usadas para determinar que método produce los grupos naturalmente más homogéneos en los datos.

Clúster por individuos y por variables

El punto de partida para el Análisis Clúster es, en general, una matriz X que proporciona los valores de las variables para cada uno de los individuos objeto de estudio, o sea:

$$X = \begin{pmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1j} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_{i1} & \cdots & x_{ij} & \cdots & x_{in} \\ \vdots & \cdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mj} & \cdots & x_{mn} \end{pmatrix}$$

La i -ésima fila de la matriz X contiene los valores de cada variable para el i -ésimo individuo, mientras que la j -ésima columna muestra los valores pertenecientes a la j -ésima variable a lo largo de todos los individuos de la muestra.

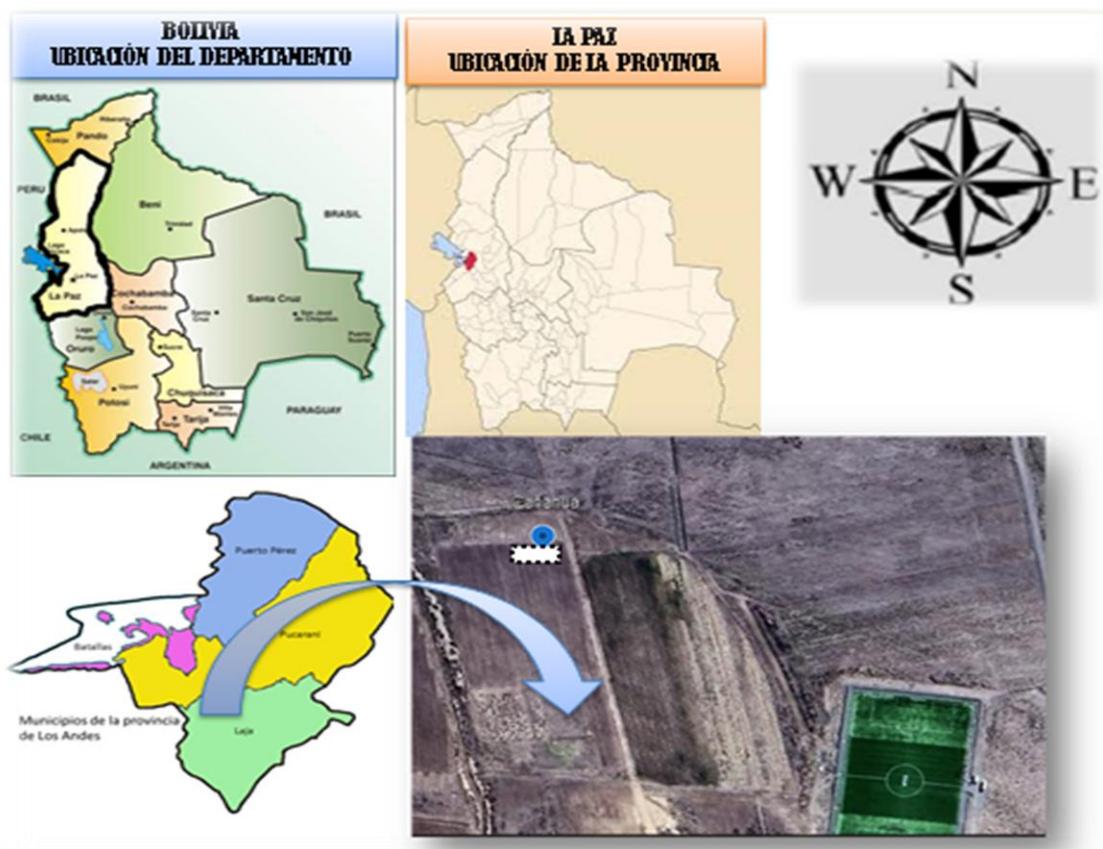
El objetivo de clasificar los datos, como ya se ha comentado, es agrupar individuos u objetos representados por las filas de X . Aparentemente no hay razón para que estos procedimientos no se apliquen a X obteniéndose así una clasificación de las variables que describen cada individuo. De hecho, muchas de las técnicas cluster existentes (no todas) pueden ser aplicadas para clasificar variables; incluso algunos paquetes estadísticos, como es el caso de BMDP, incluyen implementaciones por separado que permiten realizar análisis Clúster por variables (1m) y análisis cluster por individuos (2m).

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Localización

3.1.1. Ubicación Geográfica

El presente trabajo de investigación se realizará en la campaña agrícola 2021 – 2022, en el centro experimental de Kallutaca de la Universidad Pública De el Alto, localizada en la provincia Los Andes, en la segunda sección del municipio de Laja, al oeste del Departamento de La Paz. Situada a $16^{\circ}31'26,32''$ de Latitud Sur, $68^{\circ}19'49,39''$ de Longitud Oeste, a una altitud de 3,860 metros sobre el nivel del mar y una distante de 15 km de la ciudad de El Alto (Ceja), (Google Earth, 2020).



Fuente: Google Earth, 2020

Figura 1. Ubicación del trabajo de investigación

3.1.2. Características Edafoclimáticas

3.1.3. Clima

Yapu (2020) alude en su investigación que el clima en la estación experimental de Kallutaca se caracteriza por ser frío y seco, al existir una división entre época seca y época húmeda (lluvias) que abarca de 8 a 4 meses, respectivamente, la temperatura promedio es de 14 °C, una humedad relativa promedio de 35% y una precipitación pluvial de 600 a 650 mm/año.

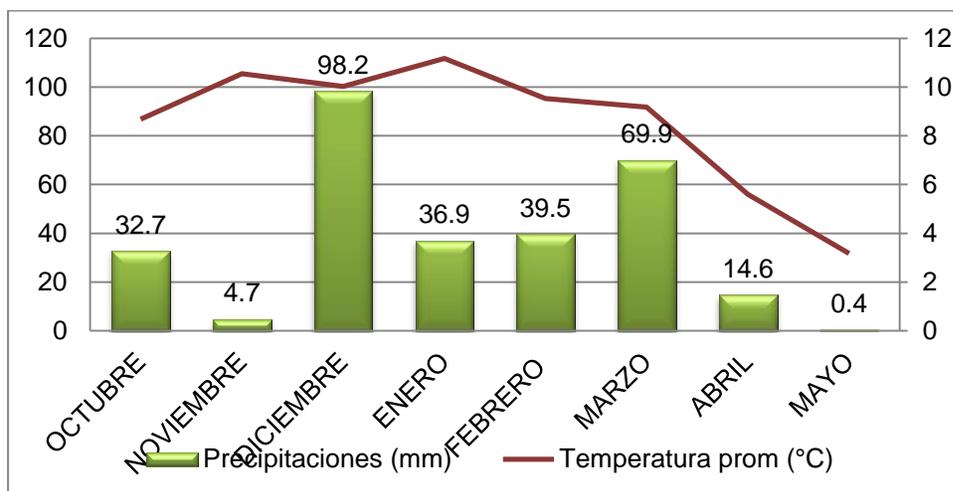


Figura 2. Clima diagrama representando las condiciones climáticas en la estación experimental de kallutaca en cuanto a temperatura y precipitación que se presentaron durante todo el proceso del desarrollo del cultivo de cañahua en la campaña agrícola 2021-2022.

3.1.4. Suelo

Yapu (2020) indica que las características edafológicas de la zona de referencia presenta suelos configurados de arena y arcilla, con una declive de 2-5%, la condición física del suelo es arable, los suelos son poco profundos de 15 a 30 cm, la capa arable presenta una textura de franco arcilloso, con una habilidad de retención de agua moderada. El pH varía ligeramente de acida a neutro (6.4 a 6.8). El contenido de la materia orgánica varía de 0.05 a 3.07%.

3.1.5. Flora

Según Mayta (2012) indica que la zona de estudio presenta una diversidad de especies vegetales perennes y arbustivas, las mismas son consideradas plantas invasoras o mala hierba para el cultivo de cañahua, entre las especies de porte bajo se encuentran las plantas de Chiji (*Distichlis humilies* Phil); Cebadilla (*Bromus unioloides* Balh); Diente de león (*Taraxacum officinale* Weber); Bolsa de pastor (*Capsella bursa-pasrori* L.); Auja-auja (*Erodium cicutarum* L.); K"ora lupu-lupu (*Tarasa tenella* Krapov.); Mostaza (*Brassica rapa* L.); Muni muni (*Bidens andiloca* Kunth), entre otras.

3.1.6. Material de estudio

3.1.6.1. Material genético

El material vegetal que fue evaluado para la investigación como se puede apreciar en el cuadro 3, fueron 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen):

Cuadro 3. Genotipos de cañahua

N°	CÓDIGO
1	3296
2	3469
3	3472
4	3479
5	3659
6	3733
7	3748
8	3756
9	3840
10	3842
11	3932
12	3949
13	17448
14	17449
15	Testigo

Las semillas proceden del banco de germoplasma del INIAF, lugar de recolección altiplano sur según bibliografía el año 2002-2003 se recolectó 24 accesiones provenientes de las provincias Ingavi y Camacho de la ciudad de La Paz (Rojas., et al 2010).

3.1.7. Material de escritorio

Los materiales de gabinete que fueron utilizados fueron: una computadora con Microsoft office (Word, Excel, PowerPoint) y paquetes estadísticos como: Statistical software (2008), además todo el material de escritorio necesario para plasmar los resultados en un documento final.

3.1.8. Material de campo y laboratorio

3.1.8.1. Laboratorio

Los materiales que se utilizaron para la caracterización de granos de cañahua fueron: una balanza analítica, pinza de punta fina, vernier, marcador indeleble, contador de granos.

