

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**



**“RESPUESTA AL ESTRÉS SALINO EN QUINUA (*Chenopodium quinoa*  
Willd.) E IDENTIFICACIÓN DE ACCESIONES TOLERANTES EN  
CONDICIONES CONTROLADAS”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE**

**INGENIERO AGRÓNOMO**

**GLORIA KATERYN MENDOZA HINOSTROZA**

**LIMA-PERÚ**

**2024**

# TESIS FINAL- RG-KM-2024 (rlgp)V4

## ORIGINALITY REPORT

<b>9%</b> SIMILARITY INDEX	<b>8%</b> INTERNET SOURCES	<b>2%</b> PUBLICATIONS	<b>2%</b> STUDENT PAPERS
-------------------------------	-------------------------------	---------------------------	-----------------------------

## PRIMARY SOURCES

<b>1</b>	<a href="https://repositorio.unsa.edu.pe">repositorio.unsa.edu.pe</a> Internet Source	<b>3%</b>
<b>2</b>	<a href="https://repositorio.lamolina.edu.pe">repositorio.lamolina.edu.pe</a> Internet Source	<b>3%</b>
<b>3</b>	<a href="https://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	<b>1%</b>
<b>4</b>	Submitted to Universidad Nacional Agraria La Molina Student Paper	<b>1%</b>

Exclude quotes  On

Exclude matches  < 1%

Exclude bibliography  On

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA  
LA MOLINA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**“RESPUESTA AL ESTRÉS SALINO EN QUINUA (*Chenopodium quinoa* Willd.)  
E IDENTIFICACIÓN DE ACCESIONES TOLERANTES  
EN CONDICIONES CONTROLADAS”**

**GLORIA KATERYN MENDOZA HINOSTROZA**

Tesis para optar el título de:

**INGENIERO AGRÓNOMO**

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

---

Ing. Mg. Sc. Braulio La Torre Martínez  
**PRESIDENTE**

---

Dra. Luz Rayda Gómez Pando  
**ASESOR**

---

Dr. Jorge Eduardo Jiménez Dávalos  
**MIEMBRO**

---

Dr. Raúl Humberto Blas Sevillano  
**MIEMBRO**

**LIMA – PERÚ**

**2024**

## **DEDICATORIA**

Dedico mi trabajo a mi hijo, por supuesto, así como a mis padres y hermanos por su apoyo y comprensión durante mi tiempo en la universidad.

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar, quiero expresar mi agradecimiento a Dios por permitirme culminar este ciclo, al Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina por el financiamiento de esta investigación, y al Contrato de Subvención: No. 002 - 2010-L' OREAL. Estudio de la Respuesta al Estrés Salino en Quinoa (*Chenopodium Quinoa Willd*) e Identificación de los Mecanismos de Tolerancia. L'OREAL Perú, la UNESCO y el CONCYTEC. Premio Por la Mujer en la Ciencia.

Agradezco mi asesora Luz Gómez Pando por asignarme esta retadora tarea, también a Raymundo Gutiérrez Rosales por su orientación y apoyo durante la etapa de campo, a Ruth Paucar y a los demás integrantes del Programa de Cereales, así como a mis amigos y compañeros que me acompañaron en las mediciones.

## INDICE GENERAL

<b>I.</b>	<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>1</b>
1.1	OBJETIVOS:.....	2
1.1.1	Objetivo general .....	2
1.1.2	Objetivos específicos .....	2
<b>II.</b>	<b>REVISIÓN DE LITERATURA.....</b>	<b>3</b>
2.1	IMPORTANCIA DE LA QUINUA EN EL MUNDO Y EN EL PERÚ .....	3
2.1.1	Quinua en el Mundo.....	3
2.1.2	Quinua en el Perú .....	4
2.2	BOTÁNICA.....	5
2.2.1	Origen.....	5
2.2.2	Posición taxonómica .....	6
2.2.3	Descripción botánica del cultivo .....	6
2.2.4	Fenología.....	7
2.3	CONDICIONES AMBIENTALES DEL CULTIVO.....	9
2.4	QUINUA COMO CULTIVO ALTERNATIVO PARA LA SIEMBRA EN SUELOS SALINOS .....	10
2.4.1	Problemas de Salinización en el Mundo .....	10
2.4.2	Estrés salino y sus efectos negativos en las plantas .....	10
2.4.3	Adaptación de las plantas a la salinidad.....	12
2.4.4	Mecanismos involucrados en la tolerancia a la salinidad .....	13
2.4.5	Mecanismos de tolerancia en <i>Chenopodium quinoa</i> .....	14
<b>III.</b>	<b>MATERIALES Y MÉTODOS .....</b>	<b>17</b>
3.1	LUGAR Y UBICACIÓN .....	17
3.2	MATERIALES .....	17
3.2.1	Material genético.....	17
3.2.2	Insumos, herramientas, equipos agrícolas y otros.....	19
3.2.3	Materiales, instrumentos y equipos de laboratorio .....	19
3.2.4	Reactivos .....	19
3.2.5	Suelo y agua de riego .....	20

3.2.6 Equipos.....	21
3.3 METODOLOGÍA:.....	22
3.3.1 FASE I – Determinación de la tolerancia a sales en germinación: .....	22
3.3.2 FASE II - Determinación de la tolerancia a sales en el ciclo de vida: ....	22
3.3.3 Variables a evaluadas:.....	24
3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	26
<b>IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....</b>	<b>27</b>
4.1 OBJETIVO 1: .....	27
4.1.1 Germinación en agua destilada (control): .....	27
4.1.2 Germinación en solución con diferentes niveles de salinidad: .....	28
4.2 OBJETIVO 2: .....	31
4.2.1 Altura de planta (cm): .....	32
4.2.2 Rendimiento de granos (g/planta): .....	35
4.2.3 Contenido de clorofila (unidades SPAD- clorofilómetro SPAD 502- MINOLTA): .....	37
4.2.4 Fotosíntesis:.....	41
4.2.5 Contenido de Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> en hojas: .....	42
4.2.6 Contenido de Na <sup>+</sup> y Cl <sup>-</sup> en tallos: .....	45
4.2.7 Contenido Relativo de Agua: .....	46
4.2.8 Concentración de prolina en las hojas:.....	48
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>49</b>
5.1 OBJETIVO 1 .....	49
5.2 OBJETIVO 2 .....	49
<b>VI. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>51</b>
<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>52</b>

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Perú, producción de quinua (t) (2008-2021) .....	4
Tabla 2: Rangos de tolerancia de las plantas a la salinidad de suelos (Richards, 1954) .....	12
Tabla 3: Características del sustrato suelo de las macetas empleado en la evaluación de la tolerancia a sales de accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> , Willd) bajo condiciones controladas. La Molina- Perú. ....	20
Tabla 4: Características del agua de riego empleado en las bandejas y macetas del experimento de tolerancia a la salinidad en quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> , Willd). La Molina- Perú. ....	21
Tabla 5: Estadística general del experimento de germinación de quinua en placas de Petri y con diferentes concentraciones de sales .....	30
Tabla 6: Porcentaje de germinación de las accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) seleccionadas por su tolerancia en la fase de germinación a las concentraciones salinas de 250, 350 y 400 mM de Cl Na. ....	30
Tabla 7: ANVA de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).....	32
Tabla 8: Valores medios de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS). ....	33
Tabla 9: Porcentaje de reducción de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS). ....	33
Tabla 10: ANVA de Rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS). ....	35
Tabla 11: Valores medios de rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS). ....	36



Tabla 12: Porcentaje de reducción del rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS). .....	36
Tabla 13: Contenido de clorofila (Valores SPAD), en siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar y salinizado con 400 mM de NaCl.....	39
Tabla 14: Valores medios de fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , PP SYSTEMS) en siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar y salinizado con 400 mM de ClNa. ....	41
Tabla 15: Contenido de $\text{Na}^+$ (%) en las hojas de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).....	44
Tabla 16: Contenido de $\text{Cl}^-$ (%) en las hojas de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS).....	44
Tabla 17: Contenido de $\text{Na}^+$ y $\text{Cl}^-$ (%) en los tallos de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo salinizado con 400 mM de NaCl (CS).....	45
Tabla 18: Valores medios de Contenido Relativo de Agua (CRA) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en promedio de dos niveles de salinidad...	46
Tabla 19: Valores medios de Contenido Relativo de Agua CRA (%) de dos tratamientos con sales en promedio de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd).....	47
Tabla 20: Contenido de prolina ( $\mu\text{mol/g}$ ) de siete accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> Willd) en dos niveles de salinidad en la etapa de floración. ....	48

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama del protocolo de selección de accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> ) con tolerancia a sales. ....	23
Figura 2: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua ( <i>Chenopodium quinoa</i> , <i>Willd</i> ) en agua destilada (control). ....	27
Figura 3: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 250 mM de NaCl. ....	28
Figura 4: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 350 mM de NaCl. ....	29
Figura 5: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 400 mM de NaCl. ....	29

## RESUMEN

La investigación se realizó en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, Lima, con el objetivo de evaluar los niveles de tolerancia a sales de 200 accesiones del Banco de Germoplasma de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la fase de germinación y durante el ciclo de vida de las plantas. Se determinó la tolerancia a sales, en condiciones controladas, en semillas en germinación en placas de Petri con niveles de 250, 350, 400 mM de cloruro de sodio (ClNa). Se seleccionaron en la fase de germinación siete accesiones con un porcentaje de germinación superior al 76% con el tratamiento de 400mM de ClNa. Durante el ciclo de vida de las siete accesiones regadas con agua con 400mM de ClNa, se observó por efecto de las sales: reducción de altura de planta de 21.38 a 41.39%, del rendimiento de 28.95 a 85.19%, en general un incremento en el contenido de clorofila (SPAD), disminución de la fotosíntesis de 14.6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  a 4.8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , en general una mayor concentración de  $\text{Na}^{++}$  y  $\text{Cl}^-$  en las hojas, diferencias en el valor CRA de 60 y 72.7% y el incremento en el contenido de prolina en las hojas, durante floración de 0.2  $\mu\text{mol/g}$  a 0.7  $\mu\text{mol/g}$ .

**Palabras clave:** (Key Words): *Chenopodium quinoa* W., estrés salino, sales, tolerancia y germoplasma.

## **ABSTRACT**

The research was carried out in the Native Cereals and Grains Program of the National Agrarian University La Molina, Lima, with the objective of evaluating the levels of tolerance to salts of 200 accessions from the Germplasm Bank of quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) in the phase of germination and during the life cycle of plants. Salt tolerance was determined, under controlled conditions, in germinating seeds in Petri dishes with levels of 250, 350, 400 mM sodium chloride (NaCl). Seven accessions with a higher germination percentage were selected in the germination phase. 76% with the treatment of 400mM NaCl. During the life cycle of the seven accessions irrigated with water with 400mM NaCl, the effect of salts was observed: reduction in plant height from 21.38 to 41.39%, yield from 28.95 to 85.19%, in general an increase in chlorophyll content (SPAD), decreased photosynthesis from 14.6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$  to 4.8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , generally higher concentration of  $\text{Na}^{++}$  and  $\text{Cl}^-$  in leaves, differences in CRA value of 60 and 72.7% and the increase in the proline content in the leaves, during flowering, from 0.2  $\mu\text{mol/g}$  to 0.7  $\mu\text{mol/g}$ .

**Key Words:** *Chenopodium quinoa* W., salt stress, salts, tolerance and germplasm.

## I. INTRODUCCIÓN

Un factor de estrés abiótico importante que reduce la productividad agrícola en las regiones áridas y semiáridas es la salinidad. Esto se debe principalmente a que hay demasiada sal en el suelo y no hay suficiente lluvia para eliminarla. (Zhao et al., 2007). Según el Servicio de Gestión de Tierras y Nutrición de la FAO (2010c), se estima que 34 millones de hectáreas, o el 11% de la superficie total de tierras irrigadas del mundo, se ven afectadas por diferentes niveles de salinidad. En conjunto, Estados Unidos, India, China, Pakistán y otras naciones representan más del 60% de toda la superficie afectada por este problema, que asciende a 21 millones de hectáreas. En Perú de las 700,000 has irrigadas de la costa, cerca de 306,701 has están afectadas por sales debido al mal manejo del agua (INEI, 2007; Pla, 2021).

La utilización de estos suelos requiere de técnicas agronómicas específicas y el uso de especies tolerantes por naturaleza, o mejorados genéticamente. Múltiples estudios han demostrado que el 20,3% de las especies pertenecientes a la subfamilia Chenopodioideae dentro de la familia Amaranthaceae presentan tolerancia a la sal. La quinoa, conocida científicamente como *Chenopodium quinoa* Willd., pertenece a esta familia en particular. La mayor parte de las tierras cultivables de los Andes se encuentra en sus regiones semiáridas y secas. Además, la mayoría de los suelos de la región del Altiplano Sur, que incluye partes de Bolivia, Chile, Argentina y Perú, son muy sódicos y salinos. (FAO, 2008).

El objetivo de este estudio es evaluar la tolerancia a la sal de accesiones de la colección de germoplasma de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) de la Universidad Nacional Agraria La Molina. El objetivo es encontrar accesiones tolerantes a la sal que puedan ser utilizadas en iniciativas de mejoramiento genético para crear cultivares viables para los agricultores de la costa peruana en regiones marginales. Esto reducirá el daño que ha causado el cambio climático.

## **1.1 OBJETIVOS:**

### **1.1.1 Objetivo general**

Contribuir al desarrollo y selección de variedades mejoradas con tolerancia a sales para reducir los daños causados por la salinización de los suelos.

### **1.1.2 Objetivos específicos**

- Determinar la tolerancia a la salinidad durante la fase de germinación.
- Determinar el efecto de las sales durante el ciclo de vida en genotipos tolerantes a sales en la fase de germinación

## **II. REVISIÓN DE LITERATURA**

### **2.1 IMPORTANCIA DE LA QUINUA EN EL MUNDO Y EN EL PERÚ**

#### **2.1.1 Quinua en el Mundo**

Históricamente, la quinua se ha cultivado sobre todo en las zonas altiplánicas de Perú y Bolivia, y en las tierras bajas interandinas de Perú, Ecuador y Colombia (Gómez-Pando et al., 2014). Las notables propiedades nutricionales de la quinua, su adaptabilidad a diversas condiciones agrícolas y su potencial para combatir la pobreza y la malnutrición fueron reconocidas por la Asamblea de la FAO en 2011. Como resultado, el Gobierno del Estado Plurinacional de Bolivia propuso y recibió el apoyo de Argentina, Azerbaiyán, Ecuador, Georgia, Honduras, Nicaragua, Paraguay, Perú y Uruguay para declarar 2013 como Año Internacional de la Quinua. Este reconocimiento se basó en el valor nutricional de la quinua, que crece bien en suelos y climas áridos, así como en las costumbres de los pueblos andinos, que han mantenido la quinua en su forma original para el beneficio de las generaciones presentes y futuras (FAO 2013). Este reconocimiento promueve su producción a nivel mundial. Huanca et al, (2015) Cabe destacar que la producción de quinua se ha extendido a lo largo del tiempo, desde la cuenca del Titicaca hasta las regiones del sur y del norte. Actualmente, países sudamericanos como Perú, Bolivia, Chile, Argentina, Ecuador, Colombia y Venezuela cultivan quinua.

El cultivo de quinua se ha expandido a través de las fronteras nacionales. Se cultiva en Holanda, Inglaterra, Francia, Suecia, Dinamarca e Italia. Además, se produce en las praderas canadienses de Ontario y en los estados norteamericanos de Colorado y Nevada. Por ejemplo, la semilla ha mostrado un notable rendimiento de 4 toneladas por hectárea en Kenia.

Del mismo modo, en el Himalaya y en las llanuras septentrionales de la India puede cultivarse con resultados favorables en términos de producción. (FAO-2013).

En 2019 (Jaikishun et al., 2019), la quinua se cultiva en más de 95 países, incluidos el Tíbet, Marruecos, Francia, India, China, el Reino Unido, Suecia, Dinamarca, los Países Bajos e Italia. Taaime et al. (2023) informan que el cultivo de quinua se ha extendido desde América del Sur a naciones de África, Europa, Asia y América del Norte.

Perú es el mayor productor mundial de quinua en 2022, con 113,4 mil toneladas producidas. Con una producción de 44,7 mil toneladas y 0,8 mil toneladas, respectivamente, le siguen Bolivia y Ecuador. A partir del año 2020 se incluye a Buthan con 0,02 mil toneladas (MIDAGRI, 2024)

### 2.1.2 Quinua en el Perú

Los pequeños agricultores con menos de 3,0 hectáreas de tierra agrícola son los principales cultivadores de quinua en regiones con fluctuaciones climáticas significativas. Utilizan tecnología tradicional, así como otros cultivos y actividades agrícolas muy diversificadas, para mitigar el riesgo climático, las plagas y las enfermedades (MINAGRI, 2013; IICA, 2015).

En la Tabla 1 se presenta la producción de quinua en el periodo 2008 al 2021. Debido al impacto del reconocimiento de la quinua en 2013, se observaron importantes alzas y caídas en los departamentos elegidos como representativos de los cultivos de la costa y sierra entre 2016 y 2021. Durante este tiempo, la producción de quinua en Ayacucho experimentó un crecimiento significativo al pasar de 1.721 t en 2008 a 23.449 t en 2020, sin embargo, Puno continuó manteniendo la hegemonía en la producción de quinua.

