

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

SUBDIRECCIÓN DE POSTGRADO



DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA QUINOA (*Chenopodium quinoa Willd.*)
BAJO DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA COMARCA LAGUNERA

Tesis

Que presenta SAMUEL ORTIZ APARICIO

como requisito parcial para obtener el Grado de
MAESTRO EN CIENCIAS AGRARIAS

Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA QUINOA (*Chenopodium quinoa Willd.*)
BAJO DIFERENTES NIVELES DE SALINIDAD EN LA COMARCA LAGUNERA.

Tesis

Elaborada por SAMUEL ORTÍZ APARICIO como requisito parcial para obtener el grado de Maestro en Ciencias Agrarias con la supervisión y aprobación del comité de asesoría



Dr. Vicente de Paul Álvarez Reyna
Asesor Principal



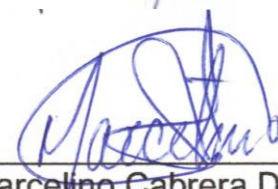
Dr. Mario García Carrillo
Asesor



Dr. Guillermo González Cervantes
Asesor



Dra. Leticia Romana Gaytán Alemán
Jefe del Departamento de Postgrado



Dr. Marcelino Cabrera De La Fuente
Subdirector de Postgrado

Torreón, Coahuila

Diciembre 2021

Agradecimientos

Le agradezco a Dios por darme la sabiduría y fortaleza para cumplir mi meta.

A la UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO por abrir sus puertas para así lograr la Maestría. Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por el apoyo que me otorgó para concluir mi estudio.

Al Ph.D. Vicente de Paul Álvarez Reyna, por apoyarme con paciencia, confianza y su tiempo en este programa de posgrado, y por la amistad compartida.

Al Dr. Mario García Carrillo, por su confianza, consejos, paciencia, el apoyo en todo momento y su amistad incondicional.

Al Dr. Guillermo González Cervantes, por sus consejos y la disposición para ayudarme en cada momento.

A la Dr. Leticia Romana Gaytán Alemán por todos los grandes consejos que me dio y sobre todo por su apoyo en la culminación de estos objetivos.

A mis profesores a los cuales les debo su tiempo, confianza y sobre todo el conocimiento que han compartido junto a todos sus consejos que me dieron en cada uno de los semestres que cursé.

A mis compañeros y amigos de generación Ray, Toño por el apoyo y motivo durante el tiempo que compartimos y sobre a todo a mi estimado amigo Felipe por el apoyo en dudas y clases que con mucho gusto nos brindó.

A Esther Peña, por la atención brindada durante mi estancia en el postgrado de la Unidad Laguna.

Dedicatoria

A mis padres Gil y Juana, por apoyarme incondicionalmente con sus sabios consejos, por el amor que me han dado en cada una de las etapas de mi vida y enseñarme como caminar lo más recto posible.

A mis hermanos Gil y Martha, lo que son parte de mi vida y siempre están en mi mente. A mis hijos Samuel y Gustavo, lo que son mi presente y futuro, además de ser el impulso a lograr mis metas.

A mis amigos Carmelo Sánchez, Juan de la Cruz y Héctor García por su apoyo incondicional.

A Oralia Sánchez Borrego, una amiga incondicional, por su apoyo y la cual siempre estuvo dándome ese impulso a ser cada día mejor.

Al Profesor Eliseo Raygoza Sánchez, que en paz descanse, por ser la persona que junto a mis padres me motivo a iniciar este camino y que, aunque lamentablemente no vio me vio terminar esta meta, siempre lo tengo presente en el corazón y sus consejos me siguen haciendo crecer.

A todos los grandes amigos que he conocido y tenido la oportunidad de convivir con ellos.

Índice General

<i>Agradecimientos</i>	iii
<i>Dedicatoria</i>	iv
LISTADO DE CUADROS	ix
LISTADO DE FIGURAS	ix
RESUMEN	x
ABSTRACT	xi
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo General.....	3
1.1.1. Objetivos particulares.....	3
1.2. Hipótesis.....	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
2.1. Estrés Hídrico	4
2.1.1. Agua en Plantas.....	5
2.1.2. Respuesta de las Plantas al Estrés Hídrico	5
2.2. La Salinidad en los Cultivos.....	6
2.2.1. La Salinidad a nivel Mundial	6
2.2.2. Salinidad en México	7
2.2.3. Origen de la Salinidad.....	7
2.2.4. La Salinidad en Plantas	8
2.2.5. Plantas resistentes a la Salinidad	9
2.3. Cultivo de Quinoa	11
2.3.1. Origen de la Quinoa	11

2.3.2.	Distribución Geográfica de la Quinoa	13
2.3.3.	Grupos de Quinoa.....	14
2.3.4.	Descripción Taxonómica.....	15
2.3.5.	Descripción Botánica	16
2.3.6.	Fenología de la Quinoa.....	19
2.3.7.	Edafología y Climatología del Cultivo de Quinoa	23
2.3.8.	Tolerancia a Sequias	28
2.3.9.	Tolerancia a las heladas	28
2.3.10.	Tolerancia a salinidad	29
2.3.11.	Rendimiento y Producción	29
2.3.12.	Propiedades y usos de la quinoa	30
2.3.13.	Composición nutritiva.....	31
2.3.14.	Contenido de Saponinas.....	33
2.4.	Manejo Agronómico de Quinoa	34
2.4.1.	Arado	34
2.4.2.	Eliminación de terrones.....	34
2.4.3.	Nivelación del terreno	34
2.4.4.	Surcado del terreno.....	34
2.4.5.	Realización de la siembra	35
2.4.6.	Fecha de siembra	37
2.4.7.	Fertilización del cultivo.....	38
2.4.8.	Raleo del cultivo.....	39
2.4.9.	Aporque	40
2.4.10.	Aplicación de riego.....	40

2.4.11.	Control de maleza.....	40
2.4.12.	Manejo de plagas y enfermedades de la quinoa.....	41
2.4.13.	Cosecha.....	43
2.4.14.	Postcosecha	44
III.	MATERIALES Y MÉTODOS	46
3.1.	Descripción del Sitio Experimental	46
3.1.1.	Localización Geográfica.....	46
3.1.2.	Clima.....	46
3.2.	Descripción del Experimento	47
3.2.1.	Diseño experimental	47
3.3.	Establecimiento del experimento	47
3.3.1.	Variedad utilizada	47
3.3.2.	Preparación de las macetas.....	48
3.3.3.	Siembra.....	48
3.4.	Manejo del cultivo	48
3.4.1.	Poda o raleo.....	48
3.4.2.	Riego.....	49
3.4.3.	Fertilización.....	49
3.4.4.	Control de maleza.....	50
3.5.	Cosecha	50
3.6.	Variables evaluadas	50
3.6.1.	Plantas por maceta	50
3.6.2.	Altura de la planta	50
3.6.3.	Longitud de la panoja.....	51

3.6.4.	Peso seco de planta.....	51
3.6.5.	Peso seco de la panoja.....	51
3.6.6.	Peso de la semilla por planta	51
3.6.7.	Proporción de grano / materia seca (%)......	51
3.6.8.	Rendimiento.....	51
3.6.9.	pH del sustrato	51
3.6.10.	Salinidad del sustrato.....	52
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	52
4.1.	Población de Plantas por Maceta	52
4.2.	Altura de la Planta	52
4.3.	Longitud de Panoja.....	53
4.4.	Peso Seco de Planta	54
4.5.	Peso Seco de Panoja	54
4.6.	Peso de la Semilla por Planta.....	55
4.7.	Proporción de Grano / Materia Seca (%).....	56
4.8.	Rendimiento.....	56
4.9.	pH del Sustrato	57
4.10.	Salinidad del Sustrato.....	58
V.	CONCLUSIONES.....	59
VI.	REFERENCIAS.....	61

LISTADO DE CUADROS

Cuadro 1. Vitaminas contenidas el grano de quinoa (mg/100g MS).....	37
Cuadro 2. Tratamientos evaluados.....	55
Cuadro 3. Cantidad promedio de plantas por maceta por tratamiento.....	61
Cuadro 4. Altura promedio de plantas por tratamiento (cm).....	62
Cuadro 5. Longitud de panoja de quinoa en seco (cm).....	62
Cuadro 6. Peso seco por planta para cada tratamiento (gramos).....	63
Cuadro 7. Peso seco de panoja por planta (gramos).....	64
Cuadro 8. Peso de la semilla por planta (gramos).....	64
Cuadro 9. Proporción de grano con respecto a la materia seca total de la planta (%).....	65
Cuadro 10. Rendimiento por tratamiento (kg/ha).....	66
Cuadro 11. pH para cada tratamiento.....	67
Cuadro 12. Rendimiento por tratamiento (kg/ha).....	67

LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Ubicación de la Comarca Lagunera.....	54
-------------------------------------------------	----

RESUMEN

USO DE AGUA Y SALINIDAD COMO FACTORES DETERMINANTES EN EL DESARROLLO Y PRODUCCIÓN DE LA QUINOA (*Chenopodium quinoa Willd.*) EN LA COMARCA LAGUNERA.

SAMUEL ORTÍZ APARICIO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO
PHD VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA
Director de Tesis

Los suelos en la Comarca Lagunera han sido propicios para la agricultura, debido a su profundidad y relieve plano. Sin embargo, últimamente se ha incrementado la superficie de parcelas con problemas de salinidad y alto pH, lo que hace que la producción disminuya e incluso se pierda por la falta de recursos hídricos o económicos para controlar el problema. La tecnología ha avanzado hasta el punto de tener cultivos resistentes a salinidad, pero son de difícil acceso y solo son tolerantes hasta cierto punto. La quinoa, es un cultivo andino que se ha adaptado a diferentes condiciones ambientales como temperatura extrema, sequía y salinidad. Además, este cultivo tiene un alto contenido de aminoácidos, antioxidantes naturales, vitaminas, proteínas, carbohidratos y minerales. Lo anterior lo hace ideal para producirlo en la región, ya que por sus características también se puede usar como forraje para el ganado, representando una alternativa para producir alimentos para el consumo humano y para la ganadería. El objetivo de este trabajo de investigación fue evaluar el desarrollo y producción del cultivo en diferentes condiciones de salinidad, bajo condiciones de invernadero. Se uso un diseño experimental en bloques completamente al azar con cuatro tratamientos y cinco repeticiones. Se evaluaron diferentes niveles de salinidad en el agua de riego como parte de los tratamientos: agua ligeramente salina (2 mS/cm), agua medianamente salina (5 mS/cm), agua altamente salina (10 mS/cm) y agua sin problema de sales (<0.7 mS/cm). Las variables evaluadas fueron: número de plantas por maceta, altura de la planta (cm), longitud de la panoja (cm), peso de la planta (g), peso de la panoja (g), peso de semilla (g), proporción de semilla (%), rendimiento (kg/ha), pH y salinidad del sustrato.

Palabras clave: Salinidad, Quinoa, Rendimiento, Comarca Lagunera.

ABSTRACT

USE OF WATER AND SALINITY AS DETERMINING FACTORS IN THE DEVELOPMENT AND PRODUCTION OF QUINOA (*Chenopodium quinoa* Willd.) IN THE LAGUNERA REGION.

SAMUEL ORTÍZ APARICIO
MAESTRÍA EN CIENCIAS AGRARIAS
UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA ANTONIO NARRO

PHD VICENTE DE PAUL ÁLVAREZ REYNA
Thesis director

The soils in the Comarca Lagunera have been conducive to agriculture, due to its depth and flat relief. However, lately the area of plots with salinity and high pH problems has increased, which causes production to decrease and even be lost due to the lack of water or economic resources to control the problem. Technology has advanced to the point of having salinity resistant crops, but they are difficult to access and tolerant only to a limited extent. Quinoa is an Andean crop that has adapted to different environmental conditions such as extreme temperature, drought and salinity. In addition, this crop has a high content of amino acids, natural antioxidants, vitamins, proteins, carbohydrates and minerals. This makes it ideal to produce it in the region, since due to its characteristics it can also be used as fodder for livestock, representing an alternative to produce food for human consumption and for livestock. The objective of this research work was to evaluate the development and production of the crop in different salinity conditions, under greenhouse conditions. A completely randomized block experimental design with four treatments and five replications was used. Different levels of salinity in the irrigation water were evaluated as part of the treatments: slightly saline water (2 mS / cm), moderately saline water (5 mS / cm), highly saline water (10 mS / cm) and water without problem. sales (<0.7 mS / cm). The variables evaluated were: number of plants per pot, plant height (cm), panicle length (cm), plant weight (g), panicle weight (g), seed weight (g), seed proportion (%), yield (kg / ha), pH and salinity of the substrate.

Keywords: Salinity, Quinoa, Yield, Lagunera Region.

I. INTRODUCCIÓN

El grano de la quinoa fue cultivado ancestralmente por habitantes de la región de los andes y se constituyó en el alimento principal de los incas. Se caracteriza por tener alto valor alimentario por su composición nutrimental, en especial, por la cantidad y calidad de proteínas que contiene (Medrano , 2010).

La FAO inició una campaña a nivel mundial para promover el consumo de la quinoa, aumentando la demanda internacional en el año 2013 (Vargas *et al.*, 2015).

Las proteínas contenidas en la quinoa son de excelente calidad. Estas proteínas contienen aminoácidos esenciales balanceados semejantes con los de la caseína, contenida en la leche (Jacobsen *et al.*, 2003).

Planteamiento del Problema

La producción de alimentos es una actividad de alto consumo de agua por lo que es imprescindible estimar la eficiencia de su utilización durante su desarrollo (Sánchez *et al.*, 2006). En las regiones con escases de agua es necesario utilizar especies que produzcan en estas condiciones de manera eficiente (Garrido *et al.*, 2013).

La alta tendencia de crecimiento en población equivale a una demanda de alimentos en aumento. Se calcula que la demanda de alimentos, destinados al consumo humano y animal, será de 3 mil millones de toneladas para el 2050, actualmente se consumen 2,1 mil millones de toneladas aproximadamente (FAO, 2009). La CONAPO estimó que, en el año 2013, México alcanzó los 118.4 millones de habitantes. En este año nacerán 2.25 millones de personas y habrá 0.673 millones de defunciones, esto significa que habrá un crecimiento de 1.58 millones de habitantes, siendo un 1.13 % de crecimiento anual (Hernández *et al.*, 2013).

Debido a lo anterior es necesario conocer la adaptabilidad de la quinoa en situaciones de diferentes niveles de estrés por salinidad, y cómo se desarrolla y produce bajo estas condiciones, para así ver su factibilidad como una alternativa para la alimentación en la región.

Justificación

Este cultivo es un pseudocereal de la región andina, con alto contenido en minerales y vitaminas (13,81 – 21,9%), contiene proteínas de fácil digestión y aminoácidos balanceados. La quinoa es un alimento balanceado para la nutrición humana, además de ser un vegetal, ya que presenta un balance de minerales, proteínas y carbohidratos ideal para el consumo (Casas *et al.*, 2016).

En los países donde se originó se usa para producir grano para consumo humano, además, se han realizado estudios para la utilización en la ganadería debido a sus cualidades. En México, los estudios que se ha realizado demuestran que este cultivo tiene un potencial alto para el uso como forraje debido a su adaptabilidad a diversos suelos, temperatura y estrés, así como a su calidad producida (Gutiérrez *et al.*, 2004).

La quinoa en forma de grano para el consumo humano, tiene cualidades nutritivas ideales, esto debido al tipo de proteína que contiene. Además, contiene ácidos grasos esenciales para el cuerpo humano (Repo *et al.*, 2011).

La quinoa podría representar una alternativa eficiente para producirse en la Región Lagunera por su adaptabilidad a la escasez de agua, temperatura extrema y es tolerante a salinidad, por lo que es factible su producción en la región (Zapata, 2015).

1.1. Objetivo General

Evaluar el crecimiento y producción de quinoa bajo diferentes niveles de salinidad.

1.1.1. Objetivos particulares

- Evaluar el desarrollo fenológico del cultivo bajo diferentes niveles de salinidad en el agua utilizada para regar.
- Evaluar y determinar el rendimiento del cultivo de quinoa regando con agua bajo diferentes niveles de salinidad.