3.1.8.2. De campo

Los materiales de campo que se utilizaron para la preparación del terreno fueron: Tractor agrícola con implementos de rastra y surcadora, para la delimitación de bloques se utilizaron: Cinta métrica de 50 m, estacas de madera, picota, pala y letreros, en cuanto al muestreo se utilizaron los siguientes materiales: Marbetes de 2,5 x 4 cm, lana, descriptor, regla metálica y planillas de campo y para la cosecha de las plantas de cañahua se utilizaron: Hoz, yutes, lonas, tamizador y bandejas para ventear la cañahua.

3.2. Metodología

3.2.1. Desarrollo del ensayo

3.2.1.1. Preparación del suelo

La preparación del terreno consistió en la roturación del suelo con un tractor agrícola el 22 de septiembre de 2021, a una profundidad de 30 cm, con la finalidad de facilitar la aireación del suelo, posteriormente se realizó el rastreado para mullir el suelo y el emparejado del terreno y el desterronando, y para la fecha de siembra que fue el 9 de octubre se realizó los surcos con la ayuda del tractor agrícola, así como se puede apreciar en la figura 3.



Figura 3. a) Roturación de suelo; b) Surcado con tractor agrícola

3.2.1.2. Delimitación de la parcela y distribución de las accesiones.

El área total de la parcela fue de 540 m², con un área neta de 405 m², 45 m de largo y 9 m de ancho, con una distancia entre surcos de 0,60 m. en la figura 2 se muestra el croquis experimental de la parcela de investigación como se aprecia en la figura 4.

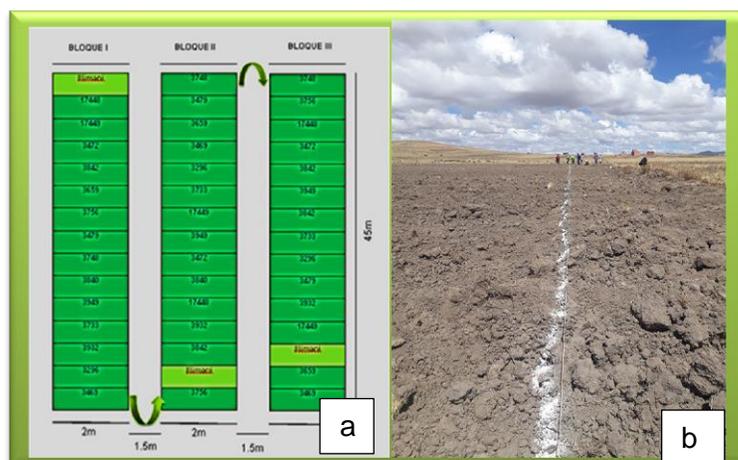


Figura 4. a) croquis de la parcela; b) Delimitación de la parcela

3.2.1.3. Preparación de las semillas

Se realizó la preparación del material genético experimental (15 genotipos de cañahua), para tal procedimiento se pesó la semilla en una balanza (1.8 g de semilla de cañahua), para cada unidad experimental cuenta con 3 surcos y 3m de largo, con un espacio entre surcos de 0.60m (3m²), tomando en cuenta 6 kg/ha los granos pesados fueron

embolsados en sobres de plástico con su propia identificación distribuidos al azar en tres bloques, tal como se aprecia en la figura 5.



Figura 5. a) Pesado de semillas de cañahua; b) Embolsado de semillas para cada tratamiento

3.2.1.4. Siembra

La siembra se realizó considerando la humedad del suelo ya que un día antes de la siembra hubo precipitación de 30 mm, se realizaron los surcos con la ayuda de un tractor agrícola a distancias de 0.60 m, luego se marcaron los pasillos y los bloques y las unidades experimentales con yeso, posteriormente la siembra de las semillas de cañahua se aplicó el fertilizante, fosfato diamónico según el diseño y croquis, y para la fecha de siembra que fue el 9 de octubre se realizó los surcos con la ayuda del tractor agrícola como se puede ver en la figura 6.



Figura 6. Siembra de semillas de cañahua

3.2.2. Fase de seguimiento del experimento

3.2.2.1. Labores culturales

Para la germinación de las semillas de cañahua se esperó hasta las lluvias, se hizo el arreglo de la parcela y el colocado de letreros para identificar los genotipos, a su vez se realizó el deshierre para evitar la competencia de nutrientes y luz solar, las plantas que se extrajeron fueron: Chiji (*Distichlis humilies* Phil); Cebadilla (*Bromus uniolooides* Balh); Diente de león (*Taraxacum officinale* Weber); Bolsa de pastor (*Capsella bursa-pasrori* L.); Auja-auja (*Erodium cicutarum* L.); K"ora lupu-lupu (*Tarasa tenella* Krapov.); Mostaza (*Brassica rapa* L.); Muni muni (*Bidens andiloca* Kunth) y el aporque ya que al ser un suelo en barbecho había bastantes hiervas, se abrieron zanjas para desviar el agua en el tiempo de lluvias, tal como se puede apreciar en la figura 7.

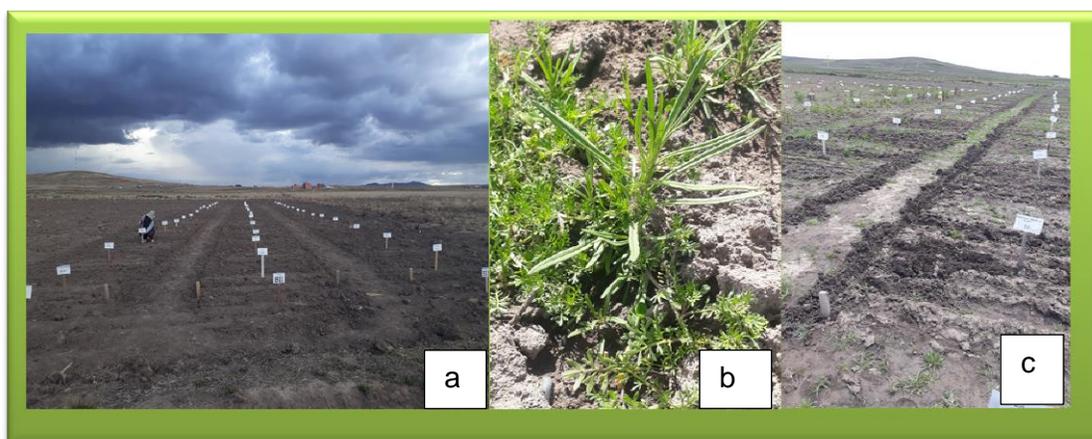


Figura 7. a) Colocado de letreros para la identificación de los genotipos; b) Deshierbe; c) Aporque y abertura de canales

3.2.2.2. Cosecha

La cosecha fue realizada con ayuda de la responsable del banco de germoplasma de granos andinos del INIAF, por lo cual la cosecha se hizo a tempranas horas de la mañana con la finalidad de evitar pérdidas de grano, se cortó la planta con la ayuda de hoces, las plantas marbeteadas fueron evaluadas y guardadas en sobres de papel para su traslado y los demás fueron recolectadas en yutes con su identificación correspondiente, como se puede observar en la figura 8.



Figura 8. a) Trillado, b) medida de la altura de planta; c) conteo de numero de ramas; d) medida del diámetro de tallo; e) Embolsado para su traslado para secado

3.2.2.3. Secado y trilla

Posterior a la cosecha de las plantas de cañahua se hizo el secado, durante dos semanas colocando en forma de filas. Para después de este tiempo realizar la trilla manualmente al igual que la separación de los granos de la broza, para luego ser venteado para obtener granos limpios, para ser envasados en bolsas de plástico con sus respectivos datos y de esta manera su posterior evaluación y almacenamiento, así como se puede observar en la figura 9.



Figura 9. Secado para posterior cosecha

3.2.3. Factores de estudio o tratamientos en estudio

1.- 15 genotipos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* A.).}

3.2.3.1. Formulación de tratamientos

Cuadro 4. Distribución de tratamientos de cañahua

CÓDIGO	TRATAMIENTO
3296	T 1
3469	T 2
3472	T 3
3479	T 4
3659	T 5
3733	T 6
3748	T 7
3756	T 8
3840	T 9
3842	T 10
3932	T 11
3949	T 12
17448GA	T 13
17449GA	T 14
Illimani	TESTIGO

3.2.4. Variables de respuesta

3.2.4.1. Variables agronómicas

Asimismo conocidas como estructuras de la planta, estas variables fueron evaluadas en las plantas de cañahua marbeteadas, al momento de la cosecha y en la etapa de la madurez fisiológica, estas variables son:

a) Altura de Planta (AP).

Para esta variable se registró la altura de planta, para esta variable se midió desde el cuello de la raíz hasta el ápice de la planta de cañahua en (cm), al llegar a la fase de madurez fisiológica, medida en 5 plantas seleccionadas al azar, figura 10.



Figura 10. Registro de la altura de planta

b) Diámetro de Tallo (DT).

Esta variable fue evaluada al alcanzar la madurez fisiológica, con la ayuda de un calibrador (vernier), para esta variable se midió el diámetro de tallo en la parte media del tercio inferior de la planta cuyo resultado se expresó en centímetros (mm), medida en 5 plantas seleccionadas al azar, como se observa en la figura 11.



Figura 11. Registro de la altura de planta

c) Peso de 1000 Granos (GPA).

Posterior a la cosecha se procedió al conteo de 1000 granos, tomando en cuenta cada accesión de cañahua, seguidamente fue pesada en una balanza electrónica digital de precisión y los datos se registraron en gramos (g), medida en 5 plantas seleccionadas al azar, como se puede apreciar en la figura 12.