**Tabla 1: Perú, producción de quinua (t) (2008-2021)**

Año	Nacional	Puno	Ayacucho	Junín	Cusco	Arequipa	La Libertad	Lambayeque
2008	29 867	22 691	1721	1145	1776	892	364	0
2009	39 397	31 160	1771	1454	2028	933	415	0
2010	41 079	31 951	2368	1586	1890	1212	430	0
2011	41 182	32 740	1444	1448	1796	1190	354	0
2012	44 413	30 179	4188	1882	2231	1981	505	0
2013	52 130	29 331	4925	3852	2818	2010	1146	427
2014	114 725	36 158	10 323	10 551	3020	2690	4155	3262
2015	105 666	38 221	14 630	8518	4290	5785	3187	778
2016	77 652	35 166	16 657	3802	3937	4805	2900	28
2017	78657	39610	15615	2761	3675	3104	2006	112
2018	86011	38858	21230	3074	4242	3942	1756	178
2019	89414	39539	15832	3470	4218	8461	1489	123
2020	10207	39618	23449	4233	6767	8644	1304	18
2021	106718	41337	22432	5442	13020	7254	1447	0

**Fuente:** MINAGRI (2024. <https://siea.midagri.gob.pe/portal/publicacion/boletines-anuales/4-agricola>)



Las exportaciones crecieron significativamente se reporta que, en el año 2014, se exportaron 36,2 mil toneladas con un valor de US\$ 196,4 millones. El año 2023 se exportaron aproximadamente 41,7 mil toneladas con un valor de US\$ 89,9 millones (MIDAGRI, 2024).

## **2.2 BOTÁNICA**

### **2.2.1 Origen**

La zona andina, conocida por su gran variedad genética y sus métodos de cultivo sostenibles, es la fuente de la quinua. Es uno de los principales centros de domesticación de plantas cultivadas en todo el mundo. Hay más genotipos y progenitores silvestres de quinua en el Altiplano, que es toda la región agrícola afectada por el lago Titicaca, que en cualquier otro lugar. Esta región está situada entre Potosí (Bolivia) y Sicuani (Perú). El elevado número de parientes naturales y las evidencias del proceso de domesticación la convierten en un centro de origen de la quinoa. El proceso de domesticación probablemente comenzó con el uso del follaje y progresó hasta el uso de semillas en el transcurso de cientos de años. Las hojas de sus primos silvestres todavía se utilizan como "jataco" o "llipcha" (verduras de hoja) en muchos pueblos andinos. Por otra parte, la planta ha sido domesticada durante milenios en los Andes bajo una variedad de circunstancias agroclimáticas, edáficas y culturales, lo que da como resultado genotipos muy versátiles que pueden criarse desde el nivel del mar hasta los 4.000 metros sobre el nivel del mar. Dependiendo de sus necesidades dietéticas, muchas poblaciones étnicas emplean estos genotipos de diferentes maneras (FAO, 2001).

Según Gómez-Pando et al., (2014) la domesticación en el amplio territorio comprendido entre los 5° de LN (Colombia) y 30° de LS en Argentina y 40° LS en Chile dio lugar a grupos de quinua denominados eco tipos por características especiales asociadas a los lugares de evolución y son:

- QUINUA DEL VALLE, que crecen en valles comprendidos entre los 2000 y 3000 metros de altitud y se encuentran en Colombia, Ecuador y Perú.
- QUINUA DEL ALTIPLANO, ubicadas alrededor del lado Titicaca (Perú y Bolivia).
- QUINUA DE SALARES, se cultivan en las llanuras del altiplano boliviano (Salar de Uyuni y Mendoza) en terrenos salinos y alcalinos.
- QUINUA DE NIVEL DEL MAR, en el sur de Chile (Concepción y Valdivia).
- QUINUA DE YUNGAS, localizadas en los valles interandinos de Bolivia

### 2.2.2 Posición taxonómica

Reino : Plantae  
División : Magnoliophyta  
Clase : Magnoliopsida  
Orden : Caryophyllales  
Familia : Amaranthaceae  
Sub Familia : Chenopodioideae  
Género : *Chenopodium*  
Especie : *Chenopodium quinoa*, Willdenow  
(APG, 2009).

### 2.2.3 Descripción botánica del cultivo

Tapia (1997), La quinua es una planta anual de tamaño muy variable, con una altura que puede oscilar entre 1 y 3,5 metros, dependiendo del entorno ecológico y de los ecotipos en los que se cultive. La raíz es fasciculada y se extiende hasta una profundidad de 0,5 a 2,8 metros. Cerca del suelo, el tallo es redondo; a la altura donde emergen las ramas y las hojas, el tallo se vuelve angular. La naturaleza de las hojas es polimórfica; dentro de una misma planta, las hojas de la base pueden ser triangulares o romboidales, mientras que las hojas alrededor de la inflorescencia pueden ser lanceoladas. Los cristales de oxalato de calcio, que pueden ser blancos, rojos o morados, se encuentran por todas partes en las hojas. Las superficies superior e inferior de las secciones juveniles de la planta albergan estos cristales. Son altamente higroscópicos, por lo que captan la humedad atmosférica durante la noche y controlan la transpiración excesiva. También reflejan la luz, lo que disminuye la luz solar directa sobre las hojas y evita que se sobrecalienten.

Según Mujica (1993), las flores son imperfectas, sésiles y sin sépalos. En la misma inflorescencia pueden presentarse flores hermafroditas, a menudo terminales y femeninas o pistiladas. El eje central, los ejes secundario y terciario y los pedicelos que sostienen los glomérulos se combinan para producir la inflorescencia, que es una panícula típica. Según su morfología, los glomérulos se clasifican como amarantos o glomerulados. (Aguilar y Gómez, 2016).

Un superovario unilocular produce el fruto, un aquenio. La semilla tiene forma esferoidal, cónica, elipsoidal y lenticular. Tiene tres componentes distintos: el embrión, el perispermo y el epispermo. El embrión envuelve al perispermo y el epispermo está compuesto por cuatro

capas. La semilla tiene un sabor fuerte debido a la saponina, que se encuentra en una de las capas arenosas y quebradizas. Masajear esta capa es un proceso sencillo. El almidón blanco compone el perispermo. La variedad y la posición de la semilla dentro de la flor, más especialmente, en el glomérulo de la inflorescencia, determinan su tamaño.

La coloración de las plantas suele ser variable y depende de los genotipos y las fases fenológicas del cultivo. Según Apaza et al. (2013), puede ser de cualquier color entre verde y rojo, así como morado oscuro, amarillo, naranja granate y otros tonos.

#### **2.2.4 Fenología**

Según Gómez- Pando et al. (2019) se consideran las siguientes fases fenológicas:

- **Germinación:**

La primera estructura que aparece cuando el sistema radicular empieza a tomar forma se llama radícula, que desciende hacia la tierra. A partir de la semilla, el hipocótilo crece hacia arriba y se abre paso a través de la tierra, o emerge junto con los cotiledones, que se abren y se vuelven verdes, iniciando el proceso de fotosíntesis.

- **Desarrollo vegetativo:**

Comienza con la aparición de la primera y segunda hoja verdadera, que crecen y se extienden entre las dos hojas cotiledóneas en orientaciones opuestas y simétricas perpendiculares a los cotiledones aún verdes. Las hojas cotiledóneas comienzan a caer en este momento. El crecimiento y desarrollo de las hojas están regulados por esta disposición simétrica. Cuando las yemas axilares de las hojas iniciales comienzan a desarrollar ramas en la etapa de 10 pares de hojas genuinas, la planta pierde su simetría en la disposición de las hojas.

- **Ramificación:**

Cuando una planta tiene cinco pares de hojas genuinas, comienza a ramificarse cuando se abren los botones florales y la planta crece vegetativamente. La yema axilar de la primera hoja es la primera en activarse y este proceso se repite para las demás yemas axilares.

- **Desarrollo del botón floral:**

Se trata de una fase fenológica de rápido desarrollo que se sitúa entre la ramificación y el desarrollo vegetativo. El primordio o botón floral es una estructura compacta situada en la punta de la planta, protegida por hojas y recubierta de una pubescencia granular y vesicular

rica en oxalato de calcio. En la fase de cinco hojas es evidente y se explica en función del diámetro del primordio floral.

- **Desarrollo de la inflorescencia o panoja:**

El desarrollo y crecimiento de la inflorescencia definen esta fase. Los primordios de los glomérulos forman una estructura piramidal o cónica que comienza a ensancharse, dejando al descubierto el crecimiento de los primordios de los glomérulos y la construcción de las hojas características de la inflorescencia además de los ejes principal, secundario y terciario. Las hojas de la inflorescencia adoptan la forma característica de cada tipo. Se producen flores y estructuras reproductivas. Durante esta etapa fenológica, la base de la planta experimenta la primera defoliación.

- **Floración:**

El despliegue de las flores inicia esta fase. Las flores hermafroditas, cuyas anteras son de un amarillo intenso y brillante, son especialmente visibles a simple vista, ya que se abren simultáneamente. No se observa ninguna sincronía en la floración de la panícula. Las flores surgen de glomérulos distintos dentro de la panícula.

- **Antesis:**

Esta etapa y la de floración son iguales. Las flores hermafroditas producen polen durante este período. Se ha demostrado que las flores hermafroditas, que generan mucho polen, tienen una gran población de insectos, lo que probablemente indica la presencia de polinizadores. Hay antesis de discordia.

- **Grano acuoso:**

Los frutos que se han formado comienzan a crecer y a desarrollarse después de la fecundación. El crecimiento se mide utilizando la cantidad y el porcentaje del perigonio sépaloide que ocupa el espacio en un 25%, 50%, 75% y 100%. Esta etapa del desarrollo del grano se conoce como "estado acuoso" porque los granos están llenos de un material líquido. Las observaciones a nivel de planta incluyen un cambio en la intensidad del color de las inflorescencias y la defoliación de las hojas alrededor de la base de la planta.

- **Grano lechoso:**

Las hojas y las partes verdes de las inflorescencias comienzan a proporcionar fotosintatos a las bayas. El color del fruto es distinto al del eje de las inflorescencias, el perigonio en forma de sépalo y las vainas florales.

- **Grano Pastoso:**

Los frutos presentan una consistencia pastosa, blanca, similar a una masa, al ser prensados, con un contenido de hidratación de aproximadamente el 45%. En este punto el organismo alcanza la madurez fisiológica, lo que provoca un proceso de pérdida de agua en la planta y en los granos que finaliza cuando la planta está lo suficientemente madura para ser cosechada.

A medida que el grano se desarrolla y se engrosa, el perigonio, de aspecto sepaloide, se abre progresivamente, dejando al descubierto los cinco tépalos distintos que forman una estructura similar a una estrella. Ahora es posible distinguir el color del pericarpio. Además, el hecho de que el tercio superior de las hojas siga siendo verde indica que la actividad fotosintética está activa. Por el contrario, los dos tercios inferiores están comenzando a perder pigmento o están en proceso de senescencia.

## **2.3 CONDICIONES AMBIENTALES DEL CULTIVO**

- **Clima**

La quinua es una planta con gran adaptabilidad climática y con un amplio espectro de variabilidad genética, capaz de prosperar en una amplia gama de climas, desde el clima frío y árido de las grandes sierras hasta el clima tórrido y seco del desierto de la costa. También puede crecer en los valles interandinos templados y húmedos, en las cabeceras de ceja de selva con mayor humedad relativa y en ambientes de puna y alta montaña, por lo que encontrar los genotipos adecuados para cada una de estas circunstancias ambientales es fundamental (Jacobsen 2006, IICA 2015 y Gómez y Aguilar 2016).

Según Maestro et al. (2022) los genotipos de quinua crecen en un rango de precipitación que varía desde los 300 a 1000 mm.

- **Suelo**

Puede cultivarse en suelos deficientes, pero el rendimiento de grano es bajo. Se recomiendan suelos franco-arenosos o franco-arenosos con buen drenaje, alto contenido de materia

orgánica y profundidad semiprofunda para obtener mejores resultados (Mujica, 1993). Si bien puede soportar valores de pH entre 6 y 8,5, el pH ideal del suelo es neutro o ligeramente alcalino. Este cultivo puede crecer en suelos salinos y puede producir bien en suelos infértiles con poca disponibilidad de agua (Tapia, 1997).

## **2.4 QUINUA COMO CULTIVO ALTERNATIVO PARA LA SIEMBRA EN SUELOS SALINOS**

### **2.4.1 Problemas de Salinización en el Mundo**

Las actividades naturales o provocadas por el hombre, incluido el riego con agua de calidad inferior, pueden provocar la acumulación de iones solubles en agua en el suelo. Este proceso se conoce como salinización. Por otra parte, los minerales y vapores transportados por el viento y procedentes del océano pueden ser la causa de la salinidad (Zafar, 2008).

Casi un tercio de las tierras agrícolas de todo el mundo se ve afectada por el problema de la salinización del suelo. En las zonas secas y semiáridas, donde la falta de lluvias limita la liberación de los minerales recogidos por el riego, este proceso se agrava. Los agricultores se han visto obligados a utilizar agua de calidad inferior, en particular de pozos, como resultado de la mayor demanda de agua, sobre todo en estas regiones. Dado que el alto contenido de iones en estos cursos de agua generalmente excede los límites de tolerancia de estos cultivos, ha afectado la producción de muchos de ellos (Ramírez-Suárez y Hernández-Olivera, 2016).

En 1970, la ONERN estaba convencida de que el 40% de los valles costeros del Perú estaban afectados por este fenómeno (Lee y Elgregen, 2007).

### **2.4.2 Estrés salino y sus efectos negativos en las plantas:**

Los siguientes efectos generalmente resultan en una reducción en el desarrollo y la eficacia de la planta, lo que finalmente conduce a su mortalidad (Munns y Tester, 2008):

- **Efecto en la fotosíntesis**

Un amplio espectro de sales, especialmente las halófitas, a menudo reducen la tasa fotosintética neta por unidad de superficie foliar. En ocasiones, parece que la causa principal de la disminución del crecimiento es el cierre de las estomas provocado por un cambio en el equilibrio hídrico. Sin embargo, en otros casos, la reducción parece ser el resultado de un daño a las reacciones bioquímicas y a la fuente de luz de fijación de CO<sub>2</sub>. Aunque los

mecanismos celulares implicados en estos casos no se comprenden bien, Hernández et al. (1995) informaron que una mezcla de oxidaciones desencadenadas por una combinación de superóxido y H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> dañan los sistemas fotosintéticos cuando se someten a estrés de NaCl.

- **Efecto en el nivel nutricional**

La presencia de iones salinos en la solución del suelo provoca un desequilibrio mineral nutricional en las plantas de dos maneras diferentes, comenzando en un nivel de concentración crítico:

- a. La fuerza iónica del sustrato tiene un impacto directo en la absorción y translocación de nutrientes. Como ejemplo de este proceso, considere la absorción y acumulación de fósforo que genera la salinidad en algunas especies.

Este efecto es de naturaleza osmótica y es independiente del tipo de sal empleado. (Kafkafi, 1991)

- b. La forma más frecuente en que la salinidad altera la nutrición mineral de las plantas es a través de la interacción directa de Cl<sup>-</sup> y Na<sup>+</sup> en la absorción y translocación de nutrientes dentro de la planta (Marschner, 1995). La absorción de Ca<sup>2+</sup> en los frijoles está influenciada por la relación Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> (LaHaye y Epstein, 1971). El contenido de K<sup>+</sup> de la planta disminuye con el aumento de la salinidad o la relación Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup> en el medio (Okusanaya y Ungar, 1984; Cramer et al., 1985; Janzen y Chang, 1987; Subbarao et al., 1990). La tasa de crecimiento reducida está estrechamente relacionada con una caída en el contenido de K<sup>+</sup> causada por un aumento en el contenido de Na<sup>+</sup> citoplasmático. (Katsuhara et al., 1986; Ben-Hayyim et al., 1987)

Existe una competencia en cuanto a la disminución de la absorción de K<sup>+</sup> por las plantas debido al Na<sup>+</sup>. A pesar de que las plantas son altamente selectivas para el K<sup>+</sup> sobre el Na<sup>+</sup>, un exceso de K<sup>+</sup> puede ser perjudicial para ellas (Rush y Epstein, 1981). Esta podría ser la causa de la falta de evidencia de que la adición de K<sup>+</sup> a plantas cultivadas en sustratos predominantemente Na<sup>+</sup> mejore el crecimiento de las plantas, a pesar de que varios estudios (Muhammed et al., 1987 y de Chow et al., 1990) demuestran una reducción en la absorción y translocación de K<sup>+</sup> en dichas plantas. Pero cuando se agrega Ca<sup>2+</sup> a la solución nutritiva y se reduce la relación Na<sup>+</sup>/Ca<sup>2+</sup>, restaurando así los niveles internos de K<sup>+</sup>, las plantas se vuelven más tolerantes a la sal (Cramer et al., 1987; Liu y Zhu, 1997).

- **Efecto en el Crecimiento**

Aziz y Khan (2001) informaron que una concentración del 50% de agua salada era la condición ideal de crecimiento para las plantas de *Rhizophora mucronata*. Además, observaron que el crecimiento disminuía a medida que aumentaba el tiempo de exposición y la salinidad. En la remolacha azucarera, 200 mm de NaCl redujeron drásticamente el área foliar, así como los materiales frescos y secos en hojas y tallos; la cantidad de hojas no se vio tan afectada (Ghoulman et al., 2002). Los tallos y raíces de la variedad de uva sultana mostraron una menor acumulación de materia seca, según Fisakaris et al. (2001), particularmente en presencia de altas concentraciones de NaCl.

Condori (2023) reporta la disminución en la longitud de las raíces de genotipos bolivianos en condiciones salinas observando una longitud de 7.11 cm en el control y una longitud de 4.7 cm en el tratamiento salino de 0.3M. La disminución en el tamaño de los granos, señalando en el testigo un diámetro medio de 2.16 mm, de 1.9mm en la dosis de 0.2M y 1.8 mm en la dosis de 0.3M.

Iqbal et al. (2020) en información reportada de varios experimentos de quinua con sales encontraron que en algunos casos su crecimiento y rendimiento mejoran en regímenes de sal moderados, incluso con mayores cantidades de proteína y algunos minerales.