1.2. Hipótesis

El desarrollo y rendimiento de la quinoa será afectado directamente por el nivel de salinidad en el agua de riego.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

En nuestro planeta todo ser vivo necesita de agua para su sobrevivencia, en mayor o menor cantidad. Las plantas son seres inmóviles, en otras palabras, no tienen la posibilidad de conseguir agua, más que del área donde se encuentran, por lo que necesitan de un buen suelo con clima favorable para un óptimo desarrollo.

2.1. Estrés Hídrico

Las condiciones que disminuyen el desarrollo en los cultivos, como la temperatura, humedad y suelo, también limitan la producción de los mismos, esto a su vez, perjudica a la población, ya que existe menos disponibilidad de alimentos, tanto en calidad como en cantidad (Covarrubias, 2007).

La falta de agua es un factor que limita el desarrollo del cultivo, ya que origina estrés en la planta, y esto a su vez, disminuye la producción de la misma (2009).

En el proceso de adaptación, las plantas han encontrado formas y mejorado su resistencia al clima extremo para poder desarrollarse y producir bajo condiciones de estrés hídrico (Nilsen y Orcutt, 1996). La mayoría de las adaptaciones hechas por las plantas se han enfocado en la retención, absorción y en eficientizar el aprovechamiento del agua. Existen plantas que se han adaptado a los climas áridos, permitiendo desarrollarse y expandiéndose adecuadamente (Black y Osmond, 2003; Lüttge, 2004).

Las plantas pueden desarrollar una respuesta de aclimatación cuando el estrés hídrico es mínimo o gradual, haciendo que estas disminuyan su crecimiento o total o parcial, como las hojas (Potters et al., 2007; Shao et al., 2008). Además las plantas tienen mecanismos fisiológicos de protección para evitar la pérdida de agua, como los estomas, estos se cierran y abren dependiendo de la humedad y calor del ambiente (Taiz y Zeiger, 2006).

2.1.1. Agua en Plantas

Para el funcionamiento de la vida, el agua es fundamental; aproximadamente el 90% del peso de las plantas jóvenes es agua. Esta desempeña diversas funciones. El agua es un solvente la cual permite el flujo de nutrientes a través de las células, además, estabiliza las moléculas dentro de las células por su propiedad polar, como cadenas de proteína y polisacáridos (Kirkham, 2005). El agua también regula la expansión y las estructuras físico-químicas de la pared celular (Wehner et al., 2003). Como se puede observar el agua es muy importante para los procesos fisiológicos de las plantas, la falta o exceso de la misma, afecta desarrollo e incluso puede causar la muerte de estas, lo que reduce la producción en los cultivos (Zonia y Munnik, 2007).

2.1.2. Respuesta de las Plantas al Estrés Hídrico

Cuando la transpiración excede a la cantidad de agua que la planta puede absorber, la planta entra en un estado de estrés hídrico, esto normalmente sucede en ambientes con escasa humedad, climas secos. La deficiencia de agua en cultivos también ocurre en climas con muy bajas temperaturas o suelos con problemas de salinidad o sodio, ya que bajo estas condiciones la conducción de agua dentro de la planta disminuye, así como la cantidad de agua presenten en el citoplasma celular, este proceso se conoce como estrés osmótico (Levitt, 1980).

Por esto se considera que el agua es un factor que limita el crecimiento y desarrollo de los vegetales, además funciona como un selector dentro del proceso evolutivo de las plantas (Hanson y Hitz, 1982).

El estrés hídrico, como otros factos, ha posibilitado la evolución en las plantas, ya que para que las plantas sobrevivan en medios de escasez de agua deben adaptarse morfológica y anatómicamente, desde sus tejidos hasta nivel celular. Con esto las plantas crean resistencia a la limitante de agua, pues son capaces de absorber y utilizar el agua con mayor eficiencia. Lo que ocasiona que en ambientes secos existan plantas catalogadas como C-4 y CAM, las cuales

metabolizan de manera más óptima sus nutrientes, permitiéndose proliferar en regiones secas y/o con problemas de salinidad (Nilsen y Orcutt, 1996).

El cambio en el proceso de fijación del dióxido de carbono (CO_2) del día para realizarlo durante la noche, es una adaptación de las plantas CAM. Debido a que los estomas solo abre en la noche, para evitar la pérdida de agua durante el día, es cuando se acumula el dióxido de carbono de la atmósfera (Black y Osmond, 2003; Lüttge, 2004).

En respuesta al estrés hídrico, las plantas impulsan mecanismos que la aclimatan y reducen el efecto de este. Si la escasez de agua es moderada, la planta limita el crecimiento disminuyendo el consumo de agua, sin embargo esto no afecta a toda la estructura de la planta, sino que partes de ella, la parte aérea para ser más precisa, ya que la raíz sigue creciendo, pues es importante aumentar el área radicular para poder absorber la mayor cantidad de agua y así activar el desarrollo aéreo (Nilsen y Orcutt, 1996).

La apertura y cierre de estomas es un mecanismo que mitiga el estrés hídrico fisiológicamente evitando así la pérdida excesiva de agua (Taiz y Zeiger, 2006). Este proceso es regulado por el ABA (ácido abscísico) y se activa por la carencia de agua en el mesófilo (Leung y Giraudat, 1998).

2.2. La Salinidad en los Cultivos

2.2.1. La Salinidad a nivel Mundial

Dentro de los problemas a los que se enfrenta un agricultor, es la salinidad el factor que influye en la producción de alimentos para el consumo humano, tanto es así, que hay poblaciones que han tenido que mudarse o migrar en busca de suelos mejores cuando han sido dañadas sus tierras de cultivos (Wicke et al., 2011). Cuando el cultivo se establece en suelos salinos, este no se desarrolla adecuadamente, ya que presenta problemas para absorber agua, lo que hace

que no exista una nutrición inadecuada e incluso intoxicación por la absorción de sales (Mata Fernández et al., 2014).

La presencia de sales afecta la producción de alimentos, este problema se presenta en regiones con baja precipitación o casi nula, ya que estas tienen un alto nivel de salinidad en el suelo y no cuentan con suficiente precipitación para su lixiviación (Carrillo et al., 2011). A nivel mundial se calcula que la afectación por salinidad es de alrededor de 800 millones de has, esto equivale a una disminución en producción anual de aproximadamente 12 mil millones de dólares (Khalig et al., 2014). En la actualidad solo el 25% de los suelos dedicados a la agricultura no presenta problemas causados por salinidad (Argentel et al., 2017).

2.2.2. Salinidad en México

En México la superficie dedicada a la agricultura afectada por salinidad y sodio, son aproximadamente 100 millones de has. De la superficie con riego se calcula que el 30% presenta problemas por salinidad (SEMARNAT, 2010). Los suelos con presencia de sales son aquellos distribuidos en zonas áridas, ya que además de que no existe un lavado natural por la lluvia, el agua que se usa para el riego, no siempre está libre de sales. El uso de agua con problemas de salinidad ocasiona que los suelos se salinicen cada vez más, haciéndolos menos propicios para la agricultura (Orosco-Alcalá et al., 2018).

En la Comarca Lagunera alrededor del 35% de la superficie que se utiliza para la agricultura tiene problemas de salinidad, debido al mal manejo del suelo y uso irracional de fertilizantes (García, 2019). Además, la utilización de agua con presencia de sales reduce la producción en cada ciclo agrícola. En el cultivo de alfalfa este problema ha reducido su rendimiento potencial hasta en un 40% en el distrito, el 07 (Santa María et al., 2004).

2.2.3. Origen de la Salinidad

La salinidad se puede originar por varios procesos, uno es natural, este puede ser por la intemperización y disolución de sales contenidas en las rocas al

fragmentarse, además las superficies pegadas al mar que se vuelven salinas al entrar en contacto con dicha agua salada. Las propiedades físicas y químicas del suelo también afectan el proceso de salinización (Smith, 2007).

Este proceso no solo ocurre en zonas con escasez de lluvia, sino que además también se presenta en regiones con precipitaciones altas, como en las regiones tropicales que cuentan con largos periodos de sequía (Manchanda y Garg, 2008).

Existen otros factores que influyen en la salinización de suelos, como es la presencia de aguas subterráneas salubres, lagunas y pantanos, así como las superficies que se encuentran cerca de yacimientos minerales en explotación. Sin embargo, la agricultura intensiva también ha hecho que los suelos se salinicen, esto debido al uso de agua con problemas de salinidad o la utilización de aguas residuales que poco a poco van causando acumulación de sales en el suelo, hasta que deja de ser propicio para la agricultura, este proceso se conoce como salinidad atrófica (Porcel et al., 2012).

2.2.4. La Salinidad en Plantas

La presencia de sales afecta de forma fisiológica y metabólicamente a la planta, ya que modifica el flujo osmótico entre el suelo y la planta, la acumulación de elementos tóxicos que ocasionan un descontrol en la nutrición de la planta (Morales et al., 2010).

El estrés osmótico es causado por un desbalance de iones ocasionado por la acumulación de sales en el suelo. Al existir una alta concentración de sales en el suelo, se corta o disminuye la homeostasis en el potencial hídrico. Esto se realiza cuando se concentra de sodio dentro del citoplasma, y se intercambia por iones de potasio, inhibiendo funciones enzimáticas, por lo que el exceso de sodio causa toxicidad en la planta (Alcaraz-Ariza, 2012).

La disminución de energía, absorción de nutrientes, así como el desarrollo de la planta, incluyendo la germinación, son problemas ocasionados por el exceso de sal en los suelos, e incluso dentro de las plantas, donde se afecta incluso la fotosíntesis (Alcaraz-Ariza, 2012).

En los suelos con problemas de salinidad, el agua es retenida, debido al incremento en el potencial del suelo causado dicha salinidad, lo que disminuye la absorción de agua por la planta y crea un desequilibrio nutricional por el exceso de sodio (Aiazzi et al., 2005).

El principal problema ocasionado por la salinidad, es el estrés hídrico, debido a la dificultad de la planta para absorber agua del suelo, la planta sufre efectos como la disminución foliar y pérdida de turgencia, esto es debido a que la planta tiende a equilibrar el contenido de agua debido al potencial hídrico que se genera entre el suelo y dicha planta (Abdel-Latef y Chaoxing, 2011). La planta trata de adaptarse químicamente al estrés generado por la salinidad con el objetivo de eliminar los efectos producido por la concentración de sales, como lo es efficientizar el uso del agua y tolerancia al estrés causado (Horie et al., 2012).

La pared de la célula se engrosa de forma permanente, lo cual limita el crecimiento de la planta, esto se da porque la nutrición de la planta esta limitada por la carencia de nutrientes provocada por el exceso de minerales como el sodio, calcio, potasio, fosforados y nitrogenados, lo que se conoce como toxicidad por acumulación de nutrientes (Basurto et al., 2008).

2.2.5. Plantas resistentes a la Salinidad

La resistencia a la salinidad, es la habilidad que algunas plantas tienen para poder desarrollarse en suelos con problemas de sales, e incluso poder cultivarse y obtener buenos rendimientos (Basurto et al., 2008).

Al utilizar plantas resistentes a la salinidad, se puede aprovechar e incorporar suelos con problemas de sales a la producción agrícola, y aunque el agua tenga problemas de sales, se pueden trabajar, debido a que estas plantas funcionan como mejoradores, realizando una explotación sostenible. Las plantas, desde este punto de vista, se clasifican en halófitas y no halófitas. Las plantas halófitas son aquellas que se pueden desarrollar en ambientes salinos, debido a la tolerancia que tienen, e incluso hay plantas que obtiene mejores rendimientos bajo condiciones salinas, como lo son los mangles y varios tipos de pastos. Sin

embargo, son pocas las plantas que son halófitas, ya que la mayoría se desarrolla en suelos no salinos, los cultivos más resistentes son los del tipo cereales (Basurto et al., 2008).

La resistencia a la salinidad es parte de la evolución que algunas plantas han logrado, este mecanismo tiene que ver con cambios tanto en la estructura física como es la química de la planta (Lamz-Piedra et al., 2013). Los cambios que las plantas han realizado para tener la capacidad de desarrollarse bajo condiciones de salinidad son variados, pero los principales o de mayor influencia son los siguientes:

- Control osmótico, las plantas al irse desarrollando en suelos salinos, reducen el potencial osmótico (PO) a nivel celular con el objeto de contrarrestar el PO del suelo para así poder absorber agua y nutrientes del mismo (Bargmann et al., 2009).
- La acumulación de iones dentro de la vacuola radicular en desarrollo y otras estructuras de la célula, esto hace que la planta resista, celular o extracelular, una concentración salina excesiva (Flowers y Colmer, 2008). Las plantas pueden invertir el efecto del sodio (Na^+) evitando así el efecto de este en el flujo de nutrientes en la planta y el efecto sobre las funciones fisiológicas a dentro de la célula (Apse y Blumwald, 2007)
- Algunos vegetales desarrollan estructuras donde almacenan o deponen el exceso de sales contenidas en las vacuolas como es el caso de las suculentas. Estas plantas que tienen resistencia al exceso de sales, regulan el intercambio iónico, con esto controlan la entrada alta de los iones sodio y cloro, evitando que este se acumule en las hojas y afecte las funciones fisiológicas (Ahmed et al., 2013).
- El desarrollo de una estructura especializada que se encargan de expulsar el excedente de sales. Existen plantas que tienen glándulas especializadas o cabellos vesiculares por donde drenan el excedente de

sales, permitiendo el funcionamiento óptimo dentro de la célula, mientras mantiene el equilibrio osmótico (Ahmed et al., 2013).

- Algunas plantas desarrollan capacidades de protección a estructuras sensibles a la salinidad, con la producción de proteínas especializadas. Estas plantas son eficientes en el uso de energía, y como toda planta resistente a la salinidad, son parte de la evolución (Tarchoune et al., 2013).

La implementación de procesos que hagan que los cultivos resistan o toleren el estrés hídrico por condiciones salinas o de sodio, ayudará a la obtención de una mayor producción, debido a que se incorporaran suelos con este tipo de problemas, utilizando superficies con problemas salinos (Covarrubias, 2007).

2.3. Cultivo de Quinoa

2.3.1. Origen de la Quinoa

La quinoa pertenece a la familia Chenopodiaceae (*Chenopodium*), dentro del género *Chenopodium*, existen aproximadamente 250 especies, la mayoría son anuales de tipo herbáceas y se desarrollan en el continente americano (centro de origen), Europeo y Asiático. La mayoría de los cultivos establecidos de quinoa pertenecen a este género, estas son: *Chenopodium quinoa* W., *Chenopodium nuttalliae* S. y *Chenopodium pallidicaule* A. y aunque existen otras especies en forma silvestre que se han utilizado para el consumo humano, las más cultivadas son estas tres (Bhargava y Srivastava., 2013).

La mayoría de los investigadores concluyen que la quinoa (*C. quinoa* W.) tiene como centro de origen la región de los Andes, entre Bolivia y Perú, debido a la existencia de una gran diversidad de plantas silvestres de quinoa (Gabriel et al., 2012). Además, hay evidencia de que la quinoa se ha estado cultivando en esta región desde hace 8 mil años, el centro de origen se encuentra entre Perú y Bolivia, en el lago Titicaca (Zurita-silva et al., 2014).

Las civilizaciones antiguas establecidas en Bolivia, Perú y Chile domesticaron el cultivo de quinoa, progresivamente en cada región. Existe una teoría que explica como los Incas fueron introduciendo este cultivo en diferentes civilizaciones, a lo largo de los años, mediante las conquistas y a través del cambio de productos. Esto propicio que la quinoa silvestre en ese entonces estuviera sometida a un proceso de domesticación alrededor de hace 5 mil años, a su vez, este cultivo se ha venido mejorando a través de un proceso de selección en el cual se cultivan solo las plantas que tienen las características de desarrollo y rendimiento ideal para el agricultor, dependiendo de la región en la que se producía (Bazile *et. al.*, 2014).

El principal alimento de las culturas antiguas andinas fue la quinoa (Bioversity International *et. al.*, 2013), los antepasados aprovechaban la quinoa en forma de grano como si fuera un cereal, además utilizaban la parte herbácea como condimento para la preparación de otros alimentos (Kole, 2007).

Durante el desarrollo y auge de los Incas, la quinoa fue el cultivo principal en la alimentación, logrando difundirse por gran parte del continente americano, principalmente en la zona centro y sur. Sin embargo, este cultivo fue desplazado poco a poco por los cereales que se introdujeron al continente durante la conquista por parte de los españoles, como lo fue la cebada, arroz y trigo (Zurita-silva *et. al.*, 2014).