Figura 12. Registro del peso de 1000 granos

d) Rendimiento de Grano (RG)

El rendimiento del grano fue determinado mediante el peso de los granos cosechados por accesión en gramos (g), que corresponde al rendimiento promedio de 5 plantas por unidad experimental en g/planta, como en la figura 13.

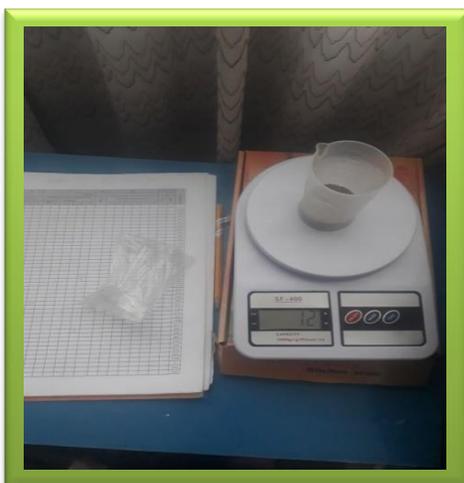


Figura 13.Registro del rendimiento de grano de cañahua

e) Rendimiento de broza (RBR)

Para dicho procedimiento se pesó en gramos (g) las plantas seleccionadas de cañahua la cual fue pesada en una balanza analítica, posteriormente se realizó la trilla y el venteo del grano, medida en 5 plantas seleccionadas al azar, así como se aprecia en la figura 14.



Figura 14.Registro del rendimiento de broza

3.2.4.2. Variables morfológicas

a) Número de ramificaciones en el tetra ramial (NRTR).

Para esta característica se seleccionó una de las ramas principales, se contó el número de ramificaciones presentes desde la base hasta el segundo tercio de la ramificación, se realizó durante la fase de madurez fisiológica de las plantas de cañahua, medida en 5 plantas seleccionadas al azar, tal como se aprecia en la figura 15.



Figura 15.Registro del número de ramas

3.2.4.3. Variables fenológicas

a) Hábito de crecimiento (HC).

Para esta variable se tomó en cuenta las características de crecimiento, así mismo se consideró las siguientes codificaciones:

- 1 Saihua.
- 2 Lasta.
- 3 Pampalasta.



Figura 16.Registro del habito de crecimiento del cultivo de cañahua

b) Días a la floración (DF).-

Se hizo el registro del número de días transcurridos desde la siembra hasta que el 50% de las plantas estén en plena floración en las ramas principales de las plantas, como en la figura 17.



Figura 17.Registro de días a la floración

c) Grado de dehiscencia (GD).-

Para la siguiente variable se registró la persistencia del grano en la planta al momento de alcanzar la madurez fisiológica, para lo cual se sacudió la planta levemente y se observó la dehiscencia de cada una de las 5 plantas de cañahua que fueron seleccionas al azar y de esta manera categorizar a que grado de estas corresponde:

- 3 Ligero
- 5 Regular
- 7 Persistente



Figura 18.Registro de grado de dehiscencia

3.2.5. Análisis estadístico

3.2.5.1. Modelo Lineal Aditivo

El estudio fue analizado con el diseño Bloques Completos al Azar, propuesto por (Steel y Torrie, 1996) con tres repeticiones, utilizando 15 genotipos haciendo un total de 45 unidades experimentales distribuidas aleatoriamente. Este diseño responde al siguiente modelo lineal aditivo:

$$Y_{ij} = \mu + \beta_j + \alpha_i + \epsilon_{ij}$$

Dónde:

- Y_{ij} = Una variable de respuesta cualquiera debido al efecto del
 = i-ésimo tratamiento (genotipo de cañahua) en el j-ésimo bloque.
 μ = Media general del experimento.
 β_j = Efecto del j-ésimo bloque.
 α_i = Efecto de la i-ésima tratamiento (accesión de cañahua).
 ϵ_{ij} = Efecto aleatorio del error experimental.

3.2.5.2. Análisis de Varianza (ANOVA)

Con los datos registrados se procedió al análisis de varianza mediante la utilización del paquete estadístico Info Stat (2008).

3.2.5.3. Comparación de Medias de Duncan

Para la comparación de medias en el presente trabajo se utilizó la prueba Rango Múltiple de Duncan al 5% de significancia, propuesto por Rodríguez (1991).

3.2.5.4. Matriz de regresión múltiple

Análisis de regresión múltiple se utilizó para identificar los valores directos e indirectos que aporato cada variable a los componentes de rendimiento, La regresión se consideró como influencia que tienen las variables independientes (X_1 , X_2 , X_n) sobre la variable dependiente (Y), el cual nos dio datos de los coeficientes de regresión estandarizados, donde se realizó un análisis de regresión lineal por el método por pasos, el método por

pasos es una de las herramientas que analiza con rigurosidad a comparación de los demás métodos.

Con los datos obtenidos en la investigación se realizó la regresión múltiple utilizando el paquete estadístico Info Stat 2008.

3.2.5.5. Matriz de dispersión y correlación

Matriz de dispersión. Una matriz de gráficos de dispersión puede mostrar la relación entre múltiples variables. Después de representar todas las combinaciones de ambas variables, la matriz puede revelar relaciones entre variables para destacar cuáles pueden ser importantes. La matriz también puede identificar datos atípicos en distintos diagramas de dispersión.

Coefficiente de correlación (r).- según Mayta (2012). Indica que realizó la correlación para determinar el grado de relación que existe entre el rendimiento y los caracteres agronómicos en estudio. El parámetro que nos da tal cuantificación es el coeficiente de correlación lineal de Pearson (r), cuyo valor oscila entre -1 y $+1$, por lo que la relación puede ser positiva o negativa, con el paquete estadístico Info Stat 2008.

3.2.5.6. Análisis de componentes principales (ACP)

El análisis de componentes principales, lo cual se hizo para seleccionar genotipos en función al comportamiento agronómico y componentes de rendimiento, permitiendo así seleccionar genotipos promisoras con características sobresalientes.

Para los análisis estadísticos se usó los paquetes estadísticos Info Stat 2008.

3.2.5.7. BILOT

Un BILOT trata de buscar la mejor aproximación en dimensión reducida (generalmente dos) de la distribución de una muestra multivariante. Superpone sobre dicha representación, vectores que representan las variables (columnas); e indican la dirección en la que mejor se muestra el cambio individual de cada variable.

3.2.5.8. Distribución de Frecuencias

Frecuencia absoluta. La frecuencia absoluta es el número de veces que aparece un determinado valor en un estudio estadístico.

Para indicar resumidamente estas sumas se utiliza la letra griega (sigma mayúscula) el cual se lee suma o sumatoria.

$$\sum_{i=1}^{i=n} f_i = N$$

Frecuencia relativa. La frecuencia relativa es el cociente entre la frecuencia absoluta de un determinado valor y el número total de datos.

Se puede expresar en tanto por ciento y se representa por n_i .

$$n_i = \frac{f_i}{N}$$

La frecuencia relativa es un número comprendido entre 0 y 1.

La suma de las frecuencias relativas es igual a 1, estos resultados se obtuvieron con el paquete estadístico Info Stat 2008.

3.2.5.9. Análisis de Clúster

Según Días de Rada (1898), el análisis de clúster es una técnica de análisis de datos que explora los grupos que ocurren naturalmente dentro de un conjunto de datos conocido como clústeres o grupos. El análisis de clústeres no necesita agrupar puntos de datos en grupos predefinidos, lo que significa que es un método de aprendizaje no supervisado. En el aprendizaje no supervisado, los conocimientos se derivan de los datos sin etiquetas o clases predefinidas. Un buen algoritmo de agrupamiento asegura una alta similitud dentro del grupo y una baja similitud entre grupos. Info Stat (2008).

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los resultados que se obtuvieron durante la investigación la cual se realizó en el centro experimental de Kallutaca, bajo condiciones experimentales de campo a continuación se detallaran las variables de respuesta:

4.1. Estadísticos descriptivos de todas las variables

4.1.1. Análisis de varianza

Cuadro 5. Análisis de varianza para variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

FV	GL	CUDRADOS MEDIOS					
		APP	DTM	GPE	RBR	RGR	RNRP
Bloque	2	47.99 NS	0.01 NS	0.02 NS	268.02 NS	64.93 NS	0.36 NS
Genotipo	14	42.5 *	0.0049 NS	0.03 *	59.04 NS	88.73 NS	2.08 NS
Error	28	11.52	0.01	0.01	61.06	46.74	1.4
CV %		14.42	25.1	24.77	48.4	63.7	16.84

Según el análisis de varianza para las variables agronómicas que se aprecia en el cuadro 5 tales como: altura de planta (AAP) esta variable muestra diferencias significativas, diámetro de tallo (TDM), peso de mil granos (GPE) muestra diferencias significativas, rendimiento de broza (RBR), rendimiento de grano (RGR) presenta un coeficiente de varianza de 63.7 lo que indica que existe varianza entre genotipos a su vez esta variable presento un resultado no significativo, número de ramas primarias (RNRP). Ninguno muestra diferencias significativas en bloques.