### **2.4.3 Adaptación de las plantas a la salinidad**

A pesar de los diferentes grados de tolerancia a la salinidad, la mayoría de las plantas exhiben un crecimiento limitado; en la Tabla No. 2 se enumeran los rangos de tolerancia de las plantas a la presencia de sales recomendados por Richards (1954), lo cual fue mencionado por Haline (2008).

**Tabla 2: Rangos de tolerancia de las plantas a la salinidad de suelos (Richards, 1954)**

<b>CONDUCTIVIDAD ELECTRICA</b>	<b>RESPUESTA DE LAS PLANTAS</b>
0-2 mS/cm	Casi insignificante
2-4 mS/cm	Crecimiento restringido de las plantas <b>sensibles</b> a sales
4-8 mS/cm	Crecimiento restringido de la <b>mayoría</b> de las plantas
8-16 mS/cm	Solo las plantas <b>tolerantes</b> a sales crecen satisfactoriamente
16 > mS/cm	Muy pocas plantas, <b>muy tolerantes</b> a sales, crecen satisfactoriamente.



En términos de la capacidad de una planta para soportar la salinidad, podemos diferenciar entre plantas halófitas (que han desarrollado mecanismos de adaptación para sobrevivir en la salinidad) y plantas no halófitas, que no los tienen. Porta et al. (1994) señala los términos glicófitas, oligohalofitas, miohalofitas y euhalofitas para describir grupos de las plantas con una tolerancia creciente a sales. Por otro lado, según la capacidad de remover sales del suelo, las plantas pueden ser divididas en tres categorías según Yensen y Biel (2006), citado por Haline (2008).

- **Plantas excluyentes**

Absorben selectivamente el agua del suelo excluyendo las sales a nivel radicular, no remueven las sales del suelo.

Ejemplo: *Phaseolus vulgaris* (frijol), *Triticum aestivum* (trigo), *Zea mays* (maíz).

- **Plantas acumuladoras**

Las sales ingresan a la planta y se acumulan en las vacuolas. Estas plantas remueven sales hasta el 50% de su peso seco debido a sus tejidos se saturan.

Ejemplo: *Atriplex* spp., *Salicornia* spp., *Sueda* spp.

- **Plantas conductoras**

Remueven las sales debido a que las absorben y transportan a través de la planta hacia la superficie de la misma, en donde las sales son dispersadas.

Ejemplo: *Distichilis* spp., *Spartina* spp y *Avicennia* spp.

#### **2.4.4 Mecanismos involucrados en la tolerancia a la salinidad**

Las plantas pueden clasificarse como glicofitas (sensibles a la sal) o halófitas (resistentes a la sal) en función de su capacidad para prosperar en entornos salinos (Flowers y Colmer, 2008). Debido a que han desarrollado una serie de mecanismos de tolerancia que les permiten soportar salinidades elevadas, las plantas halófitas se utilizan a menudo como modelos en la investigación destinada a identificar mecanismos de tolerancia (Shabala, 2013). Lamentablemente, la mayoría de las plantas cultivadas no pueden sobrevivir en condiciones de alta salinidad debido a que son glicofitas (Zhang y Shi, 2013). Sin embargo, esto no significa que no puedan desarrollar sistemas de defensa contra esta estimulación abiótica.

Bojórquez-Quintal et al. (2012) definen la tolerancia a la salinidad como la capacidad de una planta de soportar los efectos de concentraciones cambiantes de salinidad sin experimentar una disminución significativa en el crecimiento o la productividad. Muchos genes deben cooperar ya que estos procesos de tolerancia están controlados por numerosos genes, lo que es necesario para mejorar drásticamente la tolerancia a la sal. Shi y Zhang (2013).

Una de las principales tácticas que utilizan las plantas para tolerar la salinidad es la acumulación de solutos adecuados, incluida la prolina, que les permite regular su potencial osmótico. Para mantener la homeostasis del ion sodio ( $\text{Na}^+$ ), las plantas también regulan la absorción, el transporte a larga distancia, la compartimentación en vacuolas y la extrusión al entorno circundante. Además, esta, la homeostasis de  $\text{K}^+$  la cual se mantiene mediante la retención de este catión en el citosol, en vacuolas y posiblemente, en endosomas (Deinlein et al 2014).

Las plantas crean una variedad de metabolitos secundarios como mecanismos de defensa en respuesta al estrés. En el arroz, se ha demostrado que la trehalosa, el sorbitol y el manitol se acumulan (García et al., 1997), mientras que, en la cebada, se ha descubierto que la betaína y la prolina se acumulan (Chen et al., 2007). Los solutos complementarios también pueden mitigar una serie de obstáculos fisiológicos que pueden surgir, como los niveles elevados de estrés.

#### **2.4.5 Mecanismos de tolerancia en *Chenopodium quinoa***

Las diferentes historias evolutivas de *Thellungiella halophila* (una planta de la familia Brassicaceae) y la quinoa (una subfamilia de Chenopodioideae) pueden explicar las disparidades descritas en sus mecanismos de tolerancia a la sal. En contraste con aproximadamente el 0,9% de las especies de la familia Brassicaceae, Gorham (1994) estima que alrededor del 28,3% de las especies de Chenopodiaceae y tribus de Amaranthaceae son resistentes a la sal. Esto demuestra que, en comparación con Brassicaceae, *Chenopodium* experimentó adaptaciones a la tolerancia a la sal más tempranamente, lo que le proporcionó a esta última familia un tiempo evolutivo más largo para evolucionar y mejorar sus sistemas de tolerancia a la sal.

Las plantas de la subfamilia Chenopodioeae pueden liberar grandes cantidades de sal cuando se exponen a altas concentraciones, como *Atriplex vesiciata* (700 mM NaCl). Esto es resultado

del ajuste osmótico de las células y la acumulación de iones como reacción al estrés salino. (Leshem y McKinsie, 1994)

Uno de los cultivos que mejor soporta la sal es la quinua, perteneciente a la familia Amaranthaceae, subfamilia Chenopodioeae (Jacobsen 2007). Además, es el tipo de planta que presenta mayor diversidad de especies halófitas, o plantas tolerantes a la sal. Al igual que las quinuas de los ecotipos de Salares, que se cultivan en los salares del sur de Bolivia, se cultiva en suelos excepcionalmente salinizados en su lugar de origen (Risi y Galwey 1984). Koyro y Eisa (2008) y Hariadi et al. (2011) han demostrado que la quinua puede crecer y producir semillas en 500 mM de NaCl, que es la misma concentración que el agua salada. Las semillas de la variedad 'Kanckolla' fueron descubiertas por Jacobsen et al. (2003) como capaces de germinar a un nivel más alto que el agua de mar, específicamente a 57 mS/cm.

Las investigaciones indican que existen diferencias significativas en la tolerancia a la sal de la quinua dentro de los ecotipos y dentro de ellos. En su evaluación de los genotipos de quinua peruana, Gómez-Pando et al. (2010) encontraron una variación notable en la tolerancia a la sal tanto en la etapa de plántula como en la de adulto. La tolerancia en la etapa madura no necesariamente coincidió con la tolerancia en la etapa de plántula, según Jacobsen et al. (1999). Adolf et al. (2012) realizaron un estudio sobre las respuestas fisiológicas y la tolerancia relativa a la sal de cultivares de Bolivia, Dinamarca y Perú. Observaron una amplia gama de respuestas. Los cultivares daneses, que se produjeron a partir de germoplasma chileno del ecotipo del nivel del mar, demostraron una tolerancia media a baja a la sal, como lo demuestran las disminuciones relativas en altura y biomasa, a pesar de la heterogeneidad variada de la investigación. No obstante, los cultivares de quinua "real" del sur de Bolivia demostraron ser más resilientes.

Peterson (2015) Se observó que cuatro tipos de quinua tenían una tolerancia mucho mayor al Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> en comparación con el NaCl después de realizar una investigación sobre su tolerancia. Los rendimientos de las variedades de quinua cayeron a 32 dS m<sup>-1</sup> en comparación con un control sin sal. Las variedades de quinua mostraron reducciones de rendimiento que oscilaron entre el 10,8% y el 51,9% cuando se expusieron a 32 dS m<sup>-1</sup> de Na<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> y entre el 43,7% y el 65,4% cuando se expusieron a 32 dS m<sup>-1</sup> de NaCl. En lo que respecta al rendimiento, la variedad del sur, QQ065, fue más sensible a la sal, mientras que la variedad del norte, UDEC-1, fue típicamente más tolerante.

Los resultados de numerosas pruebas sugieren que la quinua tiene muchos métodos por los cuales puede resistir la sal. Los iones de sal se acumulan en ciertos tejidos para evitar daños fisiológicos, mantener la turgencia celular, ajustar el potencial hídrico de las hojas y restringir la transpiración en circunstancias salinas (Jacobsen et al. 2003). Morales et al. (2011) informaron un aumento en los metabolitos secundarios como resultado del estrés salino. En respuesta al estrés salino, Becker et al. (2008) observaron una reducción en el tamaño de los estomas y un aumento en el número en ambas superficies de las hojas.

Iqbal et al. (2020), realizan una revisión de estudios realizados sobre tolerancia de la quinua a las sales y reportan que la quinua coloca el exceso de  $\text{Na}^+$  en las vacuolas de las hojas y luego las transloca a las hojas más viejas las cuales son eliminadas; tiene un buen sistema de defensa antioxidante, mejor captación y retención de  $\text{K}^+$  y modulaciones únicas en la densidad y caracteres estomáticos.

### **III. MATERIALES Y MÉTODOS**

#### **3.1 LUGAR Y UBICACIÓN**

El experimento se llevó a cabo en el Programa de Cereales y Granos Nativos de la Universidad Nacional Agraria La Molina, ubicado en:

Distrito	:	La Molina
Provincia	:	Lima
Departamento	:	Lima
Latitud	:	12° 04' 41.05" S
Longitud	:	76° 56' 36.45" O
Altitud	:	243 msnm

#### **3.2 MATERIALES**

##### **3.2.1 Material genético**

Doscientas accesiones del Banco de Germoplasma de Cereales y Granos nativos de la UNALM:

<b>N.º Pasaporte</b>	<b>N.º Pasaporte</b>	<b>N.º Pasaporte</b>	<b>N.º Pasaporte</b>	<b>N.º Pasaporte</b>	<b>N.º Pasaporte</b>
PEQPC-0100	PEQPC-0813	PEQPC-0921	PEQPC-0984	PEQPC-1225	PEQPC-1540
PEQPC-0105	PEQPC-0815	PEQPC-0924	PEQPC-0988	PEQPC-1256	PEQPC-1556
PEQPC-0127	PEQPC-0816	PEQPC-0928	PEQPC-0991	PEQPC-1266	PEQPC-1562
PEQPC-0136	PEQPC-0817	PEQPC-0929	PEQPC-0993	PEQPC-1268	PEQPC-1580
PEQPC-0737	PEQPC-0820	PEQPC-0931	PEQPC-0994	PEQPC-1270	PEQPC-1595
PEQPC-0739	PEQPC-0823	PEQPC-0933	PEQPC-0998	PEQPC-1282	PEQPC-1601
PEQPC-0740	PEQPC-0828	PEQPC-0934	PEQPC-1001	PEQPC-1287	PEQPC-1613
PEQPC-0743	PEQPC-0832	PEQPC-0935	PEQPC-1002	PEQPC-1298	PEQPC-1626
PEQPC-0744	PEQPC-0833	PEQPC-0937	PEQPC-1004	PEQPC-1328	PEQPC-1630
PEQPC-0748	PEQPC-0837	PEQPC-0941	PEQPC-1006	PEQPC-1329	PEQPC-1644
PEQPC-0749	PEQPC-0843	PEQPC-0945	PEQPC-1008	PEQPC-1331	PEQPC-1645
PEQPC-0751	PEQPC-0847	PEQPC-0946	PEQPC-1009	PEQPC-1335	PEQPC-1646
PEQPC-0752	PEQPC-0850	PEQPC-0948	PEQPC-1011	PEQPC-1345	PEQPC-1654
PEQPC-0754	PEQPC-0853	PEQPC-0949	PEQPC-1019	PEQPC-1358	PEQPC-1658
PEQPC-0755	PEQPC-0854	PEQPC-0950	PEQPC-1026	PEQPC-1361	PEQPC-1670
PEQPC-0758	PEQPC-0859	PEQPC-0951	PEQPC-1030	PEQPC-1378	PEQPC-1675
PEQPC-0762	PEQPC-0862	PEQPC-0952	PEQPC-1035	PEQPC-1418	PEQPC-1676
PEQPC-0764	PEQPC-0867	PEQPC-0954	PEQPC-1040	PEQPC-1422	PEQPC-1678
PEQPC-0765	PEQPC-0870	PEQPC-0955	PEQPC-1058	PEQPC-1434	PEQPC-1686
PEQPC-0769	PEQPC-0874	PEQPC-0956	PEQPC-1065	PEQPC-1451	PEQPC-1690
PEQPC-0772	PEQPC-0876	PEQPC-0957	PEQPC-1068	PEQPC-1452	PEQPC-1694
PEQPC-0773	PEQPC-0879	PEQPC-0961	PEQPC-1104	PEQPC-1455	PEQPC-1700
PEQPC-0779	PEQPC-0883	PEQPC-0962	PEQPC-1118	PEQPC-1456	PEQPC-1703
PEQPC-0782	PEQPC-0884	PEQPC-0963	PEQPC-1122	PEQPC-1462	PEQPC-1705
PEQPC-0786	PEQPC-0885	PEQPC-0964	PEQPC-1133	PEQPC-1471	PEQPC-1706
PEQPC-0788	PEQPC-0888	PEQPC-0968	PEQPC-1167	PEQPC-1486	PEQPC-1708
PEQPC-0790	PEQPC-0897	PEQPC-0970	PEQPC-1170	PEQPC-1491	PEQPC-1794
PEQPC-0793	PEQPC-0901	PEQPC-0971	PEQPC-1190	PEQPC-1495	PEQPC-1798
PEQPC-0795	PEQPC-0906	PEQPC-0974	PEQPC-1204	PEQPC-1497	PEQPC-1802
PEQPC-0799	PEQPC-0910	PEQPC-0976	PEQPC-1207	PEQPC-1508	PEQPC-1804
PEQPC-0803	PEQPC-0913	PEQPC-0978	PEQPC-1209	PEQPC-1526	PEQPC-1810
PEQPC-0808	PEQPC-0914	PEQPC-0981	PEQPC-1217	PEQPC-1532	PEQPC-1828
PEQPC-0809	PEQPC-0918	PEQPC-0983	PEQPC-1224	PEQPC-1535	PEQPC-1831
					PEQPC-1832

### **3.2.2 Insumos, herramientas, equipos agrícolas y otros**

- Insecticidas y fungicida
- Mochila pulverizadora
- Macetas de plástico de 10" diámetro (Kord Products Inc, Ontario, Canadá)
- Bandejas de plástico
- Macetas N°10 (10 pulgadas de diámetro).
- Tinglado de Mallas antiáfidos
- Baldes de 20 l, palas de mano, bolsas de papel Kraft, plástico envolvente, bandejas de plástico, tijeras.

### **3.2.3 Materiales, instrumentos y equipos de laboratorio**

- Placas Petri
- Dispensador
- Probetas de 25, 250 y 500 ml
- Pipetas
- Balón de nitrógeno líquido
- Tubos de polipropileno (de 50 ml marca Corning Incorporated, modelo:430828)
- Sacabocados de 7.5 mm
- Papel toalla

### **3.2.4 Reactivos**

- Cloruro de sodio (NaCl)
- Nitrato de potasio (KNO<sub>3</sub>) 0.1 M
- di-Potasio hidrógeno fosfato (K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub>) 0.1 M
- Potasio dihidrógeno fosfato (KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>) 0.1 M
- n-Propanol 1% v/v
- Ethanol
- Sulfanilamida 1%
- Ácido clorhídrico (HCl) 1.5 M
- N-(1- Naftil) etilen diamino dihidroclorhidratado 0.02%
- Ácido Sulfosalicílico al 3 % en agua
- Ninhidrina ácida
- Ácido acético glacial
- Tolueno en fase líquida

- Ácido Ortofosfórico al 85% en D<sub>2</sub>O
- Nitrógeno líquido

### 3.2.5 Suelo y agua de riego

El sustrato empleado en las bandejas y macetas fue una mezcla preparada con la siguiente composición: 2:1:0.25; tierra agrícola, compost y vermiculita; respectivamente. De igual modo se determinó la calidad de agua empleada en la presente investigación y la información se presenta en la Tabla N° 3 y 4.