A mitad de los años 70's, la popularidad de este cultivo comenzó a incrementarse debido a que se descubrieron sus características nutricionales. Se establecieron programas para mejorar este cultivo en países de la región de los Andes, donde se obtuvieron variedades nuevas con mejores cualidades (Kole, 2007). Con esto, este cultivo se convirtió en el principal producto que se exporta de Perú y Bolivia en las últimas dos décadas (Bhargava y Srivastava, 2013).

2.3.2. Distribución Geográfica de la Quinoa

La quinoa es un cultivo que no tiene un centro de origen bien definido, debido a que se domesticó en diferentes regiones y se distribuyó muy ampliamente, sin embargo se considera que la región del lago Titicaca tiene los genotipos con la genética más variada y diversa (Mujica et al., 2006).

La quinoa es un cultivo que se ha venido desarrollando en la región de los Andes, principalmente en los países de Bolivia y Perú, desde que las antiguas civilizaciones lo domesticaron. Pero, debido a la falta de información sobre sus propiedades nutricionales, este cultivo no se consume en grandes volúmenes (Huaman et. al., 2014).

El cultivo de quinoa se encuentra establecido en los países de Chile, Colombia, Argentina y Bolivia, y se ha distribuido en regiones a nivel del mar (Lescano, 1994).

La principal producción del cultivo de quinoa está en la región andina, dentro de los países de Bolivia, Perú, Colombia y Ecuador. Sin embargo Venezuela, Chile y Argentina también cultivan quinoa (Mujica et al., 2006).

Geográficamente la quinoa se distribuye a partir de los 5° N, iniciando en el país de Colombia, hasta los 43° S, en el país de Chile, y se puede establecer a una altitud de nivel del mar (cultivos establecidos en Chile), hasta una altitud de 4 mil metros sobre el nivel de mar (cultivos establecidos en Bolivia y Perú). Por lo que la quinoa se considera como un cultivo que se puede establecer desde la costa hasta en zonas montañosas y desde climas cálidos hasta climas fríos (Rojas, 2008).

Perú, Bolivia y Ecuador son los países que más quinoa producen. Pero en los últimos 20 años la producción de quinoa se ha venido desarrollando en el Norte América, Asia, Europa Australia y África, además, la producción en los andes se ha incrementado y tecnificado, esto indica que el cultivo de quino se está extendiendo y produciendo cada vez más en todo el mundo, ya que tiene muy pocas limitantes debido a sus mecanismos de adaptación (FAO, 2013). Los

Estados Unidos desde la década de los 80s ha estado cultivando quinoa como un producto de alto rendimiento comercial, por otro lado, en Europa se le catalogo como una alternativa muy rentable en la agricultura. Estudios realizados en diferentes genotipos de quinoa, donde se han analizado desde el desarrollo hasta la cosecha, concluyen que los mejores resultados se obtiene de genotipos de la región andina, para ser más precisos lo que se extrajeron de Chile, debido a que estos presentan mejor adaptabilidad a la región norte del continente Europeo (Zurita-Silva et. al., 2014).

2.3.3. Grupos de Quinoa

Existen cinco grupos o ecotipos de quinoa, que se definido de acuerdo a la región de los andes en donde se han colectado, ya que cada una de las zonas presenta un clima bien definido, estas son: Quinoa del valle, Quinoa del altiplano, Quinoa de las Yungas, Quinoa de los salares y Quinoa costera (Fuentes et. al., 2009).

Lescano (1989) y Tapia (1990) describen los cinco grupos de quinoa como:

- El grupo de Quinoas de valles interandinos abarca los países de Perú, Ecuador y Colombia, estas plantas son de porte alto alcanzando los 250 centímetros en promedio y están adaptadas para cultivarse a una altitud de 2500 a 3500 metros. Estas plantas están muy ramificadas y son de inflorescencia laxa, además son resistentes, en forma natural, al mildiu.
- El grupo de Quínoas del altiplano pertenece a los países de Perú y Bolivia y se produce en forma de monocultivo a una altitud que va de los 3600 a los 3800 metros. En esta zona existen la mayor diversidad en granos de quinoa, y es en esta donde se producen los mejores granos. La altura de las plantas es variable, teniendo plantas desde los 50 hasta los 150 centímetros, estas plantas al producirse en regiones húmedas presentan problemas por mildiu.
- El grupo de Quínoas de las yungas se cultiva en Bolivia, en las yungas de ahí el nombre, y está adaptado a una altitud entre los 1500 y 2000 metros. Las plantas pueden llegar a medir 220 centímetros de altura y su tallo es

poco ramificado, cuando la planta entra en floración adquiere un color naranja, que la hace ver muy vistosa.

- El grupo de Quínoas de salares se cultiva en el altiplano de Bolivia, en esta región la precipitación es de alrededor de 300 mm. La producción se realiza en monocultivo, a una separación de un metro entre plantas e hileras, para aprovechar a poca humedad, se siembran en la parte baja de surcos o en forma de cazuela. El tamaño del grano es de 2.2 mm de diámetro, considerándose el grano más grande entre sus parientes, lo que le da el nombre de “Quinoa Real”, estos granos contienen la mayor cantidad de saponinas.
- El grupo de Quínoa de la costa o de nivel del mar se cultiva en Chile a una latitud de 36° S, estas plantas son arbustivas con una altura que va desde 100 hasta los 140 centímetros y su grano es de color crema traslucido. Esta quinoa es similar a la cultivada en México (*Chenopodium nuttalliae*).

2.3.4. Descripción Taxonómica

De acuerdo a Wilson (1980) La Quínoa se clasifica taxonómicamente en:

división Magonoliophyta,

clase Magnoliopsida,

subclase Caryophyllidae,

orden Caryophyllales,

familia Chenopodiaceae,

género *Chenopodium*,

sección Chenopodia y

subsección Cellulata

esta familia presenta varios géneros, sin embargo el más representativo es el *Chenopodium*, este se distribuye en todo el mundo con aproximadamente 250 especies. Este cultivo es considerado un pseudocereal (Giusti, 1970).

2.3.5. Descripción Botánica

La quinoa es una planta herbácea con una altura que depende de la variedad de la misma y tiene un rango que va desde los 30 hasta los 300 cm, además del genotipo, la altura depende de las condiciones en las que se desarrolle (calor, agua y disponibilidad de nutrientes, entre otros). La quinoa que se cultiva en valles a altitudes mayores a los 4 mil metros y en regiones frías, alcanzan la mayor altura en la planta, otra particularidad es que la coloración de la planta depende del desarrollo fenológico así como de la variedad, encontrando plantas desde colores claros (amarillo), hasta oscuros como el violeta (FAO, 2011).

2.3.5.1. La Raíz

Presenta una raíz profunda y vigorosa, es de tipo pivotante, debido a esta característica la quinoa es resistente a periodos de sequía prolongados, sin presentar problemas serios en su desarrollo. La raíz principal puede llegar hasta los 180 centímetros de profundidad y con gran engrosamiento, las raíces secundarias crecen a lo largo de la principal dándole una forma de cabellera, estas son cortas y traslucidas. El tamaño de la raíz de la planta es proporcional a la altura de la misma (Mujica et al., 1992).

2.3.5.2. El Tallo

La forma del tallo es cilíndrica al inicio, a la altura de las ramificaciones el tallo adquiere una forma prismática, tiene un grosor que varía mucho dependiendo de las ramificaciones (FAO, 2011).

Hay variedades de quinoa que presenta gran cantidad de ramas como lo es la quinoa del valle y la quinoa del nivel del mar, esta última presenta ramificaciones casi a nivel del suelo, hasta genotipos que presentan tallo y hojas como el del altiplano. El color del tallo es muy variable y va desde el verde hasta el color púrpura, este depende de la variedad que se esté cultivando, la densidad a la que se siembra, cantidad de nutrientes en el suelo. La epidermis del tallo es rígida y compactada, posee membranas celulosas, el interior es una médula esponjosa

que al momento de secarse desaparece, del tallo se puede procesar papel debido a la cantidad de pectina que contiene, así como de la celulosa que acumula. El grosor de tallo varía mucho y depende del genotipo que se cultiva, la densidad de siembra, manejo agronómico, la dosis de fertilizante que se aplique, el diámetro puede medir desde 1 hasta 8 centímetros (Tapia, 1990).

2.3.5.3. Las Hojas

La quinoa tiene hojas alternas y su estructura es simple: lámina y peciolo. Las hojas presentan peciolos acanalados y son alargados, la planta puede contener peciolos de diferentes longitudes. Dentro de la misma planta hay diferentes formas en la lámina de la hoja, con formas lanceoladas, triangulares, romboidales onduladas y planas, estas son carnosas y gruesas, están cubiertas por acumulaciones de oxalato de calcio que les da un color rojizo y púrpura. Las hojas inferiores de la planta son grandes de forma triangular o romboidal, mientras que las hojas superiores son pequeñas y en forma de lanza (Rojas et al., 2001).

Las hojas tienen nervaduras muy definidas que continúan del peciolo y por lo general se dividen en tres principales. La cantidad de hojas depende de la variedad que se esté cultivando, hay algunas que tienen muchas hojas, lo que las hace propicias para la producción de forrajes, y otras que tienen menor cantidad (Tapia, 1990).

Las hojas presentan una gran diversidad de colores, esto depende principalmente de la variedad que se establezca, las hay de color verde, amarillas, naranjas, rojas, rosadas, púrpuras, violetas y sus variantes en oscuro y claro (Tapia, 1990).

2.3.5.4. Inflorescencia

La inflorescencia es del tipo panoja, tiene un eje principal del cual crecen ejes laterales y sublaterales, de estos últimos nacen los pedicelos de donde nacen las flores. La inflorescencia puede ser laxa, compactada o una combinación de

ambas, que depende de la densidad y genotipo. La inflorescencia da una forma de racimo, esto depende de la compactación de la misma (Rojas et al., 2001).

Cuando la inflorescencia posee glomérulos largos y esta muy ramificada (ejes laterales y sublaterales) se dice que esta es amarantiforme, debido al parecido que tiene con las flores del *Amaranthus* (Gandarillas, 1968).

La variación en la longitud de la inflorescencia de la quinoa depende del genotipo, las condiciones en las que se desarrolla la planta. Esta puede llegar a medir hasta 80 centímetros con una mínima de 30 centímetros y el diámetro de la panoja tiene un rango de 5 hasta 30 cm. la cantidad de semilla que se puede obtener de una panoja varía mucho y va desde las 100 hasta 3000, existen panojas que tienen una producción de 500 gr de semilla (FAO, 2011).

2.3.5.5. Flores

La quinoa posee flores pediceladas y se agrupan en forma de glomérulos. La forma de polinización de esta planta es autógama con muy poco cruzamiento entre plantas, alrededor del 17 % (FAO, 2011).

La planta tiene dos tipos de flores y estas son hermafroditas y pistiladas, en el ápice de la inflorescencia se localizan las hermafroditas y estas varía de los 3 a los 5 milímetros de diámetro, están formadas por 5 tépalos con sus respectivas anteras y un ovario súpero que se divide en 2 o 3 estigmas. Las flores inferiores son las pistiladas, están compuestas por 5 tépalos y un ovario súpero con las mismas ramificaciones que las hermafroditas. La cantidad de flores de un tipo y de otro es muy variado, y se puede encontrar flores hermafroditas en un 2 hasta un 98%, lo mismo ocurre con las pistiladas (FAO, 2011).

2.3.5.6. El Fruto

El tipo de fruto de la quinoa es aquenio, este tiene diferentes formas, aunque la mayoría es lenticular, los hay en forma cónica o esferoide; el fruto tiene una cobertura floral, pero esta es fácil de desprender cuando este se encuentra

maduro, aunque se reportan casos donde este permanece pegado a la semilla, lo que dificulta las cosechas y los procesos postcosecha del grano (FAO, 2011).

El diámetro del fruto varía de 1.5 a 3 milímetros (FAO, 2011).

2.3.5.7. La Semilla

La semilla es el fruto maduro desprendido de su epidermis, tiene diferentes formas que van desde la lenticular hasta la esférica. La semilla se puede dividir en tres partes (Gandarillas, 1968):

El primer parte es el epispermo, este está formado por 4 capas: la capa externa que es fácil de desprender (es rugosa y se desprende frotándola, esta es amarga y tiene gran cantidad de saponinas y su adherencia depende de la variedad). La segunda capa, la cual se observa al desprender la primera (es lisa y delgada). La tercera capa es de color amarillo opaco y de delgado grosor. La última capa es translúcida y solo es un estrato celular.

La segunda parte es el embrión, este es dicotiledóneo y representa casi el 30% de la semilla, este envuelto por el polispermo y es de color amarillo, tiene una longitud de 3.5 milímetros aproximadamente y un ancho de 0.36 milímetros. En esta parte se acumula la proteína al máximo, hasta en un 40% del volumen, mientras que en otras partes hay un máximo de 8.3 % de proteína.

La tercera parte es el perispermo, este tejido se encarga de almacenar el almidón, es de color blanco y constituye alrededor del 60% de la semilla.

2.3.6. Fenología de la Quinoa

De acuerdo con Mujica (2006) la quinoa tiene 14 etapas fenológicas:

2.3.6.1. La Emergencia

Después de germinar, la planta emerge del suelo con sus cotiledones unidos, la forma de esta planta es de un fosforo, esta requiere de mucho cuidado pues es

muy llamativa para los depredadores voladores. Esta etapa sucede después de los 5 a 6 días del sembrado.

2.3.6.2. Primeras Hojas

Entre los 7 y 10 DDS (días después de la siembra) se observan las primeras hojas (hojas falsas) debido a que los cotiledones se dividen, dándole a la planta sus primeras hojas en forma de lanza. Cabe mencionar que en esta etapa ya se aprecia el color principal que tendrá la planta. Esta etapa también es muy sensible al daño por aves.

2.3.6.3. Hojas verdaderas

Entre los 15 y 20 DDS se desarrollan las primeras dos hojas verdaderas de la planta, tienen forma romboide y sus nervaduras están bien definidas. Esta etapa de la planta es susceptible al ataque de gusanos cortadores (*Copitarsia*, *Feltia*).

2.3.6.4. Cuatro hojas verdaderas

Después de que han pasado entre 25 y 30 días desde el establecimiento del cultivo de quinoa, se observan 4 hojas verdaderas en promedio por planta, además aún se conservan en color verde el par de cotiledones u hojas falsas. En esta etapa la planta ya cuenta con un sistema radicular desarrollado por lo que es resistente a la sequía y al clima frío. La planta es susceptible al ataque de insectos que se alimentan de hojas tiernas (*Diabrotica* y *Epitrix*).

2.3.6.5. Desarrollo de 6 hojas verdaderas

Cuando el cultivo lleva entre 35 y 45 DDS, las plantas tienen en promedio 6 hojas verdaderas, las hojas falsas comienzan a envejecer y se ponen de color amarillo, además de que pierden su rigidez. La planta es más resistente a los cambios de clima y sequía.

2.3.6.6. Ramificación

Cuando la planta ha llegado a los 45 y 50 DDS, se logran contar 8 hojas en promedio, además se inicia la ramificación en la mayoría de las variedades. En esta etapa se logra apreciar la formación de la inflorescencia la cual está protegida por pequeñas hojas. Para esta edad las falsas hojas se caen, dejando las primeras cicatrices en el tallo. Es recomendable realizar el aporque cuando el cultivo está establecido a campo abierto (quinoa del valle). En esta fase la quinoa es muy resistente al frío y se observa que las hojas tienen cristales de oxalato y además se observa el color característico de la variedad. En la etapa donde las plantas abarcan la mayor superficie de suelo, por lo que capturan la mayor luminosidad.

2.3.6.7. Inicio de la formación de panojas

Entre los 55 y 60 DDS, se observa el inicio del desarrollo de la panoja, esta comienza a emerger del ápice. Las primeras dos hojas de la planta comienzan a envejecer y tomar un tono amarillo, lo que significa que deja de realizar la fotosíntesis. El tallo se alarga y engruesa. Además, la planta comienza a recibir ataques de *Eurisaccaquinoa* *Povolmy* por lo que se recomienda tomar medidas preventivas.