4.1.2. Altura de planta

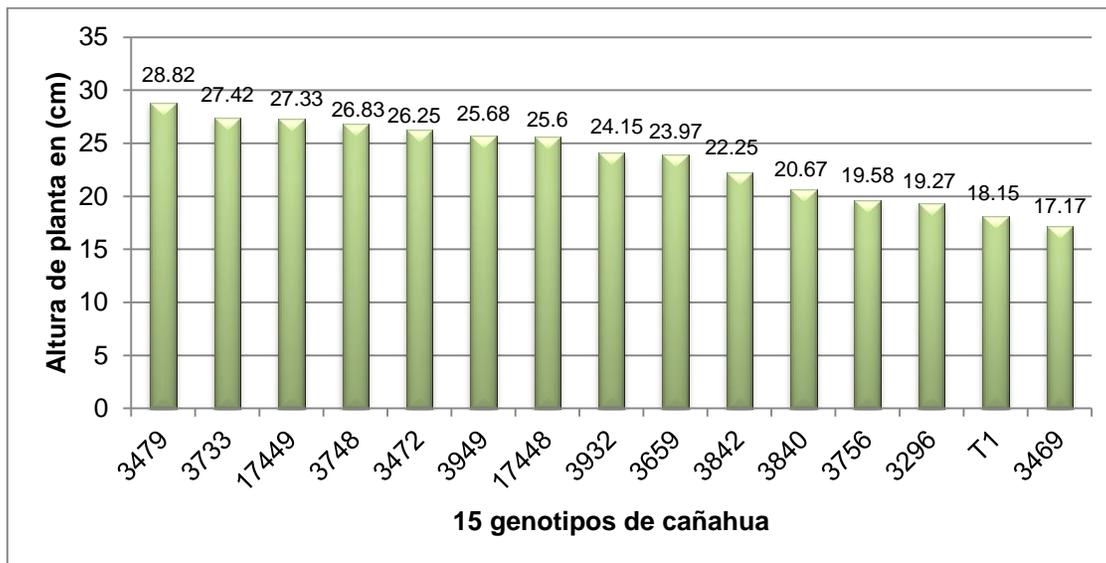


Figura 19. Altura de planta de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

En cuanto al análisis de varianza que se observa en el cuadro 5, para altura de planta de 15 genotipos de cañahua son estadísticamente significativas al 5%, lo que indica que la altura de planta está relacionada a las variedades es decir a las características genotípicas.

Con un coeficiente de variación de 14.71% éste valor indica que está dentro del rango aceptable.

Con respecto a la prueba de medias estadística de Duncan en la figura 19, expone diferencias significativas entre 15 genotipos de cañahua los cuales se clasificaron en dos grupos a un nivel de significancia del 5%, en el cual los genotipos del grupo (A) obtuvieron alturas 22.5 a 28.82 cm para 3479, 3733, 17449, 3748, 3472, 3949, 17448, 3932, 3659 y 3842 siendo las de porte alto, los genotipos del grupo (B) con Alturas de 17.17 y 20.67 cm para los genotipos 3840, 3756, 3296, T1 y 3469 siendo así las plantas de cañahua de porte bajo.

Realizando una comparación con de las plantas mas altas y el testigo se observa mucha diferencia casi por la mitad, de 28.82 cm a 18.15 cm, siendo así que el genotipo 3479 mas alta que el testigo.

Según los resultados obtenidos de 17.17 cm como mínimo, Mamani y Aliaga (2018), indican que pueden llegar a alturas mínimas de 25 cm, sin embargo, Maydana (2010) en su investigación encontró que la planta de porte mas bajo fue 22.71 cm, siendo así que el resultado obtenido es mucho mas bajo que de las demás investigaciones.

La altura máxima que se obtuvo fue de 28.82 cm en cambio en las demás investigaciones como Maydana (2010) reporta como la planta de cañahua mas alta de 36.99 cm, en cambio Mamani y Aliaga (2018) dicen que a lo más alto que llegan las plantas es de 75 cm, estas Alturas de plantas de cañahua son muy altas en comparación con lo que se encontró.

Esto nos indica que las plantas de cañahua a comparación de otras investigaciones son plantas que alcanzaron Alturas por debajo de lo esperado, sin embargo, esto puede variar de acuerdo a los genotipos, variedades o hábitos de crecimiento, a su vez este suceso pudo ser a causa de la ausencia de lluvias debido al cambio climático a nivel mundial.

4.1.3. Diámetro de tallo (DTM)

El análisis de varianza para diámetro de tallo de 15 genotipos de cañahua en el cuadro 5, presento un resultado de diferencias no significativas al 5% dicho resultado nos indica que no hay diferencias significativas entre 15 genotipos de cañahua.

De acuerdo a los resultados obtenidos, expone diámetros de tallo de 0.28 a 0.43 mm la planta de cañahua que obtuvo el diámetro más grueso fue el genotipo 3949, la planta de grosor de diámetro medio fue para el genotipo 3842 y para el genotipo 17448 y la planta de cañahua con un grosor delgado fue para el genotipo 3840. Haciendo una comparación con el testigo que obtuvo un diámetro de tallo de 0.32 mm, encontrando que no hay diferencias entre el diámetros de los mismos.

Los diámetros de tallo que se reportaron en otras investigaciones como Chambi (2017), registro como mínimo de 1.73 mm, Flores (2006) como tallo más delgado de 1.76 mm, a su vez Maydana (2010) como tallo más delgado de 2.82 mm, haciendo una comparación de registros en esta investigación se encontró como tallo más delgado de 0.28 mm se puede observar que está por debajo de las demás investigaciones.

Para diámetros de tallo de diámetro grueso, Chambi (2017), encuentra como diámetro más grueso de 5.98 mm, en cambio Flores (2006) registra un diámetro de tallo más

grueso de 5.98 mm, Maydana (2010), reporta como tallo más grueso de 3.62 mm, al comparar resultados encontramos que en esta investigación el tallo más grueso es de 0.43 mm.

Sin embargo los diámetros de tallo de esta investigación están por debajo del promedio de las otras investigaciones es decir que tiene tallos demasiado delgados que no llegan ni al cm, la hacer una comparación con el testigo el genotipo 3949, estos resultados bajos se deben a la falta de riego por la ausencia de lluvias ya que en otra bibliografías mencionan que las plantas suprimen su desarrollo para poder asegurar su existencia y de esta manera asegura la semilla.

4.1.4. Peso de 1000 granos (GPE)

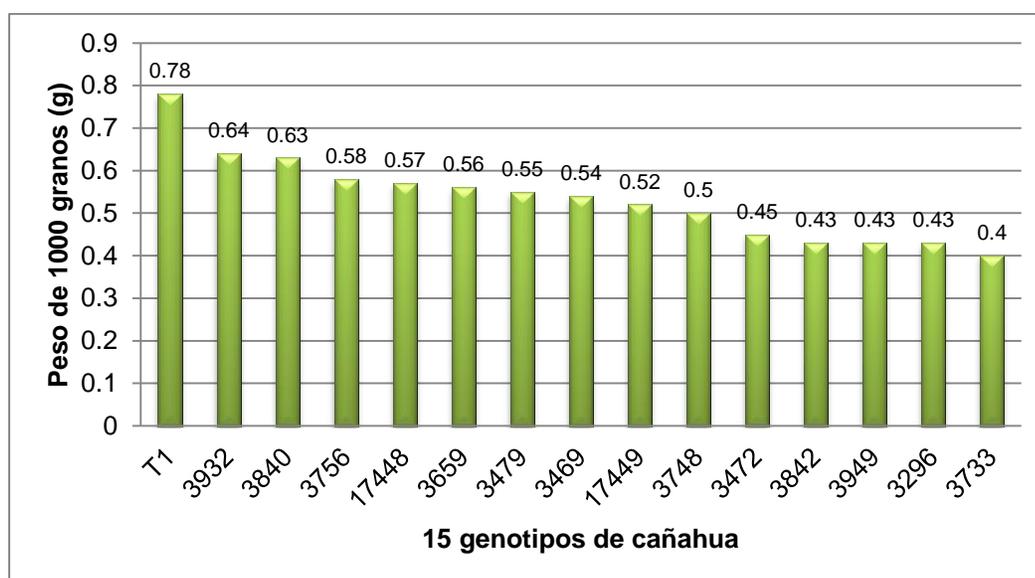


Figura 20. Peso de 1000 granos de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

El análisis de varianza para peso de 1000 gramos de 15 genotipos de cañahua en el cuadro 5 indica que son estadísticamente significativas al 5%, dicho resultado indica que el peso de 1000 granos está relacionado a las variedades o genotipos.

Con respecto a la prueba de medias estadística de Duncan en el figura 20, expone diferencias significativas entre 15 genotipos de cañahua los cuales se clasificaron en dos grupos a un nivel de significancia del 5%, en el cual los genotipos del grupo (A) se obtuvo un peso de 0.78 g para el genotipos T1 para la planta con mayor peso de 1000 g y para

los genotipos del grupo (B) con pesos de 0.40 a 0.64 g, para los genotipos 3932, 384, 3756, 17448, 3479, 3659, 3469, 3748, 17449, 3472, 3842, 3949, 3296 y 3733 estos últimos son los que obtuvieron menores pesos.

El peso de 1000 granos que encontramos en la investigación expresa un resultado de 0.40 g como peso mas bajo y 0.78 g como peso mayor, por su parte Quispe (2007) encontró pesos de 0.31 g como mínimo y como peso máximo de 1000 granos de 0.91 g, dichos resultados nos hacen ver que estos resultados están por debajo a los de la investigación de (Quispe, 2007).

4.1.5. Rendimiento de grano por planta (RGR)

El análisis de varianza para rendimiento de grano presento un resultado de diferencias no significativas en el cuadro 5, lo que indica que no existen diferencias relevantes entre genotipos en cuanto a rendimiento de grano.

Sin embargo, presenta un coeficiente de variación de 63.7, tal resultado nos indica que existe una alta variabilidad entre genotipos.