**Tabla 3: Características del sustrato suelo de las macetas empleado en la evaluación de la tolerancia a sales de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd.) bajo condiciones controladas. La Molina- Perú.**

	Unidades	Valor
pH	(1:1)	6.72
C.E.	(1:1) dS/m	3.37
CaCO <sub>3</sub>	%	0.00
M.O.	%	4.75
P	Ppm	33.0
K	Ppm	4.29
Arena	%	65
Limo	%	29
Arcilla	%	6
Clase textural		Fr A.
CIC		15.36
Ca <sup>+2</sup>	meq/100g	12.59
Mg <sup>+2</sup>	meq/100g	1.73
K <sup>+</sup>	meq/100g	0.74
Na <sup>+</sup>	meq/100g	0.33
Al <sup>+3</sup> + H <sup>+</sup>	meq/100g	0.00
Suma de cationes		15.36
Suma de bases		15.36
% Sat. de bases	%	100



**Tabla 4: Características del agua de riego empleado en las bandejas y macetas del experimento de tolerancia a la salinidad en quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd.). La Molina- Perú.**

Factores	Agua- Riego bandejas		Factores	Agua- Riego Macetas	
	Unidades	Valor		Unidades	Valor
pH	(1:1)	4.44	pH	(1:1)	6.42
C.E.	(1:1) dS/m	27	C.E.	(1:1) dS/m	0.48
Calcio	meq/100g	18	Calcio	meq/100g	3.82
Magnesio	meq/100g	0.5	Magnesio	meq/100g	0.56
Potasio	meq/100g	0.2	Potasio	meq/100g	0.18
Sodio	meq/100g	308.69	Sodio	meq/100g	0.64
SUMA DE CATIONES		327.39	SUMA DE CATIONES		5.2
Nitratos	meq/100g	0	Nitratos	meq/100g	0.02
Carbonatos	meq/100g	0	Carbonatos	meq/100g	0
Bicarbonatos	meq/100g	0.3	Bicarbonatos	meq/100g	2.21
Sulfatos	meq/100g	0.05	Sulfatos	meq/100g	1.36
Cloruros	meq/100g	327	Cloruros	meq/100g	1.5
SUMA DE ANIONES		327.35	SUMA DE ANIONES		5.09
Sodio	%	94.29	Sodio	%	12.31
RAS		101.5	RAS		0.43
Boro	Ppm	0.02	Boro	Ppm	0.13

### 3.2.6 Equipos

- Balanza electrónica 15 kg máximo marca Jadever JWG-15K (+/- 0.005 kg).
- Balanza de precisión 0.0001 g mínimo marca Mettler (+/- 0.0001 g).
- Clorofilómetro (SPAD 502, Minolta) para medir el contenido de clorofila en las hojas.
- Medidor de fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , LI-6400XT, LI-COR)

Se utilizó un espectrofotómetro Thermo Spectronic Genesis 20 (Rochester, NY, EE. UU.) para medir la prolina y la actividad de la enzima nitrato reductasa. Se utilizaron una cámara psicrométrica Wescor Instruments C-52 y un microvoltímetro HR-33T para evaluar el potencial osmótico del follaje. La biomasa seca se midió en el horno.

- Medidor de conductividad eléctrica, conductivímetro WTW cond 3310.
- Medidor de fluorescencia de clorofila, OSP5, Opti-Science.

### **3.3 METODOLOGÍA**

El estudio se realizó en dos etapas. En el caso de las accesiones seleccionadas en la fase I, la primera fase tuvo como objetivo evaluar la tolerancia a la sal durante la etapa de germinación y la segunda fase tuvo como objetivo evaluar la tolerancia a la sal durante todo el ciclo de vida de la planta. En circunstancias reguladas, se llevó a cabo toda la investigación. La Figura 1 ilustra el protocolo implementado en la presente investigación.

#### **3.3.1 FASE I – Determinación de la tolerancia a sales en germinación**

- **Tratamientos**

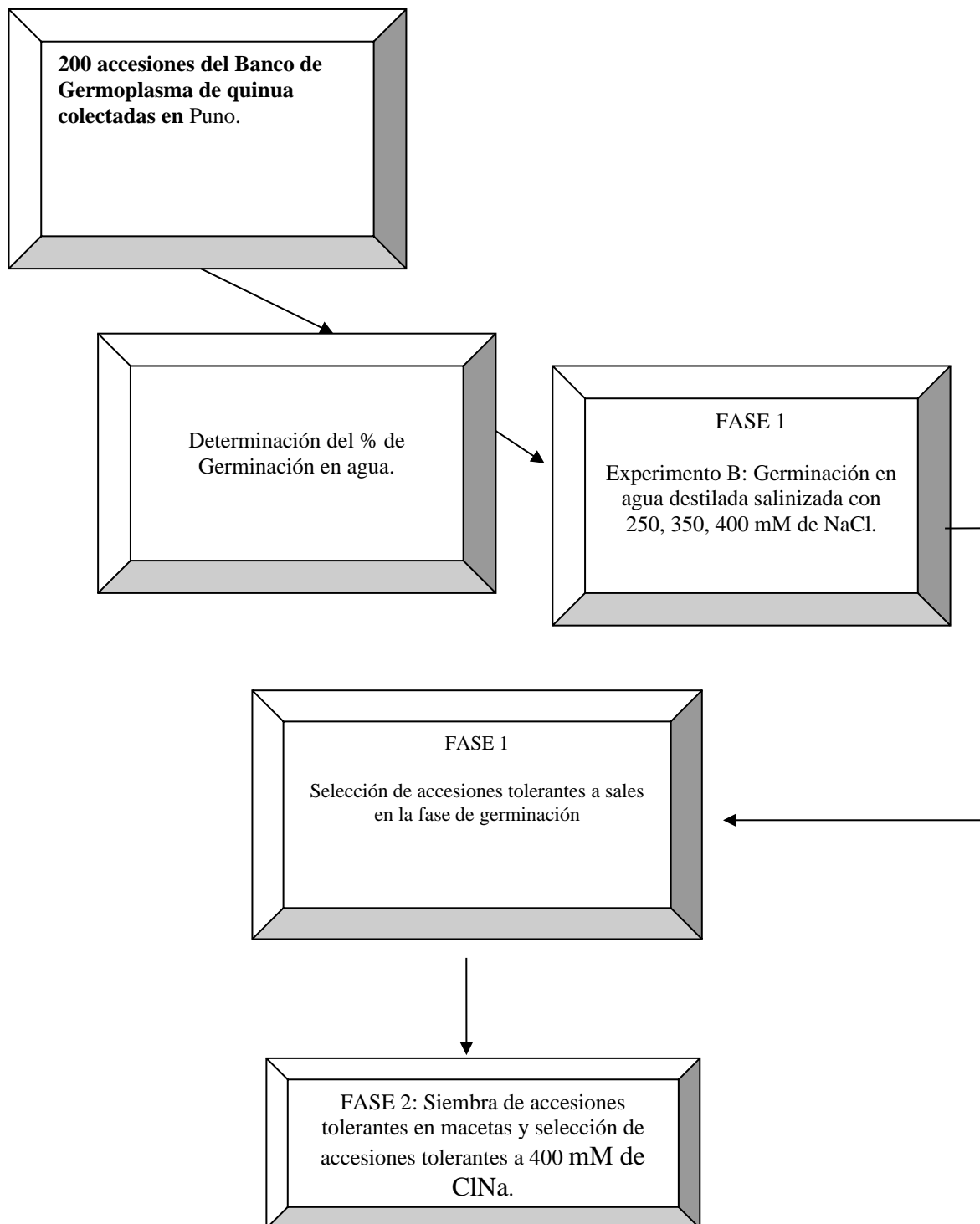
Se usó una solución acuosa de 250, 350, 400 mM de NaCl (Experimento A). Por cada accesión hubo un testigo referencial con agua sin sal.

Se utilizó una rejilla para separar 100 semillas por placa, con tres repeticiones por cada tratamiento. Para cada acceso y tratamiento se utilizaron 300 plántulas. Se utilizaron cajas Petri de 10 cm de diámetro por 2 cm de altura. Las cajas se prepararon cubriendo la base y la tapa con discos de papel toalla y humedeciéndolos con la solución acuosa correspondiente. La humedad se mantuvo constante añadiendo 1 ml de la solución tanto a los tratamientos como al grupo de control de manera regular.

La evaluación del porcentaje de germinación se realizó al cuarto y séptimo día de iniciado el tratamiento. Se consideraron como semillas germinadas normales aquellas con radícula y cotiledones desarrollados, y anormales a aquellas con radícula diminuta o con cierta deformación y/o enroscamiento de los cotiledones.

#### **3.3.2 FASE II - Determinación de la tolerancia a sales en el ciclo de vida**

En esta fase se evaluó la tolerancia de accesiones seleccionadas en la fase I, es decir, todas las accesiones que presentaron una tasa de germinación superior al 76 por ciento en una solución salina con una conductividad de 400 mM NaCl. A lo largo del ciclo de vida se evaluó la tolerancia. Se incluyó un testigo referencial, para cada accesión, el cual fue regado con agua de caño y para el tratamiento con sal se usó la solución salina con NaCl con una conductividad de 400 mM de ClNa. Para asegurarse de que el nivel de conductividad fuera constante durante todo el ciclo de vida de la planta, se probó periódicamente la conductividad eléctrica (CE) del sustrato para macetas de cada contenedor.



**Figura 1: Diagrama del protocolo de selección de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa*) con tolerancia a sales.**

Se realizaron 3 riegos semanales durante el invierno y en el verano el riego fue diario. El riego fue llegando siempre a la capacidad de campo. Es un factor importante que se debió tener en consideración, ya que las sales retienen agua, es decir el agua no está fácilmente disponible para las células radiculares de absorción. Se realizó una prueba de capacidad de campo para determinar la capacidad aproximada de almacenamiento de agua (agua disponible) de cada contenedor. Se pesó la cantidad de sustrato para determinar la cantidad de agua necesaria para riego. Para ello se saturó la maceta con agua, se colocó un plástico negro en la parte superior de la maceta, y se fueron tomando muestras cada 24 horas, las cuales fueron pesadas (peso fresco) y luego fueron llevadas al horno a 105°C (peso seco).

Se empleó 4.5 kg de sustrato en cada maceta pesadas en la balanza Jadever JWG-15K, previamente se cercioró que el sustrato estuviera seco para el pesado. Se procedió a colocar en el fondo de las macetas una malla cortada en dimensiones de 30 x 30 cm para evitar el drenaje y la pérdida de sustrato al momento del riego y mantener la misma cantidad de sustrato durante todo el experimento.

Se colocaron 15 semillas por macetas, con una profundidad aproximada de 1.5 cm. Distribuidas uniformemente en toda la maceta y finalmente se dejaron 3 plantas bien establecidas para las evaluaciones respectivas.

Por cada accesión se tuvo 7 repeticiones (macetas) con un total de 21 plantas. Se evaluaron 5 repeticiones durante todo el experimento (15 plantas). Se tomaron muestras de los dos duplicados restantes y se evaluaron los niveles de sal y cloro en las hojas.

Las malezas se controlaron manualmente a nivel de bandejas y contenedores, el mildiu (*Peronospora variabilis*) se controló con un fungicida y las alimañas en la casa de malla se controlaron con trampas e insecticidas.

### **3.3.3 Variables a evaluadas:**

- **Evaluaciones agronómicas:**

Altura de planta y rendimiento de grano.

- **Evaluaciones fisiológicas:**

- a) Contenido de clorofila (en unidades Spad, minolta 502)**

El medidor de clorofila instantáneo Konica Minolta - SPAD 502 se utilizó para medir la cantidad de clorofila en las hojas cada cinco días. La medición se realizó en las tres

primeras hojas de la misma planta marcada para la medición por porometría. Se tomaron 9 lecturas en total (tres por cada planta) y se registró el promedio determinado por el equipo. Las unidades de las lecturas obtenidas fueron unidades SPAD.

**b) Fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , PP SYSTEMS)**

Durante los periodos fenológicos de floración y llenado de grano, al inicio del experimento, se tomaron mediciones de fotosíntesis ( $\mu\text{mol m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ ) utilizando el Sistema de Fotosíntesis Portátil TPS-2 entre las 10:00 y las 14:00 horas. La medición se realizó en la mitad de las hojas (segundo o tercer nivel) para abarcar toda la cubeta.

**c) Contenido Relativo de Agua**

Se evaluó mediante la técnica de Tyree y Hammel (1972), que incluía pesar las hojas al ser extraídas de la planta. Luego se determinó el peso fresco (Pf) utilizando una balanza de precisión (0,001 g). Después de un período de 12 horas de baja luminosidad en el que las hojas se colocaron en bandejas con agua destilada, se sacaron las muestras y se secaron cuidadosamente con toallas de papel antes de pesarlas nuevamente para determinar el peso turgente (Pt). Finalmente, las muestras se secaron a una temperatura constante de 80 °C durante 48 horas para determinar su peso seco (PS). Utilizando el siguiente enlace, se calculó el contenido relativo de agua (CRH) a partir de los datos recopilados:

$$\text{CRA} = \frac{\text{PESO FRESCO (Pf)} - \text{PESO SECO (Ps)}}{\text{PESO TURGENTE (Pt)} - \text{PESO SECO (Ps)}} \times 100$$

**d) Contenido de  $\text{Na}^{++}$  y  $\text{Cl}^-$  en hojas.**

Aproximadamente cada 15 días se evaluó el contenido de cloro ( $\text{Cl}^-$ ) y sodio ( $\text{Na}^{++}$ ). Para cada muestra se recolectaron aproximadamente 10 gramos de follaje. Al finalizar el experimento se midió la cantidad de sal y cloro acumulado en los tallos. Todas las muestras fueron entregadas al laboratorio de suelos de la UNALM.

**e) Contenido de prolina libre (CPL)**

El contenido de prolina libre fue analizado por el laboratorio de calidad del Programa de Cereales y Granos Nativos de la UNALM. Para ello, se tomó de cada parcela una hoja

bandera fresca, incluyendo la nervadura, de 0,5 g de peso. Las muestras se colocaron en recipientes de polipropileno de 50 ml (marca Corning Incorporated, modelo número 430828) envueltos en papel aluminio. Los recipientes que contenían las muestras se sumergieron en nitrógeno líquido y se mantuvieron en un congelador a -70 °C para inhibir cualquier proceso metabólico en las hojas. En los mismos días de la recolección de las muestras, se determinó el contenido de clorofila.

El contenido de prolina libre de cada muestra se determinó en el laboratorio utilizando el procedimiento descrito por Bates (1973).

### **3.4 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

Se emplearon los siguientes análisis en función a las características evaluadas:

Para las comparaciones de pares sin y con sal por cada accesión o accesión seleccionado, se aplicó la prueba T de Student.

Se empleó:

Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) y se aplicó la prueba de Duncan, por ser una variante (similar) a la prueba T, para comparaciones múltiples entre dos o más tratamientos.

Con el modelo aditivo lineal: DBCA

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

Dónde:

$Y_{ij}$  : Rendimiento observado con la i-ésimo accesión y j-ésima repetición o bloque.

$\mu$  : Efecto de la media general

$\Gamma_{ij}$  : Efecto de la i-ésimo accesión.

$B_{ij}$  : Efecto del j-ésimo bloque

$E_{ij}$  : Efecto del error experimental.

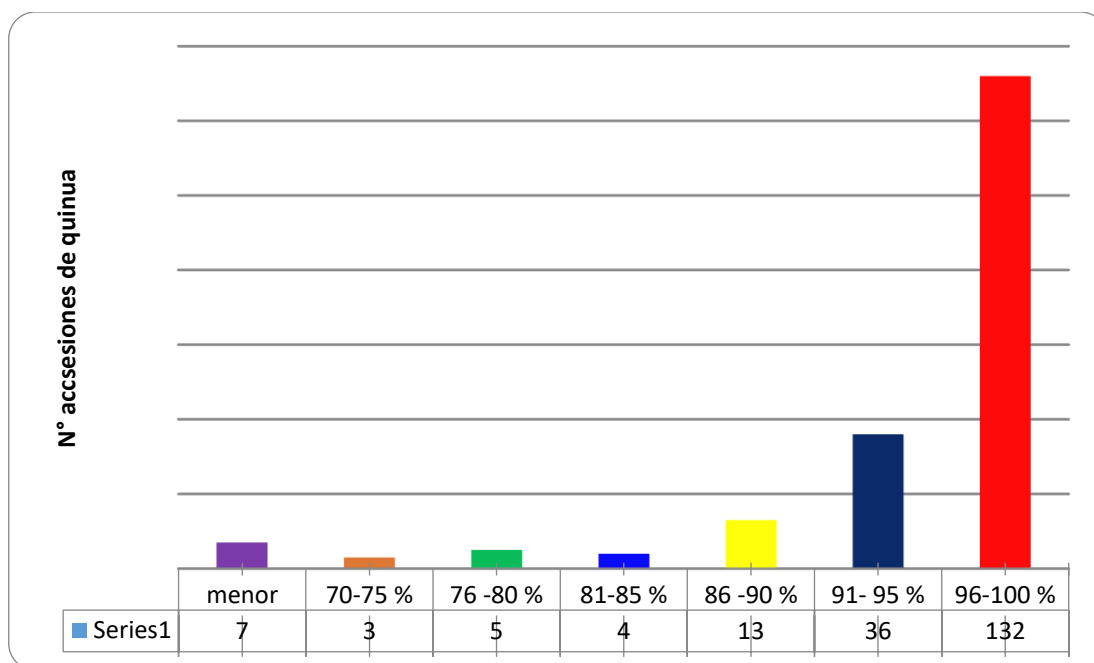
## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1 OBJETIVO 1:

En placas Petri se probaron accesiones de quinua del altiplano peruano para determinar su tolerancia a la sal durante la etapa de germinación.

#### 4.1.1 Germinación en agua destilada (control):

181 accesiones de las 200 accesiones evaluadas alcanzaron un porcentaje de germinación mayor a 80%. De acuerdo a la Ley de Semillas se consideran semillas de calidad a aquellas que germinan sobre 80%. En la Figura N° 2 se presentan los datos obtenidos y el número de accesiones dentro de cada rango de germinación.