2.3.6.8. Formación de la panoja

Después de los 65 hasta los 75 DDS, la planta desarrolla completamente su panoja, formando una inflorescencia sobresaliente en la misma. En esta etapa se puede comer la panoja como si fuera una verdura.

2.3.6.9. Inicio de floración

Entre los 75 y 80 DDS las flores ubicadas en el ápice de la panoja (hermafroditas) comienza a abrir y se observan en color amarillo. En esta etapa la planta presenta

gran sensibilidad a las heladas y sequias, además continua con el amarillamiento de las hojas localizadas en la parte inferior de la misma.

2.3.6.10. La floración

Cuando la planta tiene entre 90 y 100 días después de sembrarse, mas de la mitad de las flores abren, la sensibilidad a las temperaturas bajas es bastante y la planta no resiste mas allá de los -2° Celsius.

2.3.6.11. Grano lechoso

Entre los 100 hasta los 130 días de establecido el cultivo, ya se han formado los frutos y estos se encuentran en estado lechoso. En esta etapa la falta de agua disminuye la producción de la quinoa.

2.3.6.12. Grano pastoso

Entre los 130 y los 160 DDS, los frutos están en estado pastoso y se observa que en su interior hay una masa de color blanquizca. El estrés hídrico afecta considerablemente la producción.

2.3.6.13. Madurez fisiológica

Después de los 160 y hasta los 180 días de establecido el cultivo, la planta alcanza su madurez fisiológica, los granos son sólidos y presentan entre 15% de humedad en promedio.

2.3.6.14. Cosecha

Esta etapa se logra una vez que la planta alcanza su madurez fisiológica y los granos están casi expuestos en la inflorescencia y son fáciles de desprender, la planta está completamente seca.

Según los días que tarda la planta de quinoa en madurar, se clasifica en: quinoa tardía (dura más de 180 DDS), semi-tardía (se cosecha entre los 150 y 180 DDS),

semi-precoz (se cosecha entre los 130 y 150 DDS) y precoz (se cosecha a los 130 DDS o menos) (Cardoso, 2013).

2.3.7. Edafología y Climatología del Cultivo de Quinoa

El ciclo de la quinoa que se cultiva en la región andina dura de 4 a 8 meses, este depende del genotipo, condiciones climáticas y la altitud. Tradicionalmente la siembra es de secano y se establece entre los meses de agosto hasta diciembre, dependiendo de las lluvias y la temperatura. Los cultivos se pueden sembrar a finales de diciembre cuando se establecen bajo riego (Mujica, 1992).

2.3.7.1. Suelo

La quinoa se desarrolla eficientemente en suelos de tipo franco, con poco contenido de arena, que sean suelos profundos y de pendiente suave, además que tengan un alto contenido en nitrógeno (Mujica, 1997). El cultivo de quinoa también puede establecerse en suelos con gran contenido de arena y deficientes de agua, obteniendo una producción relativamente buena, aunque en suelos con bajo contenido de nutrientes el rendimiento disminuye (Tapia *et al.*, 2000). Sin embargo, la FAO (2016), señala que los mejores suelos para obtener la mayor producción de quinoa, son aquellos que presentan un buen drenaje, del tipo franco y no muy profundos, pero que si contengan mucha materia orgánica. El establecimiento del cultivo en suelos con poco drenaje y problemas de encharcamiento reducen la producción, ya que la planta es muy susceptible al ataque por hongos (*Rhizoctonia solani* y *Phytophthora sp.*), provocando la pudrición de la raíz (FAO, 2011).

2.3.7.2. pH y salinidad

La quinoa, como cualquier otro cultivo, tiene un excelente desarrollo fisiológico en suelos con pH neutro (Mujica y Canahua, 2001); aunque en suelos de pH alcalino (hasta 9.5, en los salares de Bolivia) se producen excelentes

rendimientos, además la quinoa es un cultivo que también se establece en suelos de pH ácido (hasta 4.5), como lo es los suelos de Perú (FAO, 2011).

La quinoa tiene la capacidad para germinar en suelos salinos de más de 50 mS/cm y tan solo afecta el tiempo de ocurrencia (hasta 25 días), sin ocasionar la muerte de la planta (Jacobsen et al., 1998; Mujica y Canahua, 2001).

Este cultivo se puede establecer en superficies que han sido abandonadas por la agricultura debido a problemas de exceso de sales o sodio, debido a su gran capacidad de adaptación a la salinidad, lo que la convierte en una alternativa con alta rentabilidad (FAO, 2011).

2.3.7.3. Clima

La quinoa tiene una tasa de adaptación muy grande a las temperaturas extremas, pudiéndose establecer en climas calurosos y secos en regiones desérticas, hasta en aquellos que son fríos y húmedos, también se puede establecer en climas calurosos y lluviosos, y los que son fríos y secos (FAO, 2012). Solo es necesario establecer la variedad adecuada para cada tipo de clima y así no afectar los rendimientos de la misma (Mújica, 2001). En cuestión de temperatura, el cultivo tolera hasta 35°C, pero detiene su desarrollo, hasta los -1°C, sin causar la muerte de la planta, sin embargo, la floración si se ve afectada por temperaturas muy bajas, cercanas a 0°C (Mendoza, 2013).

2.3.7.4. Humedad relativa

La Quinoa es un cultivo que se puede establecer en regiones que tienen desde 40 hasta 80 % de humedad relativa, sin ningún problema (FAO, 2011). Cuando se establece este cultivo en zonas que tiene más del 80% de humedad relativa, se presentan problemas de mildiu y otras enfermedades causadas por hongos (Mujica, 2001).

2.3.7.5. Temperatura

La temperatura afecta la actividad fisiológica en la planta, sin embargo, debido a la gran diversidad y adaptación de este cultivo, el rango es muy amplio, sin embargo, la FAO (2012) establece que la temperatura óptima para el desarrollo y crecimiento de la planta se encuentra entre los 15 y 25 °C. Aunque, se han realizado observaciones en las que la planta se desarrolla eficientemente a una temperatura promedio de 10 °C (Jacobsen, 2014).

El desarrollo fenológico del cultivo de la quinoa es fuertemente afectado por la temperatura. Durante la etapa de formación de panoja hasta la producción del grano, la planta es muy susceptible a las bajas temperaturas, siendo la más afectada la producción de grano (Bertero, 2003).

El cultivo de quinoa tolera temperaturas altas y puede continuar con su desarrollo fenológico aun en temperaturas de 30°C, pero en temperaturas superiores a los 38°C la planta detiene el desarrollo y si esto se da en la etapa de floración, se produce el aborto de las flores por lo que se pierde la producción (Mujica, 2001).

2.3.7.6. Radiación

La quinoa ha evolucionado en ambiente diversos, por ejemplo, las variedades que se producen en Chile, se adaptaron a fotoperiodos cortos y poca radiación, a la vez, también hay variedades que se han adaptado a fotoperiodos largos a nivel del mar (Wilckens et al., 1994).

Cuando la radiación existente es mayor la fotosíntesis aumenta y esto a su vez se traduce en una mayor producción de materia en la planta (Mujica, 2001).

2.3.7.7. Altitud

La quinoa es un cultivo que se ha adaptado a casi cualquier espacio del planeta, este se puede establecer a nivel del mar, con un rango que va hasta los 4000 metros de altitud. La quinoa acorta su ciclo fenológico cuando se establece a

altitudes cercanas al nivel del mar, además la quinoa costera alcanza rendimiento de 6 ton/ha en condiciones ideales (Mujica, 2001).

El cultivo establecido en la región de los andes, tiene su máxima producción a una altitud entre 2800 y 3900 metros (Soto, 2010). Para la variedad de quinoa del valle, la producción optima se obtiene a una altitud de 2000 a 3400 metros. Mientras que, para la quinoa del altiplano, la producción optima se obtiene a una altitud de 3800 a 400 metros (Tapia y Fries, 2007).

2.3.7.8. Fotoperiodo

El fotoperiodo es el tiempo de exposición de las plantas a la luz y a la oscuridad, dependiendo de la duración entre el día y la noche, las plantas realizan sus funciones fisiológicas (Gonzales y De la Torre, 2009).

Las plantas de quinoa son consideradas como un cultivo de días cortos, sin embargo, la quinoa tiene una etapa donde no es afectada por el fotoperiodo, en etapas tempranas. La sensibilidad de la quinoa a la exposición a la luz y la oscuridad, es menor en latitudes cercanas a los polos. De ahí que las variedades de quinoa originarias del valle andino, sean muy sensibles al fotoperiodo, mientras que las variedades originarias de la costa chilena, no presentan sensibilidad a la duración del día cuando la planta está en floración (Bertero, 2003).

Durante el llenado de grano, el cultivo de quinoa, es afectada por la duración en días, llegando a detenerse o anularse si los días son demasiado largos y calurosos (Bertero, 2014). Debido a esta sensibilidad al fotoperiodo, el cultivo de quinoa se puede establecer, sin ningún problema en verano (días largos), sin embargo, es importante que el llenado de grano se realiza en la época del año donde los días son cortos, para que la planta sea más eficiente en el llenado de

granos. Por lo tanto, las variedades que más se han estado utilizando para expandir su producción alrededor del mundo, son las que se han originado en Chile, debido a que son muy poco sensibles al efecto causado por la duración del fotoperiodo (Bertero, 2001 citado por Gonzales y De la Torre, 2009).

2.3.7.9. Requerimientos hídricos

La quinoa es un cultivo que, debido a la cantidad de genotipos, se desarrolla adecuadamente bajo diferentes precipitaciones, sin embargo, para un desarrollo óptimo, la quinoa requiere entre 500 y 800 mm de precipitación. La precipitación en los Andes varía muy poco y depende de cada zona o región: para la región andina pegada al Ecuador la precipitación va de los 600 hasta 800 mm; en la región andina que pertenece a Perú, la precipitación va de los 400 hasta 500 mm; para la zona andina del lago Titicaca, la precipitación varía de 500 a 800 mm; para la zona andina del altiplano boliviano es de 200 a 300 mm; mientras que en la zona central chilena, la precipitación varía de 800 a 1000 mm (FAO, 2012).

La cantidad de agua pluvial disminuye en la zona ubicada entre el sur del altiplano de Bolivia y norte de Perú, en donde precipita de 50 a 100 mm, aun así, bajo estas condiciones también se desarrolla este cultivo, esta producción es considerada como parte de la quinoa de exportación (PROINAP, 2011).

La planta de quinoa tiene mecanismos de resistencia que la hacen eficiente en el aprovechamiento hídrico, estos son de tipo fenológico, morfológico, anatómico y químico, que dependen del genotipo que se esté cultivando (Mujica, 2001). Sin embargo, a pesar de que este cultivo es resistente a la falta de agua, en etapas tempranas necesita de suficiente agua para su desarrollo (Tapia et al., 2000). Las etapas donde, la falta de agua afecta la producción del cultivo de quinoa, son la germinación y emergencia, debido a que la exposición a estrés hídrico durante estas fases, hace que disminuya el desarrollo fenológico en las siguientes etapas, además de que disminuye la densidad de siembra, y por lo tanto, el rendimiento del mismo (Aguilar y Jacobsen, 2003).

Este cultivo es muy sensible al exceso de humedad, que normalmente se da cuando hay mucha lluvia y muy poco drenaje en la parcela. Para evitar este problema, en el altiplano, el cultivo se establece en camas o bordos altos, evitando así el encharcamiento, facilitando la expulsión del exceso de agua y la respiración radicular (Aguilar y Jacobsen, 2003). Hay estudios, que se realizaron en Argentina, que demuestran que la planta aumenta su desarrollo y produce más biomasa bajo condiciones de estrés hídrico (Tapia et al., 2000).

2.3.8. Tolerancia a Sequias

El cultivo de quinoa tiene alta tolerancia a las sequias sin afectar su óptimo desarrollo, debido a que estas plantas reducen la cantidad de agua para realizar sus funciones fisiológicas bajo condiciones de estrés hídrico (Bazile et al., 2014).

Debido al tamaño de las raíces y su distribución en el suelo, la cual es profunda, así como a la disminución de exposición de las hojas al sol y/o la caída de las mismas, el efecto de las sequias es mínimo en el cultivo de la quinoa. Además, la acumulación de oxalato de calcio, en forma de cristal, en el área foliar disminuye la cantidad de agua que se pierde por transpiración. (Bhargava y Srivastava, 2013).

2.3.9. Tolerancia a las heladas

La tolerancia a las heladas por parte del cultivo de quinoa depende de la etapa fenológica en la que se encuentre, ya que, en etapas tempranas, hasta las 6 hojas verdaderas, los daños causados por bajas temperaturas no son significativos, mientras que en la formación de brotes sufre grandes daños (Jacobsen et al., 2005). La germinación de las semillas de quinoa en buen estado, con temperaturas de hasta 2°C, es del 100% y las plantas jóvenes toleran temperaturas de hasta -3°C, esto se debe a que las plantas no sufren daños, aunque se congele a nivel celular (Bhargava y Srivastava, 2013).

El cultivo de quinoa no tiene efecto significativo por bajas temperaturas, aunque la mayoría detiene su desarrollo a 5 grados bajo cero, sin embargo, existen

variedades que soportan temperaturas de hasta 16 grados bajo cero (Bois et al., 2006).

2.3.10. Tolerancia a salinidad

Debido a que la quinoa es una planta halófila tienen gran resistencia a la salinidad, e incluso, hay variedades que germinan adecuadamente en suelos altamente salinos. Las variedades que se cultivan en la región costera soportan más de 40 mS/cm de salinidad en el suelo, superando por mucho la máxima concentración de salinidad soportada por otros cultivos (Yuda et al., 2010). Como el cultivo de quina se desarrolla sin problemas en zonas con presencia de sales, se ha convertido en una alternativa ideal para cultivar (Bhargava y Srivastava, 2013).

Debido a los mecanismos de adaptación de la quinoa, esta se puede establecer en suelos con distintos grados de concentración de sales. La quinoa regula su potencial hídrico, debido a la acumulación de iones de las sales presentes en el suelo, desde la germinación. Además, esto hace que la quinoa pierda mucha agua por transpiración en altas temperaturas y no sufra daños significativos por temperaturas bajas (Bhargava y Srivastava, 2013).

2.3.11. Rendimiento y Producción

En condiciones de temporal, para la región andina la producción de grano oscila entre los 800 y 1,700 kg/ha (Tapia, 1985 y Gadarillas 1989).

Perú, Bolivia y Ecuador son los países que siembran más superficie de quinoa en la región de los andes, en Chile se siembran aproximadamente 1,474 hectáreas (Bazile, et. al. 2014).

En el año 1800, la superficie que se cosechaba de quinoa, en la Región de los Andes, era menos de 3000 hectáreas, la mayor parte de esta superficie se entraba en los países de Perú y Bolivia, y en Ecuador solo se cosechaban alrededor de 120 hectáreas. Sin embargo, Bolivia incrementó su producción a pasos agigantados, en 1980 ya producía alrededor de 15,000 hectáreas y para

el año de 1990 había incrementado su superficie sembrada de 40,000 hectáreas aproximadamente, esto debido a la introducción de maquinaria agrícola (Laguna, 2003).

La producción en la Región de los Andes superó las 67 mil hectáreas de superficie sembrada, donde Perú superó las 20 mil hectáreas. Perú incremento su superficie debido a que inició un programa de exportación de quinoa (Suca-Apaza, 2008).

2.3.12. Propiedades y usos de la quinoa

La quinoa debido a que tiene un mucho almidón en sus granos y la calidad y cantidad de proteína, es clasificada como pseudocereal (Cerezal *et. al*, 2007). La quinoa contiene aminoácidos como metionina, lisina y treonina, estos no se encuentran en los cereales, además, esta contiene vitaminas y minerales (Stikic *et.al.*, 2012). Dentro de los minerales que contiene la quinoa, destaca el hierro, calcio y fosforo, y es abundante en vitamina C (Medrano y Torrico, 2009).

Por lo anterior, se reconoce a la quinoa como un alimento (vegetal) con mayor valor nutricional, superando a la carne, la leche y el huevo, entre otros alimentos que son de origen animal, hasta en un 18% (Medrano y Torrico, 2009).

Este grano andino, según la FAO y la OMS, es considerado un alimento de gran importancia en la alimentación humana por su completo balance en la nutrición (Huaman *et al.*, 2014).