El resultado en cuanto al rendimiento de grano por planta, el genotipo 3949 presento mayor cantidad de grano, con 20.28 g, la planta con un rendimiento medio fue el genotipo 3842 con un rendimiento de 10.97 g y el genotipo 3756 con un rendimiento de 10.5 g y para la planta con menor rendimiento el genotipo 3469 con un rendimiento de 2.3 g por planta. Comparando con el testigo que obtuvo un rendimiento de grano de 4.38 g, siendo este el rendimiento más bajo.

Con respecto a rendimiento de grano podemos observar que los resultados obtenidos en cuanto a rendimientos bajos es más alto que las demás investigaciones con un rendimiento de grano de 2.3 g, en cambio al rendimiento de grano con mayor peso en la presente investigación alcanzo un peso de 20.28 g, haciendo una comparación con Flores (2006) el rendimiento de grano de 41g siendo este más alto en cambio con Mayta (2012), en su investigación alcanzo un rendimiento de grano de 12.28 g es menor al rendimiento de grano que se obtuvo en esta investigación, de tal manera podemos decir que todo depende del riego el genotipo y el habito de crecimiento.

4.1.6. Rendimiento de la broza (RB)

El análisis de varianza para rendimiento de broza en el cuadro 5, presento un resultado de diferencias no significativas, con lo que podemos interpretar que no existen diferencias relevantes entre genotipos en cuanto a rendimiento de broza.

Los resultados proyectados nos muestran que las plantas que obtubieron mayor cantidad de broza fue el genotipo 3949 con 26.65g, para la planta con un rendimiento medio fue para los genotipos 3659 con 15.8g y el genotipo 3842 con 15.4 g y la planta con menor rendimiento de grano para el genotipo 3296 con 11.13 g por planta por otra parte el testigo obtuvo un resultado de 19.28 g, encontrandose con mayor cantidad de broza.

Con respecto a rendimiento de broza podemos observar que el rendimiento de broza de la presente investigación es más ya que el más bajo pesa 11.13 g y el que tiene mayor peso es de 26.65 g, en cambio Flores (2007), obtuvo resultados en pesos de broza en rangos de 3.50 a 6.55 g/planta cuyas medias fueron analizadas de acuerdo a la prueba de medias de Tukey al 5%, ella indica que el peso más alto es para las plantas de habito de crecimiento saihua en comparación con lasta, sin embargo Maydana (2010), hallo sus resultados en las variedades Warikunca y Condornayra los obtuvieron mayores rendimientos de broza con 2743.8 y 2697.5 kg/ha, seguido de Pukaya con 2406.3 kg de broza /ha, seguido de las variedades de cañahua que conforman Ak'apuya y Kullpara con valores de 1903.1 y 1891.3 kg de broza/ha y por último la variedad obtuvo menor valor de 1555.4 kg de broza /ha, esto puede deberse a los genotipos o también a la forma de habito de crecimiento de la planta de cañahua ya que en esta investigación todas las plantas pertenecen al habito de crecimiento lasta.

4.1.7. Grado de dehiscencia (GD)

Cuadro 6. Grado de dehiscencia (frecuencias), evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado
Ligera	7	15.6	15.6	15.6
Persistente	11	24.4	24.4	40
Regular	27	60	60	100
Total	45	100	100	

En el Cuadro 6 las siguientes frecuencias nos muestra que la mayor cantidad de genotipos pertenece a un grado de dehiscencia regular es decir a un 60% de individuos, por consiguiente le sigue el grado de dehiscencia de tipo persistente un 24.04% de los genotipos y por último y con un menor porcentaje (15.6%) al tipo de grado de dehiscencia ligero.

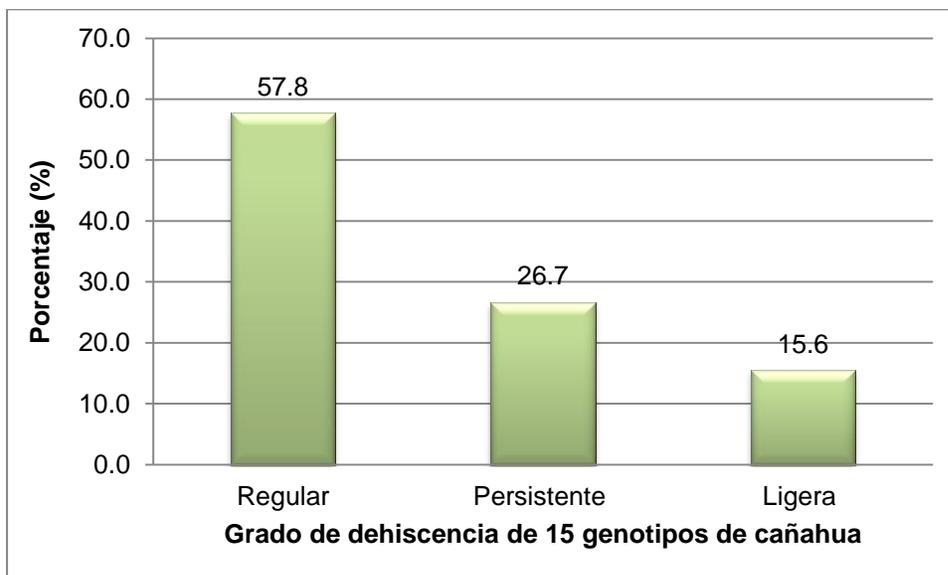


Figura 21. Grado de dehiscencia para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

Según la Figura 21 podemos observar que los genotipos con un grado de dehiscencia regular esta conformado por el 57.8 % de las plantas de cañahua seguido del grado de dehiscencia persistente con el 26.7 % y por ultimo el grado de dehiscencia ligera con el 15.6 % de la cantidad de 15 genotipos de cañahua.

4.2. Variables morfológicas

4.2.1. Numero de ramas primarias (RNRP)

El análisis de varianza para el número de ramas primarias nos determina un resultado de diferencias no significativas, con lo que podemos interpretar que no existen diferencias prominentes entre genotipos en cuanto a número de ramas.

Los genotipos con mayor cantidad de ramas primarias fueron 3479, 3748, 3733 y 3932 con 9 a 8 ramas y por último el genotipo con menor cantidad de ramas fue el testigo con 5 ramas.

De esta manera podemos decir que el hábito de crecimiento de las plantas de cañahua son muy importantes ya que a mayor cantidad de ramas mayor será el rendimiento de grano, haciendo una comparación en la presente investigación hubo mayor cantidad de ramas de 5 a 9 ramas, en cambio Flores (2006) menciona que esta variable se encuentra relacionada por el hábito de crecimiento, por lo que las plantas con hábito de crecimiento lasta presenta mayor cantidad de ramas primarias y las de hábito de crecimiento saihua posee menor cantidad de ramas primarias, indica que encontró promedios de 7.86 a 1.47 ramas primarias.

4.3. Variables fenológicas

4.3.1. Hábito de crecimiento (HC).

Cuadro 7. Hábito de crecimiento de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

	Frecuencia	Porcentaje	Porcentaje válido	Porcentaje acumulado	
Válido	Lasta	45	100	100	100

Para esta variable se observó que todos los genotipos conciernen a un hábito de crecimiento lasta es decir el 100% como se puede observar en el Cuadro 7.

4.4. Análisis de regresión lineal

Cuadro 8. Análisis de regresión lineal para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

Variable	N	R ²	R ² Aj	ECMP	AIC	BIC
RGR	45	0.69	0.66	25.91	271.26	282.1

Cuadro 9. Coeficientes de regresión y estadísticos asociados para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

bCoef	Est.	E.E.	LI(95%)	LS(95%)	T	p-valor	CpMallows	VIF
Const	11.18	6.03	-1.01	23.37	1.85	0.0712		
AAP	0.38	0.16	0.05	0.71	2.33	0.0247	8.44	1.27
DTM	-20.83	10.51	-42.07	0.41	-1.98	0.0544	6.93	1.48
GPE	-23.54	5.71	-35.08	-11.99	-4.12	0.0002	19.96	1.2
RBR	0.64	0.09	0.45	0.83	6.71	<0,0001	48.08	1.32

Cuadro 10. Análisis de varianza para 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021-2022.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
AAP	113.96	1	113.96	5.44	0.0247
DTM	82.21	1	82.21	3.93	0.0544
GPE	355.08	1	355.08	16.96	0.0002
RBR	943.65	1	943.65	45.08	<0,0001
Error	837.29	40	20.93		
Total	2680.87	44			

De acuerdo a los resultados que se obtuvo mediante el paquete estadístico Info Stat, presento un resultado que el rendimiento de grano existe una estrecha relación con altura

de planta (AAP), diámetro de tallo (DTM), peso de 1000 gramos (GPE) y con el rendimiento de broza (RBR) como se puede apreciar en el Cuadro 9.

Sin embargo R cuadrado ajustado el cual se puede apreciar en el cuadro 8 nos da un resultado de 0.66 cuyo dato indica que el 66% esta explicado por el modelo. Esto representa que casi una sexta parte y un poco más del rendimiento de grano es explicado por un conjunto de variables independientes seleccionadas.

Sin embargo el resultado de p-valor en los Cuadros 9 y 10 indica que las variables AAP (altura de planta), DTM (diámetro de tallo), GPE (peso de 1000 granos) y RBR (rendimiento de broza) están relacionado al rendimiento de grano ya que el valor de significancia es menor al 5%.

En el cuadro 9 de acuerdo a los resultados de la constante nos indica que a mayor altura de planta y mayor cantidad de broza el rendimiento incrementara y que a menor diámetro de tallo y menor la cantidad del peso de 1000 grano menor será la cantidad de grano en si no influirá en el rendimiento.