**Figura 2: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa*, Willd.) en agua destilada (control).**

#### 4.1.2 Germinación en solución con diferentes niveles de salinidad

- TRATAMIENTO - 250 mM de NaCl

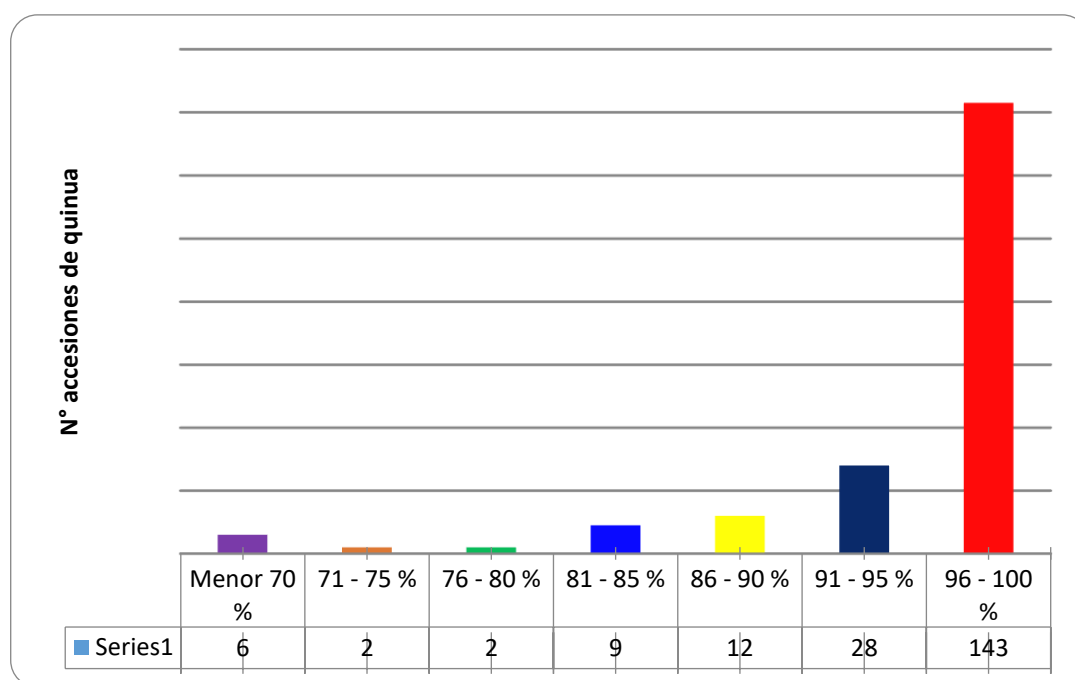
La germinación varió de 1% a 100 %, el promedio de germinación fue de 95.31% y 194 accesiones mostraron germinación mayor a 70% (Figura N°3).

- TRATAMIENTO -350 mM de NaCl

La germinación varió de 0% a 100%, el promedio de esta germinación fue de 30.9% y 55 accesiones mostraron una germinación sobre 70% (Figura N° 4).

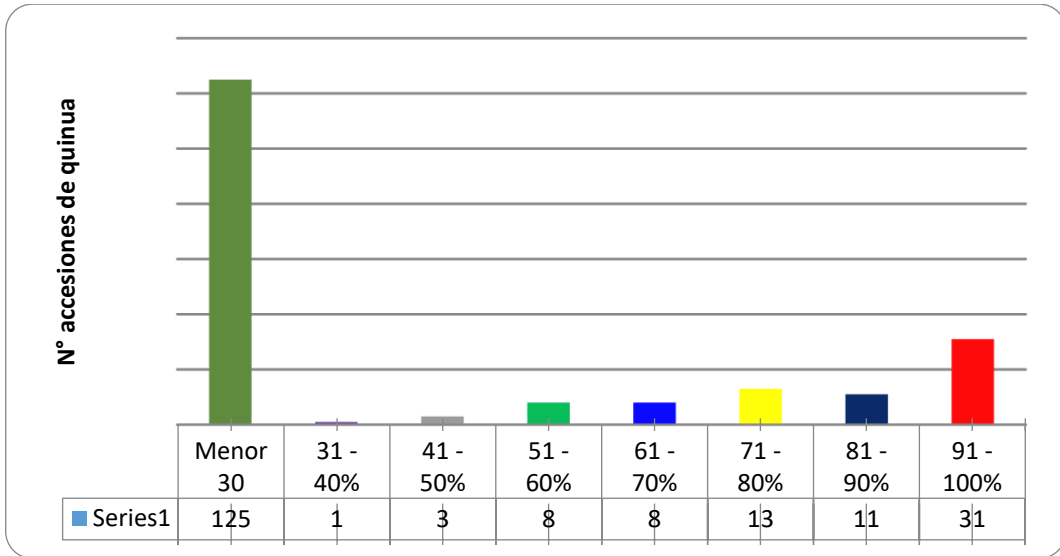
- TRATAMIENTO- 400 mM de NaCl

La germinación varió de 0 % a 100 %, el promedio de germinación fue de 3.34% y sólo 7 accesiones lograron sobrevivir con porcentajes de germinación mayor al 70% (Figura N° 5).

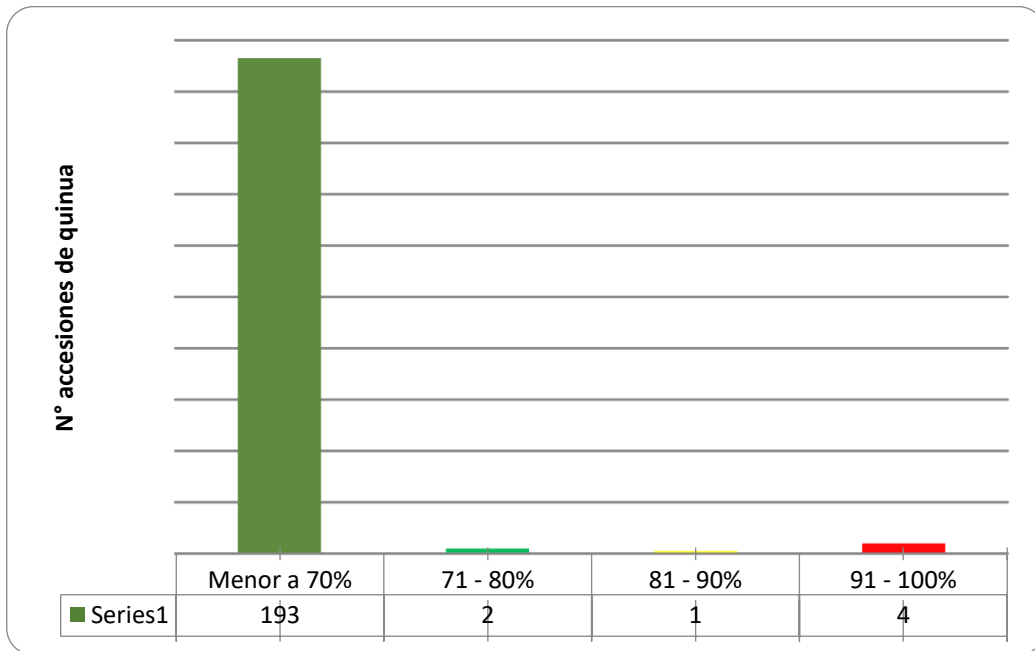


**Figura 3: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 250 mM de NaCl.**





**Figura 4: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 350 mM de NaCl.**



**Figura 5: Porcentaje de germinación de 200 accesiones de quinua en agua destilada salinizada con 400 mM de NaCl.**

En la Tabla 5 Se muestran los valores estadísticos de la población en evaluación. La media disminuyó significativamente y el coeficiente de varianza aumentó significativamente a medida que aumentó la concentración de sodio.

En la Tabla 6 Se presentan los porcentajes de germinación de las siete accesiones seleccionadas por exhibir los valores más altos a la dosis más alta de sal. Seis de las

accesiones exhibieron un porcentaje de germinación mayor al 80%, mientras que una accesión exhibió un porcentaje de germinación del 76%, lo cual aún se considera aceptable para semillas de calidad de granos muy pequeños como la quinua. Es importante señalar un incremento del porcentaje de germinación con el incremento de las dosis de sales.

**Tabla 5: Estadística general del experimento de germinación de quinua en placas de Petri y con diferentes concentraciones de sales**

Tratamientos	Media	Desviación Estándar	CV	Rango
0 mM (T)	94.8	10.2	10.7	1- 100
250 mM	95.31	11.2	11.75	1- 100
350 mM	30.9	40.4	130.7	0 - 100
400 mM	3.34	16.5	494.0	0 - 100

**Tabla 6: Porcentaje de germinación de las accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) seleccionadas por su tolerancia en la fase de germinación a las concentraciones salinas de 250, 350 y 400 mM de Cl Na.**

N.º Pasaporte	0 mM (T)	250 mM	350 mM	400 mM
PEQPC-0751	98	100	100	100
PEQPC-0754	98	100	100	100
PEQPC-0755	94	100	100	100
PEQPC-0758	91	100	100	98
PEQPC-0941	99	100	98	76
PEQPC-1019	100	100	96	80
PEQPC-1058	99	100	98	90

La respuesta a medio salino ha sido estudiada por muchos autores los que encontraron respuestas variables en función al genotipo y su origen. El material en estudio procede del Altiplano, donde en ciertos sectores existen problemas de salinidad, ello explicaría la alta tolerancia de las accesiones a los niveles de sales estudiados.

Biondi et al. (2014) hicieron una revisión de la respuesta a sales de la quinua y señalan que algunos estudios identificaron algunas variedades con capacidad de prosperar en condiciones de alta salinidad similares al agua de mar o con una conductividad eléctrica (CE) de ca. 50 dS/m (correspondiente a aproximadamente 600 mM de NaCl)

Iqbal et al. (2020) indican que la quinua es capaz de prosperar en suelos afectados por problemas de salinidad debido a su capacidad para tolerar altos niveles de sales en un rango de 10 -750 mM de Na Cl, Esto demuestra que ciertos genotipos son más resistentes a los iones y que la diversidad de respuestas es crucial en la selección de genotipos para la reproducción.

Mizuno et al. (2020) Investigaron la respuesta de accesiones de quinua del Banco de Germoplasma de Estados Unidos provenientes de las zonas altas de Perú (sierra norte), Bolivia (sierra sur) y Chile (tierras bajas) a las sales durante la fase de germinación en placas Petri de 9 cm de diámetro. Evaluaron las líneas a las 24 horas, 4 días y 14 días e identificaron 137 líneas que exhibieron tolerancia a altos niveles de salinidad. Concluyeron que es imperativo realizar estudios de tolerancia durante la fase de germinación con altos niveles de salinidad para observar las diferencias en la tolerancia y que las líneas de las zonas bajas exhibieron un mayor nivel de tolerancia a la alta salinidad.

Cueva (2021) En un estudio que dio como resultado la identificación de accesiones tolerantes a sales en un total de 50 accesiones del Banco de Germoplasma de la Universidad Nacional del Altiplano, se reportó que el nivel de tolerancia a sales durante la fase de germinación fue mayor al 50% en soluciones que contenían 200 mM y 300 mM.

Condori (2023) estudio la respuesta a las sales de quinua en soluciones salinas de 0.0M, 0.1M, 0.2M y 0.3M empleando los genotipos bolivianos Rosa Blanca, Toledo, Pandela, Qanchis Rojo y Moqu observaron la disminución del porcentaje de germinación con el incremento de la dosis de 100 % a 95.91%.

## **4.2 OBJETIVO 2:**

Investigación del impacto de las sales en el ciclo de vida de siete accesiones de quinua que presentan tolerancia en la etapa de germinación

En contenedores con sustrato que contenía 400 mM de NaCl, se evaluó la tolerancia a la sal de las siete accesiones a lo largo de su ciclo de vida. Se monitorearon continuamente el pH y la conductividad eléctrica, y se ajustaron los valores de sodio utilizando agua de riego. Bajo las mismas condiciones, también, se tuvo plantas en macetas con un sustrato igual sin sales (SS), el protocolo esta descrito en la metodología. Los resultados se presentan a continuación.

- **Caracteres agronómicos**

#### 4.2.1 Altura de planta (cm):

Las Tablas 7 y 8 ilustran los resultados observados. Los resultados del ANVA indican que las alturas de las plantas de los tratamientos con y sin sal son significativamente diferentes. La altura de las plantas en el tratamiento sin sal varió de 65,95 cm a 85,44 cm, siendo PEQPC-1019 el que presentó el valor más bajo y PEQPC-758 el más alto. La altura de las plantas varió de 46,29 cm a 51,85 cm en el tratamiento con sal, registrándose el valor más bajo en PEQPC-1058 y el máximo en PEQPC-1019. El tratamiento salino tiene una influencia generalizada en todas las accesiones, resultando en una reducción. En la Tabla N° 9 se presenta el porcentaje de reducción por efecto de las sales y este varió de 21.38 % a 41.39%, el valor más bajo fue observado en la accesión PEQPC- 1019 y el más alto en PEQPC- 755. Las accesiones menos afectadas fueron la PEQPC- 751 y PEQPC- 1019.

**Tabla 7: ANVA de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	PR>F	Nivel de Significación
BLOQUE	4	615.15	153.77	1.88	0.127	
TRAT.	13	15004.45	1154.19	14.15	>.0001	**
ERROR	52	4242.62	81.59			
TOTAL	69	19862.22				

C.V. = 14.26%

**Tabla 8: Valores medios de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS).**

Material Genético	Prueba de Tuckey (0.05)	Tratamiento	Parcela Tratamiento
PEQPC - 758	85.44 a	SS	4
PEQPC - 941	80.51 a	SS	5
PEQPC - 754	80.48 a	SS	2
PEQPC - 755	80.30 a	SS	3
PEQPC - 1058	75.40 a	SS	7
PEQPC - 751	72.64 a	SS	1
PEQPC - 1019	65.95 ab	SS	6
PEQPC - 1019	51.85 b	CS	13
PEQPC - 751	51.03 b	CS	8
PEQPC - 758	50.81 b	CS	11
PEQPC - 941	50.46 b	CS	12
PEQPC - 754	47.94 b	CS	9
PEQPC - 755	47.06 b	CS	10
PEQPC - 1058	46.29 b	CS	14

**Tabla 9: Porcentaje de reducción de altura de planta (cm) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

Tratamiento	Accesiones	Altura planta (cm)	% reducción
SS	PEQPC - 758	85.44	
CS	PEQPC - 758	50.81	40.53
SS	PEQPC - 941	80.51	
CS	PEQPC - 941	50.46	37.32
SS	PEQPC - 754	80.48	
CS	PEQPC - 754	47.94	40.43
SS	PEQPC - 755	80.30	
CS	PEQPC - 755	47.06	41.39
SS	PEQPC - 1058	75.40	
CS	PEQPC - 1058	46.29	38.61
SS	PEQPC - 751	72.64	
CS	PEQPC - 751	51.03	29.75
SS	PEQPC - 1019	65.95	
CS	PEQPC - 1019	51.85	21.38

Numerosos estudios han demostrado una disminución del desarrollo de las plantas de tomate (Romero Aranda et al., 2001) y remolacha azucarera (Ghoulman et al., 2002) debido al estrés salino. El área foliar, la materia fresca y seca de hojas y tallos, y el número de hojas disminuyeron significativamente en la remolacha azucarera con 200 mM de NaCl (Ghoulman et al. 2002). En el arroz se observó una reducción del crecimiento en la fase vegetativa y un aumento del crecimiento en la fase reproductiva (Flowers et al. 1997). Según Fisakaris et al. (2001), la acumulación de materia seca en el tallo y la raíz de la vid var. Sultana se redujo significativamente en circunstancias de alta concentración de NaCl y se relacionó con un alto grado de capacidad de ajuste osmótico. Sin embargo, las diferentes especies y cultivares tienen una tolerancia variable a la sal. Las plantas de *Rhizophora mucronata* crecen mejor en agua de mar al 50%, según Aziz y Khan (2001), y su crecimiento disminuye con el aumento de la salinidad y la duración de la exposición. Debido a que las células exhiben un ajuste osmótico en reacción a la sal, así como la acumulación de estos iones en sus células, *Atriplex vesicaria* de la subfamilia *Chenopodioideae* con 700 mM de NaCl aún puede generar altos rendimientos (McKersie y Leshem, 1994).

Wang et al. (2013) Se destaca cómo una sobreabundancia de iones  $\text{Na}^+$  y  $\text{Cl}^-$  compite con otros iones, como  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{NO}_3^-$ , limitando el desarrollo de las plantas. Esto se debe principalmente a los efectos osmóticos y tóxicos de los iones, que reducen la absorción y translocación de nutrientes, en particular  $\text{K}^+$ .

Según Jacobsen et al. (2001), la conductancia estomática, el área foliar y la altura de la planta fueron las características de la quinua que respondieron mejor a la sal. Según Khalili et al. (2019), en la quinua cultivada en invernadero, aumentar la  $\text{EC}_w$  a 15  $\text{dS m}^{-1}$  (que corresponde a una  $\text{EC}_e$  de 30,4  $\text{dS m}^{-1}$ ) redujo la altura de la planta en un 18,65% y la longitud de la panícula en un 52,4%.

Qureshi y Daba (2020) Analizaron cómo cinco genotipos de quinua se vieron afectados por diferentes niveles de salinidad (5, 10, 15 y 20  $\text{dS m}^{-1}$ ). Observaron que la altura de las plantas disminuyó conforme aumentaba la concentración de sales, siendo esta reducción significativa a partir de 10  $\text{dS m}^{-1}$ .

Cueva (2021) Los resultados muestran una disminución notable en la altura de las plantas, la longitud de las raíces y el peso fresco y seco de 50 accesiones de quinua que fueron cultivadas en condiciones de maceta con 200 mM y 400 mM de NaCl.

Shahid y Thushar (2022) estudiaron 11 genotipos de quinua en condiciones áridas en un experimento con dos condiciones de salinidad en campo: baja salinidad (0,3 dS/m) y alta salinidad (15 dS/m) iniciando el tratamiento de alta salinidad a las 2 semanas después de la siembra y observaron una reducción de 10 cm en promedio y una respuesta varietal diferente, la accesión más severamente afectada fue NSL 106399, que perdió ~34% de su altura debido a la alta salinidad; el cultivar menos afectado fue ICBA Q-2, con solo una disminución del 6%. Además, descubrieron que la longitud de la panícula de quinua había disminuido un 17% en promedio, siendo la variedad djulis Zhang Li 3 la que presentó la mayor disminución (21%).

#### 4.2.2 Rendimiento de granos (g/planta)

Los resultados de este estudio se muestran en las Tablas 10 y 11, donde se evidencia que el impacto decreciente del tratamiento salino y los valores observados del rendimiento, expresados en gramos por planta, varían significativamente. El rendimiento bajo el tratamiento sin sal osciló entre 0,80 y 10 g/planta, siendo el PEQPC-1058 el de menor valor y el PEQPC-1019 el de mayor valor. En el tratamiento con sal el rendimiento varió de 0.20 g a 5.4 g/ planta y el valor más bajo fue observado en PEQPC-1058 y el más alto en PEQPC-755. El rendimiento fue reducido en un rango de 28.95 a 85.19 por ciento, siendo la accesión PEQPC - 755 la de menor reducción (Tabla N° 12).