Recientemente, se ha utilizado a la quinoa como un sustituto en la ingesta de cereal por parte de las personas alérgicas al gluten, ya que no contiene esta proteína a diferencia de cereales como el trigo, centeno y cebada (Tuisima y Fernández, 2014).

La quinoa tiene diversos usos (Bhargava y Srivastava, 2013). Se considera que sus hojas son una fuente importante de proteína y por lo tanto se puede usar para sustituirla como forraje. Hay evidencias donde la planta entera de quinoa se ha

utilizado como forraje verde para vacas, ovejas, cerdos, caballos y aves (Ahmad y Malik, 2002).

Sin embargo, el grano de quinoa contiene saponinas, estas pueden dar un sabor amargo a los alimentos y tiene implicaciones importantes con respecto a la nutrición y procesamiento de granos (Ahmad y Malik, 2002).

Farmacéuticamente hablando se puede usar también este producto (Bhargava y Srivastava, 2013), debido a que se puede extraer y producir colorantes, jabones, almidones y proteínas (Ahmad y Malik, 2002). La quinoa también se puede utilizar como un alcohol con un efecto antioxidante y reductor, además, tiene un alto potencial en tratamientos contra el cáncer, con un alto poder como antiinflamatorio en los tejidos musculares (Huaman et al., 2014).

2.3.13. Composición nutritiva

Su grano es una fuente rica de una amplia gama de minerales, vitaminas, aceites, antioxidantes naturales y proteínas de alta calidad que contienen cantidades abundantes de aminoácidos (Tuisima y Fernández, 2014).

La quinoa está compuesta por: proteína del 10 al 18%, grasa del 4 al 8%, carbohidratos del 54 al 64%, fibra del 2 al 5% y cenizas del 2 al 5%. Debido a que contiene aminoácidos en mayor concentración, como la lisina, la quinoa es superior a la nutrición aportada por el maíz y el trigo (Rodríguez-Sandoval et al., 2012). Sin embargo, su composición depende de los diferentes genotipos, condiciones de crecimiento y su efecto sobre la proporción proteína-grasa en el perispermo (Bavec y Bavec, 2007).

La calidad de la semilla es notablemente buena, con contenido de proteína que va desde 15 a 17,41% sobre una base de peso seco (Tuisima y Fernández, 2014). Con un contenido de proteína ligeramente más alto (5% aproximadamente), que en la mayoría de los cereales (Bavec y Bavec, 2007).

La cantidad de carbohidratos contenidos en el grano de quinoa varía: almidón de 59 hasta 68%, otros azúcares hasta un 5%. Esto hace que sea una fuente de

energía de baja liberación aumentando la eficacia en su utilización (Tuisima y Fernández, 2014).

La cantidad de aceites varía de 1.8 a 9.5%, con un promedio de 5 a 7.2%, el cual es mayor que en maíz. Este aceite contiene muchos ácidos esenciales (Barghava y Srivastava, 2013), específicamente el oleico (24,8%), el linoleico (52,3%), y contenido mineral (8,7 %) (Rosero et al., 2013).

La cantidad total de ácidos fenólicos varía desde 16,8 hasta 59,7 mg/100 g, y la cantidad de ácidos fenólicos varía de 7 a 61%; la cual es baja en comparación con los cereales comunes como el trigo y centeno, pero es similar a los niveles que se han encontrado en avena, cebada, maíz y arroz (Tuisima y Fernández, 2014).

La cantidad de cenizas que contiene la quinoa (3.4%) supera a la contenida por el arroz (0.5%), trigo (1.8%) y otros cereales tradicionales.

El grano de quinoa contiene gran cantidad de minerales como Ca, Fe, Zn, C y Mn. El calcio (874 mg/Kg) y hierro (81 mg/Kg) contenidos en la semilla son significativamente más altos que en los cereales más utilizados. Los minerales como P, K y Mg se localizan en el embrión, mientras que el Ca y P en el pericarpio. Los abundantes minerales que contiene hacen que el grano sea de gran valor para niños y adultos, ya que los beneficia con el Ca para los huesos y hierro para las funciones de la sangre (Barghava y Srivastava, 2013).

Existen reportes acerca del contenido vitamínico del grano de quinoa; donde se menciona que contiene por cada 100 gramos de grano: 0.4 miligramos de tiamina, 78.1 miligramos de a. fólico, 16.4 miligramos de Vitamina C, 0.39 miligramos de riboflavina y alrededor de 0.39 miligramos de caroteno; siendo la quinoa más rica en riboflavina, vitamina E y caroteno, que el trigo, arroz y cebada. En una porción de 100 g la quinoa aporta: 0.20 miligramos de vitamina B6, 0.61 miligramos de ácido pantoténico, 23.5 microgramos de ácido fólico y 7.1 microgramos de biotina. Estudios recientes han informado que la quinoa es rica en vitamina A, B2 y E (Barghava y Srivastava, 2013).

Cuadro 1. Vitaminas contenidas en el grano de quinoa (mg/100g MS).

Vitaminas	Rango
Vitamina A (carotenos)	0.12-0.53
Vitamina E	4.60-5.90
Tiamina	0.50-0.60
Riboflavina	0.20-0.46
Niacina	0.16-1.60
Ácido ascórbico	0-8.50

Fuente: FAO, 2011

2.3.14. Contenido de Saponinas

La quinoa contiene un componente no deseado en el pericarpio de su semilla, hablando desde un punto de vista nutricional; este componente es conocido como saponina. La saponina es un detergente soluble en agua y se encuentra dentro de las plantas en 15 formas moleculares, aproximadamente. La saponina retirada de los granos representa sustancias orgánicas naturales utilizadas en jabones, detergentes, shampoos, cosméticos, etc. Por lo tanto, estos componentes pueden evitar la contaminación del agua (Bavec y Bavec, 2007).

El primer paso en el procesamiento de granos como alimento, debe ser el lavado ya que algunas saponinas son conocidas por dañar la membrana intestinal, reducir la ingesta de alimentos (Bavec y Bavec, 2007) y producir un sabor amargo, esta última característica se puede eliminar con un buen procesamiento del grano (lavado eficiente) (Stikic et.al., 2012). Se sabe que la saponina reduce el colesterol de la sangre en los humanos (Bavec y Bavec., 2007).

Algunas saponinas aisladas, que se encuentran en muchas plantas, pueden ser utilizadas como insecticidas naturales que son inofensivas para los mamíferos (Bavec y Bavec, 2007).

Existen reportes acerca del uso de saponina contenida en la quinoa contra algunas plagas agrícolas, particularmente, contra hongos, la fracción total de saponina de quinoa inhibe ligeramente el crecimiento de *Candida albicans* y recientemente se ha informado que la actividad biológica de saponina de quinoa se puede aumentar si se tratan con sustancias alcalinas (Tuisina y Fernandez, 2014).

2.4. Manejo Agronómico de Quinoa

La FAO y la Universidad Nacional Agraria La Molina (2016) describen un paquete tecnológico para el cultivo de la quinoa que se presenta a continuación:

2.4.1. Arado

El paso de arado es la primer labor pre siembra que se realiza, esta consiste en romper el suelo y voltearlo, con esto se logra eliminar malezas y plagas.

2.4.2. Eliminación de terrones

Esta labor consiste en fracturar o desmenuzar los terrones dejados por el paso de arado, los cuales reducen o impiden el desarrollo del cultivo, para realizar un trabajo adecuado, es recomendable realizar esta acción mínimo dos veces, hasta que los terrones estén pequeños con respecto al grano del cultivo.

2.4.3. Nivelación del terreno

Se recomienda realizar una acción de nivelado en el terreno, con el objetivo de favorecer el desarrollo uniforme del cultivo.

2.4.4. Surcado del terreno

Esta labor es muy importante, ya que de esta se determina la distribución y densidad de siembra del cultivo, consiste en abrir y acomodar bordos o surcos a favor de la pendiente y que, junto con la nivelación del terreno, permite el paso del agua sin afectar al suelo durante el riego.

2.4.5. Realización de la siembra

Una vez que se termina de preparar el terreno, se procede a realizar la siembra, cuando el cultivo se establece bajo riego, antes de la siembra se realiza un riego profundo con el objetivo de saturar el suelo y tener suficiente para la germinación y desarrollo hasta los riegos de auxilio. La semilla se siembra a una profundidad que va de acuerdo a su tamaño, con el objetivo de obtener la máxima germinación y emergencia del cultivo. En el caso de la quinoa, esta también se puede sembrar en charolas o almácigos para su posterior trasplante.

2.4.5.1. Siembra directa

La siembra directa se puede hacer manual o mecanizada.

Siembra manual.

Para el caso de la siembra manual, se deben de tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- La semilla se siembra mediante un dosificador manual, colocándolas de forma continua sobre el surco, se puede realizar esta acción con un equipo de siembra hortícola.
- Cuando se siembra bajo un sistema de riego, la semilla se debe colocar a 7 cm aproximadamente de la cintilla, se puede realizar la siembra a dos hileras o hileras simple.
- Cuando se siembra por gravedad o riego rodado, se utiliza la costilla del surco para sembrar la semilla, con esto se evita que sufra por escasez de agua o exceso de la misma.
- Cuando se siembra de temporal, dependerá de la región en la que se establezca, cuando las lluvias son escasas se siembra al fondo de los surcos, mientras que con lluvias fuertes la siembra se realiza sobre el surco.

Siembra mecanizada

Cuando el cultivo de quinoa se establece en forma mecanizada, se siembra con una sembradora de cereales para granos pequeños, como para cualquier cultivo, se recomienda ajustar el implemento para corregir posibles errores debido a la variedad o región en donde se está sembrando, así como de la densidad de siembra deseada. La quinoa puede ser sembrada con una máquina sembradora de cereales de grano pequeño o con una de pastos.

Al establecer el cultivo de manera mecanizada, se debe tomar en cuenta lo siguiente tener una siembra con una densidad deseada:

- El tamaño de semilla: la necesidad de semillas, dependerá del tamaño de esta, ya que para semillas de tamaño grande (3 gramos de peso) se utilizará más kilogramos por hectárea, mientras que en semillas pequeñas (de hasta 1.5 gramos) se utilizarán menos kilogramos por hectárea.
- El tipo de terreno: en superficies relativamente planas, con humedad homogénea y en cantidad suficiente, se recomienda aplicar de 10 a 12 kilogramos por hectárea. Mientras que en zonas con suelos poco profundos, de pendiente irregular y presencia de pedregosidad, se recomienda utilizar dosis mayores que van de los 15 a 20 kilogramos por hectárea.

En resumen, la media de siembra dependerá de la forma en que se realice, cuando se trata de siembra manual se usaran de 10 a 12 kg/ha, para el establecimiento con sembradora de hortalizas se usaran de 4 a 5 kg/ha y cuando se use una sembradora de cereal se necesitaran de 12 a 15 kg/ha.

Profundidad de siembra

Al realizar la siembra directa se debe de hacer con mucho cuidado en la profundidad a la que se establezca, ya que cuando se coloca la semilla a una profundidad menor a la indicada, esta puede morirse debido a la deshidratación o puede ser extraída por animales, sin embargo, si se siembra muy profundo, puede que tarde demasiado en emerger retrasando el desarrollo fenológico e incluso morir por falta de aireación

y luz. Se recomienda sembrar a una profundidad entre 1 y 2 cm, al momento de cubrir la semilla se debe de realizar con tierra fina.

2.4.5.2. Trasplante

La preparación del almácigo o las charolas se debe realizar en espacios con disponibilidad de agua y protección de aves y roedores, además debe ser un lugar higiénico para evitar la presencia de plagas y/o enfermedades.

El trasplante se realiza cuando la plántula tiene entre 4 y 6 hojas verdaderas. Se recomienda aplicar fungicidas al momento del trasplante con el objetivo de evitar problemas por hongos. El trasplante se recomienda que se haga a una separación entre plantas de 5 cm, el suelo debe estar completamente humedecido. Cuando el cultivo se establece por trasplante se puede reducir la cantidad de semillas hasta en 1kg/ha, además se realiza un mejor control de malezas, ya que el cultivo se establece cuando la planta ya tiene un buen tamaño.

2.4.6. Fecha de siembra

Para realizar el establecimiento del cultivo de quinoa, se debe considerar lo siguiente:

- Variedad a establecer, si esta es precoz o tardía.
- La ubicación de las parcelas, según la zona en la que se establezca y la climatología de la misma, así como de la edafología, se puede establecer un cultivo con gran producción y sin el efecto de condiciones no deseadas.
- El periodo de lluvias o la disposición de agua en la parcela.

Para los cultivos que se establecen en Perú, en un año normal, se recomienda lo siguiente:

- De mayo a julio para la zona de las Yungas marinas, que se localizan entre los 500 y 2500 metros de altitud.
- De junio a agosto para la zona costa y hasta los 500 metros de altitud.

- De septiembre a octubre para la zona del altiplano que va de los 3800 a 4000 metros de altitud.
- De octubre a noviembre en la zona del valle interandino (sierra alta) localizado a una altitud de 3500 a 3800 metros
- De noviembre a diciembre para la zona del valle interandino (sierra media) localizado a una altitud de 2500 a 3500 metros.

Cuando el cultivo se establece en superficies nuevas, se debe tomar en cuenta que las temperaturas deben estar entre los 15 y los 25° C y el cultivo se debe sembrar cuando la temperatura es menor, ya que las temperaturas bajas no afectan la germinación y desarrollo del cultivo, mientras que las temperaturas altas favorecen la floración y formación de frutos, además la cosecha se debe de realizar en periodos donde existe mayor exposición de la luz solar.

2.4.7. Fertilización del cultivo

La quinoa es un cultivo que demanda muchos nutrientes, por lo que necesita de una fertilización adecuada y eficiente. Antes de establecer el cultivo, es recomendable muestrear el suelo, con esto se logrará conocer de forma eficaz la dosis que se manejará de nutrientes de acuerdo a la demanda del mismo. Cuando se realiza una fertilización adecuada, los rendimientos del cultivo de quinoa pueden alcanzar las 6 o 7 ton/ha. Cuando el cultivo se establece bajo condiciones de baja disponibilidad de nutrientes, como el caso de los de la sierra y en superficies donde se ha estado cultivando continuamente sin reponer los nutrientes, la producción de quina obtiene rendimientos muy bajos (hasta 1 ton/ha). Este cultivo se adapta muy bien a suelos con pH ácidos y alcalinos, sin embargo, se afecta el rendimiento debido a que la disponibilidad de nutrientes se afecta con pH muy alto o muy bajo (superiores a 7.8 o inferiores a 5.5). Cuando los suelos presentan problemas de acidez se recomienda enmiendas de cal, para mejorar el pH, estas dependerán de la acidez del suelo. Los suelos con problemas de alcalinidad presentan poca disponibilidad de minerales (manganeso, hierro, zinc y boro).

El cultivo de quinoa es muy exigente en su nutrición, lo que hace que este necesite dosis muy balanceadas y con gran variedad en contenido de macro y micro elementos. Los elementos que necesita en grandes cantidades son: Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio, Magnesio y Azufre. Lo elementos que necesita en menor cantidad son: Hierro, Zinc, Boro, Sodio, Cobre, Molibdeno, Cobalto, Sílice y Cloro. Mientras la aplicación se haga en forma eficiente, se obtendrán las mejores producciones.

2.4.7.1. Dosis de fertilización

El manejo de una dosis de fertilización adecuada se verá reflejado en el rendimiento del cultivo, la cantidad empleada dependerá de los nutrientes disponibles en el suelo y la variedad que se esté estableciendo. En suelos francos y franco-arenosos a una altitud media de 1200 metros, se han logrado obtener rendimientos que van de 6 hasta 7 ton/ha con la aplicación de la dosis 300-120-300 kg/ha de N-P-K.

2.4.8. Raleo del cultivo

Cuando existe un exceso de plantas en la parcela, se debe de realizar un raleo para eliminar las plantas débiles y que se encuentren muy juntas. Al realizar esta acción las plantas tendrán más espacio para un desarrollo ideal, disponibilidad de nutrientes y aireación.

La densidad de plantas por metro lineal deberá de ser de 50, con esta cantidad de plantas se obtiene un excelente desarrollo fenológico y por ende un muy buen rendimiento. Se recomienda tener una densidad de 500 mil plantas por hectárea.