4.5. Coeficiente de correlación de Pearson

Cuadro 11. Matriz de correlación de Pearson para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el Centro Experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

	AAP	DTM	GPE	RBR	RGR	RNRP
AAP	1					
DTM	0.38	1				
GPE	-0.24	-0.37	1			
RBR	0.37	0.42	-0.05	1		
RGR	0.49	0.31	-0.41	0.7	1	
RNRP	0.45	0.08	-0.33	0.11	0.25	1

Convenciones de las variables: RGR: rendimiento de grano por planta (g/pl); APP: altura de planta; DTM: diámetro del tallo central (cm); GPE: peso de 1000 granos (g).RBR: rendimiento de broza (g/pl); RNRP: número de ramas primarias.

En el Cuadro 11 la matriz de correlación muestra que el rendimiento de grano tiene una correlación positiva y significativa a un nivel de 5%, ($p < 0,05$) de probabilidad con las siguientes variables: rendimiento de broza altura de planta y diámetro de tallo

Con altura de planta con un resultado de ($r=0.49$), de igual manera con la variable diámetro de tallo con un resultado de ($r 0.31$) a su vez la variable número de ramas primarias y por último la variable rendimiento de broza con un resultado de ($r=0.7$). Con los siguientes resultados podemos interpretar que según los caracteres morfológicos de la planta de cañahua, podemos expresar que a mayor altura de planta, mayor diámetro de tallo, mayor número de ramas primarias en otras palabras que a mayor cantidad de broza mayor será el rendimiento de grano.

Dichos resultados están comprobados por Mayta (2012). En su investigación menciona que los caracteres morfológicos del desarrollo de las plantas, juegan un rol muy importante en la estructura de la planta, ya que a mayor altura de la planta, mayor número de ramas y a mayor cobertura vegetal mayor el rendimiento de grano de cañahua.

4.6. Análisis de componentes principales (ACP)

Cuadro 12. Valores propios y contribuciones porcentuales de los componentes principales a la varianza total de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	2.9	0.48	0.48
2	1.64	0.27	0.76
3	0.76	0.13	0.88
4	0.5	0.08	0.97
5	0.16	0.03	0.99
6	0.04	0.01	1

La salida de resultados del análisis demuestra que existe variabilidad en 6 variables independientes, cuadro 12. Para la selección de componentes significativos se tomó en cuenta lo propuesto por Cliff (1987) para la selección menciona que los componentes principales aceptables en valores propios sean $>70\%$ de la varianza, sin embargo Kaiser

(1960) indica que son aceptable los componentes de valor propio sean >1 (Rojas 2003 citado por Hidalgo, 2003).

Cuadro 13. Análisis de componentes principales para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Variables	CP 1	CP 2
AAP	0.85	-0.2
DTM	0.7	0.2
GPE	-0.65	0.47
RBR	0.48	0.86
RGR	0.81	0.41
RNRP	0.62	-0.66

AAP (altura de planta), TDM (diámetro de tallo), GPE (peso de cien granos), GPE (peso de 1000 granos), RBR (rendimiento de grano) RGR (rendimiento) y RNRP (número de ramas primarias)

El primer componente en el cuadro 13 tuvo un aporte del 48% de la varianza total, Las variables con una contribución positiva fueron: altura de planta AAP, rendimiento de grano RGR, Y diámetro de tallo DTM.

De acuerdo a este componente se pudo identificar genotipos de cañahua con plantas altas, con diámetros de tallo medio, con un peso se 1000 granos bajo, con rendimiento de broza baja, con un buen rendimiento de granos, con pocas ramas.

El segundo componente tuvo un aporte del 27% de la varianza total, donde se destaca la contribución positiva y significativa a la formación del componente, esta variable fue rendimiento de broza RBR.

Con esta característica se puede mencionar que este segundo componente principal identifica a genotipos de cañahua con una altura muy baja, un diámetro de tallo delgado, con peso de 1000 granos bajo, con mucha broza, con rendimientos bajos y con pocas ramas.

4.7. Análisis BIPLLOT

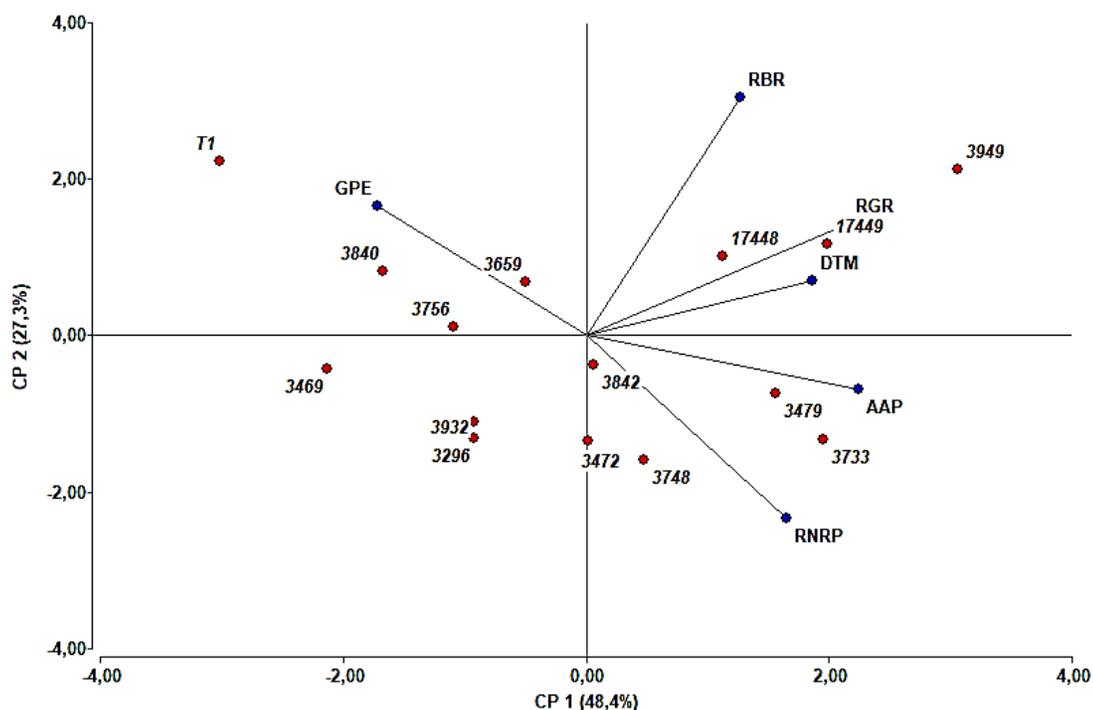


Figura 22. BIPLLOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Según el análisis BIPLLOT en la figura 22 observamos que las variables de respuesta se encuentran asociadas por la magnitud de vectores a partir del punto de origen, de acuerdo con la separación angular, la mejor conformación está asociada por las variables que se encuentran en el primer componente con: altura de planta que se conforma por los genotipos 3479 y 3733, con diámetros de tallo medio el genotipo 17449, con un peso se 1000 granos, con un peso bajo los genotipos 3840, 3659 y 3756, con rendimiento de broza baja 3932, 3296 y 3469, con un buen rendimiento de granos para los genotipos 17448, 17449 y 3949, con pocas ramas a los genotipos 3842, 3748 y 3472.

Con el segundo componente principal podemos evidenciar que son plantas con altura muy baja 3469, 3932 y 3296, un diámetro de tallo delgado para el testigo (T) que a su vez se encuentra muy alejado del punto de origen, con peso de 1000 granos bajo 3840, 3659

y 3756, poseen mayor cantidad de broza el genotipo 3659, con rendimientos bajos 3932, 3296 y 3469 y con pocas ramas 3842, 3748 y 3472.

4.8. Análisis de datos clúster

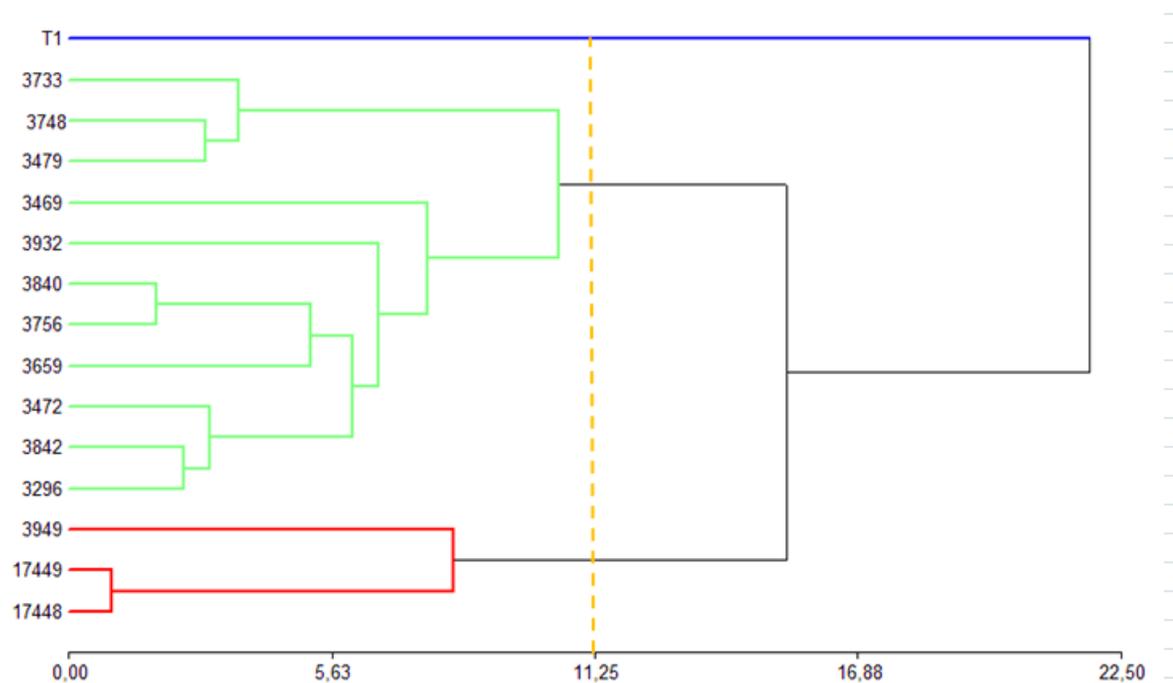


Figura 23. Dendrograma para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Según el análisis clúster se utilizaron los caracteres cuantitativos como: altura de planta (APP), diámetro de tallo (DTM), peso de 1000 granos (GPE), rendimiento de broza (RBR), rendimiento de grano (RGR) y el número de ramas primarias (RNRP), para la formación de grupos de individuos con la presencia de características peculiares entre ellas figura 23 en la que se observa la formación de 3 grupos en función a dichas variables, en la que se puede apreciar la diversidad genética entre genotipos.