Debido a otras condiciones, incluida una infección grave por mildiú (*Perenospora variabilis*) y altas temperaturas durante la última etapa del llenado del grano, los rendimientos de ambos tratamientos fueron generalmente bastante bajos.

**Tabla 10: ANVA de Rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

FV	G.L.	S.C.	C.M.	Valor F	PR>F	Nivel de Significación
BLOQUE	4	38.1285	9.5321	1.01	0.4099	
TRAT.	13	636.075	48.9288	5.19	>.0001	**
ERROR	52	489.87	9.42			
TOTAL	69	1164.07				

C.V. = 77.7%

**Tabla 11: Valores medios de rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

Material Genético	Prueba de Tukey (0.05)	Tratamiento	Parcela Tratamiento
PEQPC - 1019	10.0 a	SS	6
PEQPC - 755	7.60 ab	SS	3
PEQPC - 751	6.80 abc	SS	1
PEQPC - 754	6,60 abc	SS	2
PEQPC - 941	5.40 abc	SS	5
PEQPC - 755	5.40 abc	CS	10
PEQPC - 758	5.20 abc	SS	4
PEQPC - 1019	2.40 bc	CS	13
PEQPC - 754	1.5 bc	CS	9
PEQPC - 758	1.4 bc	CS	11
PEQPC - 751	1.2 bc	CS	8
PEQPC - 941	0.80 bc	CS	12
PEQPC - 1058	0.80 bc	SS	7
PEQPC - 1058	0.20 c	CS	14

**Tabla 12: Porcentaje de reducción del rendimiento de planta (g) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS).**

Accesiones	g/planta	Reducción %
PEQPC - 1019	10.00	
PEQPC - 1019	2.40	76
PEQPC - 755	7.60	
PEQPC - 755	5.40	28.95
PEQPC - 751	6.80	
PEQPC - 751	1.20	82.35
PEQPC - 754	6,60	
PEQPC - 754	1.50	77.28
PEQPC - 941	5.40	
PEQPC - 941	0.80	85.19
PEQPC - 758	5.20	
PEQPC - 758	1.40	73.08
PEQPC - 1058	0.80	
PEQPC - 1058	0.20	75



Pórta et al. (1994) y Flowers et al. (1997) informaron resultados similares, es decir, una disminución del rendimiento. Cari (1978), encontró que con concentraciones de 2.1 – 4 mS/cm se obtiene todavía buenos resultados de rendimiento de grano. Jacobsen *et.al*, (1999), obtuvieron una alta producción de semillas con C.E. 15 mS/cm en las accesiones de quinua Utusaya y 03-26-0036. Álvarez (2009) informa una reducción de rendimiento igual a 81.35% en un estudio con 25 dS/ m y 30 dS/m en quinua.

Pulvento et al. (2012) observaron variación en la respuesta a sales de quinua en condiciones de campo con un nivel de salinidad de 22 dSm<sup>-1</sup> en el suelo y en este nivel no se observó disminución del rendimiento.

Eisa et al. (2017) reporta reducción de rendimiento en la variedad de quinua Hualhuas de 61.7% por efecto de sales realizado en un experimento en condiciones de maceta con diferentes niveles de salinidad, considerando que el nivel de 200 mM de NaCl fue el límite de tolerancia a sales en un estudio realizado en un rango de 0 a 500 mM NaCl

Según Qureshi y Daba (2020), la influencia de las sales en valores de 5, 10, 15 y 20 dS m<sup>-1</sup> ha incrementado la disminución de la producción de grano de cinco genotipos de quinua.

Gonzales et al. (2021) estudiaron el comportamiento en condiciones salinas de la variedad CICA-17 en Egipto. Emplearon dos condiciones suelos no salinos (conductividad eléctrica, 1,9 dS m<sup>-1</sup>) y suelos salinos (20 dS m<sup>-1</sup>) y observaron que, en condiciones salinas, el rendimiento disminuyó a cerca del 47%.

Shahid y Thushar (2022) Con una concentración salina promedio de 15 dS/m, vieron una disminución del 25% en la producción de semillas de quinua; la variedad Puno tuvo una pérdida de rendimiento del 50%, mientras que NSL 84449 vio la más baja.

Caracteres Fisiológicos

#### **4.2.3 Contenido de clorofila (unidades SPAD- clorofilómetro SPAD 502- MINOLTA):**

Los valores promedio del contenido de clorofila (en unidades SPAD) para las plantas evaluadas a los 28, 42, 56, 78, 103 y 116 días después de la siembra (dds) se muestran la Tabla N°13, junto con la prueba t (comparación de medias) para las accesiones. Debido a la alta tasa de defoliación de las hojas provocada por el efecto de la maduración, no se pudieron obtener ciertos valores debido a que no se contó con suficientes muestras representativas.

Para cinco accesiones, existen variaciones estadísticamente significativas en estos valores, y los tratamientos con sales generalmente resultan en valores SPAD más altos.

- A los 28 días después de la siembra, las accesiones cultivadas en un suelo libre de sales tuvieron un contenido promedio de clorofila de 31.9 unidades SPAD, mientras que las cultivadas en un suelo que contenía sales tuvieron un contenido promedio de clorofila de 35.5 unidades SPAD. Estas variaciones en los valores fueron estadísticamente significativas. No se encontraron diferencias estadísticamente significativas a nivel de accesión para los valores encontrados en PEQPC-751, PEQPC-754 y PEQPC-1019.
- A los 42 días después de la siembra se observó 42.4 unidades SPAD en promedio para las accesiones que crecieron en un suelo sin sales, Se observaron variaciones estadísticas extremadamente significativas entre estos resultados; los producidos con sales tuvieron un valor de 49,4. Las accesiones PEQPC-754, PEQPC-1019 y PEQPC-1058 no presentaron cambios estadísticamente significativos en sus valores.
- A los 56 días después de la siembra las lecturas fueron de 41.3 unidades SPAD en promedio para las accesiones que crecieron en un suelo sin sales y de 48.3 unidades SPAD para aquellos que crecieron con sales, con excepción de la accesión PEQPC-1019, que no presentó diferencias estadísticamente significativas, presentándose diferencias extremadamente significativas.
- A los 78 días después de la siembra los valores observados fueron de 36.4 unidades SPAD en promedio para las accesiones que crecieron en un suelo sin sales y de 49.5 para aquellas que crecieron en el medio salinizado, habiendo diferencias estadísticas altamente significativas. La accesión PEQPC-1019 no mostró diferencias estadísticas significativas.
- A los 103 días después de la siembra los valores observados fueron de 25.1 unidades SPAD en promedio para las accesiones que crecieron en un suelo sin sales y de 41.5 para aquellas que crecieron en el medio salinizado, habiendo diferencias estadísticas altamente significativas. Las accesiones PEQPC-941, PEQPC-1019 y PEQPC-1058 no mostraron variaciones estadísticamente significativas.
- A los 116 días después de la siembra, las accesiones sin tratamiento salino estuvieron en la fase de maduración con hojas senescentes y sólo se hicieron lecturas en el tratamiento con sales y fue igual a 33.4 unidades SPAD en promedio.

Para el tratamiento sin sal: PEQPC-751 tuvo un rango de lectura de 30.5 a 40.6 SPAD, PEQPC- 754 de 20.1 a 43.5 SPAD, PEQPC- 755 de 19.6 a 44.1, PEQPC- 941 de 32.2 a 43.3 SPAD, PEQPC- 1019 de 35.3 a 49.2, PEQPC-1058 de 30.4 a 38.9 SPAD y estos valores no presentaron un patrón determinado.

Por otro lado, en el tratamiento con sal (400 mM de NaCl), los rangos observados fueron para PEQPC-751 de 32.1 a 56.4 SPAD, PEQPC- 754 de 34.0 a 54.0 SPAD, PEQPC- 755 de 33.5 a 51.8 SPAD, PEQPC- 941 de 7.3 a 50.8 SPAD, PEQPC- 1019 de 37.1 a 56.1 SPAD, PEQPC-1058 de 35.2 a 46.8 SPAD y sin ninguna tendencia definida.

**Tabla 13: Contenido de clorofila (Valores SPAD), en siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar y salinizado con 400 mM de NaCl.**

Accesión	Sin Sal (DS)			Con Sal (DS) 400 mM ClNa			Prueba de t		
	Valor	±	DS	Valor	±	DS	P	Signif.	
PEQPC- 751	28 días	30.5	±	1.4	32.4	±	2.1	0.1478	ns
	42 días	37.7	±	5.0	46.7	±	4.0	0.0143	*
	56 días	39.2	±	2.8	50.6	±	5.2	0.0026	**
	78 días	26.9	±	14.4	50.2	±	7.7	0.0128	*
	103 días	40.6	±	4.9	56.4	±	4.3	0.0006	**
	116 días	0.0	±	0.0	32.1	±	18.1	0.0041	**
PEQPC- 754	28 días	31.3	±	2.0	34.0	±	3.4	0.1667	ns
	42 días	40.5	±	5.6	51.7	±	6.9	0.023	ns
	56 días	43.5	±	3.3	48.7	±	3.3	0.0378	*
	78 días	35.8	±	5.6	54.0	±	2.1	0.0001	**
	103 días	20.1	±	1.6	44.7	±	3.1	0	**
	116 días	0.0	±	0.0	41.5	±	2.0	0	**
PEQPC- 755	28 días	31.9	±	2.0	36.8	±	2.8	0.0133	*
	42 días	44.1	±	1.1	51.8	±	5.0	0.0101	*
	56 días	41.9	±	1.2	49.7	±	3.3	0.001	**
	78 días	37.4	±	4.6	50.3	±	2.1	0.0005	**
	103 días	19.6	±	11.6	45.2	±	4.5	0.0018	**
	116 días	0.0	±	0.0	33.5	±	3.2	0	**

28 días	31.5	±	2.5	36.7	±	4.0	0.0419	*
42 días	41.1	±	4.3	46.7	±	2.6	0.0396	*
56 días	40.8	±	3.4	49.6	±	5.3	0.014	*
78 días	34.2	±	5.8	52.8	±	4.4	0.0004	**
103 días	18.4	±	6.2	47.4	±	4.5	0	**
116 días	0.0	±	0.0	37.7	±	6.3	0	**
28 días	32.2	±	1.3	36.3	±	1.1	0.0007	**
42 días	43.3	±	3.7	50.8	±	4.0	0.0155	**
56 días	40.3	±	2.8	45.2	±	3.3	0.0339	*
78 días	32.2	±	2.8	38.8	±	1.0	0.001	**
103 días	0.0	±	0.0	7.3	±	16.4	0.3466	ns
116 días	0.0	±	0.0	12.4	±	17.0	0.1412	Ns
28 días	35.3	±	2.7	37.1	±	1.7	0.2533	ns
42 días	46.9	±	3.5	51.5	±	4.7	0.117	ns
56 días	44.7	±	5.0	49.1	±	4.6	0.1886	ns
78 días	49.2	±	4.7	56.1	±	8.0	0.1317	ns
103 días	44.8	±	4.5	50.8	±	5.2	0.0851	ns
116 días	0.0	±	0.0	37.6	±	5.2	0	Ns
28 días	30.4	±	1.2	35.2	±	1.1	0.0001	**
42 días	43.0	±	3.3	46.8	±	2.1	0.0602	ns
56 días	38.7	±	2.1	45.4	±	3.9	0.0099	**
78 días	38.9	±	3.7	44.4	±	3.0	0.0312	*
103 días	31.9	±	11.7	38.4	±	3.3	0.2641	ns
116 días	0.0	±	0.0	39.0	±	5.1	0	ns

La clorofila es un componente crucial de la fotosíntesis, ya que es una molécula encargada de absorber la energía solar entrante (Alberts, 1996). Por lo tanto, la fotosíntesis y el nivel de clorofila de la planta están conectados positivamente (Gummuluru et al., 1989).

Ferri (2004) afirma que mediante el análisis de la clorofila se puede conocer el estado fisiológico de la planta y comprender su crecimiento, lo que ayuda a identificar la existencia de estrés. Según Tenga et al. (1989), una planta estresada experimenta una caída en la concentración de clorofila, lo que perjudica la actividad fotosintética y da como resultado una disminución del intercambio de gases o fijación de carbono (González, 2009).

Según Blum (1982), una alta concentración de clorofila en las hojas (que es lo que las mantiene verdes) contribuye a mejorar el rendimiento en circunstancias estresantes. Mantener las hojas con un alto nivel de clorofila durante un período prolongado podría ser una táctica para aumentar la producción en circunstancias limitadas.

Eisa et al. (2017) reporta disminución neta en las tasas de fotosíntesis de quinua por la alta salinidad en un estudio realizado con la variedad Hualhuas en condiciones salinas con niveles de 0,100, 200, 300, 400 y 500 mM NaCl.

Qureshi y Daba (2020) estudiaron la respuesta de 5 genotipos de quinua a diferentes niveles de sales y observaron variaciones en la respuesta en contenido de clorofila. Las mayores variaciones se observaron a partir de 10 dS m<sup>-1</sup>, y la concentración de clorofila disminuyó drásticamente a medida que aumentaba la salinidad.

#### 4.2.4 Fotosíntesis:

A los 58 días después de la siembra se evaluó la fotosíntesis y el valor observado fue de 14.6  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en promedio para la accesión que crecieron en un suelo sin sales, mientras que aquellos que crecieron con sales fue de 4.8  $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  (Tabla N° 14), Con excepción de los datos correspondientes a la accesión PEQPC-941, la prueba de significancia T-student indica que existieron diferencias estadísticas muy significativas entre estos valores.

**Tabla 14: Valores medios de fotosíntesis ( $\mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ , PP SYSTEMS) en siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar y salinizado con 400 mM de ClNa.**

Accesión	Sin Sal			Con Sal 400 mM ClNa			Prueba de t	
	Media	±	SE	Media	±	SE		
PEQPC- 751	25.8	±	2.5	7.3	±	0.9	0	**
PEQPC- 754	18.2	±	1.7	5.5	±	2	0	**
PEQPC- 755	16.1	±	4.8	3.6	±	1	0.0004	**
PEQPC- 758	10.5	±	3.4	4.1	±	3.4	0.0186	*
PEQPC- 941	8.6	±	1.2	6.4	±	2.4	0.1002	Ns
PEQPC- 1019	11.6	±	3.6	3.5	±	0.8	0.0012	*
PEQPC- 1058	11.2	±	3.3	3	±	1.1	0.0007	**
<b>Promedio</b>	<b>14.6</b>	±	<b>6.3</b>	<b>4.8</b>	±	<b>2.3</b>	<b>0</b>	<b>**</b>

Los estudios conducidos por numerosos investigadores en cultivos diferentes mostraron que la capacidad fotosintética es afectada por la salinidad (Ashraf, 2001; Romero *et.al.*, 2001). Las especies de plantas en estudio y el contenido de sal tienen un impacto en cómo la salinidad afecta la fotosíntesis. Existen evidencias que una baja concentración salina puede estimular la fotosíntesis. Por ejemplo, en *B. Parviflora*. Parida *et.al.* (2005), informaron que el porcentaje de fotosíntesis se incrementa con una baja salinidad y disminuye con una alta salinidad, mientras que la conductancia estomática se mantiene igual a una baja salinidad y disminuye a una alta salinidad.

Delatorre-Herrera et al. (2021) hicieron un estudio comparativo de la respuesta a sales de las variedades chilenas Amarilla (tolerante a sales) y Hueque (sensible a sales) y reportan la medición de los parámetros relacionados con la fotosíntesis, señalando que la asimilación máxima de CO<sub>2</sub> (A<sub>max</sub>) en las plantas de control fue comparable entre genotipos (ca. 9–10 μmol CO<sub>2</sub> m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup>) y que el tratamiento con sal produjo respuestas diferentes, con valores de A<sub>max</sub> que disminuyeron en 65,1% en el ecotipo sensible y 37,7 en el tolerante.

Aguirresarobe et al. (2022) Se estudiaron nueve variedades de quinua de distintas latitudes. Las plantas se regaron con solución de Hoagland suplementada con un rango de concentraciones de NaCl (0 mM = control, 100 mM, 200 mM y 400 mM) después de 14 días, y también se regaron dos veces por semana con agua destilada suplementada con el mismo rango de concentraciones de NaCl. Observaron que el tratamiento salino disminuyó cada medida asociada con la fotosíntesis y que los genotipos en estudio respondieron de manera diferente.

#### **4.2.5 Contenido de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en hojas:**

Se hicieron siete determinaciones del contenido de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, en hojas en siete fechas espaciadas durante la duración del cultivo.

Los resultados del análisis de Na<sup>+</sup> se presentan en la Tabla N° 15. En ambos tratamientos sin sal y con sal el contenido fue variable con incrementos y disminuciones sin tendencia definida. Para PEQPC- 751 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.72% a 3.20% y en el tratamiento con sal de 1.44 a 3.80%; los valores más altos fueron observados en ambos tratamientos en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 754 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.40% a 0.57% y en el tratamiento con sal de 1.35 a 4.50%; los valores más altos fueron observados en ambos tratamientos en la Fase 4 del cultivo. Para PEQPC-

755 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.09% a 0.78% y en el tratamiento con sal de 0.17 a 3.4%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 3 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 758 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.12% a 1.70% y en el tratamiento con sal de 0.06 a 3.70%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 7 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 941 en el tratamiento sin sal el valor más alto fue 0.64% y en el tratamiento con sal de 1.09 a 3.40%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 3 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 1019 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.06% a 0.41% y en el tratamiento con sal de 1.25 a 3.4%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 6 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para PEQPC- 1058 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 0.09% a 2.09% y en el tratamiento con sal de 0.35 a 3.50%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 3 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo.