El raleo se realiza cuando la planta alcanza una altura de entre 15 y 20 centímetros, se recomienda que el suelo tenga muy buena humedad para evitar problemas por deshidratación.

2.4.9. Aporque

La realización del aporque se hace con el objetivo de proteger y aumentar el anclaje de las raíces de las plantas, evitando el acame de las plantas por acción del viento. Se recomienda aporcar las plantas después del deshije y la aplicación de fertilizante.

Esta labor se puede realizar en forma manual (pala o azadón), con tracción animal o mecanizada (tractor).

2.4.10. Aplicación de riego

La aplicación de agua o la cantidad de riego en cultivos de quinoa, depende de la variedad y la disponibilidad de lluvias en la región que se establezca. En términos generales la quinoa requiere de 5 a 10 mil metros cúbicos de agua cuando el riego es por gravedad y de 3.5 a 7.5 mil metros cúbicos de agua cuando se establece con riego localizado para completar su ciclo fenológico. En la costa peruana el cultivo de quinoa se conduce bajo riego. La cantidad de riego suministrado dependerá de la etapa fenológica en la que se encuentra el cultivo, ya que el exceso o falta de agua afecta su desarrollo. Se sabe que la quinoa es más susceptible al exceso de humedad que a la carencia, por lo que, al establecer el cultivo de quinoa bajo riego, es necesario realizar un buen diseño que contemple la eliminación del exceso de humedad, un buen drenaje.

Cuando el cultivo de quinoa se establece bajo riego, se recomienda realizar un riego antes de iniciar las labores pre siembra (un mes antes) como un medio de control de malezas, ya que estas se eliminarán cuando el suelo se comience a preparar.

2.4.11. Control de maleza

El control de maleza, en las primeras etapas de crecimiento del cultivo hasta la ramificación, favorece el desarrollo del mismo, ya que aumenta la disponibilidad de nutrientes y agua entre las plantas de quinoas, además de la luz. Además, al

controlar las malezas se reduce la incidencia de plagas y enfermedades, aumentando la calidad en la cosecha.

El proceso más eficiente para controlar las malezas en el cultivo de quinoa inicia desde la prevención con un buen manejo del suelo y el uso de semillas de calidad, cuando el cultivo ya está establecido, las malezas se puede eliminar en forma manual (al momento del raleo extrayéndolas directamente), en forma mecánica (con el uso de cultivadoras u otros implementos) y químicamente (con el uso de herbicidas según la etapa fenológica del cultivo e incluso antes de la emergencia).

2.4.12. Manejo de plagas y enfermedades de la quinoa

2.4.12.1. Enfermedades de la quinoa

Las principales enfermedades que atacan al cultivo de quinoa son el mildiu (*Perenospora variabilis*) y la podredumbre marrón del tallo (*Phoma exigua* var. *foveata*), sin embargo, existen otras enfermedades que también lo afectan, como es la podredumbre radicular (*Rhizoctonia solani*), las manchas foliares (*Ascochyta hyalospora*), el ojo de gallo (*Cercospora* sp), la mancha ojival del tallo (*Phoma* spp), el moho verde (*Cladosporium* sp) y la mancha bacteriana (*Pseudomonas* spp).

La enfermedad que más afecta al cultivo de quinoa es la provocada por el Mildiu (*Perenospora variabilis*), su importancia radica en que afecta todas las variedades si las condiciones son adecuadas, además está presente en cultivos establecidos tanto a nivel del mar como las establecidas en zonas frías del altiplano.

Se observa el efecto en las hojas, reduciendo su área foliar por lo que disminuye la fotosíntesis, afectando el desarrollo de la planta, provocando enanismo y defoliación, con un efecto entre el 10 y 30% de la producción cuando se logra controlar.

2.4.12.2. Plagas

Los insectos que atacan al cultivo de quinoa son del tipo picadores, chupadores, destacando pulgones y áfidos. El daño que ocasionan y el tipo de plaga que ataca, depende de la variedad cultivada y la ubicación donde se establece el cultivo.

Cuando la incidencia y severidad supera la permisible en el cultivo de quinoa, se recomienda tomar medidas para controlar las plagas, estas pueden ser a través de un control cultural, biológico y químico.

El control cultural del cultivo de quinoa se inicia desde la selección de semilla, época de establecimiento del cultivo y una nutrición adecuada, ya que esto permite que las plantas tengan la capacidad de desarrollarse sin afectarse por las plagas. Además, el control de malezas entre siembras mantiene alejadas las plagas, pues reduce los hospederos de las mismas.

Control biológico

Otra forma de controlar las poblaciones de plagas es la utilización de insectos y organismos depredadores, dentro de los que destacan: parasitoides de huevos (*Trichogramma sp.*), parasitoides de larvas (*Dolichostoma arequipeña*, *Euphorocera peruviana*, *Gonia sp.*, *Incarnya sp.*, *Patelloa similis*, *Peleteria robusta*, *Prosopochaeta setosa*, *Trichophoropsis sp.*), predadores de huevos y larvas: *Chrysopa sp.*, *Rhinacloa sp.*, *Paratriphleps sp.*, *Babis sp.*, *Geocoris sp.*, *Harpalus sp.*) y para pulgones se pueden usar coccinélidos.

2.4.12.3. Manejo de aves

El mayor daño que causan las aves se observa en la etapa de germinación y en la de producción de granos (desde la formación hasta el secado). El control de los pájaros se realiza en forma presencial, aunque no se descarta la utilización de repelentes químicos.

2.4.13. Cosecha

La cosecha debe programarse en forma oportuna. El principal indicador de la fecha de cosecha es la humedad presente en el grano.

La planta de quinoa llega a su madurez fisiológica cuando los granos ya formados tienen una humedad interna de alrededor del 45%, comienza a secarse hasta un punto donde llega al 20% de contenido de humedad en la planta y hasta un 14% en el grano, momento en el cual se considera que se debe cosechar.

2.4.13.1. Cosecha manual

Cuando la cosecha se realiza en forma manual, la planta debe contener cierto grado de humedad, esta comprende tres pasos:

- Corte o siega, esta actividad se realiza cuando las plantas contienen granos con un 20% de humedad. Esta se realiza en la madrugada para aprovechar el rocío matinal y la poca luminosidad, ya que cuando el sol sale, la planta se deshidrata y pierde granos por el movimiento de esta operación. El corte de las plantas no incluye las raíces, para evitar la contaminación por tierra y arena, lo cual afecta la calidad del producto a la hora de comercializarlo.
- Secado, este se realiza apilando las plantas con las panojas en forma vertical, hasta que la humedad en los granos es de entre 12 y 15%, se puede utilizar plásticos, lonas o superficies lisas como el concreto para evitar contaminación por tierra.
- Trilla, para separar el grano de la planta, estas se juntan en manojos y se golpean, después de esto se separa el grano de su envoltura, utilizando el viento o algún tamiz.

2.4.13.2. Cosecha semimecánica

Cuando se realiza una cosecha semimecánica, se realiza el mismo proceso de corte y secado, sin embargo, la trilla se realiza con un equipo mecánico o trilladora de cereales fija. Esta es ajustada para obtener granos enteros y limpios.

2.4.13.3. Cosecha mecánica

La cosecha mecánica se realiza con un equipo de trilla para cereal. Para facilitar esta actividad se recomienda cultivos con panoja única, con una altura de hasta 120 centímetros y los tallos deben ser de variedad delgada. La humedad que se recomienda que tenga el grano es del 13% aproximadamente, además se recomienda realizar esta actividad en la mañana.

2.4.14. Postcosecha

El manejo postcosecha es importante para la conservación del grano después de que se cosechó hasta el momento en que se entrega al consumidor. Durante este tiempo se debe conservar la humedad del grano y se debe almacenar en un lugar libre de plagas y enfermedades que dañen su calidad.

2.4.14.1. Humedad del grano

El contenido de humedad es un factor muy importante en el almacenamiento del grano, ya que si este se descuida puede afectar la calidad. El rango óptimo de almacenamiento de grano es cuando esta alcanza entre 10 y 12% de contenido de humedad. Cuando el grano lleva un contenido de humedad mayor al rango óptimo se debe poner a secar.

Tipos de secado

El secado de grano se puede realizar en forma natural y artificial. Cuando se realiza un secado natural, se emplea una superficie lisa y libre de impurezas y tierra, se utiliza el sol y el viento como principales mecanismos, también se puede mover o voltear para aumentar la velocidad de secado; el tiempo de secado

depende de la humedad que contenga el grano; después de que el grano llega a la humedad deseada, se pone a enfriar antes de poderlo envasar. Si el grano se utilizara como semilla, se secará en sombra. Cuando el secado se realiza en forma artificial, la temperatura aplicada a los granos depende del grado de humedad, para los granos que tienen un alto contenido de humedad se de aplicar una temperatura menor con una exposición mas larga, se recomienda entre 30 y 35 °C.

2.4.14.2. Limpieza de grano

Una vez que el grano está seco entra en un proceso de separación de impurezas, para esto se utilizan cribas o mallas para separar restos de plantas, arenas o granos en mal estado.

2.4.14.3. Almacenamiento

Ya que los granos están libres de impurezas y se ha seleccionado, se procede a empaquetar y almacenar (la humedad del grano no debe superar el 12%). Los sacos en los que se almacena el grano debe estar lejos de las paredes del almacén y despegados del techo, también se debe evitar el contacto con el suelo.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Descripción del Sitio Experimental

3.1.1. Localización Geográfica

El estudio se realizó en invernadero dentro de las instalaciones de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro- Unidad Laguna, ubicada a 25° 33' 26" latitud norte, 103° 22' 20" longitud oeste, periférico Raúl López Sánchez km 2 y Carretera a Santa Fe S/N, Col. Valle Verde, C.P. 27059, Torreón, Coahuila. Ubicada en la región conocida como Comarca Lagunera dentro de la porción norte de México (Figura 3.1), entre las coordenadas geográficas 24° 30' y 27° latitud norte, y 102° y 104° 40" de longitud oeste, con una altitud de 1150 msnm.

Figura 1. Ubicación de la Comarca Lagunera



3.1.2. Clima

De acuerdo a la clasificación climática de Köppen, el clima de la Comarca Lagunera es seco desértico o estepario cálido con lluvia en el verano e invierno fresco, la precipitación pluvial media anual es 258 mm y la temperatura media

anual es 22.1 °C, con rangos de 38.5 °C como media máxima y 16.1 °C como media mínima, la evaporación anual media es aproximadamente 2,396 mm, las heladas ocurren de noviembre a marzo y rara vez en octubre y abril; mientras que las granizadas ocurren entre mayo y junio.

3.2. Descripción del Experimento

3.2.1. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques completamente al azar con cinco repeticiones, donde fueron evaluados cuatro tratamientos, las cuales se presentan en el cuadro 2.

Cuadro 2. Tratamientos evaluados.

Tratamientos	Ec (ms/cm)
Tratamiento 1 (agua ligeramente salada)	2 (rango 0.8 - 3)
Tratamiento 2 (agua medianamente salada)	5 (rango 3.1 – 6)
Tratamiento 3 (agua altamente salada)	10 (rango 6.1 – 14)
Tratamiento 4 (agua no salada)	<0.7

3.3. Establecimiento del experimento

El experimento se realizó en un invernadero de 200 m², con cubierta de plástico y pared con malla antiáfidos, con malla sombra.

3.3.1. Variedad utilizada

En el establecimiento del experimento se utilizó semilla de Quinoa de la variedad Biobio.

Variedad que requiere de suelo bien drenado y fértil. Prefiere clima frío y riego moderado. Se recomienda sembrar en temporada con temperatura entre 18 a 23° C, a una profundidad de 0.6 cm y 30 cm entre planta y planta.

Es una excelente variedad para productores principiantes. Es una rara, hermosa y productiva variedad. Las panojas son de color fucsia o rosa. La planta llega a medir de 1.20 a 1.50 m, tiene alto rendimiento de grano, con semilla pequeña de color claro y sabor dulce.

Días a germinación: 3-4 dds.

3.3.2. Preparación de las macetas

El experimento se estableció en macetas (bolsas de plástico) con capacidad de 20 litros y medidas de 40 por 50 cm.

Para el llenado de las macetas, se utilizó una mezcla preparada de arcilla (10%), peat moss (30%) y arena (60%).

3.3.3. Siembra

La siembra fue directa en las bolsas el día 15 de noviembre de 2019. Las macetas se regaron con agua de pozo hasta los 30 días después de la siembra. Después de este tiempo se acomodaron en bloques completamente al azar de acuerdo a cuatro tratamientos y cinco repeticiones.

3.4. Manejo del cultivo

3.4.1. Poda o raleo

Al momento de la siembra se plantaron alrededor de 50 semillas por maceta, cuando las plantas tenían 30 días después de la siembra se realizó el primer raleo para dejar diez plantas. El segundo raleo se realizó cuando las plantas tenían en promedio ocho hojas, quedando cinco plantas por maceta. El tercer

raleo se realizó al momento de que la planta inició con la ramificación, dejando solo tres plantas por maceta.

3.4.2. Riego

El riego se aplicó en forma manual, se utilizó una regadera de salida fina hasta los primeros 30 días en lo que se aplicó agua de pozo.

Después de los 30 días de la siembra, se aplicó solución salina al cultivo a razón de dos veces por semana. La preparación de la solución salina se llevó a cabo con sal común (NaCl 99%, KIO₃ 1%) y se midió la conductividad eléctrica de las soluciones hasta obtener la indicada para cada tratamiento.

La aplicación de los tratamientos se realizó cada tercer día y las dosis se aplicaron por maceta de acuerdo a tratamiento.

- Aplicación de 100 ml, a los 30 días después de la siembra, cuando la planta tenía en promedio dos hojas verdaderas.
- Aplicación de 250 ml, al momento de que la planta tenía 6 hojas.
- Aplicación de 350 ml, cuando la planta inició con la formación de panoja.
- Aplicación de 500 ml, cuando la planta inició con la floración.
- Aplicación de 750 ml, cuando la planta inició la formación de grano y se mantuvo hasta que el grano estuvo maduro.

3.4.3. Fertilización

Se aplicó solución Steiner como fuente de nutrición para el cultivo, esta se aplicó cada fin de semana a partir de los 30 días después de la siembra. La aplicación de esta solución se dosificó de la misma manera que los tratamientos de acuerdo a la etapa fenológica del cultivo.

3.4.4. Control de maleza

El control de maleza se hizo de forma manual en las macetas, donde se presentó escasa emergencia.

Control de plagas y enfermedades

No se presentaron plagas en el cultivo. A los 100 días aproximadamente, se detectó la presencia de mildiu (*Peronospora farinosa*), este se controló eliminando las plantas infectadas (motivo por el que algunas macetas terminaron con 2 o 1 planta al final del ciclo) afectando principalmente a las plantas del control.

3.5. Cosecha

La cosecha se realizó de forma manual, a partir de los 120 días después de la siembra. Se cosechó cada planta y se almacenó individualmente en bolsas de papel, las cuales fueron etiquetadas respectivamente en cada tratamiento.

3.6. Variables evaluadas

3.6.1. Plantas por maceta

Se contó la cantidad de plantas por maceta.

3.6.2. Altura de la planta

La altura de la planta se determinó al momento de la cosecha. La determinación se realizó desde la base del cuello de la planta hasta el ápice de la misma considerando 2 plantas por maceta. Las medidas fueron en centímetros.

3.6.3. Longitud de la panoja

La longitud de panoja fue evaluada al momento del corte de la planta, midiendo desde la base hasta el ápice de la panoja con la ayuda de una cinta métrica. Las medidas se tomaron en cm.

3.6.4. Peso seco de planta

Se cosecharon las plantas de quinoa, se pusieron a secar por 10 días dentro del mismo invernadero y posteriormente se pesaron. Al momento de la cosecha las plantas ya estaban secas, pero se decidió poner a secar para asegurar el secado completo de las mismas. El peso se determinó en gramos.

3.6.5. Peso seco de la panoja

Después de pesar la planta, se cortó la panoja completa y se pesó. El peso se tomó en gramos.

3.6.6. Peso de la semilla por planta

Para tomar el peso de la semilla, las panojas se desgranaron y los granos se limpiaron para su determinación. El peso se tomó en gramos.