Como primer grupo tenemos al testigo, la cual presentó una altura de planta (APP) 18.15 cm, un diámetro de tallo (DTM) de 0.32 mm, un peso de 1000 granos (GPE) de 0.78 g, un rendimiento de broza (RBR) de 19.28 g por planta, un rendimiento de granos (RGR) de

4.38 g por planta y un número de ramas primarias (RNRP), de 6, con una dehiscencia de grano regular.

El segundo grupo se conformó 11 genotipos en la que se encontraron las siguientes características en promedios: una altura de planta (APP) de 23 cm, un diámetro de tallo (DTM) de 0.3 mm, un peso de mil granos (GPE) de 0.52 g por planta, un rendimiento de broza (RBR) de 13.9 g por planta, un rendimiento de granos (RGR) de 8.87 g por planta, con un número de ramas primarias de 8 ramas por planta y una dehiscencia de granos en su mayoría presenta una dehiscencia persistente.

El tercer grupo se conformó por 3 genotipos, los cuales presentaron las siguientes características: (APP) de 26 cm, con (DTM) de 0.37mm, con (GPE) de 0.51 g, con (RBR) de 23 g por planta, (RGR) de 20 g por planta, con (RNRP) con un promedio de 8 ramas por planta y una dehiscencia para los genotipos 17448 y 3949 con una dehiscencia regular y el genotipo 17449 presenta una dehiscencia ligera.

5. CONCLUSIONES

Según los objetivos planteados y los resultados obtenidos, nos otorga sustentar las siguientes conclusiones: En función a los resultados que se encontraron en campo con un previo análisis estadístico descriptivo para las características agronómicas de 15 genotipos de cañahua se llegó a las siguientes conclusiones:

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el programa estadístico Info Stat podemos describir los 15 genotipos, según al coeficiente de variación existe mucha variación entre genotipos:

Como primer genotipo describimos al testigo, el cual presento una altura de planta 18.15 cm, un diámetro de tallo de 0.32 mm, un peso de 1000 granos de 0.78 g, un rendimiento de broza de 19.28 g por planta, un rendimiento de granos de 4.38 g por planta y un número de ramas primarias de 6, con una dehiscencia de grano regular.

El segundo grupo de genotipos conformados por (3733,3748,3479,3469,3932,3840,3756,3659,3472,3842 y 3296) los cuales presentaron las siguientes características agronómicas en promedio: una altura de planta de 23 cm, un diámetro de tallo de 0.3 mm, un peso de mil granos de 0.52 g por planta, un rendimiento de broza de 13.9 g por planta, un rendimiento de granos de 8.87 g por planta, con un número de ramas primarias de 8 ramas por planta y una dehiscencia de granos, presenta una dehiscencia persistente en su mayoría.

Como tercer grupo está conformado por 3 genotipos, los cuales presentaron las siguientes características agronómicas: altura de planta de 26 cm, con diámetro de tallo de 0.4 mm, con peso de mil granos de 0.51 g, con rendimiento de broza de 23 g por planta, rendimiento de grano de 20 g por planta, con número de ramas primarias con un promedio de 8 ramas por planta y una dehiscencia regular para los genotipos 17448 y 3949 y el genotipo 17449 presenta una dehiscencia ligera.

Se llegó a identificar a los genotipos con más relevancia agronómicamente, entre estos 17449, 17448 y 3949 los cuales obtuvieron rendimientos de 20.1, 18.6, 20.28 g/ planta, los cuales superan al testigo (Illimani) el cual obtuvo 4.38 g/planta.

6. RECOMENDACIONES

En base a los resultados obtenidos se formulan las siguientes recomendaciones:

- ❖ De acuerdo a los resultados obtenidos se recomienda continuar el ensayo con los genotipos seleccionados 17449, 17448 y 3949, ya sea en la misma localidad o en diferentes localidades del altiplano para continuar estudiando las características agronómicas ya que se obtuvo un resultado no significativo, sin embargo obtuvo un coeficiente de varianza alto indicando que existe mucha variabilidad genética.
- ❖ Se recomienda replicar el ensayo, con la finalidad de mejorar o ratificar los resultados, ya estos últimos años existe un cambio muy drástico en el clima y el ciclo hidrológico, causando zozobra a nivel mundial.
- ❖ Continuar más investigaciones sobre rendimientos de cañahua con la finalidad de identificar genotipos sobre salientes en cuanto a factores bióticos y abióticos.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Ardaya, C. 2012. Comportamiento agronómico de tres variedades de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), en proceso de introducción en la localidad de Carabuco – La Paz. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 82 p.
- Apaza, V. 2010. Manejo y mejoramiento de Kañiwa. Convenio Instituto Nacional de Innovación Agraria INIA-Puno, Centro de Investigación de Recursos Naturales y Medio Ambiente – CIRNMA, Bioersity international y el International Fund Agricultural Development – IFAD. Altiplano E. I. R. L. Puno, Perú. 74 p.
- Chambi, J. L. 2017. Caracteres agronómicos de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en el periodo reproductivo relacionado a la calidad de grano en treinta y nueve accesiones. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 63 p.
- DAPRO 2020. Identificación del potencial agrícola del cultivo de cañahua en el municipio de Toledo del departamento de Oruro. Oruro, Bolivia. 30 p.
- De la Fuente, S. 2024. Análisis de Componentes Principales (ACP). Facultad de Ciencias Económicas y Empresariales. Universidad Autónoma de Madrid. 40 p. (en línea). Consultado el 14 de octubre de 2023. Disponible en www.estadística.net.
- Días de Rada, V. 1998. Diseño de tipologías de consumidores mediante la utilización conjunta del Análisis Clúster y otras técnicas multivariantes. Departamento de sociología. Universidad Pública de Navarra. 30 p.
- Flores, R. 2006. Evaluación preliminar agronómica y morfológica del germoplasma de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la Estación Experimental Belén. Tesis Lic.Ing. Agr.. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 121 p.
- Flores, R. A. 2007. Evaluación participativa de líneas y accesiones promisorias de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en dos comunidades del Cantón Chachacomani. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 39 p.

- García, M.1992. Características de una distribución de frecuencias: tendencia central, dispersión y forma. La distribución normal”. Socioestadística. Capítulo 3. 31p.
- Gonzales, C. R. 2019. Comportamiento agronómico de dos variedades y un ecotipo de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) con tres densidades de siembra en condiciones de la irrigación Majes – Arequipa. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 112 p.
- Giménez, T; Mamani, F; Canaviri, W. 2017. El Arte de Cultivar Cañahua. Editorial: Mario Vargas, La Paz, Bolivia. 31p.
- GCFGlobal.org. 2024. Estadística básica: tipos de frecuencia. (en línea). Consultado el 14 de octubre de 2022. Disponible en <https://edu.gcfglobal.org/es/estadistica-basica/que-es-una-tabla-de-frecuencias/1/>
- Hinojosa, J. 2017. Caracterización de conocimientos ancestrales en la producción de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en el altiplano norte y centro del departamento de La Paz. Bolivia. 91p.
- Bioversity international, PROINPA e IFAD – NUS. 2001-2010. Avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en Bolivia. Roma, Italia. 178 p.
- IPGRI, PROINPA e IFAD. 2005. Descriptores para cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen). Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos, Roma, Italia; Fundación PROINPA, La Paz, Bolivia; International Fund for Agricultural Development, Roma, Italia. 45 p.
- Mamani, F. 2016. Atlas de Biodiversidad Genética de Cañahua y Quinua. La Paz. Bolivia. DIPGIS – IDH. 150 p.
- Mamani, F; Aliaga, S. E. 2018. La cañahua grano milenario de los andes arte dedicado a la producción sostenible. Primera edición, Bolivia. 107p.
- Maydana, E. 2010. Evaluación de la producción de seis variedades de cañahua (*Chenopodium pallidicaule aellen*) con participación de agricultores en la

- comunidad de Paucare del municipio de Mocomoco. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 111 p.
- Mayta, A. 2012. Evaluación agromorfológica y componentes de rendimiento de doce accesiones de cañahua en condiciones de Kallutaca. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Pública de El Alto, El Alto, Bolivia. 68 p.
- Nina, A. E. 2014. Comportamiento agronómico de diez accesiones de cañihua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en zonas áridas. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa, Perú. 81 p.
- Ochoa, R. R. 2009. Diseños experimentales. El modelo lineal del diseño bloques al azar. 1ª ed. La Paz, Bolivia. 62 p.
- Paucara, L. 2016. Comportamiento agronómico de quince líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen), en la Estación Experimental de Quipaquipani del Departamento de La Paz. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 109 p.
- Ramirez, D. E. 2014. Efecto de la aplicación del fertirriego con la incorporación de biobovino en el cultivo de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en la Estación Experimental Choquenaira. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 87 p.
- Rival, A. (2013). Genotipo y fenotipo. Exploración de la caja negra de los mejoradores. Durand Gasselin. Francia. 7 p.
- Rojas, W; Soto, L; Pinto, M; Soto J. L. 2010. Distribución geográfica y variabilidad genética de los granos andinos. Rev. Bioersity International y Fundacion Proinpa. 13 p.
- Soto, J; Carrasco, E. 2008. Estudio del valor real y potencial de la biodiversidad de granos andinos (Quinoa, Cañahua y Amaranto en Bolivia). Proyecto, Fortalecimiento de las oportunidades de ingreso y la seguridad nutricional de los pobres rurales, a través del uso y mercadeo de especies olvidadas y subutilizadas. NUS. IFAD II. La Paz, Bolivia. 54 p.