Los resultados del análisis de  $\text{Cl}^-$  (%) se presentan en la Tabla N° 16. En ambos tratamientos sin sal y con sal el contenido fue variable con incrementos y disminuciones sin tendencia definida. Para PEQPC- 751 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.52% a 8.59% y en el tratamiento con sal de 4.35 a 10.76%; los valores más altos fueron observados en ambos tratamientos en la Fase 4 del cultivo. Para PEQPC-754 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.89% a 4.53% y en el tratamiento con sal de 6.14 a 21.80%; los valores más altos fueron observados en ambos tratamientos en la Fase 7 del cultivo. Para PEQPC- 755 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.92% a 3.66% y en el tratamiento con sal de 5.31 a 10.60%; los valores más altos fueron observados en ambos tratamientos en la Fase 4 del cultivo. Para PEQPC- 758 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.65% a 7.46% y en el tratamiento con sal de 3.11 a 9.82%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 7 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 941 en el tratamiento sin sal no se determinó una fecha siendo el valor más alto de 3.66% y en el tratamiento con sal de 5.43 a 10.86 %; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 6 y para el tratamiento con sal en la Fase 7 del cultivo. Para PEQPC- 1019 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.92% a 5.40% y en el tratamiento con sal de 4.95 a 11.22 %; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 6 y para el tratamiento con sal en la Fase 4 del cultivo. Para la PEQPC- 1058 se observa un rango en el tratamiento sin sal de 1.14% a

8.95% y en el tratamiento con sal de 2.59 a 11.47%; los valores más altos fueron observados para el tratamiento SS en la Fase 3 y para el tratamiento con sal en la Fase 7 del cultivo.

**Tabla 15: Contenido de Na<sup>+</sup> (%) en las hojas de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

Tratamiento	ACCESION	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
SS	GQPE-UNALM751	0.72	0.86	0.9	3.2	0.29	0.48	0.25
CS	GQPE-UNALM751	1.44	1.82	2.1	3.8	0.93	2.8	1.64
SS	GQPE-UNALM754	0.4	0.75	0.76	0.57	0.11	0.55	0.12
CS	GQPE-UNALM754	1.35	2.25	2.13	4.5	1.2	2.51	0.75
SS	GQPE-UNALM755	0.51	0.34	0.78	0.39	0.17	0.38	0.09
CS	GQPE-UNALM755	1.52	1.8	2	3.4	0.17	1.89	1.41
SS	GQPE-UNALM758	0.63	0.53	0.19	0.63	0.12	0.34	1.7
CS	GQPE-UNALM758	1.89	1.91	2.16	3.7	2.08	1.73	0.06
SS	GQPE-UNALM941	0.16	0.1	0.64	0.08	0.07	0.09	SD
CS	GQPE-UNALM941	1.16	1.28	1.1	3.4	1.14	1.09	1.68
SS	GQPE-UNALM1019	0.21	0.38	0.18	0.08	0.11	0.41	0.06
CS	GQPE-UNALM1019	1.25	1.89	1.26	3.4	1.53	2.03	2.08
SS	GQPE-UNALM1058	0.63	0.47	2.09	0.32	0.16	0.3	0.09
CS	GQPE-UNALM1058	2.14	1.87	0.35	3.5	2.95	1.88	2.12

**Tabla 16: Contenido de Cl<sup>-</sup> (%) en las hojas de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo sin salinizar (SS) y salinizado con 400 mM de ClNa (CS).**

Tratamiento	ACCESION	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7
SS	GQPE-UNALM751	1.72	2.02	2.75	8.59	1.52	3.51	3.93
CS	GQPE-UNALM751	4.35	6.75	7.44	10.8	6.9	9.94	8.94
SS	GQPE-UNALM754	1.89	2.98	3.14	3.5	3.8	4.24	4.53
CS	GQPE-UNALM754	6.14	8.21	8.43	10.9	8.34	8.56	21.8
SS	GQPE-UNALM755	1.95	2.92	2.92	3.66	1.92	3.92	2.51
CS	GQPE-UNALM755	5.31	6.66	8.03	10.6	5.5	7.23	4.24
SS	GQPE-UNALM758	1.65	2.25	2.7	2.4	2.22	2.43	7.46
CS	GQPE-UNALM758	5.85	8.08	8.33	9.82	7.88	7.56	3.11
SS	GQPE-UNALM941	2.09	0	1.86	2.7	3.2	3.66	0
CS	GQPE-UNALM941	5.43	6.51	6	10.5	8.38	7.14	10.9
SS	GQPE-UNALM1019	1.92	2.59	2.46	3.44	4.53	5.4	4.06
CS	GQPE-UNALM1019	4.95	7.17	6.79	11.2	8.32	8.54	8.56
SS	GQPE-UNALM1058	1.17	1.14	8.95	3.6	3.11	2.81	3.34
CS	GQPE-UNALM1058	5.55	8.75	2.59	10.8	11.3	8.32	11.5



#### 4.2.6 Contenido de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> en tallos:

Se determinó el contenido de en tallos en la última fase de desarrollo y los resultados se presentan en la Tabla N° 17. Se puede apreciar que al igual que en las hojas el % de Cloro es mayor. Para sodio y cloro presentan una mayor concentración las accesiones PEQPC-754 y 1019.

**Tabla 17: Contenido de Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup> (%) en los tallos de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) ecotipo-altiplano cultivadas en sustrato suelo salinizado con 400 mM de NaCl (CS).**

	Na %	Cl %
GQPE-UNALM751	5.8	11.61
GQPE-UNALM754	8.6	15.16
GQPE-UNALM755	7.7	12.39
GQPE-UNALM758	6.7	13.69
GQPE-UNALM941	7.5	13.35
GQPE-UNALM1019	8.3	16.63
GQPE-UNALM1058	7.2	11.84

Dado que el NaCl es una sal que suele estar presente en los campos agrícolas, se han realizado muchas investigaciones para determinar los mecanismos de regulación y transporte que ayudan a las plantas a mantener la homeostasis del Na<sup>+</sup> (Rus et al., 2004). Las altas concentraciones de NaCl provocan principalmente un desequilibrio del Na<sup>+</sup>, que afecta la división, el crecimiento y la supervivencia celular (Zhu, 2003).

Los cambios en la conformación de las proteínas pueden ser resultado del exceso de iones Na<sup>+</sup> y Cl<sup>-</sup>, y la pérdida de turgencia celular puede atribuirse al impacto osmótico. Un entorno iónico apropiado es necesario para las proteínas que dan a la planta su estructura ideal. El aumento de sal hace que las configuraciones de estas proteínas se alteren a medida que las interacciones hidrofóbicas y electrostáticas aumentan y disminuyen, lo que puede alterar la actividad de la proteína e impactar el metabolismo. Cuando una planta pasa de una concentración iónica baja a una alta, la influencia de la alta presencia iónica también se ve en las membranas. La planta glicofita mostrará signos de estrés salino y los iones K<sup>+</sup> comenzarán a fluir hacia el medio ambiente, lo que provocará que la planta se deshidrate como resultado. Habrá consecuencias en las membranas si el cambio es más gradual y tiene lugar en un entorno con mayor fuerza iónica; estos efectos se retrasarán y la fuerza iónica aumentará la absorción de K<sup>+</sup> y consecuentemente semanas después daños en la membrana. (Zhu, 2003).

Orcutt y Nilsen (2000) señalan que dependiendo del grupo de especies estas presentan diversos mecanismos para reducir la acelerada senescencia de las hojas por efecto de la toxicidad de la sal tales como: la restricción de la captación y exclusión de Na<sup>+</sup>, El Na<sup>+</sup> se divide en compartimentos dentro de la célula y se regula mediante antioxidantes, solutos adecuados (osmolitos) y modificaciones morfológicas.

Jacobsen et al. (2001) utilizaron un experimento en macetas en un invernadero para estudiar los procesos detrás de la tolerancia a la sal en dos accesiones de quinua: Utusaya y la accesión 03-26-0036. Se descubrió que la quinua acumula iones de sal en sus tejidos, funcionando como una halófito facultativa. En entornos salinos, este proceso ayuda a regular la transpiración y mantener la turgencia celular en las plantas al ajustar el potencial hídrico de las hojas.

Khalili et al. (2019) En un invernadero, investigaron cómo respondía la quinua a la salinidad y descubrieron que, a 183 dS m<sup>-1</sup>, el contenido de sal de las plantas aumentó un 18,5% en comparación con el control.

#### 4.2.7 Contenido Relativo de Agua:

En la Tabla 18, Los datos de Contenido Relativo de Agua (CRH) varían de 57,9 a 79,7%; el valor más bajo se asocia con la accesión PEQPC-941, mientras que el valor más alto se asocia con PEQPC-1019. Las diferencias entre estos dos valores son estadísticamente significativas (prueba de Tukey,  $\alpha = 0,05$ ). Valores similares se muestran para las accesiones PEQPC-1058 y 754, sin diferencias discernibles con los datos de PEQPC-1019. El CRH promedio para toda la población fue de 66,3%.

**Tabla 18: Valores medios de Contenido Relativo de Agua (CRA) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en promedio de dos niveles de salinidad.**

Accesiones	CRA (%)
<b>1019</b>	79.7 <b>a</b>
<b>941</b>	57.9 <b>b</b>
758	64.8 <b>b</b>
751	61.2 b
755	61.3 b
1058	69.4 ab
754	70.1 ab
Media General	66.3
CV (%)	13.5
ANVA (G)	**

\* Medias seguidas con la misma letra no son diferentes según la prueba de Tukey (0.05).

Los valores medios de CRA (%) obtenido en dos niveles de sales en promedio de siete accesiones fueron de 60 % para el tratamiento con sal y de 72.7% para el tratamiento sin sal, siendo estos valores significativamente diferentes (Tukey  $\alpha = 0.05$ ).

**Tabla 19: Valores medios de Contenido Relativo de Agua CRA (%) de dos tratamientos con sales en promedio de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd).**

<b>Factor principal sales (S)</b>	<b>CRA (%)</b>
SS	72.7 a*
CS (400 mM ClNa)	60.0 b
Media General	66.34
CV (%)	13.46
ANVA	**

\* Medias seguidas con la misma letra no son diferentes según la prueba de Tukey (0.05).

El estudio del régimen hídrico de las plantas en ambientes salinos es crucial, ya que las especies más productivas son aquellas que pueden aprovechar mejor este recurso vital para su crecimiento. Según Ahmad et al. (2013), las plantas experimentan una caída repentina del choque osmótico que reduce su potencial de turgencia, conductancia estomática, contenido relativo de agua, potencial hídrico y potencial de soluto.

Argentel et al. (2006) descubrieron que, en la mayoría de las variedades, las plantas cultivadas en medio salino presentaron valores más bajos de transpiración (T) y CRA que las cultivadas en condiciones normales en ambos estadios estudiados. Esto sugiere que, en estas condiciones, la eficiencia de uso del agua disminuye, con reducciones que van desde el 2-11% para CRA y 7-26% para transpiración en el estadio de plántula, y un aumento de estas variables en el estadio de floración, que varían entre el 6-17% y el 10-66% para CRA y transpiración, respectivamente.

Turcios et al. (2021) En una investigación sobre cómo el potasio afectaba a la quinua cultivada en ambientes salados, los investigadores descubrieron que una mayor eficiencia en el uso del agua y la densidad estomática se correlacionaban positivamente con una caída considerable en la transpiración de la planta.

Terletskaia et al. (2022) Observaron el comportamiento de la variedad de quinua tayika en concentraciones salinas de 100 y 200 mM de NaCl, y descubrieron que las plantas juveniles de quinua pueden soportar el estrés salino a una intensidad de 300 mM de NaCl. Sin

embargo, a una intensidad de 300 mM de NaCl a partir del nivel de 200 mM de NaCl, los científicos observaron alteraciones significativas en el equilibrio hídrico de las plantas, así como también algunos daños potenciales a las estructuras celulares.

#### 4.2.8 Concentración de prolina en las hojas:

El contenido de prolina en las hojas, durante floración fue 0.2 **umol/g** en promedio para las accesiones que crecieron en un suelo sin sales, mientras que para aquellos que crecieron con sales fue de 0.7 **umol/g**, habiendo diferencias estadísticas significativas entre estos valores (Tabla N°20). Los valores correspondientes a las accesiones PEQPC- 754 y PEQPC- 1058 no mostraron diferencias estadísticas significativas.

**Tabla 20: Contenido de prolina (umol/g) de siete accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd) en dos niveles de salinidad en la etapa de floración.**

Accesión	Sin Sal		Con Sal			Prueba de t	
			400 mM ClNa				
751	0.2	± 0.1	0.8	± 0.4	0.0113	*	
754	0.1	± 0.0	0.4	± 0.4	0.1772	ns	
755	0.4	± 0.1	0.8	± 0.3	0.0286	*	
758	0.3	± 0.2	1.2	± 0.3	0.0006	**	
1019	0.3	± 0.2	0.7	± 0.3	0.0551	*	
1058	0.2	± 0.0	0.4	± 0.2	0.0080	ns	
<b>Promedio</b>	<b>0.2</b>	<b>± 0.1</b>	<b>0.7</b>	<b>± 0.4</b>	<b>0.0000</b>	<b>**</b>	

## V. CONCLUSIONES

### 5.1 OBJETIVO 1

El porcentaje de germinación de las 200 accesiones estudiadas en las concentraciones salinas estudiadas de 250, 350 y 400 mM de ClNa tuvieron una germinación promedio de 70%, 30.9% y 3.34%; respectivamente. Se identificaron siete accesiones que tuvieron más de 70% de germinación en el tratamiento de sal con 400 mM de ClNa.

### 5.2 OBJETIVO 2

- **Caracteres Agronómicos:**

- a. Se observó una reducción de altura por efecto de las sales en un rango de 21.38 a 41.39%. Las accesiones con menor reducción de altura de planta fueron PEQP- 751 y PEQPC- 1019.
- b. El rendimiento en general en las siete accesiones estudiadas se redujo de 28.95 a 85.19%. Es importante señalar que el material menos afectado por el tratamiento salino fue la accesión PEQPC- 755.

- **Caracteres Fisiológicos:**

- a. En el tratamiento sin sal, los valores promedio del contenido de clorofila evaluados en unidades SPAD a los 28, 42, 56, 78 y 103 días después de la siembra fueron 31.9, 42.4, 41.3, 36.4 y 25.1, respectivamente. Sin embargo, después de la siembra, alcanzó los siguientes valores en el tratamiento con sal para los 28, 42, 56, 78, 103 y 116 días: 35.5, 49.4, 48.3, 49.5, 41.5 y 33.4 SPAD, respectivamente. El estrés salino generalmente resulta en un aumento en la concentración de clorofila.
- b. La fotosíntesis disminuyó en general por efecto del tratamiento salino. A los 58 días después de la siembra el valor observado fue de  $14.6 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$  en promedio para la accesión que crecieron en un suelo sin sales, mientras que aquellos que crecieron con sales fue de  $4.8 \mu\text{mol CO}_2 \text{ m}^{-2} \text{ s}^{-1}$ .

- c.** En general en el tratamiento con sales, los valores de acumulación de sodio y cloro fueron más altos a los tratamientos sin sales o el control. Las concentraciones más bajas de Na (%), en el tratamiento salino, se observaron en la accesión 758 y las más altas en la accesión 754. Las concentraciones más bajas de Cl<sup>-</sup> (%), en el tratamiento salino, se observaron en la accesión 1058 y las más altas en la accesión 754. Por otro lado, la concentración en tallos de sodio y cloro fueron mayores en las accesiones 754 y 1019.
  
- d.** Se observaron con frecuencia diferencias en el valor de CRA entre los tratamientos con y sin sal, con valores que oscilaron entre 60 y 72,7%. Cabe destacar que la accesión PEQPC – 1019 presentó un valor de 79,7%, que fue mucho mayor que los reportados en las otras accesiones.
  
- e.** Para las accesiones cultivadas en suelo libre de sal, el nivel promedio de prolina en las hojas durante la floración fue de 0,2 umol/g, mientras que para aquellos que crecieron con sales fue de 0.7 umol/g, habiendo diferencias estadísticas significativas entre estos valores.

## **VI. RECOMENDACIONES**

- Realizar futuros estudios donde se evalúen datos complementarios para definir los mecanismos de tolerancia de la quinua al estrés de sales.
- Realizar estudios moleculares para identificar marcadores moleculares que permitan una selección preliminar de accesiones con tolerancia a sales.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adolf VI, Shabala S, Andersen MN, Razzaghi F, Jacobsen SE (2012) Varietal differences of quinoa's tolerance to saline conditions. *Plant and Soil*. 357, p: 117-129
- Agirresarobe, A., Miranda-Apodaca, J., Odriozola, I., Muñoz-Rueda, A., & Pérez-López, U. (2022). Photosynthesis is not the unique useful trait for discriminating salt tolerance capacity between sensitive and tolerant quinoa varieties. *Planta*, 256(2), 20.
- Ahmad, P., Azooz, M. M., & Prasad, M. N. V. (2013). Ecophysiology and re-sponses of plants under salt stress. Springer Science+Business Media. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-4747>
- Alberts, B. 1996. Introducción a la biología molecular de la célula. Ediciones Omega S.A. Barcelona, España, 1387p
- Apaza, V.; Caceres, G.; Estrada, R.; Pinedo, R. 2013. Catálogo de variedades comerciales de quinua en el Perú: Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). p.15-82
- Argentel, L., González L., Ávila C. y Aguilera R. Comportamiento del contenido relativo de agua y la concentración de pigmentos fotosintéticos de variedades de trigo cultivadas en condiciones de salinidad. *Rev. Cultivos Tropicales*, 2006, vol. 27, no. 3, p. 49-53
- Ashraf, M., 2001. Relationships between growth and gas Exchange characteristics in some salt tolerant amphidiploid *Brassica* species in relations to their diploid parents. *Environ. Expe. Bot.* 45, 155 -163.
- Aziz, I. & Khan, M.A (2001). Experimental assessment of salinity tolerance of *Ceriops tagal* seedlings and saplings from the Indus Delta, Pakistan. *Aquat. Bot.* 70(3): 259-268. (The Netherlands).
- Ben-Hayyim, G., Kafkafi, U., and Ganmore-Neumann, R. 1987. Role of internal potassium in maintaining growth of cultured citrus cells on increasing NaCl and CaCl<sub>2</sub>



concentrations. *Plant Physiol.* 85(2): 434–439. doi:10.1104/pp.85.2.434. PMID:16665716.