3.6.7. Proporción de grano / materia seca (%)

Esta proporción se calculó en base a el peso de semilla respecto a la materia seca total de la planta.

3.6.8. Rendimiento

El rendimiento se calculó a partir del peso de semilla, promedio de plantas por maceta y cantidad de macetas por m². El rendimiento se calculó en kg/ha.

3.6.9. pH del sustrato

Después que se realizó la cosecha, se tomaron muestras de suelo, para esto se removieron los primeros cinco cm del sustrato para tomar la muestra entre los 10

y 20 cm. Las muestras se mandaron al laboratorio de suelos de la propia Universidad.

3.6.10. Salinidad del sustrato

Después que se realizó la cosecha, tomaron muestras de suelo, para esto se removieron los primeros cinco cm del sustrato para tomar la muestra entre los 10 y 20 cm, para determinar la CE. Las muestras se mandaron al laboratorio de suelos de la propia Universidad.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Población de Plantas por Maceta

La cantidad de plantas que se contaron hasta finalizar el experimento fue afectada por la presencia de mildiu en el tratamiento 4 (agua de pozo), sin embargo, no se observó que esto afectara a las plantas con tratamiento salino. Los resultados se presentan en el cuadro 3.

Como se puede observar, los tratamientos 1, 2 y 3 fueron iguales significativamente, mientras que el tratamiento 4 fue diferente a los demás.

Cuadro 3. Cantidad promedio de plantas por maceta por tratamiento.

Tratamiento	Plantas por Maceta
1	3.532 a
3	3.466 a
2	3.202 a
4	2.136 b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.2. Altura de la Planta

Los valores obtenidos de altura de planta se muestran en el cuadro 4.

El tratamiento 4 al cual no se le aplicó solución salina, tuvo diferencia significativa con respecto al resto de los tratamientos, obteniendo la mayor altura por planta.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos 1, 2 y 3 y como se puede observar tienen una altura promedio de 65 cm, inferior a la reportada por Triana (2018) para la Comarca Lagunera a campo abierto, la cual tuvo lecturas, para la variedad Biobio, de 76 cm aproximadamente.

Cuadro 4. Altura promedio de plantas por tratamiento (cm).

Tratamiento	Altura de la planta
4	85.492 a
3	70.372 b
2	65.596 b
1	60.100 b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.3. Longitud de Panoja

La longitud de la panoja se tomó una vez que se secó la planta, los resultados se presentan en el cuadro 5.

El tratamiento 4 obtuvo mejor desarrollo de panoja con diferencia significativa respecto a los demás tratamientos. La longitud de la panoja del tratamiento 3 fue superior al tratamiento 2, sin embargo, no presentaron diferencia significativa. El tratamiento 1 presentó la menor longitud con respecto a los demás tratamientos con diferencia significativa respecto al tratamiento 3 y 4, sin embargo, el valor obtenido es similar al del tratamiento 2.

Los resultados de longitud para esta variedad, Biobio, fueron superiores a los obtenidos por Triana (2018) que reportó 13 cm, pero inferiores a los obtenidos por Zapata (2015) que reportó 47.75 cm, ambos resultados a campo abierto.

Cuadro 5. Longitud de panoja de quinoa en seco (cm).

Tratamiento	Longitud de Panoja
4	27.372 a
3	22.21 b
2	21.004 bc
1	18.754 c

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.4. Peso Seco de Planta

Los resultados de peso seco de planta se presentan en el cuadro 6.

El análisis estadístico no determinó que existe diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento 2 produjo mayor MS (materia seca) por planta que los demás tratamientos. Se observa también, que el tratamiento 4, al cual no se le aplicó agua salada, presenta el menor peso seco de planta.

Cuadro 6. Peso seco por planta para cada tratamiento (gramos).

Tratamiento	Peso Seco de Planta
2	16.064 a
3	15.312 a
1	12.682 a
4	12.098 a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.5. Peso Seco de Panoja

Los datos se obtuvieron al pesar la panoja de cada planta una vez que se deshidrató, se incluye el peso de la semilla. Los resultados se presentan en el cuadro 7.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos para el peso de panoja. Sin embargo, el tratamiento 2 regado con agua medianamente salada obtuvo el mejor resultado.

Cuadro 7. Peso seco de panoja por planta (gramos).

Tratamiento	Peso Seco de Panoja
2	11.01 a
3	10.966 a
4	9.374 a
1	8.84 a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.6. Peso de la Semilla por Planta

Los datos del peso de la semilla, se tomaron después de desgranar la panoja. Los datos se presentan en el cuadro 8.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Pero el tratamiento 2 regado con agua medianamente salada produjo el mejor peso de semilla por planta.

Se observa que el tratamiento 4 a pesar de tener mayor desarrollo de panoja, la semilla que produce no es muy pesada, comparada con el peso de semilla que se obtuvo del tratamiento dos y tres a los que se les aplicó solución salina.

El resultado que se obtuvo fue inferior a los 54.91 g obtenidos por Zapata (2015) en la Comarca Lagunera en condiciones a campo abierto.

Cuadro 8. Peso de la semilla por planta (gramos).

Tratamiento	Peso de Semilla
2	9.934 a
3	9.282 a
4	8.366 a
1	7.79 a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.7. Proporción de Grano / Materia Seca (%)

Después de pesar el grano se comparó con el peso seco de la planta determinar qué proporción de la planta representa el peso de la semilla. Los resultados se presentan en el cuadro 9.

No se encontró diferencia significativa entre los tratamientos. Sin embargo, el tratamiento 1 al que se le aplicó agua ligeramente salada obtuvo el mejor rendimiento.

La proporción de grano con respecto a la MS de la planta fue superior a la encontrada por Zapata (2015) de 25.42% para esta variedad bajo condiciones de campo abierto.

Cuadro 9. Proporción de grano con respecto a la materia seca total de la planta (%).

Tratamiento	Proporción de Grano
1	65.722 a
4	63.696 a
2	62.154 a
3	60.592 a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.8. Rendimiento

El rendimiento se determinó para cuatro macetas por metro cuadrado. Los resultados se presentan en el cuadro 10.

Al realizar el análisis estadístico se detectó que, si existe diferencia significativa entre los tratamientos, presentando mayor rendimiento los tratamientos con agua

salada, que son estadísticamente iguales, con respecto al que solo se le aplicó agua no salada.

El rendimiento obtenido fue superior al que obtuvo Triana (2018) de 556 kg/ha, pero fue inferior al obtenido por Zapata (2015) de 2,920 kg/ha, ambos experimentos realizados en campo abierto.

Cuadro 10. Rendimiento por tratamiento (kg/ha).

Tratamiento	Rendimiento
3	1288.36 a
2	1243.19 a
1	1174.81 a
4	655.41 b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.9. pH del Sustrato

Después de realizar la cosecha, se tomaron muestras del sustrato y se obtuvieron los siguientes resultados para cada tratamiento.

No se encontró diferencia significativa entre las muestras de suelo. Se aprecia que el tratamiento 3, el cual fue regado con agua altamente salada, obtuvo la mayor lectura de pH, además este tratamiento obtuvo la menor proporción de grano por planta, pero obtuvo el mejor rendimiento. El tratamiento 2, regado con agua medianamente salina, se esperaba que fuera el segundo con mayor pH, sin embargo, fue el que obtuvo menor pH y además concuerda con la máxima producción de semilla por planta.

Cuadro 11. pH para cada tratamiento.

Tratamiento	pH
3	8.024 a
1	7.898 a
4	7.89 a
2	7.424 a

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

4.10. Salinidad del Sustrato

Los datos se tomaron al finalizar la cosecha y los resultados se muestran en el cuadro 12.

De acuerdo a los resultados el tratamiento regado con agua medianamente salada (dos) presentó diferencia estadísticamente significativa con respecto al tratamiento con agua de pozo, sin embargo, no presenta diferencia significativa con respecto a los otros tratamientos regados con agua salada.

Se esperaba que el tratamiento 3, regado con agua altamente salada, presentara mayor conductividad eléctrica, sin embargo, no la presenta e incluso es más baja que la obtenida por el tratamiento 2 con agua ligeramente salada. Además, el tratamiento obtuvo el mejor rendimiento, por lo que se puede decir que presentó condiciones apropiadas para la producción de quinoa con respecto a la variedad estudiada.

Cuadro 12. Medición de la Conductividad Eléctrica del sustrato (mS/cm).

Tratamiento	CE
2	2.248 a
1	2.07 ab
3	1.71 ab
4	0.892 b

Tukey: Tratamientos agrupados con misma letra son estadísticamente iguales ($p \leq 0.05$).

V. CONCLUSIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos en el experimento se concluye:

La altura de planta, longitud de panoja fue afectada por la salinidad.

La longitud de panoja fue afectada por la salinidad y se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos. El tratamiento 4 produjo la panoja más grande, los tratamientos con agua salada produjeron panojas más pequeñas.

Las variables peso seco de panoja y peso de grano por planta, no se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos, pero fue el tratamiento con agua medianamente salada (5 mS/cm) el que obtuvo el mejor resultado.

La relación de grano y materia seca de la planta de los diferentes tratamientos no presentó diferencia significativa ($P>0.05$) entre ellos.

El rendimiento fue afectado por la salinidad, se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos. El tratamiento con agua altamente salada obtuvo el mejor rendimiento y el menor rendimiento se obtuvo del tratamiento con agua sin sal.

No se encontró diferencia significativa ($P>0.05$) de pH entre los tratamientos, lo que puede decir que las plantas de quinoa regulan el pH del suelo.

El cultivo de quinoa resiste la aplicación de agua salada, soportando la aplicación de agua altamente salada (10 mS/cm), bajo la cual se obtuvo el mejor rendimiento. Además, las plantas con tratamiento con agua salada tuvieron rendimientos superiores con diferencia significativa ($P>0.05$) con respecto a las plantas que no se les trató con agua salada.

Las plantas de quinoa controlaron la salinidad como lo demuestra el cuadro de medición de CE, ya que el mayor valor registrado fue de 2.248 mS/cm, en el tratamiento con agua medianamente salada (5 mS/cm), además, no se obtuvo diferencia significativa ($P>0.05$) entre los tratamientos con agua salada, aunque

si hubo diferencia significativa entre el tratamiento con agua medianamente salada y el tratamiento con agua de pozo o agua no salada.

VI. REFERENCIAS

- Abdel-Latef, A. A., H., H., H. Chaoxing. 2011. Effect of arbuscular mycorrhizal fungi on growth, mineral nutrition, antioxidant enzymes activity and fruit yield of tomato grown under salinity stress. *Sci. Hort.* 127(3):228-233.
- Aguilar, P. C. y Jacobsen, S. E. 2003. Cultivation of Quinoa on the Peruvian Altiplano. *Food Reviews Intenational*, 19 (2), 31 - 41.
- Ahmad, R. and Malik, A. 2002. Tasks for vegetation science: Prospects for saline agriculture. Kluwer Academic Publishers.
- Ahmed, M. Z., T. Shimazaki, S. Gulzar, A. Kikuchi, A. Gul, M. A. Khan, H. W. Koyro, B. Huchzermeyer, K. N. Watanabe. 2013. The influence of genes regulating transmembrane transport of Na^+ on the salt resistance of *Aeluropus lagopides*. *Functional Plant Biology*. 40:860-871.
- Aiazzi, M. T., P. Carpane, C. Deza. 2005. Efecto de la salinidad sobre el crecimiento de plantas de *Atripelx cordobensis* Gandoger et Stuckert originadas de semillas de distintas procedencias. Instituto Argentino de Investigación de las Zonas Áridas. *Multequina*. 14:39-46.
- Alcaraz-Ariza. 2012. Salinidad y vegetación. *Geobotánica Tema 18*. Universidad de Murcia España.
- Apse, M. P., E. Blumwald. 2007. Sodium transport in plants. *FEBS Lett.* 581:2247-2254.
- Argentel, M. L., L. M. González, R. Plana. 2006. Efecto de altas concentraciones salinas sobre la germinación y el crecimiento del trigo variedad CUBA-C-204 (*Triticum aestivum* L.). *Cultivos Tropicales*. 27(3):45-48.
- Bargmann, B. O., A. M. Laxalt, B. Riet, B. Schooten, E. Merquiol, C. Testerink, M. A. Haring, D. Bartels, T. Munnik. 2009. Multiple PLDs required for high salinity and wáter déficit tolerance in plants. *Plant Cell Physiol*. 50(1):78-89.

- Basurto, S. M., B. A. Nuñez, R. R. Pérez-Leal, O. A. Hernández-Rodríguez. 2008. Fisiología del estrés ambiental en plantas. Aventuras de pensamiento. Ed. Facultad de Ciencias Agrotecnológicas. Universidad Autónoma de Chihuahua, México. 45:1-5.
- Bavec, F. and Bavec, M. 2007. Organic production and use of alternative crops. United States: CRC.
- Bazile, D. et al. (Editores). 2014. Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013. Santiago de Chile: FAO y Montpellier, Francia: CIRAD, 724.
- Bertero, H. D. 2003. Response of developmental processes to temperature and photoperiod in quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Food Reviews Intenational, 19(1 y 2), 87-97.
- Bertero D., Bazile D., y Nieto C.,. 2014. "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia).
- Bhargava, A. and Srivastava, S. 2013. Quinoa: Botany, production and uses. Wallingford, Oxfordshire, UK: CABI.
- Black, C.C. y B. Osmond. 2003. Crassulacean acid metabolism photosynthesis: "working the night shift". Photosynth. Res. 76, 329-341.
- Bosque Sanchez, H., Lemeur, R., & Van Damme, P. 2000. Análisis ecofisiológico del cultivo de la quinua (*Chenopodium quinoa* Willd). en condiciones de estrés de la sequía y la salinidad. Tropicultura , XVIII, 198-202.
- Cardoso de Moraes, F. L. F. 2013. Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.). Uma Revisão Bibliográfica. Universidade De Brasília - UnB Faculdade de Agronomia e Medicina Veterinária - FAV Curso Engenharia Agrônômica, Brasília – DF.
- Carillo, P., M. Annunziata, G. Pontecorvo, A. Fuggi, P. Woodrow. 2011. Salinity Stress and Salt Tolerance. In: Abiotic Stress in Plants – Mechanisms and adaptations. En A. Shanker, & B. Venkateswarlu, (Eds), Abiotic Stress in Plants. Agricultural and Biological Sciences. Italia. Pp 21-38.

Casas Forero, N., Natalia Salgado, Y., Cristina Moncayo, D., & Patricia Cote, S. 2016. Efecto del proceso de malteado en la calidad y estabilidad de una bebida de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y mango (*Mangifera indica*). *Agroindustrial Science*, VI, 77-83.

Cerezal, P., Carrasco, A., Pinto, K., Romero, N. y Arcos, R. 2007. Suplemento alimenticio de alto contenido proteico para niños de 2 - 5 años. *Interciencia*, 32 (12): 857-864.

Casas Forero, N., Natalia Salgado, Y., Cristina Moncayo, D., & Patricia Cote, S. 2016. Efecto del proceso de malteado en la calidad y estabilidad de una bebida de quinua (*Chenopodium quinoa Willd*) y mango (*Mangifera indica*). *Agroindustrial Science*, VI, 77-83.

Coutiño Montoya, A. Diciembre de 2008. Triticale una alternativa de forraje en la Comarca Lagunera en época de invierno. Torreón, Coahuila: Tesis de Licenciatura Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro.

Covarrubias Robles, Alejandra. Sobrevivir al estrés: cómo responden las plantas a la falta de agua. *Biotecnología V14 CS3.indd 253-262*, 2007.

FAO. 2009. Foro de Expertos de Alto Nivel. Como alimentar al mundo 2050, (pág. 4). Roma.

FAO. 2011. La Quinoa: cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. Disponible: <http://www.fao.org/docrep/017/aq287s/aq287s.pdf>. Consulta: Marzo, 2020.

FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura), University of Cardaba and IAS - CSIC, KU Leuven University y University of California. 2012. Crop Yield Response to Water. Herbaceous crops. *FAO Irrigation and Drainage. Paper 66*. Páginas: 230 - 235.

FAO y Universidad Nacional Agraria La Molina. 2016. Guía de Cultivo de la Quinoa. Segunda Edición. SINCO Industria Gráfica. Lima, Peru. ISBN 978-92-5-309069-3 FAO.