- Ticona, M. N. 2017. Evaluación de variables de cosecha y pos cosecha en 11 líneas precoces de qañawa (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en K'iphak'iphani, Viacha. Tesis de grado para obtener título Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, la paz, Bolivia. 82 p.
- Ticona, J. C. 2011. Efecto de la biofertilización en dos líneas de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) en Calasaya Provincia Los Andes. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Mayor de San Andrés, La Paz, Bolivia. 81 p.
- UCM, (Universidad Complutense de Madrid)7. 2024. Experimentos de Mendel. (en línea). Madrid, España. Consultado el 27 noviembre 2021 disponible en <https://www.ucm.es/data/cont/media/www/pag-56185/12-Los%20experimentos%20de%20Mendel.pdf>
- UG, (Universidad de Granada). 2024. Introducción al análisis cluster. Granada, España 57p. (en línea). Consultado el 14 de octubre de 2022. Disponible en <https://www.ugr.es/~gallardo/pdf/cluster-g.pdf>
- Varela, N. 2002. Los métodos biplot como herramienta de análisis de interacción de orden superior en un modelo lineal bi/lineal. Universidad de Salamanca. Departamento de estadista. 155 p.
- Yapu, J. F. 2020. Evaluación agromorfológica de variedades de cañahua (*Chenopodium pallidicaule* Aellen) bajo diferentes niveles de ali ch'amanchiri en la estación experimental de kallutaca. Tesis Lic.Ing. Agr. Universidad Pública de El Alto, El Alto, Bolivia. 134 p.

8. ANEXOS

Anexo 1. Autovalores BIPLLOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	2.9	0.48	0.48
2	1.64	0.27	0.76
3	0.76	0.13	0.88
4	0.5	0.08	0.97
5	0.16	0.03	0.99
6	0.04	0.01	1

Anexo 2. Autovectores BIPLLOT para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Variables	e1	e2
AAP	0.5	-0.15
DTM	0.41	0.15
GPE	-0.38	0.37
RBR	0.28	0.67
RGR	0.48	0.32
RNRP	0.37	-0.51

Anexo 3. Análisis de conglomerados clúster para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Promedio (Average linkage)	
Distancia:	(Euclidea ²)
Correlación cofenética=	0.66
Variables estandarizadas	
Casos leídos	45
Casos omitidos	0

Anexo 4. Análisis de varianza Cluster (altura de planta) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	152.91	2	76.45	3.73	0.0323
Conglomerado	152.91	2	76.45	3.73	0.0323
Error	860.73	42	20.49		
Total	1013.63	44			

Anexo 5. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
1	26.21	A
3	23.31	A
2	18.15	B

Anexo 6. Análisis de varianza de Clúster (diámetro de tallo) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	0.01	2	0.01	0.91	0.4091
Conglomerado	0.01	2	0.01	0.91	0.4091
Error	0.27	42	0.01		
Total	0.28	44			

Anexo 7. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
1	0.37	A
3	0.33	A
2	0.32	A

Anexo 8. Análisis de varianza de Clúster (peso de 1000 granos) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	0.2	2	0.1	7.4	0.0018
Conglomerado	0.2	2	0.1	7.4	0.0018
Error	0.57	42	0.01		
Total	0.77	44			

Anexo 9. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
2	0.78	A
3	0.52	B
1	0.51	B

Anexo 10. Análisis de varianza de Clúster (rendimiento de grano) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor
Modelo	952.32	2	476.16	11.57	0.0001
Conglomerado	952.32	2	476.16	11.57	0.0001
Error	1728.55	42	41.16		
Total	2680.87	44			

Anexo 11. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
1	19.66	A
3	8.87	B
2	4.38	B

Anexo 12. Análisis de varianza de Clúster (rendimiento de broza) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	648.98	2	324.49	5.62	0.0069
Conglomerado	648.98	2	324.49	5.62	0.0069
Error	2423.38	42	57.7		
Total	3072.36	44			

Anexo 13. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
1	23.26	A
2	19.28	A
3	13.92	B

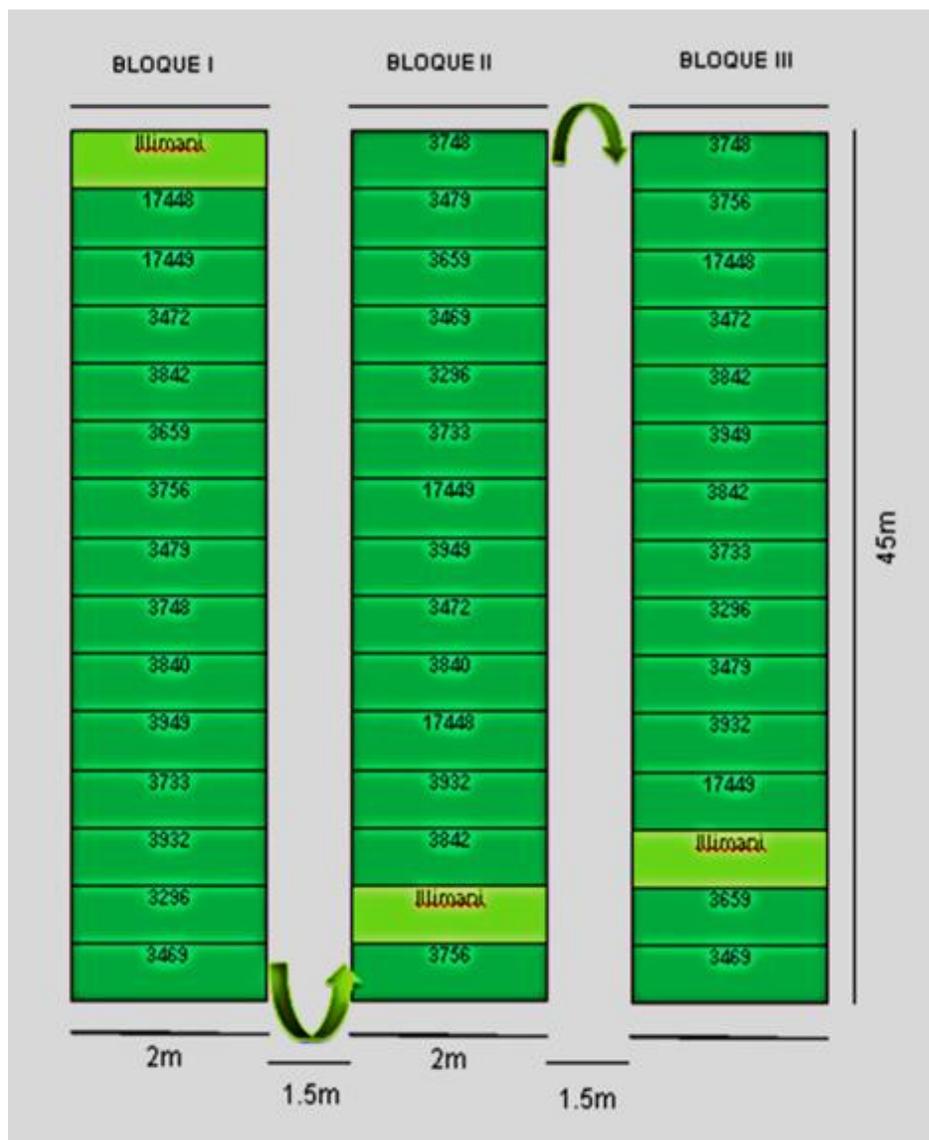
Anexo 14. Análisis de varianza de Clúster (número de ramas primarias) para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor
Modelo	10.16	2	5.08	3.62	0.0354
Conglomerado	10.16	2	5.08	3.62	0.0354
Error	58.95	42	1.4		
Total	69.11	44			

Anexo 15. Prueba de significancia de Duncan para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.

Conglomerado	Medias	Prueba de Duncan
3	7.58	A
1	7.56	A
2	5.67	B

Anexo 16. Croquis experimental para las variables agronómicas de 15 genotipos de cañahua, evaluadas en el centro experimental de Kallutaca, durante la campaña agrícola 2021- 2022.



Anexo 17. Fotos

Foto 1. Preparación del suelo previo a la siembra.



Foto 2. Pesado de las semillas previo a la siembra.



Foto 3. Semilla lista para la siembra.



Foto 4. Siembra.



Foto 5. Colocado de letreros para identificar bloques y tratamientos.



Foto 6. Demostración de día de campo del cultivo de cañahua, con autoridades de la universidad, INIAF y población de la región Kallutaca.



Foto 7. Labores culturales.



Foto 8. Cosecha



Foto 9. Peso de broza.



Foto 10. Peso de grano.



Foto 11. Visita al INIAF Toralapa