Becker et al., 2008. T. Becker, S. Pfannschmidt, B. Guiard, D. Stojanovski, D. Milenkovic, S. Kutik, N. Pfanner, C. Meisinger, N. Wiedemann. Biogenesis of the mitochondrial TOM complex: Mim1 promotes insertion and assembly of signal-anchored receptors

Biondi, S., Ruiz K., Martínez E., Zurita-Silva A., Orsini F., Antognoni F., Dinelli G., Marotti I., Gianquinto G., Maldonado S., Burrieza H., Bazile D., Adolf V., Jacobsen S-E. 2014. Tolerancia a condiciones salinas. Capitulo Numero 2.3. IN: BAZILE D. et al. (Editores), “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 167-184

Blum A. 1982. Evidence for genetic variability in drought resistance and its implications for plant breeding. En *Drought resistance in crops, with emphasis in rice*. Los Banos: IRRI, 53-58.

Bojórquez-Quintal, J. E., Echevarría-Machado, I., Medina-Lara, F., and Martínez-Estévez, M. (2012). Plants challenges in a salinized world: the case of Capsicum. *Afr. J. Biotechnol.* 11, 13614–13626. doi: 10.5897/ajb12.2145.

Chen ZH, Pottosin II, Cuin TA, et al. Root plasma membrane transporters controlling K<sup>+</sup>/Na<sup>+</sup> homeostasis in salt-stressed barley, *Plant Physiology*, 2007, vol. 145

Condori Quispe, M. R. 2023. Evaluación del crecimiento de vástago y raíz de cinco ecotipos de quinua real (*Chenopodium quinoa* Willd.) aplicando soluciones salinas (Doctoral dissertation). Universidad Mayor de San Andrés Facultad de Agronomía. 110 p.

Cramer GR, Lynch JL, Lau' chli A, Epstein E (1987) Influx of Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, and Ca<sup>2+</sup> into roots of salt-stressed cotton seedlings. Effects of supplemental Ca<sup>2+</sup>. *Plant Physiol* 83: 510–516

Cueva L. (2021) Identificación e genotipos de *Chenopodium quinoa* Willd tolerantes a salinidad, en condiciones controladas. Tesis para optar el Título de Ingeniera Agrónoma. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa. 150 p. <http://hdl.handle.net/20.500.12773/12774>

- Deinlein, U., Stephan, A. B., Horie, T., Luo, W., Xu, G., and Schroeder, J. I. 2014. Plant salt-tolerance mechanisms. *Trends Plant Sci.* 19:371-379
- Delatorre-Herrera, J., Ruiz, K. B., & Pinto, M. (2021). The importance of non-diffusional factors in determining photosynthesis of two contrasting quinoa ecotypes (*Chenopodium quinoa* Willd.) subjected to salinity conditions. *Plants*, 10(5), 927.
- Eisa, S. S., Eid, M. A., Abd El-Samad, E. H., Hussin, S. A., Abdel-Ati, A. A., El-Bordeny, N. E., Ali, S. H., Al-Sayed, H. M., Lotfy, M. E., Masoud, A. M., El-Naggar, A. M., & Ebrahim, M. (2017). “*Chenopodium quinoa*” Willd. A new cash crop halophyte for saline regions of Egypt. *Australian Journal of Crop Science*, 11(3), 343–351. <https://search.informit.org/doi/10.3316/informit.822196933499269>
- FAO (2011) El estado de los recursos de tierras y aguas del mundo para la alimentación y la agricultura. La gestión de los sistemas en situación de riesgo. 32p.
- Fisakaris, I., Chantzoulakis, K. & Stavrakas, D. 2001. Response of sultana vines (*V. vinifera* L.) on six rootstocks to NaCl salinity exposure and recovery. *Agric. Water Manage.* 51, 13-27
- Flowers, T.J., P.F., and A.R., 1997 The mechanism of salt tolerance in halophytes. *Annual Review of Plant Physiology*
- Flowers TJ, Colmer TD. Salinity tolerance in halophytes, *New Phytologist*, 2008, vol. 179 (pg. 945-963)
- Garcia A, Rizzo CA, UdDin J, Bartos SL, Senadhira D, Flowers TJ, Yeo AR (1997) Sodium and potassium transport to the xylem are inherited independently in rice, and the mechanism of sodium: potassium selectivity differs between rice and wheat. *Plant Cell Environ* 20:1167–1174
- Ghoulman, C., Foursy, A. & Fares, K., 2002. Effects to salt stress on growth, inorganic ions and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in five sugar beet cultivars. *Environ. Exp. Bot.* 47, 39-50

- Gómez-Pando, L.R., Álvarez-Castro, R. & de la Barra, E. 2010. Effect of salt stress on Peruvian germplasm of *Chenopodium quinoa* Willd.: a promising crop. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 196: 391-396.
- Gómez-Pando L., Mujica A., Chura E., Canahua A., Perez A., Tejada T., Villatoy A., Pocco M., Gonzales V., Marca S., Ccoñas W. (2014). Perú. Capitulo Numero 5.2. IN: BAZILE D. et al. (Editores), “Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013”: FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 450-461
- Gomez-Pando L., Quillatupa – Astete C., Mendoza- Soto V., Carbajal- Caceda M., Aguilar-Castellanos E. 2019. Phenology and Degree Day in Quinoa (*Chenopodium quinoa*) growing at the Peruvian Central Coast. En: Cultivation, nutritional properties and effects on health. Eds. Pier Giorgio Peiretti y Franceso Chapter 2: 33 -62. Gai. NOVA Science Publishers. New York: 33 – 62.
- González A. 2009. Aplicación del medidor portátil de clorofila en programas de mejora de trigo y cebada. *Agroecología*, 4:111-16
- González, J. A., Hinojosa, L., Mercado, M. I., Fernández-Turiel, J. L., Bazile, D., Ponessa, G. I., & Ebrahim, M. E. (2021). A long journey of CICA-17 quinoa variety to salinity conditions in Egypt: Mineral concentration in the seeds. *Plants*, 10(2), 407.
- Gorham J (1994) Salt tolerance in the Triticeae: K/Na discrimination in some perennial wheatgrasses and their amphiploids with wheat. *J Exp Bot* 45:441–447
- Gummuluru S., Hobbs S.L.A., Jana S. 1989. Physiological responses of drought tolerant and drought susceptible durum wheat genotypes. *Photosynthetica* 23: 479-485
- Hariadi Y, Marandon K, Tian Y, Jacobsen SE, Shabala S (2011) Ionic and osmotic relations in quinoa.
- Huanca, Dani E. Vargas et al. Agrobiodiversidad y economía de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en comunidades Aymaras de la cuenca del Titicaca. **Idesia**, Arica, v. 33, n. 4, p. 81-87, nov. 2015. Disponible en <[https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0718-34292015000400011&lng=es&nrm=iso](https://scielo.conicyt.cl/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0718-34292015000400011&lng=es&nrm=iso)>. Accedido en 03 marzo 2019. <http://dx.doi.org/10.4067/S0718-34292015000400011>.

- Hernández JA, Olmos E, Corpas FJ, Sevilla F, del Río LA (1995) Salt-induced oxidative stress in chloroplast of pea plants. *Plant Sci* 105:151–167
- INEI - Instituto Nacional de Estadística e Informática. Anuario de estadísticas ambientales, 2007. Original en internet: <http://www.inei.gob.pe/web/BiblioInei/ListaItemByTemaPalabra.asp?c=9&tt=Medio%20Ambiente>
- Iqbal, S., Basra, S. M., Saddiq, M. S., Yang, A., Akhtar, S. S., & Jacobsen, S. E. (2020). The extraordinary salt tolerance of quinoa. *Emerging research in alternative crops*, 125-143.
- Jacobsen, S, E.; H. Quispe & Mujica. (2001). Quinoa an Alternative Crop for saline in the Andes. In: *Scientist and Farmer- partners in Research for the 21<sup>st</sup> Century*. CIP Program Report 1999-2000. p.403-408.
- Jacobsen, S.-E., Mujica, A., Jensen, C. R., & Liu, F. (2001). Salt stress effects on photosynthesis in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). *Journal of Agronomy and Crop Science*, 186(1), 1-10. <https://doi.org/10.1046/j.1439-037X.2001.00484>.
- Jacobsen S-E, A Mujica y CR Jensen (2003). The resistance of quinoa (*Chenopodium quinoa*, Willd.) to adverse abiotic factors. *Food Reviews International* 19: 99-109.
- Jacobsen, S. (2006). «The Worldwide Potential for Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.)». *Food Reviews International*, 19(1-2), pp. 167-177. Disponible en: <https://doi.org/10.1081/FRI-120018883>
- Jacobsen, L., Skov, C., Koed, A. & Berg, S. (2007) Short-term salinity tolerance of northern pike, *Esox lucius*, fry, related to temperature and size. *Fisher Managm Ecol* **14**, 303–308, <https://doi.org/10.1111/j.1365-2400.2007.00551.x>
- Jaikishun, S., Li, W., Yang, Z. y Song, S. 2019. Quinoa: In Perspective of Global Challenges. *Agronomy* 9: 176; doi:10.3390/agronomy9040176
- Kafkafi, U. 1991. Growth under stress: Salinity. In *Plant Roots: The Hidden Half*. Eds. Y Waisel, A Eshel and U Kafkafi. pp 375–393. Marcel Dekker Inc., New York.

- Khalili, S., A. Bastani, and M. Bagheri. 2019. Effect of different levels of irrigation water salinity and phosphorus on some properties of soil and quinoa plant. *Soil and Water Sciences* 33(2):155–167
- Katsuhara, M., and Tazawa, M. 1986. Salt tolerance in *Nitellopsis obtusa*. *Protoplasma*, 135(2–3): 155–161. doi:10.1007/BF01277008
- Koyro HW, Eisa SS (2008) Effect of salinity on composition, viability and germination of seeds of *Chenopodium quinoa* Willd. *Plant Soil*. 302:79-90.
- Lahaye, P., Epstein, E., 1971. Calcium and Salt Toleration by Bean Plants.
- Lee, D.R.; Elgregen, J. 2007. Conservación de Recursos Naturales: Suelos, Recursos Forestales y Biodiversidad. Taller de Diseminación del Análisis Ambiental del Perú. CEA Maestro, I., Granado, S., Orús, M. I., Matías, J., Cruz, V., Bolaños, L. y Reguera, M. (2022). «Genotype-dependent responses to long-term water stress reveal different water-saving strategies in *Chenopodium quinoa* Willd.». *Environmental and Experimental Botany*, 201. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/J.ENVEXPBOT.2022.104976>
- McKersie BD, Leshem YY. 1994. Chilling stress. En: B.D. McKersie and Y.Y. Leshem, Editors, *Stress and stress coping in cultivated plants*, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Boston, London, pp. 79–103
- Marschner H (1995) *Mineral nutrition of higher plants*, 2nd edn. Academic Press, London
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). 2024. Observatorio Siembras y perspectivas de la Producción: Quinoa- Campaña Agrícola 2023/2024. Dirección de Estudios Económicos. Boletín Anual No. 1-2023.
- Mizuno, N., Toyoshima, M., Fujita, M., Fukuda, S., Kobayashi, Y., Ueno, M., ... & Fujita, Y. (2020). The genotype-dependent phenotypic landscape of quinoa in salt tolerance and key growth traits. *DNA Research*, 27(4), dsaa022.
- Morales A, A Zurita-Silva y H Silva (2011b). Identification of drought tolerance genes in quinoa 201 using a transcriptome analysis approach. VI Reunión de Biología Vegetal. Gran Hotel Pucon, Pucon, Chile. November 30-December 2.

- Mujica, A., 1993. Cultivo de quinoa. INIA-DGIA serie manual N° 11-93, lima-Perú
- Munns, R. y Tester, M. 2008. Mechanisms of Salinity Tolerance. Annual Review of Plant Biology. Vol. 59:651-681 (Volume publication date 2 June 2008)
- Okusanya, O., Ungar, I. (1984). The growth and mineral composition of three species of spergularia as affected by salinity and nutrients at high salinity
- Orcutt, D., & Nilsen, E. (2000). The physiology of plants under stress. John Wiley & Sons, Inc.
- Parida K.A., A.B. Das. 2005. Salt tolerance and salinity effects on plants. Ecotoxicol Environ Saf. 60: 324-349.
- Pla Sentís, I. 2021. Overview of Salt-Affected Areas in Latin America: Physical, Social and Economic Perspectives. In Saline and Alkaline Soils in Latin America Natural Resources, Management and Productive Alternatives Ed: Edith Taleisnik • Raúl S. Lavado. ISBN 978-3-030-52591-0 ISBN 978-3-030-52592-7 (eBook) <https://doi.org/10.1007/978-3-030-52592-7>. Springer Nature Switzerland AG 2021: p. 3-36
- Porta, J, López-Acevedo, M., Roquero, C. 1994. Edafología para la agricultura y el medio ambiente. Edit. Mundo Pres. Madrid.España.807 p.
- Pulvento C, Riccardi M, Lavini A, Iafelice G, Marconi E, d'Andria R (2012) Yield and quality characteristics of quinoa grown in open field under different saline and non-saline irrigation regimes. J Agron Crop Sci 198(4):254–263
- Qureshi, A. S., & Daba, A. W. (2020). Evaluating growth and yield parameters of five quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) genotypes under different salt stress conditions. *J. Agric. Sci*, 12(128), 10-5539
- Ramírez-Suárez, Wendy M, & Hernández-Olivera, Luis A. (2016). Tolerancia a la salinidad en especies cespitosas. *Pastos y Forrajes*, 39(4), 235-245. Recuperado en 03 de marzo de 2019, de [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0864-03942016000400001&lng=es&tlng=es](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0864-03942016000400001&lng=es&tlng=es).

- Risi TC, Galwey NW (1984) The Chenopodium grains of the Andes Inca Crops for modern agriculture. *Adv Appl Biol.* 10:145-216.
- Romero – Aranda, R., Soria, T. & Cuartero, J., 2001. Tomato plant water uptake and plant water relationships under saline growth conditions. *Plant Sci.* 160, 265-272
- Rus, A., B. Lee, A. Muñoz, A. Sharkhuu, J. Zhu, R. Bressan, P. Hasegawa 2004. AtHKT1 facilitates Na<sup>+</sup> homeostasis and K<sup>+</sup> nutrition in plant. *Plant Physiology* 136: 2500-2511
- Rush, D., Epstein, E. Comparative Studies on the Sodium, Potassium, and Chloride Relations of a Wild Halophytic and a Domestic Salt-Sensitive Tomato Species. Published December 1981. DOI: <https://doi.org/10.1104/pp.68.6.1308>
- Shabala S, Hariadi Y, Jacobsen S-E. Genotypic difference in salinity tolerance in quinoa (*Chenopodium quinoa*) is determined by differential control of xylem Na<sup>+</sup> loading and stomatal density, *Journal of Plant Physiology*, 2013, vol. 170 (pg. 906-914)
- Shahid M., Thushar S. (2022). Response of quinoa to high salinity under arid conditions. In: *Future of Sustainable Agriculture in Saline Environments*. Edited by Katarzyna Negacz, Pier Vellinga, Edward Barrett-Lennard, Redouane Choukr-Allah, and Theo Elzenga. pp 427-441. CRC Press 6000 Broken Sound Parkway NW, Suite 300, Boca Raton, FL 33487-2742 DOI: 10.1201/9781003112327-29. [www.taylorfrancis.com](http://www.taylorfrancis.com)
- Tapia, M. (1997). Cultivos andinos sub explotados y su aporte a la alimentación. Segunda Edición. Food and Agriculture Organization (FAO) Santiago, ChileTenga A.Z., Marie B.A., Ormrod P.D. 1989. Leaf greenness meter to assess ozone injury to tomato leaves. *Hort Science*, 24: 514.
- Taame N, Rafik S, El Mejahed K, Oukarroum A, Choukr-Allah R, Bouabid R and El Gharous M (2023) Worldwide development of agronomic management practices for quinoa cultivation: a systematic review. *Front. Agron.* 5:1215441. doi: 10.3389/fagro.2023.1215441
- Terletskaia, N. V., Erbay, M., Zorbekova, A. N., Prokofieva, M. Y., Saidova, L. T., & Mamirova, A. (2022). Influence of osmotic, salt, and combined stress on

morphophysiological parameters of *Chenopodium quinoa* photosynthetic organs. *Agriculture*, 13(1), 1.

Turcios, A. E., Papenbrock, J., & Tränkner, M. (2021). Potassium, an important element to improve water use efficiency and growth parameters in quinoa (*Chenopodium quinoa*) under saline conditions. *Journal of Agronomy and Crop Science*, 207(4), 618-630.

Wang, M., Zheng, Q., Shen, Q., & Guo, S. (2013). The critical role of potassium in plant stress response. *International Journal of Molecular Sciences*, 14(4), 7370–7390. <https://doi.org/10.3390/ijms14047370>

Zhao G, Ma B, Ren C (2007) Growth, gas exchange, chlorophyll fluorescence, and ion content of naked oat in response to salinity. *Crop Sci.* 47: 123-131

Zhang, J y Shi, H. 2013, Physiological and molecular mechanisms of plant salt tolerance. Volume 115, Issue 1, pp 1–22

Zhu, J.K. 2003. Regulation of ion homeostasis under salt stress. *Curr. Opin. Plant Biol.* 6: 441-445.