Flowers, T. J., T. D. Colmer. 2008. Salinity tolerance in halophytes. *New Phytologist*. 179:945-963.

Fuentes, F., Maughan, P. y Jellen, E. (2009). Diversidad genética y recursos genéticos para el mejoramiento de la quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). *Revista geográfica de Valparaíso*, 42, 20-33.

Gabriel, J., Nayra, L., Vargas, A., Magne, J., Angulo, A. La Torre, J. y Bonifacio, A. 2012. Quinoa del valle (*Chenopodium quinoa* Willd.): fuente valiosa de resistencia genética al mildiu (*Peronospora farinosa* Willd.) *Journal of the Selva Andina Research Society*, 3 (2).

Gandarillas, H. 1968. Caracteres botánicos más importantes para la clasificación de la quinoa. In: Universidad Nacional Técnica del Altiplano. *Anales de la Primera convención de Quenopodiáceas quinoa - cañahua*. Puno, Perú. pp 41-49.

Garrido, M., Silva, P., Silva, H., Muñoz, R., Baginsky, C., & Acevedo, E. Mayo-Agosto de 2013. Evaluación del rendimiento de nueve genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) bajo diferentes disponibilidades. *IDESIA (Chile)*, XXXI(2), 69-76.

Giusti, K. 1970. El género *Chenopodium* en la Argentina. I. Número de cromosomas. *Darwiniana* 16: 98-105.

Gonzales, U. J. y De la Torre, H. J. 2009. Efecto del fotoperiodo y la temperatura sobre la concentración de saponinas en tres genotipos de quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) provenientes de diferentes latitudes. *Quique - Chile*. Página 2.

González, J. A., Guillermo O., M., Bruno, M. A., & Prado, F. E. 2016. La “quinoa” (*Chenopodium quinoa*) como alternativa forrajera en la zona de los Valles Calchaquíes (Noroeste Argentino). *Lilloa* 53 (1): 74–81, LIII(1), 74-81.

Gutiérrez Larrazabal, A., Soto Hernández, M., López Castañeda, C., Mendoza Martínez, G. D., García Velázquez, A., & Mendoza Castillo, M. C. 2004. Nitratos, oxalatos y alcaloides en dos etapas fenológicas de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) en riego de temporal. *Revista Fitotecnia Mexicana*, XXVII(4), 313 – 322.

Guzmán Soria, E., García Salazar, J. A., Mora Flores, J. S., Fortis Hernández, M., Valdivia Alcalá, R., & Portillo Vázquez, M. Fortis Hernández, de Noviembre-Diciembre de 2006. La demanda de agua en la Comarca Lagunera, México. *Agrociencia*, XL(6), 793-803.

Hernández López, M. F., López Vega, R., & Velarde Villalobos, S. I. Septiembre de 2013. La situación demográfica en México. Panorama desde las proyecciones de población. La situación demográfica de México 2013, 11-19.

Horie, T., I. Karahara, M. Katsuhura. 2012. Salinity tolerance mechanisms in glycophytes: An overview with the central focus on rice plants. *Rice*. 5:1-11.

Huaman, F., Toscano, E., Acosta, O., Rojas, D., Inocente, M., Garrido, D. y Guevara-Fujita, M. 2014. Estudio genotóxico de una bebida experimental de quinua, kiwicha y kañiwa. *Revista Peruana de Biología*, 21 (3): 251-258.

Jacobsen, S. E. y Risi, J. 1998. FAO. Distribución geográfica de la quinua fuera de los países andinos. Recuperado de: http://www.fao.org/tempref/GI/Reserved/FTP_FaoRlc/old/prior/segalim/prodalim/prodveg/cdrom/contenido/libro03/cap3.htm.

Jacobsen, S., Mujica, A., & Ortiz, R. Enero-Abril de 2003. La importancia de los cultivos andinos. *Fermentum. Revista Venezolana de Sociología y Antropología*, XIII(36), 14-24.

Jacobsen S. E. 2014. Adaptación y posibilidades para la quinua en las latitudes septentrionales de Europa. Capítulo Numero 6.11. IN: BAZILE D., Bertero D. y Nieto C., "Estado del arte de la quinua en el mundo en 2013": FAO (Santiago de Chile) y CIRAD, (Montpellier, Francia): pp. 520- 533.

Khaliq, S., Z. Vllah, H. Athar, R. Khal. 2014. Physiological and biochemical basis of salt tolerance in (*Ocimum basilicum* L.). *Journal of Medicinal Plants Studies*. 2:18-27.

Kirkham, M.B. 2005. Principles of soil and plant water relations. Elsevier Academic Press, Amsterdam, The Netherlands.

Kole, C. Ed. 2007. Genome mapping and molecular breeding in plants: Pulses, sugar and tuber crops. Springer. Chapter 9, pp. 306.

Lamz-Piedra, A., Y. Reyes-Guerrero, M. C. González-Cepero. 2013. Indicadores bioquímicos para la selección temprana de genotipos de arroz (*Oryza sativa* L.) con tolerancia a la salinidad. Cultivos Tropicales. 1:11-17.

Lescano, J.L. 1989. Recursos fitogenéticos altoandinos y bancos de germoplasma. In: Curso: "Cultivos altoandinos". Potosí, Bolivia. p 118.

Lescano, J.L. 1994. Genética y mejoramiento de cultivos altoandinos: quinua, kañihua, tarwi, kiwicha, papa amarga, olluco, mashua y oca. Convenio INADE/PELT - COTESU. 459 p.

Leung, J. y J. Giraudat. 1998. Abscisic acid signal transduction. Ann. Rev. plant Physiol. Plant Mol. Biol. 49, 199-222.

Lüttge, U. 2004. Ecophysiology of crassulacean acid metabolism. Ann. Bot. 93, 629-652.

Manchanda, G., N. Garg. 2008. Salinity and its effects on the functional biology of legumes. Acta Physiol. Plant. 30:595-618.

Mata-Fernandez, I., M. L. Rodríguez-Gamiño, J. López-Blanco, G. Vela-Correa. 2014. Dinámica de la salinidad en los suelos. Revista Digital del Departamento El Hombre y su Ambiente. 1(5):34-42.

Medrano Echalar, A. M. 2010. Expansión del cultivo de la Quinoa (*Chenopodium Quinoa* Willd) y calidad de suelos, análisis en un contexto de sostenibilidad en el intersalar boliviano. San Luis Potosí: Tesis de Maestría Universidad Autónoma de San Luis Potosí .

Mendoza, S. V. 2013. Comparativo de accesiones de quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.) en condiciones de costa central. Tesis de Ing. Agrónoma en la Universidad Nacional Agraria- La Molina (UNALM).

Mendoza, C. J. R. 2015. Compuestos Fenólicos, Ácidos Grasos y Capacidad Antioxidante En Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd). Tesis de licenciatura.

Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa- Facultad de Ingeniería de Procesos Escuela Profesional de Ingeniería de Industrias Alimentarias. AREQUIPA-PERÚ.

Miranda, R., Caballero, A., Cadena, F., & Bosque, H. Enero-Abril de 2017. Salinidad y el cultivo de la quinua – una breve revisión bibliográfica. Revista de la Carrera de Ingeniería Agronómica – UMSA., III(1), 87-92.

Morales, C. D., C. J. Dell Amico, C. P. Rodríguez, A. Torrecillas, M. J. Sánchez-Blanco. 2010. Efecto del estrés por NaCl en el crecimiento y las relaciones hídricas en plantas de tomate (*solanum lycopersicum* L.) durante el periodo vegetativo. Cultivos tropicales. 31(4):76-81.

Moreno F, Patricia. Respuesta de las plantas al estrés por déficit hídrico. Una revisión. Agronomía Colombiana 27(2), 179-191, 2009.

Mujica, Á. 1997. Cultivo de quinua. Editado por el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Impreso en Lima. pp. 9-18; 27-30, 35-38; 58; 61; 64-80;108.

Mujica, A. 1992. Granos y leguminosas andinas. Cultivos marginados: otra perspectiva de 1492. Organización de la Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación FAO, Roma. pp 129-146.

Mujica, Á. y Canahua, A. 2001. Agronomía del cultivo de la quinua. En: Quinua (*Chenopodium quinoa* Willd.): Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. Editado por la F AO. Impreso en Chile. Pag 361.

Mujica, A., A. Cahahua y R. Saravia. 2006. Agronomía de la quinua. Quinua: Ancestral cultivo andino, alimento del presente y futuro. FAO. UNA. CIP. Santiago, Chile. pp 26-59.

Nilsen, E.T. y D.M. Orcutt. 1996. Physiology of plants under stress. Abiotic factors. John Wiley and Sons, New York, NY.

Orosco-Alcalá, B. E., H. G. Núñez-Palenius, L. Pérez-Moreno, M. Valencia-Posadas, L. Trejo-Téllez, F. R. Díaz-Serrano, J. E. Ruiz-Nieto, M. R. Abraham-

Juárez. 2018. Tolerancia a salinidad en plantas cultivadas: Una visión agronómica. *Agroproductividad*. 11(7):51-57.

Porcel, R., R. Aroca, J. M. Ruiz-Lozano. 2012. Salinity stress alleviation using arbuscular mycorrhizal fungi. A review. *Agron Sustain Dev*. 32:181-200.

Potters, G., T.P. Pasternak, Y. Guisez, K.J. Palme y M.A.K. Jansen. 2007. Stress-induced morphogenic responses: growing out of trouble? *Trends Plant Sci*. 12(3), 99-105.

PROINPA. 2011. La quinua, cultivo milenario para contribuir a la seguridad alimentaria mundial. FAO oficina regional para América Latina y el Caribe. 58 páginas. Disponible en http://www.ibce.org.bo/publicaciones/docu_rec.asp (Instituto boliviano de comercio exterior).

Repo Carrasco, R., Julio Pilco, J., & Encina Zelada, C. R. 2011. Desarrollo y Elaboración de un snack extruido a partir de quinua (*Chenopodium quinoa Willd.*) y maíz (*Zea mays L.*). *Ingeniería Industrial* (29), 207-224.

Rodríguez-sandoval, E., Lascano, A. y Sandoval, G. 2012. Influencia de la sustitución parcial de la harina de trigo por harina de quinoa y papa en las propiedades termomecánicas y de panificación de masas. *Rev. U.D.C.A Act and Div. Cient*, 15 (1): 199-207.

Rojas, W., M.R. Cayoja y G. Espindola. 2001. Catálogo de la colección de quinua conservado en el Banco Nacional de Granos Altoandinos. La Paz, Bolivia. 128 p.

Rojas, W. 2008. Manejo, Conservación y Uso Sostenible de los Recursos Genéticos de Granos Alto andinos, en el marco del SINARGEAA. Informe Fase 2003-2008, Fundación PROINPA. La Paz, Bolivia. 49 p.

Rosero, O., Marounek, M., Brenová, N. and Lukešova, D. 2013. Phytase activity and comparison of chemical composition, phytic acid P content of four varieties of quinoa grain (*Chenopodium quinoa Willd.*) *Acta Agronómica*, 62 (1): 13-20.

Salas J, J. A., Sanabria., M. E., & Pire, R. 2001. Variación en el índice y densidad estomática en plantas de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill.) sometidas a tratamientos salinos. Bioagro, XIII (3), 99-104.

Sánchez Cohen, I., Catalán Valencia, E., González Cervantes, G., Estrada Avalos, J., & Garcia Arellano, D. Septiembre-diciembre de 2006. Indicadores comparativos del uso del agua en la agricultura. Agricultura Técnica en México, 32(3), 333-340.

Santamaría-César, Jesús; Figueroa-Viramontes, Uriel; Medina-Morales, Ma. del Consuelo Productividad de la alfalfa en condiciones de salinidad en el Distrito de Riego 017, Comarca Lagunera Terra Latinoamericana, vol. 22, núm. 3, julio-septiembre, 2004, pp. 343-349 Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, A.C. Chapingo, México

SEMARNAT, SAGARPA, Fundación Produce Nayarit, A.C., Subsecretaría de Desarrollo Rural, & Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. 2010. Salinidad del suelo. Folleto 9p. México.

Shao, H.B., L.Y. Chu, C.A. Jaleel y C.X. Zhao. 2008. Water-deficit stress-induced anatomical changes in higher plants. C.R. Biol. 331, 215-225.

Soto, M. J. L. 2010. Granos andinos avances, logros y experiencias desarrolladas en quinua, cañahua y amaranto en bolivia. Capítulo IX Tecnología del cultivo de granos andinos. Bioersity Internacional (Instituto Internacional de Recursos Fitogenéticos (IPGRI)). Bolivia. 178 páginas.

Smith, T. M., R. L. Smith. 2007. Ecología. Ed Pearson Addison Wesley. Madrid España. 776 p.

Stikic, R., Glamoclija, D., Demin, M., Vucelic-Radovic, B., Jovanovic, Z., Milojkovic-Opsenica, D., Jacobsen, S. and Milovanovic, M. 2012. Agronomical and nutritional evaluation of quinoa seeds (*Chenopodium quinoa* Willd.) as an ingredient in bread formulations. Journal of Cereal Science, 55, 132-138.

Taiz, L. y E. Zeiger. 2006. Plant Physiology. 4th ed. Sinauer Associates, Sunderland, MA.

Tapia, M. 1990. Cultivos Andinos subexplotados y su aporte a la alimentación. Instituto Nacional de Investigación Agraria y Agroindustrial INIAA – FAO, Oficina para América Latina y El Caribe, Santiago de Chile.

Tapia, M. E. 2000. Capítulo III Agronomía de los cultivos andinos. Granos andinos: quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd) In: Morón. C. (ed.) Cultivos andinos subexplotados y su aporte a la alimentación.

Tapia, M. y Fries, A. 2007. Guía de Campo de los cultivos Andinos. FAO- Roma, ANPE Lima. Primera Edición. 209 páginas.

Tarchoune, I., C. Sgherri, B. Baatour, R. Izzo, M. Lachaal, F. Navari-Izzo, Z. Ouerghi. 2013. Effects of oxidative stress caused by NaCl or Na₂SO₄ excess on lipoic acid and tocopherols in Genovese and Fine basil (*Ocimum basilicum* L.) Annals of Applied Biology. 163:23-32.

Triana, G. M. 2018. Productividad del cultivo de Quinoa (*chenopodium quinoa willd*) como cultivo alternativo en la Comarca Lagunera. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila. México.

Tuisima, L. and Fernández, E. 2014. An Andean Ancient Crop, *Chenopodium quinoa* Willd. Agricultura tropica et subtropica, 47 (4): 142-146.

Vargas Huanca, D. E., Baoda, M., Araca, L., Vargas, W., & Vargas, R. Septiembre-noviembre de 2015. Agrobiodiversidad y economía de la quinua (*Chenopodium quinoa*) en comunidades aymaras de la Cuenca del Titicaca. IDESIA (Chile), XXXIII (4), 81-87.

Wehner, F., H. Olsen, H. Tinel, E. Kinne-Saffran y R.K.H. Kinne. 2003. Cell volume regulation: osmolytes, osmolyte transport, and signal transduction. Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol. 148, 1-80.

- Wicke, B., S. Edward, V. Dorngurg, B. Vashev, T. Gaiser, W. Turkenburg, A. Faaij. 2011. The global technical and economic potential of bioenergy from salt-affected soils, energy & environmental science. 4:2669-2681.
- Wilckens, R., Hevia, F., Serri, H. y Urbina, A. (1994). Comportamiento y caracterización de ecotipos de quinua. Proyecto de Investigación. Universidad de Concepción.
- Wilson, H.D. 1980. Artificial hybridization among species of *Chenopodium* sect. *Chenopodium*. Systematic Botany 5 (3): 253-263.
- Zapata, R. O. A. 2015. Crecimiento y producción de cinco variedades de Quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.) en la Comarca Lagunera. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Unidad Laguna. Torreón, Coahuila, México.
- Zonia, L. y T. Munnik. 2007. Life under pressure: hydrostatic pressure in cell growth and function. Trends Plant Sci. 12(3), 90-97.
- Zurita-Silva, A., Fuentes, F., Zamora, P., Jacobsen, S. and Schwember, A. 2014. Breeding quinoa (*Chenopodium quinoa* Willd.): potential and perspectives. Mol Breeding Journal, 34 (1).

Anexos